

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ZÁKLADNÍ VELIČINY A JEDNOTKY.</b>	<b>6</b>
1.1	MEZINÁRODNÍ SOUSTAVA JEDNOTEK SI.	6
1.2	HMOTNOST.	7
1.2.1	HMOTNOST, RELATIVNÍ HMOTNOST ČÁSTICE.	7
1.2.2	RELATIVNÍ ATOMOVÁ HMOTNOST PRVKU, RELATIVNÍ MOLEKULOVÁ HMOTNOST	7
1.3	LÁTKOVÉ MNOŽSTVÍ A ODVOZENÉ VELIČINY.	8
1.3.1	LÁTKOVÉ MNOŽSTVÍ.	8
1.3.2	MOLÁRNÍ HMOTNOST.	9
1.3.3	MOLÁRNÍ OBJEM.	9
1.4	NĚKTERÉ DALŠÍ VELIČINY A JEDNOTKY.	10
1.4.1	BĚŽNÉ VELIČINY A JEJICH MIMOSYSTÉMOVÉ JEDNOTKY.	10
1.4.2	AKTIVITA.	11
1.5	ŘEŠENÉ PŘÍKLADY.	12
1.6	PŘÍKLADY K ŘEŠENÍ.	14
1.7	VÝSLEDKY PŘÍKLADŮ K 1. KAPITOLE.	17
<b>2</b>	<b>OXIDAČNÍ ČÍSLO.</b>	<b>18</b>
2.1	DEFINICE OXIDAČNÍHO ČÍSLA.	18
2.2	RYCHLÉ URČENÍ OXIDAČNÍHO ČÍSLA.	18
2.3	ŘEŠENÉ PŘÍKLADY.	19
2.4	PŘÍKLADY K ŘEŠENÍ.	20
2.5	VÝSLEDKY PŘÍKLADŮ KE 2. KAPITOLE.	21
<b>3</b>	<b>CHEMICKÉ ROVNICE.</b>	<b>22</b>
3.1	OBEČNÉ ZÁSADY.	22
3.2	PODMÍNKY SPRÁVNOSTI CHEMICKÝCH ROVNIC A MOŽNOSTI JEJICH ÚPRAVY.	23
3.3	PRÁCE S CHEMICKÝMI ROVNICEMI.	28
3.4	ŘEŠENÉ PŘÍKLADY.	29
3.5	PŘÍKLADY K ŘEŠENÍ.	33
3.6	VÝSLEDKY PŘÍKLADŮ KE 3. KAPITOLE.	43
<b>4</b>	<b>SLOŽENÍ LÁTEK A JEJICH SOUSTAV.</b>	<b>48</b>
4.1	KONCENTRAČNÍ VELIČINY.	48
4.2	PŘEPOČTY KONCENTRAČNÍCH VELIČIN.	50
4.3	STANOVENÍ SUMÁRNÍHO VZORCE LÁTKY ZE ZNÁMÉHO SLOŽENÍ.	50
4.4	KAPALNÉ SOUSTAVY.	51
4.4.1	PŘÍPRAVA A SMĚŠOVÁNÍ ROZTOKŮ.	51
4.4.2	NASYCENÉ ROZTOKY, ROZPUSTNOST TUHÝCH LÁTEK, KRYSTALIZACE.	53
4.5	PLYNNÉ SOUSTAVY, IDEÁLNÍ SMĚSI PLYNŮ.	54
4.6	ŘEŠENÉ PŘÍKLADY.	55
4.7	PŘÍKLADY K ŘEŠENÍ.	64

<b>4.8</b>	<b>VÝSLEDKY PŘÍKLADŮ KE 4. KAPITOLE. ....</b>	<b>68</b>
------------	---	-----------

## ÚVOD

Skriptum pokrývá náplň výpočetních cvičení doprovázejících jednosemestrový kurs Obecné chemie pro posluchače oboru jaderně chemické inženýrství, jakož i náplň cvičení dvousemestrového kursu Obecná chemie 1-2, který zapisují posluchači dalších oborů na Fakultě jaderné a fyzikálně inženýrské pěstovaných. Jeho používání předpokládá alespoň elementární znalost chemické nomenklatury a základních typů chemických vzorců v rozsahu gymnasiálního učiva. Pouhý souhrn principů výstavby chemického názvosloví by významně zúžil prostor skripta, které má být jako celek především pomůckou pro praktické zvládnutí základních chemických a jaderně chemických výpočtů. Dále je kromě speciálních knih [1, 2] k dispozici i dostatek vhodných učebních textů [3, 4], v nichž lze nalézt výklad nomenklaturních zásad a tvorby chemických vzorců, včetně množství řešených i neřešených příkladů.

# 1 Základní veličiny a jednotky.

Přírodní vědy zkoumají různé **vlastnosti** hmotných objektů a zákonitosti dějů, v nichž se tyto vlastnosti mění. Změna určité vlastnosti se poměřuje změnou vhodné **veličiny**, jejíž hodnota se vyjadřuje v odpovídající **jednotce**, které náleží příslušný **rozměr**. Pamatujte si následující posloupnost!

<b>vlastnost</b>	→	<b>veličina</b>	→	<b>jednotka</b>	→	<b>rozměr</b>
setrvačnost	→	hmotnost ( $m$ )	→	kilogram (kg)	→	kg
prostorová rozměrnost	→	objem ( $V$ )	→	metr krychlový ( $m^3$ )	→	$m^3$

Veličiny dělíme na **intenzivní** a **extenzivní**. Hodnoty intenzivních veličin nezávisí na velikosti soustavy, hodnoty extenzivních veličin jsou na velikosti soustavy závislé. Spojíme-li dvě identické soustavy, hodnoty intenzivních veličin se nezmění - např. teplota a tlak plynu. Hmotnost a objem soustavy, které jsou veličinami extenzivními, však vzrostou na dvojnásobek

## 1.1 MEZINÁRODNÍ SOUSTAVA JEDNOTEK SI.

Od roku 1980 má být našem státě závazně užívána mezinárodní soustava jednotek SI (Le Systéme International d'Unités). Ta vychází ze sedmi **základních veličin** (délka, hmotnost, čas, elektrický proud, teplota, látkové množství, svítivost), jimž odpovídají tyto **základní jednotky**: metr (m), kilogram (kg), sekunda (s), ampér (A), kelvin (K), mol (mol) a kandela (cd). Název základní jednotky je totožný s jejím rozměrem. Tedy: Pro rozměr jednotky hmotnosti [kg] platí [kg] = kg. Za osmou veličinu lze považovat **počet (množství)** jakýchkoliv entit (atomů, molekul, elementárních nábojů atp.), jejíž jednotkou je bezrozměrná jedna. **Počet čehokoliv je vždy bezrozměrným číslem!** Pomocí **základních** veličin jsou definovány veličiny **odvozené**. Hodnoty veličin vyjadřujeme jednotkami **hlavními** a povolenými jednotkami **vedlejšími**. Dále lze používat jednotek **násobných a dílčích**, které jsou od nich dohodnutým způsobem odvozeny.

**Hlavní jednotky** základních veličin jsou totožné s odpovídajícími jednotkami základními a samozřejmě s jejich rozměrem (např. hlavní jednotkou času je sekunda). Hlavní jednotky odvozených veličin mají často zvláštní název i značku a jsou vyjádřeny pomocí jednotek základních. Tak hlavní jednotkou síly je newton N o rozměru  $[N] = m \cdot kg \cdot s^{-2}$ . Hlavní jednotkou zrychlení je  $m \cdot s^{-2}$ . Zvláštní název však tato jednotka nemá a místo něj se použije jejího rozměru.

**Vedlejší jednotky** jsou ty, které nejsou jednotkami hlavními ale jejichž používání v rámci soustavy SI je výslovně povoleno. Činí se tak, je-li velikost oné jednotky praktická, nebo významně souvisí s naší každodenní zkušeností. Tak lze užít vedlejší jednotky objemu litr (l), jednotek hmotnosti gram (g) a tuna (t), vedlejších jednotek času minuta (m), hodina (h) a den (d), vedlejší jednotky teploty Celsiův stupeň  $^{\circ}C$ , dále úhlových stupňů ( $^{\circ}$ ), minut ( $'$ ), a vteřin ( $''$ ).

**Násobné a dílčí jednotky** jsou desítkovými násobky a díly hlavních a vedlejších jednotek. Příslušnému činiteli odpovídá určitá předpona před názvem jednotky a značka, která se předradí značce jednotky tak, jak je ukázáno v následující tabulce.

Pamatujte! Předpony a jejich značky **se nemají skládat**. Tedy:  $10^{-9} l = \text{nanolit} = nl$ , nikoliv však mikromililitr =  $\mu ml$ !

Činitel	Předpona	Značka	Činitel	Předpona	Značka	Příklady
$10^{18}$	exa	E	$10^{-18}$	atto	a	exajoule = EJ = $10^{18}$ J
$10^{15}$	peta	P	$10^{-15}$	femto	f	kilomol = kmol = $10^3$ mol
$10^{12}$	tera	T	$10^{-12}$	piko	p	hektolitr = hl = $10^2$ l
$10^9$	giga	G	$10^{-9}$	nano	n	decimetr = dm = $10^{-1}$ m
$10^6$	mega	M	$10^{-6}$	mikro	$\mu$	kilotuna = kt = $10^3$ t = $10^6$ kg
$10^3$	kilo	k	$10^{-3}$	mili	m	miligram = mg = $10^{-3}$ g = $10^{-6}$ kg
$10^2$	hekto	h	$10^{-2}$	centi	c	pikosekunda = ps = $10^{-12}$ s
$10^1$	deka	da	$10^{-1}$	deci	d	fentometr = fm = $10^{-15}$

Soustava SI připouští i používání některých mimosystémových jednotek majících zvláštní praktický význam ve speciálních odvětvích výzkumu. Ty jsou **přesně** definovány, jejich hodnoty vyjádřené v jednotkách SI jsou však **přibližné**, neboť jsou se zdokonalováním experimentálních metod stále upřesňovány. V chemických a jaderných oborech náleží zvláštní význam atomové hmotnostní jednotce a jednotce energie elektronvolt.

**Atomová hmotnostní jednotka (sjednocená)  $u$**  je rovna jedné dvanáctině klidové hmotnosti atomu izotopu uhlíku  $^{12}\text{C}$  a přibližně platí  $1 u = 1,66054021 \cdot 10^{-27}$  kg.

**Elektronvolt eV** je energie, kterou získá elektron, projde-li ve vakuu rozdílem potenciálů 1 V. Přibližně platí:  $1 \text{ eV} = 1,602177335 \cdot 10^{-19}$  J.

**Dohoda:** Figuruje-li v rovnici pouhý symbol veličiny (např. objem  $V$ ), máme tím na mysli, že veličině náleží hodnota vyjádřená v **hlavních jednotkách** systému SI (zde  $\text{m}^3$ ). Máme-li na mysli hodnotu veličiny vyjádřenou násobnou, dílčí, vedlejší, či dokonce mimosystémovou jednotkou, vyznačíme tuto skutečnost následovně: délka  $l$  v centimetrech –  $l(\text{cm})$ , objem  $V$  v litrech –  $V(\text{l})$ , energie  $E$  v megaelektronvoltech –  $E(\text{MeV})$ .

## 1.2 HMOTNOST.

### 1.2.1 HMOTNOST, RELATIVNÍ HMOTNOST ČÁSTICE.

V laboratorním měřítku vyjadřujeme hmotnost látek ( $m$ ) maximálně v kilogramech, nejčastěji pak v gramech ( $g$ ) a násobcích či dílech gramu. V technologickém měřítku užíváme tun  $t = 103$  kg, do zapomnění pozvolna upadá mimosystémová jednotka metrický cent  $q = 100$  kg. Hmotnosti atomů, iontů a molekul obvykle nevyjadřujeme absolutně (v kg či g), nýbrž bezrozměrnou **relativní hmotností  $M$** . Relativní hmotnost  $M_X$  částice  $X$  je definována rovnicí **1**, kde  $u$  (kg) je sjednocená atomová jednotka hmotnosti (viz kap. 1.1) a  $^1m_X$  (kg) je absolutní hmotnost jedné částice  $X$ .

$$M_X = ^1m_X / u \quad \mathbf{1}$$

V případě potřeby diktované grafickými důvody použijeme též symbolu  $M(X)$ . Je-li částice  $X$  jednojaderná (atom He, iont  $\text{Cl}^-$ ), nazýváme  $M_X$  **relativní atomovou hmotností**. U molekul či vícejaderných iontů ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) hovoříme o **relativní molekulové hmotnosti**.

Nukleonům, elektronu a atomu  $^{12}\text{C}$  náleží tyto hodnoty relativních hmotností  $M$ :

	elektron	proton	neutron	nuklid $^{12}\text{C}$
$M$	$5,485799 \cdot 10^{-4}$	1,007276	1,008665	12 (přesně)

### 1.2.2 RELATIVNÍ ATOMOVÁ HMOTNOST PRVKU, RELATIVNÍ MOLEKULOVÁ HMOTNOST

**Relativní atomová hmotnost prvku  $M_{\text{at}}$**  je střední relativní hmotností atomů prvku, která odpovídá přirozené (v přírodě se nacházející) směsi jeho izotopů. Naleznete ji u symbolu prvku v periodické tabulce či v chemických tabulkách a je definována rovnicí **2**.

$$M_{\text{at}} = \sum x_i M_i \quad 2$$

Symbol  $x_i$  je relativní zastoupení  $i$ -tého izotopu v přirozené izotopické směsi a  $M_i$  jeho relativní atomová hmotnost. Zde  $x_i = N_i / \sum N_i$ , kde  $N_i$  je počet atomů  $i$ -tého izotopu v určitém množství prvku a  $\sum N_i$  je celkový počet atomů prvku v tomto množství obsažených. Tedy: Obsahuje-li např. přirozená izotopická směs uhlíku 98,892 % izotopu  $^{12}\text{C}$ , je jeho relativní zastoupení 0,98892. Tabulkových hodnot  $M_{\text{at}}$  používáme k výpočtům vždy, pokud naše úvahy nezahrnují látky, jejichž izotopické složení bylo záměrně změněno a významně se liší od složení přirozeného.

**Relativní hmotnost molekuly  $M_{\text{mol}}$**  je dána součtem relativních hmotností **všech** atomů v molekule vázaných. Například

$$M_{\text{mol}}(\text{HClO}_4) = M_{\text{at}}(\text{H}) + M_{\text{at}}(\text{Cl}) + 4M_{\text{at}}(\text{O})$$

Při výpočtu relativních hmotností iontů zanedbáváme hmotnost chybějících resp. přebývajících elektronů. Proto:

$$M_{\text{mol}}([\text{ClO}_4]^{1-}) = M_{\text{at}}(\text{Cl}) + 4M_{\text{at}}(\text{O}) \quad M(\text{Cu}^{2+}) = M_{\text{at}}(\text{Cu})$$

### 1.3 LÁTKOVÉ MNOŽSTVÍ A ODVOZENÉ VELIČINY.

#### 1.3.1 LÁTKOVÉ MNOŽSTVÍ.

**Látkové množství ( $n$ )** je veličinou, která nás přímo informuje o počtu molekul, atomů, iontů a libovolných jiných entit. Její hlavní jednotkou je **mol**. Jako základní jednotce jí náleží rozměr mol a je definována takto:

**Jeden mol** je množství látky, v němž je přítomno právě tolik uvažovaných elementárních entit, kolik je přítomno atomů v dvanácti gramech čistého izotopu uhlíku  $^{12}\text{C}$  přesně.

Hmotnost jednoho atomu uhlíku  $^{12}\text{C}$  činí  $^1m = M(^{12}\text{C}) \cdot u = 12 \cdot u$  kg a jejich počet ve dvanácti gramech nuklidu  $^{12}\text{C}$  (označme jej  $N_A$  - Avogadrovo číslo) bude následující:

$$N_A = 12 \cdot 10^{-3} \text{ (kg)} / 12 \cdot u \text{ (kg)} = 10^{-3} \text{ (kg)} / u \text{ (kg)} = 6,02213674 \cdot 10^{23}$$

Hodnota Avogadrova čísla je přibližná a je určena s přesností uhlíkové jednotky  $u$ . Dělíme-li počet určitých částic Avogadrovým číslem, získáme opět bezrozměrné číslo, které udává, kolika molům tento soubor odpovídá. Má-li látkové množství  $n$  vyjít v molech, je nutno počet částic  $N$  dělit Avogadrovou konstantou  $N_A$ , která souvisí s Avogadrovým číslem takto:

$$N_A = N_A \cdot \text{mol}^{-1}$$

Pro látkové množství  $n$  tedy platí:

$$n \text{ (mol)} = N / N_A$$

Vždy je třeba přesně specifikovat entitu, jejíž látkové množství máme na mysli. Například jeden mol vodíku. Jde o jeden mol atomů H, nebo o jeden mol molekul  $\text{H}_2$ ? Zpravidla budeme chápat údaj tak, že se jedná o 1 mol  $\text{H}_2$ , neboť je obecně známé, že existence atomárního vodíku za běžných podmínek nepřichází v úvahu. Látkové množství **formálních** (reálně neexistujících) atomů vodíku je ovšem v takové soustavě dvojnásobné.

Jednotky mol se často používá k vyjadřování hodnot veličiny, kterou bychom nazvali spíše „mnohostí“, než látkovým množstvím uvažované entity. Jde o tzv. **uskutečněný rozsah reakce  $\xi$** , jehož smysl je následující: Uvažme reakci  $\text{A} + 2 \text{B} \rightarrow 3 \text{C}$ . Zreaguje-li jedna molekula A se dvěma molekulami B, uskutečnil se právě jeden **elementární reakční obrát** daný stechiometrickou rovnicí. Proběhne-li takových obrátů  $N$ , pro veličinu  $\xi$  platí:

$\xi$  (mol) =  $N/N_A$ . Bude-li např.  $\xi = 2$  mol, zreagovaly právě dva moly látky A se čtyřmi moly látky B za vzniku šesti molů produktu C.

### 1.3.2 MOLÁRNÍ HMOTNOST.

Molární hmotnost  $M$  je hmotnost jednoho molu atomů či molekul uvažované látky. Její hlavní jednotkou je **kilogram na mol,  $\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$** , více se užívá dílčí jednotky gram na mol,  $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . V definiční rovnici **3** je  $m$  (kg) hmotnost množství látky, kterému právě odpovídá látkové množství  $n$  (mol).

$$M = m / n \quad \mathbf{3}$$

Vyjádříme nyní molární hmotnost látky o relativní molekulové hmotnosti  $M$ :

- Celková hmotnost  $N$  molekul látky je  $m$  (kg) =  $N \cdot M \cdot u$ .
- Odpovídající látkové množství je  $n$  (mol) =  $N/N_A$ , kde  $N_A = 10^{-3}/u$  ( $\text{mol}^{-1}$ ).
- Za  $m$  a  $n$  dosadíme do rovnice **3** a dostaneme:

$$M = M \cdot 10^{-3} \text{ (kg}\cdot\text{mol}^{-1}) = M \text{ (g}\cdot\text{mol}^{-1})$$

Molární hmotnost látky tedy činí tolik gramů, kolik udává její relativní molekulová hmotnost. Látkové množství  $n$  a hmotnost látky  $m$  váže vztah **4**, který má pro chemické výpočty zásadní význam. Ačkoliv je z rovnice **3** a následujících vztahů zcela zjevný, rozepíšeme jej včetně jednotek, neboť bývá velmi často chybně užíván.

$$n \text{ (mol)} = m \text{ (kg)} / M \text{ (kg}\cdot\text{mol}^{-1}) = m \text{ (kg)} / M \cdot 10^{-3} \text{ (kg}\cdot\text{mol}^{-1}) = m \text{ (g)} / M \text{ (g}\cdot\text{mol}^{-1}) \quad \mathbf{4}$$

### 1.3.3 MOLÁRNÍ OBJEM.

Molární objem  $V_m$  je objem jednoho molu **čisté** látky. Hlavní jednotkou je **metr krychlový na mol ( $\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$ )**, vedlejší jednotka litr na mol ( $\text{l}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) je často používána k vyjadřování molárního objemu plynů a kapalin. Hodnota  $V_m$  obecně závisí na teplotě a tlaku. U tuhých látek zpravidla zanedbatelně, u kapalin je zvláště vliv teploty markantní a musí být brán v úvahu. Molární objem plynů silně závisí na teplotě i tlaku. Molární hmotnost a molární objem látky jsou spolu vázány její hustotou  $\rho$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), neboť zjevně platí vztah **5**.

$$M = \rho \cdot V_m \quad \mathbf{5}$$

Chceme-li použít této rovnice k výpočtu molárního objemu tuhé látky, lze za běžných podmínek vliv teploty a tlaku na její hustotu zanedbat. To však neplatí pro látky kapalné, jejichž hustota s teplotou klesá a k výpočtu je třeba vzít hodnotu odpovídající aktuální teplotě. Tabelaované hustoty kapalných látek zpravidla odpovídají teplotě 293,15 K.

Chování plynných látek popisuje stavová rovnice ideálního plynu **6**, kde  $p$  (Pa) je tlak,  $V$  ( $\text{m}^3$ ) objem,  $n$  (mol) látkové množství plynu,  $T$  (K) teplota a  $R$  je molární plynová konstanta ( $R = 8,3145107 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ ).

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad \mathbf{6}$$

Odtud lze např. snadno určit počet molekul (atomů) plynu  $N$  přítomných v soustavě, neboť  $n = N/N_A$ . Pro molární objem plynu  $V_m$  lze dále psát rovnici **7**.

$$V_m = V/n = R \cdot T/p \quad \mathbf{7}$$

Výpočtem zjistíme, že při standardním tlaku  $p = 101325 \text{ Pa}$  (1 atm) a teplotách  $T = 273,15 \text{ K}$  ( $0^\circ\text{C}$ ) resp.  $T = 293,15 \text{ K}$  ( $20^\circ\text{C}$ ) náleží molárnímu objemu plynu tyto hodnoty:

$$V_{m(273,15 \text{ K})} = 22,414 \text{ dm}^3\cdot\text{mol}^{-1} = 22,414 \text{ l}\cdot\text{mol}^{-1}$$

$$V_{m(293,15 \text{ K})} = 24,057 \text{ dm}^3\cdot\text{mol}^{-1} = 24,057 \text{ l}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Dohodou jsou jako tzv. normální podmínky přijímány teplota 273,15 K a tlak 101325 Pa. Protože platí  $n = m/M$ , a  $\rho = m/V$ , můžeme stavovou rovnici 6 přepsat ve tvaru 8:

$$\rho = m/V = p \cdot M/(R \cdot T) \quad 8$$

Vztahů 6 až 8 lze používat jen tehdy, chová-li se uvažovaný plyn dostatečně ideálně. Tehdy platí:  $z = p \cdot V/(n \cdot R \cdot T) = 1$ . Odchylka hodnoty  $z$  (tzv. kompresibilitního faktoru) od jedné s klesající teplotou a rostoucím tlakem roste. Podle druhu plynu činí při  $t > 0^\circ\text{C}$  a tlacích 0,1 MPa až 0,5 MPa ( $\approx 1 - 5 \text{ atm}$ ) 1 – 5 %. V rozmezí tlaků 0,5 MPa – 2 MPa nabývá hodnot 2 – 10 %. Při výpočtech ze stavové rovnice je třeba brát v úvahu, zda uvažovaný plynný prvek netvoří víceatomové molekuly! Jeden mol **formálních** atomů vodíku vázaných v molekulách  $\text{H}_2$  bude mít proto za stejné teploty a tlaku poloviční objem než jeden mol atomů helia, které molekuly netvoří!

## 1.4 NĚKTERÉ DALŠÍ VELIČINY A JEDNOTKY.

### 1.4.1 BĚŽNÉ VELIČINY A JEJICH MIMOSYSTÉMOVÉ JEDNOTKY.

Délka: Základní jednotkou je metr (m). Mimosystémovou hojně používanou jednotkou je jeden angström  $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$ , v jaderných vědách se můžete setkat s jednotkou fermi,  $1 \text{ fermi} = 1 \text{ femtometr (fm)} = 10^{-15} \text{ m}$ .

Plošný obsah: Hlavní jednotka je metr čtverečný ( $\text{m}^2$ ). K vyjadřování účinných průřezů jaderných reakcí se často používá jednotky 1 barn,  $1 \text{ b} = 10^{-28} \text{ m}^2$ .

Energie: Jednotka elektronvolt již byla definována v kap. 1.1. Další dosud často používanou jednotkou je kalorie (cal). Lze se tak setkat s kaloriemi, které byly definovány různými způsoby a jejichž hodnoty se v rozmezí cca 1 % liší. V principu jde o teplo, které je třeba dodat jednomu gramu vody, aby se jeho teplota zvýšila ze  $14,5^\circ\text{C}$  na  $15,5^\circ\text{C}$  (tzv. „patnáctistupňová kalorie“). Pamatujme si hodnotu tzv. mezinárodní kalorie  $\text{cal}_{\text{IT}}$  přijaté roku 1956:  $\text{cal}_{\text{IT}} = 4,1868 \text{ J}$ . Jednotka práce litratmosféra (l·atm), dosud občas používaná v technické praxi, je práce, kterou vykoná systém, zvětší-li svůj objem o 1 litr proti stálému vnějšímu tlaku 1 atmosféra. Tedy:  $1 \text{ l} \cdot \text{atm} = 101,325 \text{ J}$ , neboť  $1 \text{ Pa} \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 10^{-3} \text{ J}$ .

Teplota: Symbolem  $T$  značíme thermodynamickou (dříve absolutní) teplotu, jejíž hlavní jednotkou je jeden Kelvin (K). Vedlejší jednotkou je Celsiův stupeň ( $^\circ\text{C}$ ), kterým vyjadřujeme hodnotu teploty  $t$  v relativní Celsiově stupnici. Velikosti Celsiova a Kelvinova stupně jsou stejné a mezi oběma teplotami platí následující vztah:  $T = t + 273,15$ . Zvláště v odborných pracích by mělo být přednostně užíváno thermodynamické teploty  $T$ .

Tlak  $p$  je odvozenou veličinou vyjadřující sílu působící na jednotku plochy. Jeho hlavní jednotkou je 1 pascal =  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ . Zejména v případě tlaku se často setkáváme s různými mimosystémovými jednotkami:

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ torr} = 1 \text{ Torr} = 133,322 \text{ Pa} & 1 \text{ fyzikální atmosféra} = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa} \\ 1 \text{ bar} = 1 \text{ b} = 10^5 \text{ Pa} & 1 \text{ libra na čtverečný palec} = \text{Psi} = 6894,76 \text{ Pa} \end{array}$$

Hodnoty tlaků zadané v těchto jednotkách je před výpočtem nutno převést do soustavy SI!

Objemu  $V$  náleží hlavní jednotka 1 metr krychlový =  $1 \text{ m}^3$ . V praxi se běžně používá jejich dílčích a násobných jednotek, které se tvoří dle zásad uvedených v kap. 1.1. V laboratoři se však spíše setkáme s vedlejší jednotkou objemu 1 litr =  $1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$  a jejími díly:

$$1 \text{ mililitr} = 1 \text{ ml} = 10^{-3} \text{ l} = 1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3 \quad 1 \text{ mikrolitr} = 1 \text{ \mu l} = 10^{-6} \text{ l} = 10^{-9} \text{ m}^3$$

Hustota  $\rho = m/V$  (též měrná či specifická hmotnost) je rovněž odvozenou veličinou, které náleží hlavní jednotka kilogram na metr krychlový ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ). Lze ji vyjadřovat pomocí všech jednotek plynoucích z definiční rovnice, dosadíme-li hodnoty  $V$  a  $m$  v jednotkách, které



soustava SI připouští. Zejména při práci s kapalinami a plyny bývá objem vyjadřován v litrech či jeho dílech. Tak můžeme hustotu udát v kilogramech na litr ( $\text{kg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) nebo v gramech na mililitr ( $\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ ). Zvláště při výpočtech zahrnujících hustotu látek je třeba dávat pozor, v jakých jednotkách dosazujeme její hodnoty! Dále nezapomínejte, že hustota kapalin a plynů závisí na teplotě.

#### 1.4.2 AKTIVITA

Tendenci (ochotu) radionuklidů podléhat samovolným (spontánním) jaderným přeměnám poměřujeme veličinou **aktivita**, kterou zavedeme již na tomto místě, neboť má v jaderně chemických výpočtech zásadní význam. Spontánními přeměnami jader rozumíme např. dezintegraci jádra za současné emise částice  $\alpha$ ,  $\beta^-$ , nebo  $\beta^+$ . Poněkud odlišným typem samovolné přeměny je záchyt elektronu (proces EZ, též K - záchyt), kdy jádro zachytí elektron elektronového obalu, jeho nukleonové číslo se nemění a protonové číslo o jednotku klesá. Jiným důležitým typem těchto přeměn je spontánní štěpení jader. Aktivita  $A$  je definována rovnicí 9, kde  $N$  je okamžitý počet jader podléhajících spontánní jaderné přeměně v čase  $t$ . Má tedy význam **okamžitě rychlosti** přeměny radioaktivních jader v čase  $t$  (počtu přeměn za jednotku času v čase  $t$ ) a náleží jí rozměr  $[A] = \text{s}^{-1}$ .

$$A = -\frac{dN}{dt} \quad 9$$

Znaménko minus je v rovnici 9 proto, aby hodnoty aktivity byly kladné, neboť počet jader  $N$  s časem klesá a hodnota  $dN/dt$  je záporná. Experimentálně bylo zjištěno, že  $dN/dt = -\lambda \cdot N$ , kde  $\lambda$  ( $\text{s}^{-1}$ ) je přeměnová (transmutační, rozpadová) konstanta daného radionuklidu. Separací proměnných dostáváme  $dN/N = -\lambda \cdot dt$  a integrací získáme rovnici 10, kterou znáte již ze střední školy. V ní symbol  $N_0$  značí počet jader v čase  $t = 0$ .

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad 10$$

S přihlédnutím k rovnici 9 získáme z rovnice 10 pro aktivitu  $A$  vztah 11, kde  $A_0$  je aktivita nuklidu v čase  $t = 0$ .

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = \lambda \cdot N = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad 11$$

**Hlavní jednotkou aktivity je becquerel = Bq,  $[\text{Bq}] = \text{s}^{-1}$ .** Často se setkáte se starší jednotkou 1 curie = 1 Ci =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq =  $3,7 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1}$ . Rozpadová konstanta  $\lambda$  se vyjadřuje v reciprokových sekundách  $\text{s}^{-1}$ , minutách  $\text{m}^{-1}$ , hodinách  $\text{h}^{-1}$ , dnech  $\text{d}^{-1}$  a rocích  $\text{r}^{-1}$ . Poločas přeměny radionuklidu  $T_{1/2}$  je doba, za kterou klesnou počáteční hodnoty  $A_0$  resp.  $N_0$  na polovinu. Dosadte do rovnice 10 za čas  $t = T_{1/2}$ ,  $N = N_0/2$  a snadno získáte známý vztah 12:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda \quad 12$$

Vyjádřeme nyní transmutační konstantu jako  $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ . Dosazením do rovnic 10 a 11 získáme praktické vztahy 13, 14, vhodné pro rychlý výpočet aktivity radionuklidu v čase  $t$ .

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \quad 13$$

$$A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \quad 14$$

Odtud je okamžitě vidět, že v čase  $t$ , který je např. roven třem poločasům, klesnou počáteční aktivita i počet atomů faktorem  $(1/2)^3 = 1/8$ , tj. na 12,5 % počáteční hodnoty.

Ukažme nyní souvislost aktivity s okamžitým hmotnostním množstvím radionuklidu. Počet atomů radionuklidu  $N$  lze vyjádřit jako  $N = m \cdot N_A / M$ , kde  $m$  je hmotnost nuklidu,  $M$  jeho molární hmotnost a  $N_A$  Avogadrova konstanta. Dosadíme za  $N$  do rovnice 11 a dostaneme:

$A = \lambda \cdot m \cdot N_A / M$ . Vyjádříme  $m$ , za transmutační konstantu dosadíme dle rovnice **12**  $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$  a máme rovnici **15**, která váže hmotnostní množství nuklidu s jeho aktivitou.

$$m = \frac{A \cdot M}{N_A \cdot \lambda} = \frac{A \cdot M \cdot T_{1/2}}{N_A \cdot \ln 2} \quad \mathbf{15}$$

Nezapomeňte! Je-li aktivita  $A$  v becquerelech ( $s^{-1}$ ), dosadíme poločas v sekundách! Rovněž součin  $\lambda \cdot t$  figurující v uvedených vztazích je třeba vyjadřovat v konsistentních jednotkách: bude-li např. konstanta  $\lambda$  udána v reciprokých hodinách, čas  $t$  je nutno vyjádřit v hodinách.

## 1.5 ŘEŠENÉ PŘÍKLADY.

### Příklad 1

Vypočítejte hmotnost atomu zlata  ${}^1m$ . Relativní atomová hmotnost zlata je  $M = 196,9665$ .

Řešení:

Z definiční rovnice **1** plyne  ${}^1m = M \cdot u$ , kde  $u = 1,66054021 \cdot 10^{-27}$  kg. Po dosazení a zaokrouhlení získáme výsledek  ${}^1m = \mathbf{3,270708 \cdot 10^{-25} \text{ kg}}$ .

Závěr: Hmotnost jednoho atomu zlata je  $3,270708 \cdot 10^{-25}$  kg.

### Příklad 2

Jaká je molární hmotnost  $M$  dodekahydrátu síranu draselno-chromitého?

Řešení:

Molekulový vzorec látky je  $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . Relativní atomové hmotnosti prvků činí  $M_{\text{H}} = 1,00797$ ,  $M_{\text{O}} = 15,9994$ ,  $M_{\text{S}} = 32,064$ ,  $M_{\text{K}} = 39,102$ ,  $M_{\text{Cr}} = 51,996$ . Pro relativní molekulovou hmotnost látky platí:  $M = 24 \cdot M_{\text{H}} + 20 \cdot M_{\text{O}} + 2 \cdot M_{\text{S}} + M_{\text{K}} + M_{\text{Cr}} = 499,405$ . Ze vztahu mezi  $M$  a hledaným  $M$  ( $M = M \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) plyne:  $M = \mathbf{499,405 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}$ .

Závěr: Molární hmotnost dodekahydrátu síranu draselno-chromitého činí  $499,406 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

### Příklad 3

Přírodní dusík je směsí izotopů  ${}^{14}\text{N}$  a  ${}^{15}\text{N}$  s relativními atomovými hmotnostmi  $M_{14} = 14,00307$  a  $M_{15} = 15,00011$ . Relativní atomová hmotnost přírodního dusíku je  $M_{\text{N}} = 14,00670$ . Vypočítejte relativní zastoupení obou izotopů.

Řešení:

Nechť je  $x$  relativní zastoupení izotopu  ${}^{14}\text{N}$  a  $y$  zastoupení izotopu  ${}^{15}\text{N}$ . Z definiční rovnice **2** plyne  $x \cdot M_{14} + y \cdot M_{15} = M_{\text{N}}$ . Dále platí:  $x + y = 1$  (v přírodním dusíku jsou zastoupeny jen tyto dva izotopy). Z první rovnice máme:  $x = (M_{15} - M) / (M_{15} - M_{14}) = \mathbf{0,99636}$ . Z druhé rovnice plyne:  $y = 1 - x = \mathbf{0,00364}$ .

Závěr: Přírodní dusík obsahuje 99,636 % izotopu  ${}^{14}\text{N}$  a 0,364 % izotopu  ${}^{15}\text{N}$ .

### Příklad 4

Určete počet molekul chloridu křemičitého  $\text{SiCl}_4$  ve 380 gramech této látky. Relativní atomové hmotnosti křemíku a chloru činí  $M_{\text{Si}} = 28,0855$  a  $M_{\text{Cl}} = 35,453$ .

Řešení:

Nechť  $m$  = hmotnost uvažovaného množství  $\text{SiCl}_4$ ,  $M$  = molární hmotnost  $\text{SiCl}_4$ ,  $N_A$  = Avogadrova konstanta,  $N$  = neznámý počet molekul  $\text{SiCl}_4$ . Pro  $N$  zjevně platí rovnice **A**, kde  $n$  (mol) je látkové množství  $\text{SiCl}_4$ .

$$N = n \cdot N_A \quad \mathbf{A}$$

Relativní molekulová hmotnost  $\text{SiCl}_4$  činí  $M = M_{\text{Si}} + 4M_{\text{Cl}}$  a molární hmotnost  $\text{SiCl}_4$  je  $M = M \cdot \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ . Z definiční rovnice **3** plyne pro látkové množství  $\text{SiCl}_4$   $n = m / M$ . Dosadíme do tohoto vztahu za  $M$  a celý výraz pro  $n$  zavedeme do rovnice **A**, čímž získáme hledané řešení. Dosadíme vstupní data, vyčíslíme a zaokrouhlíme.

$$N = \frac{m \text{ (g)} \cdot N_A \text{ (mol}^{-1}\text{)}}{M \text{ (g} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}} = \frac{m \text{ (g)} \cdot N_A \text{ (mol}^{-1}\text{)}}{(M_{\text{Si}} + 4M_{\text{Cl}}) \cdot \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = \frac{380 \cdot 6,0221 \cdot 10^{23}}{(28,0855 + 4 \cdot 35,453)} = \mathbf{1,35 \cdot 10^{24}}$$

*Poznámka:* Ve výsledném vztahu jsou záměrně vyznačeny jednotky veličin a rozměr Avogadrovy konstanty. Vidíte například, že kdybychom dosadili hmotnost  $m$  v kilogramech, musíte dosadit molární hmotnost v  $\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ . Obě veličiny musíme vzít k výpočtu vždy v konsistentních jednotkách! Zanedbání této zásady je pravděpodobně nejvydatnějším zdrojem chyb v chemických výpočtech.

Závěr: Ve 380 gramech  $\text{SiCl}_4$  je obsaženo  $1,35 \cdot 10^{24}$  molekul této látky.

### Příklad 5

Hustota beryllia při  $20^\circ\text{C}$  činí  $\rho = 1,85 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , jeho relativní atomová hmotnost je  $M_{\text{Be}} = 9,01218$ . Vypočítejte molární objem  $V_m$  tohoto kovu v  $\text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ . Jaká je jeho atomová hustota  $d_{\text{at}}$  (počet atomů v jednotce objemu) v  $\text{cm}^{-3}$ ? Jaká plošná atomová hustota  $s_{\text{at}}$  (počet atomů připadající na jednotku plochy fólie) v  $\text{cm}^{-2}$  odpovídá fólii tloušťky  $r = 0,1 \text{ mm}$ ?

Řešení:

Víme: **hustota  $\times$  molární objem = molární hmotnost**. Proto  $V_m = M / \rho$ . Molární hmotnost beryllia je  $M = M_{\text{Be}} \cdot \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$  a pro molární objem máme  $V_m = M_{\text{Be}} \cdot \text{g} \cdot \text{mol}^{-1} / \rho \text{ (g} \cdot \text{cm}^{-3}\text{)} = 9,01218 / 1,85 = 4,87 \text{ cm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} = \mathbf{4,87 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}}$ .

Výpočet atomové hustoty  $d_{\text{at}}$ : Hustota  $\rho$  udává hmotnost jednotkového objemu. Dělením molární hmotností najdeme látkové množství v jednotce objemu. Násobením Avogadrovou konstantou ( $\text{mol}^{-1}$ ) získáme žádanou veličinu  $d_{\text{at}}$  - tj. počet atomů v jednotce objemu.

$$d_{\text{at}} = \rho \text{ (g} \cdot \text{cm}^{-3}\text{)} \cdot N_A \text{ (mol}^{-1}\text{)} / M \text{ (g} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)} = 1,85 \cdot 6,0221 \cdot 10^{23} / 9,01218 = \mathbf{1,24 \cdot 10^{23} \text{ cm}^{-3}}$$

Označíme-li plochu fólie  $S$ , můžeme pro plošnou atomovou hustotu  $s_{\text{at}}$  psát:

$$s_{\text{at}} = r \cdot S \cdot d_{\text{at}} / S = r \cdot d_{\text{at}} = 0,01 \cdot 1,24 \cdot 10^{23} = \mathbf{1,24 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-2}}$$

Závěr: Molární objem beryllia činí  $4,87 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ , atomová hustota je  $1,24 \cdot 10^{23} \text{ cm}^{-3}$  a fólii tloušťky  $0,1 \text{ mm}$  náleží plošná atomová hustota  $1,24 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ .

### Příklad 6

Hustota přirozené izotopické směsi neznámého plynu při teplotě  $293,15 \text{ K}$  a tlaku  $101,325 \text{ Pa}$  činí  $\rho = 1330,1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ . O jaký plyn se jedná? Předpokládejte ideální chování plynu.

Řešení:

Je třeba určit molární hmotnost plynu  $M$ . Mohli bychom vyjít ze stavové rovnice ve tvaru **8**, snadněji však  $M$  vypočítáme ze vztahu **5**, neboť známe molární objem plynu za daných podmínek ( $V_{m(293,15 \text{ K})} = 24,057 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1}$ ). Hustotu dosadíme v gramech na liter a dostaneme:

$$M = \rho \cdot V_m = 1,3301 \text{ (g} \cdot \text{l}^{-1}\text{)} \cdot 24,057 \text{ (l} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)} = \mathbf{31,998 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

Protože  $M = M \cdot \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ , relativní atomová hmotnost plynu činí  $M = 31,998$ . Tato hodnota je velmi blízká atomové hmotnosti síry ( $32,06$ ), která za uvažovaných podmínek nemůže být v plynném stavu. Hodnota  $M / 2 = 15,999$  však odpovídá relativní atomové hmotnosti kyslíku ( $15,9994$ ), který se za těchto podmínek nachází ve formě dvouatomových molekul  $\text{O}_2$ .

Závěr: Neznámým plynem je kyslík.

### Příklad 7

Hustota neznámého plynu  $\rho$  je  $11\times$  vyšší, než hustota helia  $\rho_{\text{He}}$  při stejné teplotě a tlaku. Je oním plynem CO, CO<sub>2</sub>, nebo Br<sub>2</sub>? Předpokládejte, že se všechny plyny chovají ideálně, relativní atomové hmotnosti plynů jsou:  $M_{\text{He}} = 4,003$ ,  $M(\text{CO}) = 28,01$ ,  $M(\text{CO}_2) = 44,01$  a  $M(\text{Br}_2) = 159,81$ .

#### Řešení:

Plyny se chovají ideálně, za stejné teploty a tlaku mají stejný molární objem. Z rovnice 5 okamžitě plyne  $\rho / \rho_{\text{He}} = M / M_{\text{He}} = M / M_{\text{He}}$ , kde  $M$  a  $M$  je molární a relativní molekulová hmotnost neznámého plynu. Potom  $M = M_{\text{He}} \cdot \rho / \rho_{\text{He}} = 4,003 \cdot 11 \cong 44,03$ .

Závěr: Neznámým plynem je oxid uhličitý.

### Příklad 8

Jaké látkové množství  $n_{\text{P}}$  (mol) izotopu fosforu <sup>32</sup>P bylo přítomno v preparátu v okamžiku, kdy jeho celková aktivita činila  $A = 16$  mCi a jaká hmotnost nuklidu <sup>32</sup>P  $m_{\text{P}}$  tomuto množství odpovídala? Za jak dlouho klesne aktivita preparátu na 20 % původní hodnoty? Molární hmotnost nuklidu <sup>32</sup>P je  $M = 31,973908$  g·mol<sup>-1</sup> a poločas přeměny  $T_{1/2} = 14,3$  d.

#### Řešení:

Dle rovnic 11 a 12 lze pro počet atomů nuklidu  $N$  a jeho látkové množství  $n_{\text{P}}$  psát:

$$N = A / \lambda = A \cdot T_{1/2} / \ln 2 \qquad n_{\text{P}} = A \cdot T_{1/2} / (N_{\text{A}} \cdot \ln 2)$$

Aktivitu dosadíme v becquerelech ([Bq] = s<sup>-1</sup>) a poločas přeměny v sekundách. Tedy:

$$n_{\text{P}} = A \cdot T_{1/2} / N_{\text{A}} \cdot \ln 2 = 16 \cdot 3,7 \cdot 10^7 \text{ (Bq)} \cdot 14,3 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ (s)} / [\ln 2 \cdot N_{\text{A}} \text{ (mol}^{-1}\text{)}] = 1,75 \cdot 10^{-9} \text{ mol.}$$

Hmotnost nuklidu tak činí  $m_{\text{P}} = n_{\text{P}} \cdot M = 1,75 \cdot 10^{-9} \text{ (mol)} \cdot 31,97 \text{ (g} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)} = 5,59 \cdot 10^{-8} \text{ g}$ .

Dobu, za kterou klesne aktivita na 20 %, lze vypočítat z rovnice 11. Zde raději využijeme vztahu 14, neboť je zadán poločas přeměny. Rovnici 14 zlogaritmujeme a vyjádříme čas  $t$ . Ze zadání plyne, že v hledaném čase  $t$  platí  $A / A_0 = 0,2$ . Dosazením této hodnoty a poločasu do vztahu pro  $t$  okamžitě získáme výsledek v jednotkách, v nichž jsme dosadili poločas.

$$t = T_{1/2} \cdot \ln (A / A_0) / \ln (1/2) = 14,3 \text{ (d)} \cdot \ln (0,2) / \ln 0,5 = 33,2 \text{ d}$$

Závěr: Látkové množství nuklidu <sup>32</sup>P činí  $1,75 \cdot 10^{-9}$  mol a odpovídá mu hmotnost 55,9 ng. Jeho aktivita klesne o 80 % za 33,2 dnů, tj. za  $2,32 T_{1/2}$ .

### Příklad 9

Nuklid <sup>90</sup>Y s poločasem  $T_{1/2} = 64,8$  hodin přechází beta rozpadem na stabilní zirkonium <sup>90</sup>Zr. Za jakou dobu  $t$  nabude jeho aktivita  $A$  právě 35% původní hodnoty  $A_0$ ?

#### Řešení:

Výpočet bychom mohli provést dle rovnice 11. S výhodou však vyjdeme z rovnice 14, aniž bychom vyjádřovali rozpadovou konstantu yttria dle rovnice 12. Rovnici 14 zlogaritmujeme, vyjádříme neznámou  $t$ , dle zadání dosadíme  $A_0 / A = 1 / 0,35$ , vyčíslíme  $t$  a řádně zaokrouhlíme:  $t = T_{1/2} \cdot \ln (A_0 / A) / \ln 2 = 64,8 \cdot \ln (1 / 0,35) / \ln 2 = 98,1 \text{ h}$ .

Závěr: Aktivita yttria se zmenší o 35% za 98,1 hodin.

## 1.6 PŘÍKLADY K ŘEŠENÍ.

1. Relativní atomová hmotnost scandia je 44,956. Vypočtete hmotnost jednoho atomu přírodního scandia, víte-li, že scandium je monoizotopickým prvkem.

2. Vypočtete, jakou hmotnost v gramech představuje  $1,51 \cdot 10^{23}$  atomů přírodního zlata (je monoizotopické), a určete v daném množství počet molů. Relativní atomová hmotnost zlata je 199,967.
3. Kolik atomů izotopu  $^{12}\text{C}$  připadá v přírodním uhlíku na jeden atom izotopu  $^{13}\text{C}$ , je-li v něm relativní zastoupení izotopu  $^{12}\text{C}$   $x_{12} = 0,98892$  a izotopu  $^{13}\text{C}$   $x_{13} = 0,01108$ ?
4. Vypočtete, kolik atomů stříbra obsahuje  $1 \text{ cm}^3$  ryzího stříbra, jehož relativní atomová hmotnost je 107,87 a měrná hmotnost  $\rho = 10,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .
5. Přírodní hořčík obsahuje tři izotopy:  $^{24}\text{Mg}$ ,  $^{25}\text{Mg}$  a  $^{26}\text{Mg}$ , kterým v témže pořadí náleží relativní atomové hmotnosti 23,9850, 24,9858 a 25,9826. Ve stejném pořadí jejich relativní zastoupení v přirozené izotopické směsi činí 0,7899, 0,1000 a 0,1101. Vypočtete relativní atomovou hmotnost přírodního hořčíku.
6. V přírodě nacházíme dva izotopy europia.  $^{151}\text{Eu}$  s relativní atomovou hmotností 150,9196 a  $^{153}\text{Eu}$ , jemuž náleží hmotnost 152,9209. Relativní atomová hmotnost europia je 151,96. Vypočtete poměrné zastoupení obou izotopů v přirozené izotopické směsi.
7. Přírodní stříbro je směsí izotopů  $^{109}\text{Ag}$  a  $^{107}\text{Ag}$ . Izotopu  $^{107}\text{Ag}$  náleží relativní atomová hmotnost 106,905 a jeho poměrné zastoupení činí 0,5182. Relativní atomová hmotnost přírodního stříbra je 107,868. Vypočtete relativní atomovou hmotnost izotopu  $^{109}\text{Ag}$ .
8. Přírodní lithium je směs izotopů  $^6\text{Li}$  a  $^7\text{Li}$  s relativním zastoupením 0,0754 a 0,9246. Vypočítejte relativní hmotnost atomu izotopu  $^7\text{Li}$ , víte-li, že relativní atomová hmotnost izotopu  $^6\text{Li}$  je 6,015 a střední relativní atomová hmotnost lithia  $M(\text{Li}) = 6,939$ .
9. Relativní zastoupení jednotlivých izotopů v přirozené izotopické směsi křemíku je následující: 0,9228 pro izotop  $^{28}\text{Si}$ , 0,0467 pro izotop  $^{29}\text{Si}$  a 0,0305 pro izotop  $^{30}\text{Si}$ . Kolik atomů izotopu  $^{30}\text{Si}$  je v jednom kilomolu přírodního křemíku?
10. Jistý prvek se vyskytuje v přírodě jako směs tří izotopů, kterým náleží relativní atomové hmotnosti 19,992, 20,994 a 21,990. Jejich relativnímu zastoupení v přirozené izotopické směsi náleží ve stejném pořadí tyto hodnoty: 0,9051, 0,0027 a 0,0922. Vypočtete relativní atomovou hmotnost tohoto prvku a identifikujte jej.
11. Klidová hmotnost atomu neznámého prvku je  $3,158 \cdot 10^{-22} \text{ g}$ . Určete relativní atomovou hmotnost a zjistěte, o který prvek se jedná.
12. Poloměr atomu cesia je  $2,68 \text{ \AA}$ . Jak dlouhý by byl řetězec vzájemně dotýkajících se atomů, jež jsou obsaženy v jednom mikrogramu čistého kovu?
13. Kovové palladium je schopno vázat až 0,60 atomu vodíku na jeden atom kovu. Kolik činí přírůstek hmotnosti vzorku palladia, jehož původní hmotnost byla 10 g, a který byl plně nasycen vodíkem? Jaký objem by tomuto množství vodíku za normálních podmínek náležel?
14. Letální dávka kyanidu draselného je asi 0,08 mmol na 1 kg hmotnosti lidského těla. Jaká hmotnost KCN představuje smrtelné nebezpečí pro osobu vážící 80 kg?
15. Hustota hliníku činí  $2,699 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Vypočítejte molární objem  $V_m$  kovu v tuhém stavu, objem jednoho atomu  $V_{at}$  a poloměr atomu hliníku  $r_{at}$  za předpokladu, že atom má tvar koule.
16. V nádobě obsahu 15 l je přechováván za normálních podmínek dusík. Vypočtete, kolik molekul dusíku je v nádobě.
17. Hustota jednoatomového plynu má při tlaku  $p = 10^5 \text{ Pa}$  a teplotě  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  hodnotu  $164,2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ . Předpokládejte ideální chování plynu, vypočtete jeho relativní atomovou hmotnost a identifikujte jej.

18. Vypočítejte, jaká je za normálních podmínek hustota neznámého plynu jestliže tento plyn má při teplotě 24 °C a tlaku 102,658 kPa hustotu 1,918 kg·m<sup>-3</sup>.
19. Neznámému prvku náleží v plynném stavu za určité teploty a tlaku 40 x vyšší hustota než heliu za stejných podmínek. Předpokládejte ideální chování plynu, vypočtěte jeho relativní molekulovou hmotnost a identifikujte jej.
20. Kolik molekul obsahuje 20 g oxidu uhličitého? Kolik molů uhlíku je v tomto množství sloučeno?
21. V tlakové láhvi o objemu 20 l je při teplotě  $t = 20$  °C uzavřeno 4,800 kg argonu. Jaké je látkové množství plynu a jaký je jeho tlak?
22. Jakému látkovému množství mědi odpovídá  $3,31 \cdot 10^{24}$  atomů tohoto prvku a jaká je jeho hmotnost?
23. Kolika molům fosforu odpovídá 120,00 gramů oxidu fosforečného?
24. Kolik kilomolů a kolik metrů krychlových (měřeno za normálních podmínek) oxidu siřičitého unikne do ovzduší při spálení 10 tun černého uhlí, které obsahuje 1,5 hmot. % síry? Jakému množství kyseliny sírové toto množství SO<sub>2</sub> odpovídá?
25. Tepelným rozkladem 1,820 g uhličitanu jistého kovu vzniklo 0,870 g oxidu tohoto kovu. Najděte jeho relativní atomovou hmotnost a identifikujte jej, víte-li, že mu v uhličitanu i oxidu náleží oxidační číslo II.
26. Vyjádřete v molech látková množství odpovídající těmto množstvím různých látek: a)  $1,5 \cdot 10^{16}$  molekul BF<sub>3</sub>, b) 100 g H<sub>2</sub>O, c) 500,0 g Fe, d) 10,0 mg NO<sub>2</sub>.
27. Vypočtěte, kolik atomů vodíku zůstane v přebytku, sloučí-li se 1,002 kilomolu vodíku s  $6,023 \cdot 10^{26}$  molekulami chlóru.
28. V roztoku síranu jistého alkalického kovu byl obsažen právě jeden gram této látky. Přídavkem nadbytku roztoku BaCl<sub>2</sub> byly všechny síranové ionty převedeny do sraženiny BaSO<sub>4</sub>, jejíž hmotnost činila 1,3393 g. Najděte relativní atomovou hmotnost kovu a identifikujte jej.
29. Z roztoku obsahujícího 2 gramy rozpustného chromanu jistého kovu bylo nadbytkem roztoku chloridu barnatého vysráženo 1,766 g nerozpustného chromanu barnatého. Určete relativní atomovou hmotnost kovu a identifikujte jej.
30. Jisté množství kovu se sloučí právě s 0,5 g kyslíku na oxid. Totéž množství kovu se sloučí právě s 4,994 g halogenu za vzniku příslušného halogenidu. Najděte molární hmotnost halogenu a identifikujte jej.
31. Jistý prvek X reaguje s kyslíkem za vzniku oxidu XO<sub>2</sub>, přičemž se 0,6006 g tohoto prvku sloučí právě s 0,05 mol kyslíku O<sub>2</sub>. O jaký prvek jde?
32. Do reakce je třeba zavést 0,1520 molu sodíku ve formě dusitanu sodného. Kolik gramů dusitanu sodného je třeba odvážit?
33. Kolik molů vody vznikne sloučením 30 m<sup>3</sup> vodíku a 20 m<sup>3</sup> kyslíku, jsou-li tyto objemy měřeny za normálních podmínek (273,15 K a 101325 Pa)? Který z obou plynů je v přebytku a jaký je za normálních podmínek objem jeho nezreagovaného podílu?
34. Jaké látkové množství oxidu siřičitého vznikne úplným spálením 500 kg síry? Jaká bude jeho hmotnost?
35. Vypočtěte hmotnost a látkové množství čtyřfosforečnanu šestisodného Na<sub>6</sub>P<sub>4</sub>O<sub>13</sub>, v němž je obsaženo právě 11 molů fosforu.

36. Kolik molů dusíku a kolik molů vodíku se sloučilo, jestliže vzniklo právě 102,2 g amoniaku?
37. Chlorid křemičitý  $\text{SiCl}_4$  a trichlorsilan  $\text{SiHCl}_3$  jsou výchozími látkami pro výrobu vysoce čistého křemíku. Vypočítejte, jaká bude hustota jejich par při teplotě  $85^\circ\text{C}$  a tlaku 101 kPa.
38. Jaké látkové množství boru je třeba k přípravě 80,00 gramů fluoridu boritého a jaké hmotnosti boru odpovídá, počítáme-li s nezbytným nadbytkem boru ve výši 25 hmotnostních procent?
39. Galenitový koncentrát obsahuje 90 hmotnostních procent siřníku olovnatého  $\text{PbS}$ . Kolik tun olova lze teoreticky získat z jedné tuny této suroviny? Jaký byl skutečný výtěžek, jestliže bylo získáno 500 kg olova?
40. Aktivita radionuklidu  $^{102}\text{Tc}$  činila 160 MBq. Za 18 minut poklesla na hodnotu 10 MBq. Jaký je poločas přeměny tohoto nuklidu a jaká mu náleží rozpadová konstanta  $\lambda$ ?
41. Poločas přeměny radionuklidu  $^{60}\text{Co}$  je 5,29 roku. Jaká je celková hmotnost a jaké je látkové množství nuklidu přítomného ve zdroji o aktivitě 120 GBq?

### 1.7 VÝSLEDKY PŘÍKLADŮ K 1. KAPITOLE.

1.  $7,4651 \cdot 10^{-26}$  kg 2. 0,251 mol Au, tj. 50,132 g Au 3.  $^{12}\text{C}:^{13}\text{C} = 89,25:1$  4.  $5,863 \cdot 10^{22}$  atomů Ag 5.  $M = 24,31$  6. 0,48 pro  $^{151}\text{Eu}$  a 0,52 pro  $^{153}\text{Eu}$  7.  $M = 108,9$  8.  $M(^7\text{Li}) = 7,014$  9.  $1,837 \cdot 10^{25}$  atomů 10.  $M = 20,18$  a jde o neon 11. Osmium,  $M = 190,2$  12.  $2,429 \cdot 10^6$  m 13.  $5,68 \cdot 10^{-2}$  g;  $631,5 \text{ cm}^3$  14. 0,41 g 15.  $V_m = 9,97 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $V_{\text{at}} = 1,660 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^3$ ,  $r_{\text{at}} = 1,584 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$  16.  $4,031 \cdot 10^{23}$  molekul 17.  $M = 4,00$  - tj. helium 18.  $2,0595 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  19.  $M = 160,1$  - plynný brom  $\text{Br}_2$  20.  $2,7368 \cdot 10^{23}$  molekul  $\text{CO}_2$ , 0,4544 mol C 21. 120,2 mol; 14,64 MPa 22. 5,496 mol; 349,2 g 23. 1,6908 mol 24. 4,678 kmol  $\text{SO}_2$ ; 104,83  $\text{m}^3$   $\text{SO}_2$ ; 458,81 kg  $\text{H}_2\text{SO}_4$  25.  $M = 24,304$ , Mg 26. a)  $2,5 \cdot 10^{-8}$  mol, b) 5,551 mol, c) 8,953 mol, d)  $2,17 \cdot 10^{-4}$  mol 27.  $1,2 \cdot 10^{24}$  atomů vodíku 28.  $M = 39,1$ ; K 29.  $M = 85,45$ ; Rb 30.  $M = 79,904$ ; Br 31.  $M = 12,012$ ; C 32. 10,49 g 33. Vznikne 1338,7 mol  $\text{H}_2\text{O}$ , přebývá 223,0 mol  $\text{O}_2$ , tj.  $5 \text{ m}^3$ . 34. 15,63 kmol, 1001 kg 35. 1292,0 g  $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ , 2,75 mol  $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$  36. 3 mol  $\text{N}_2$ , 9 mol  $\text{H}_2$  37.  $\text{SiCl}_4$ :  $5,77 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ ,  $\text{SiHCl}_3$ :  $4,60 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$  38. 1,475 mol; 15,94 g 39. 0,7794 t; 64,15 % 40.  $T_{1/2} = 4,5 \text{ m}$ ,  $\lambda = 0,154 \text{ m}^{-1} = 2,57 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  41.  $2,874 \cdot 10^{-3} \text{ g}$ ;  $4,796 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$

## 2 Oxidační číslo.

Oxidační číslo charakterizuje způsob zapojení atomu do chemických vazeb v molekulách či vícejaderných iontech a zpravidla dovoluje jednoduché objasnění jejich stechiometrie (složení). Ačkoliv jeho roli nelze v tomto smyslu přeceňovat, je základem názvosloví anorganické chemie a usnadňuje úpravu redukčně oxidačních chemických rovnic. I když je v některých případech obtížné o hodnotě oxidačního čísla vůbec rozhodnout, zůstává východiskem při řešení každého problému zahrnujícího redukčně oxidační proces.

### 2.1 DEFINICE OXIDAČNÍHO ČÍSLA.

**Definice:** Oxidační číslo atomu prvku je hodnotou a znaménkem shodné s nábojem, který by na daném atomu byl přítomen, kdybychom elektrony každé vazby, kterými je poután k jiným atomům, přisoudili **elektronegativnějšímu** atomu.

Při určování oxidačního čísla z definice vycházíme ze strukturního elektronového vzorce dané molekuly (iontu) a hodnot elektronegativit prvků. Pro rychlou orientaci si pamatujme: Ve skupinách periodické tabulky elektronegativita prvků roste ve směru zdola nahoru a v periodách zleva doprava. Pro nekovy platí pravidlo velmi dobře, četnější odchylky lze nalézt u kovů a polokovů (metaloidů). Oxidační číslo (zvané též číslo Stockovo) vyznačujeme římskými číslicemi takto:  $O^{-II}$  je kyslík v oxidačním stavu  $-II$ , zatímco symbol  $O^{2-}$  znamená oxidový aniont. Znaménko  $+$  lze u oxidačního čísla vynechat.

### 2.2 RYCHLÉ URČENÍ OXIDAČNÍHO ČÍSLA.

Stanovení oxidačního čísla z definice je zejména u složitějších molekul poměrně pracné. Většinou je lze rychleji určit s využitím následujících pravidel:

- a) Atomům nesloučených prvků náleží oxidační číslo **nula**. Nesloučeným prvkem rozumíme i prvek vázaný v homonukleární (stejnojaderné) molekule ( $N_2$ ,  $Cl_2$ ,  $S_6$ , atp.).
- b) Součet oxidačních čísel všech atomů v heteronukleární (různójaderné) molekule je **nula**, ve vícejaderném iontu je roven **náboji** iontu. Oxidační číslo prvku ve stavu jednoatomového iontu je rovno náboji **iontu**.
- c) Vodík sloučený s nekovy má oxidační číslo I, v hydridech a hydrido-sloučeninách mu náleží oxidační číslo  $-I$ .
- d) Je-li v molekule vzájemně vázáno  $N$  atomů téhož prvku, připišeme každému z nich oxidační číslo  $z/N$ , kde  $z$  je náboj iontu, který z uvažovaných  $N$  atomů vznikne po rozdělení elektronů vazeb, jimiž je tato skupina vázána k jiným atomům. Objasněme na příkladu disulfanu  $H-\bar{S}-\bar{S}-H$ . Elektronegativity vodíku a síry jsou  $X_H = 2,2$  a  $X_S = 2,6$ . Protože je  $X_H < X_S$ , přiřadíme čtyři elektrony vazeb S-H atomům síry, dva atomy vodíku oddělíme jako ionty  $H^+$  a vodíku tedy náleží oxidační číslo  $+I$ , jak plyne i z pravidla c). Zbývá disulfidový aniont  $[\bar{S}-\bar{S}]^{2-}$ . Oba atomy jsou rovnocenné a proto každému připišeme po jednom ze dvou elektronů vazby S-S. Dostaneme dva ionty  $[\bar{S}]^{1-}$  a dle definice oxidačního čísla i pravidla b) náleží síře oxidační číslo  $-I$ .
- e) Kyslík má téměř vždy oxidační číslo  $-II$ . Důležitou výjimkou jsou peroxosloučeniny, kde kyslíku vázanému v peroxidových aniontech  $[\bar{O}-\bar{O}]^{2-}$  resp. peroxoskupinách  $\cdot\bar{O}-\bar{O}\cdot$  náleží oxidační číslo  $-I$ . S alkalickými a některými dalšími kovy tvoří kyslík hyperoxydy (superoxydy) a ozonidy. V hyperoxydech (např.  $KO_2$ ) mu připišeme oxidační číslo  $-1/2$  a



v ozonidech (např.  $\text{KO}_3$ )  $-1/3$ . Kladných oxidačních čísel nabývá kyslík pouze v binárních sloučeninách s fluorem, např.  $\text{OF}_2$ ,  $\text{O}_2\text{F}_2$  a jiné.

- f) Fluor má prakticky vždy oxidační číslo  $-1$ . Pouze v chloristanu  $\text{FOClO}_3$ , fluorosíranu  $\text{FOSO}_2\text{F}$ , dusičnanu  $\text{FONO}_2$  a podobných látkách má oxidační číslo  $+1$ .
- g) Kovy jsou elektropozitivnější (méně elektronegovní) než nekovy a ve sloučeninách jim náleží pouze kladná oxidační čísla s výjimkou některých komplexních sloučenin.
- h) Nejvyšší kladné oxidační číslo prvku nemůže přesáhnout číslo skupiny, do které je prvek v periodické soustavě zařazen. Výjimkou jsou některé přechodné kovy ( $\text{Cu}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Au}$ ).

Jsou-li elektronegovity atomů spojených vazbami stejné, nelze z uvedených pravidel o hodnotách oxidačních čísel rozhodnout. Například arsen a vodík tvoří sloučeninu molekulového vzorce  $\text{AsH}_3$ , která bývá označována jako hydrid arsenitý  $\text{As}^{\text{III}}\text{H}_3^{-1}$  ale i arsan (dříve arsenovodík či arsin)  $\text{As}^{-\text{III}}\text{H}_3^{\text{I}}$ , jehož vzorec bychom pak měli psát spíše jako  $\text{H}_3\text{As}$ . Co říci o oxidačních číslech těchto prvků, jestliže je v současnosti přijímána pro jejich elektronegovitu stejná hodnota  $X_{\text{H}} = X_{\text{As}} = 2,2$ ? Dle **definice** oxidačního čísla není důvodu při dělení molekuly  $\text{AsH}_3$  přidělit dva elektrony tvořící každou ze tří vazeb  $\text{As}-\text{H}$  arsenu nebo vodíku, ale musíme je rozdělit mezi oba atomy stejným dílem. Tak získáme čtyři „ionty s nulovým nábojem“, tj. tři atomy  $\text{H}$  a jeden atom  $\text{As}$ . Podle definice pak oběma prvkům náleží oxidační číslo nula ( $\text{As}^0$ ,  $\text{H}^0$ ). Otázka, zda na  $\text{AsH}_3$  nahlížet jako na  $\text{As}^{\text{III}}\text{H}_3^{-1}$ ,  $\text{As}^{-\text{III}}\text{H}_3^{\text{I}}$ , nebo  $\text{As}^0\text{H}_3^0$ , je pro úpravu chemických rovnic a výpočty z nich nepodstatná, neboť všechna pojetí vedou ke stejnému výsledku.

Oxidační čísla mohou být i racionální, nabývat neobvyklých celých hodnot a hodnoty nula. Například pro oxidační číslo uhlíku v methanu  $\text{CH}_4$  plyne z pravidla *c*) závěr  $\text{C}^{-\text{IV}}$ , zatímco pro uhlík vázaný v kyselině octové  $\text{CH}_3\text{-COOH}$  či formaldehydu  $\text{H}\cdot\text{CHO}$  dojdeme z pravidel *b*), *c*), *e*) k závěru  $\text{C}^0$ . Stejně výsledky dostaneme i z definice oxidačního čísla, neboť elektronegovity zúčastněných prvků jsou následující:  $X_{\text{H}} = 2,2$ ,  $X_{\text{C}} = 2,6$  a  $X_{\text{O}} = 3,4$ . Ačkoliv v těchto případech oxidační čísla často neodpovídají skutečným vazebným poměrům, jsou pro úpravy redukčně oxidačních rovnic a stechiometrické výpočty zcela vyhovující, pokud byla správně určena. Totéž platí o průměrných oxidačních číslech, která jsou rovněž často racionální. Význam průměrného oxidačního čísla bude zjevný z řešených příkladů v kap. 2.3.

## 2.3 ŘEŠENÉ PŘÍKLADY.

### Příklad 1

Z definice určete oxidační čísla prvků v molekule kyseliny chlorné.

Řešení:

Elektronový vzorec kyseliny chlorné je  $\text{H}-\overline{\text{O}}-\overline{\text{Cl}}|$ . V tabulkách vyhledáme elektronegovity prvků:  $X_{\text{H}} = 2,2$ ,  $X_{\text{Cl}} = 3,2$  a  $X_{\text{O}} = 3,4$ . Nejnižší elektronegovita náleží vodíku, který oddělíme jako iont  $\text{H}^+$ . Protože  $X_{\text{Cl}} < X_{\text{O}}$  a oba atomy jsou spojeny jednoduchou (dvouelektronovou) vazbou, rozdělíme chlornanový aniont  $\text{ClO}^-$  na ionty  $\text{Cl}^+$  a  $\text{O}^{2-}$ . Odtud plyne:  $\text{H}^{\text{I}}$ ,  $\text{O}^{-\text{II}}$  a  $\text{Cl}^{\text{I}}$ .

### Příklad 2

S pomocí pravidel *a*) až *h*) určete oxidační čísla prvků v jodistanovém aniontu  $\text{IO}_4^-$ .

Řešení:  $\text{O}^{-\text{II}}$  (*e*),  $\text{I}^{\text{VII}}$  (*b*). Pravidla použitá pro každý závěr jsou uvedena v závorce.

### Příklad 3

Určete skutečná oxidační čísla všech prvků v molekule kyseliny peroxosírové  $\text{H}-\overline{\text{O}}-\overline{\text{O}}-(\text{HSO}_3)$  a průměrné oxidační číslo kyslíku.

Řešení:

H<sup>I</sup> (c), dvěma atomům kyslíku tvořícím peroxoskupinu  $\cdot\overline{\text{O}}-\overline{\text{O}}\cdot$  náleží oxidační číslo -I (d, e), pro zbývající tři atomy kyslíku platí O<sup>-II</sup> (e) a pro síru S<sup>VI</sup> (b). Shrňme: H<sup>I</sup>, dvakrát O<sup>-I</sup>, třikrát O<sup>-II</sup> a S<sup>VI</sup>. **Průměrné** oxidační číslo kyslíku v molekule H<sub>2</sub>SO<sub>5</sub> tak činí -8/5 (O<sup>-8/5</sup>).

#### **Příklad 4**

Určete oxidační čísla prvků v molekule kyanovodíku HCN.

Řešení:

Uvážíme-li strukturní elektronový vzorec kyanovodíku  $\text{H}-\text{C}\equiv\overline{\text{N}}$  a hodnoty elektronegativit prvků ( $X_{\text{H}} = 2,2$ ,  $X_{\text{C}} = 2,6$  a  $X_{\text{N}} = 3,0$ ), dostaneme stejným postupem jako v příkladu 1 z definice oxidačního čísla okamžitě tento závěr: **H<sup>I</sup>, C<sup>II</sup>, N<sup>-III</sup>**.

#### **Příklad 5**

Určete oxidační čísla prvků v monohydrogenfosforečnanovém aniontu HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

Řešení:

Z pravidel b), c) a e) pro jednotlivé prvky plyne: **H<sup>I</sup> (c), O<sup>-II</sup> (e), P<sup>V</sup> (b)**.

#### **Příklad 6**

Určete průměrné a skutečná oxidační čísla olova v suříku Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

Řešení:

Pro kyslík platí O<sup>-II</sup> (e), součet oxidačních čísel všech atomů Pb je 8 (b) a průměrné oxidační číslo Pb tedy činí 8/3. K určení skutečných oxidačních čísel olova je třeba vědět, že suřík, který býval považován za olovnatou sůl kyseliny tetrahydrogenolovičité H<sub>4</sub>PbO<sub>4</sub> - tj. olovičitan diolovnatý Pb<sub>2</sub><sup>II</sup>[Pb<sup>IV</sup>O<sub>4</sub>], je dnes formulován jako oxid diolovnato-olovičítý 2Pb<sup>II</sup>O·Pb<sup>IV</sup>O<sub>2</sub>. Obojí vede ke stejnému výsledku: Dva atomy olova v Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub> jsou ve stavu Pb<sup>II</sup> a jeden atom olova ve stavu Pb<sup>IV</sup>.

#### **Příklad 7**

Určete oxidační čísla prvků v kyselině šťavelové (COOH)<sub>2</sub>.

Řešení:

Z pravidel b, c a e pro jednotlivé prvky plyne: **H<sup>I</sup> (c), O<sup>-II</sup> (e), C<sup>III</sup> (b)**.

#### **Příklad 8**

Určete oxidační čísla prvků v hydrazinu N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>.

Řešení:

Platí H<sup>I</sup> (c), N<sup>-II</sup> (b).

#### **Příklad 9**

Určete oxidační čísla prvků ve fenolátovém aniontu C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sup>-</sup>.

Řešení:

Platí H<sup>I</sup> (c), O<sup>-II</sup> (e), C<sup>-2/3</sup> (b).

### **2.4 PŘÍKLADY K ŘEŠENÍ.**

1. Určete oxidační čísla prvků v těchto molekulách a iontech: a) HNO<sub>3</sub>, b) SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, c) KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, d) FeO(OH), e) OH<sup>-</sup>, f) BiOH(Cl)<sub>2</sub>, g) TaF<sub>7</sub><sup>2-</sup>, h) H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, i) HCOO<sup>-</sup>, j) Ba(OH)<sub>2</sub>.
2. Určete oxidační čísla označených prvků v následujících látkách: a) SF<sub>6</sub>, b) (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub>, c) KMnO<sub>4</sub>, d) K<sub>2</sub>MnO<sub>4</sub>, e) K<sub>2</sub>MnO<sub>2</sub>, f) ICl<sub>3</sub>, g) NaHS, h) NaHSO<sub>4</sub>, i) Na<sub>3</sub>NbO<sub>4</sub>, j) SOCl<sub>2</sub>.

3. Určete oxidační čísla prvků v následujících částicích: *a)* HCN, *b)*  $[\text{NH}_4]^+$ , *c)*  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ , *d)*  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ .
4. Jaká oxidační čísla náleží prvkům vázaným v ozonidovém aniontu  $\text{O}_3^-$  a azoimidu  $\text{HN}_3$ ?
5. Určete průměrné oxidační číslo uhlíku v *a)* acetonu  $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ , *b)* acetaldehydu  $\text{CH}_3\text{CHO}$  a *c)* fenolu  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ .
6. Jaká jsou oxidační čísla uranu v nejbohatší uranové rudě smolinci  $\text{U}_3\text{O}_8$ ? *b)* Jaké průměrné oxidační číslo mu v tomto minerálu náleží?

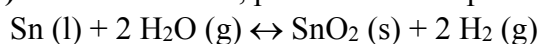
## 2.5 VÝSLEDKY PŘÍKLADŮ KE 2. KAPITOLE.

1. *a)*  $\text{H}^{\text{I}}$ ,  $\text{N}^{\text{V}}$ ,  $\text{O}^{-\text{II}}$  *b)*  $\text{S}^{\text{VI}}$ ,  $\text{O}^{-\text{II}}$  *c)*  $\text{K}^{\text{I}}$ ,  $\text{Al}^{\text{III}}$ ,  $\text{S}^{\text{VI}}$ ,  $\text{O}^{-\text{II}}$  *d)*  $\text{Fe}^{\text{III}}$ ,  $\text{O}^{-\text{II}}$ ,  $\text{H}^{\text{I}}$  *e)*  $\text{O}^{-\text{II}}$ ,  $\text{H}^{\text{I}}$  *f)*  $\text{Bi}^{\text{III}}$ ,  $\text{O}^{-\text{II}}$ ,  $\text{H}^{\text{I}}$ ,  $\text{Cl}^{-\text{I}}$  *g)*  $\text{Ta}^{\text{V}}$ ,  $\text{F}^{-\text{I}}$  *h)*  $\text{H}^{\text{I}}$ ,  $\text{P}^{\text{V}}$ ,  $\text{O}^{-\text{II}}$  *i)*  $\text{O}^{-\text{II}}$ ,  $\text{H}^{\text{I}}$ ,  $\text{C}^{\text{II}}$  *j)*  $\text{Ba}^{\text{II}}$ ,  $\text{O}^{-\text{II}}$ ,  $\text{H}^{\text{I}}$
2. *a)*  $\text{S}^{\text{VI}}$  *b)*  $\text{N}^{-\text{III}}$ ,  $\text{Pt}^{\text{IV}}$  *c)*  $\text{Mn}^{\text{VII}}$  *d)*  $\text{Mn}^{\text{VI}}$  *e)*  $\text{Mn}^{\text{II}}$  *f)*  $\text{I}^{\text{III}}$ ,  $\text{Cl}^{-\text{I}}$  *g)*  $\text{H}^{\text{I}}$ ,  $\text{S}^{-\text{II}}$  *h)*  $\text{H}^{\text{I}}$ ,  $\text{S}^{\text{VI}}$  *i)*  $\text{Nb}^{\text{V}}$  *j)*  $\text{S}^{\text{IV}}$ ,  $\text{Cl}^{-\text{I}}$
3. *a)*  $\text{H}^{\text{I}}$ ,  $\text{C}^{\text{II}}$ ,  $\text{N}^{-\text{III}}$  *b)*  $\text{H}^{\text{I}}$ ,  $\text{N}^{-\text{III}}$  *c)*  $\text{Fe}^{\text{II}}$ ,  $\text{C}^{\text{II}}$ ,  $\text{N}^{-\text{III}}$  *d)*  $\text{Fe}^{\text{III}}$ ,  $\text{C}^{\text{II}}$ ,  $\text{N}^{-\text{III}}$
4.  $\text{O}^{-1/3}$ ,  $\text{H}^{\text{I}}$ ,  $\text{N}^{-1/3}$
5.  $\text{C}^{-4/3}$  *b)*  $\text{C}^{-\text{I}}$  *c)*  $\text{C}^{-2/3}$
6. Smolincec je oxid uraničito-diuranový  $\text{UO}_2 \cdot 2\text{UO}_3$ . Odtud plyne: *a)*  $\text{U}^{\text{IV}}$ ,  $\text{U}^{\text{VI}}$ , *b)*  $\text{U}^{16/3}$ .

### 3 Chemické rovnice.

#### 3.1 OBECNÉ ZÁSADY.

Chemická (stechiometrická) rovnice je symbolickým zápisem chemické reakce. Dle dohody stojí na její levé straně výchozí látky (reaktanty) a na pravé produkty. Stechiometrické koeficienty doplněné jednotkou **mol** pak udávají **chemicky ekvivalentní (stechiometrická, rovnocenná) látková množství** reakčních složek a standardně je vyjadřujeme **nejmenšími celými kladnými** čísly. Rovnice  $4 \text{H}_3\text{BO}_3 + 2 \text{NaOH} = \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 7 \text{H}_2\text{O}$  říká: Reakcí čtyř molů (molekul) kyseliny trihydrogenborité se dvěma moly (molekulami) hydroxidu sodného vznikne právě jeden mol (molekula) tetraboritanu disodného a sedm molů (molekul) vody. Použijeme-li koeficientů 8, 4, 2, 14, nebo 2, 1, 1/2, 7/2, smysl rovnice se nezmění, neboť **poměr** látkových množství složek je stejný. Racionálních koeficientů užíváme jen ve zvláštních případech a koeficienty rovné jedné v rovnici nepíšeme. Převědeme-li libovolný počet reakčních složek na druhou stranu rovnice se **zápornými** znaménky, její smysl se nezmění. Jde jen o nestandardní zápis, jehož užití je při práci s rovnicemi často výhodné. Převedení všech reakčních složek na opačnou stranu s **kladnými** znaménky dá rovnici reakce **opačné**, stejně jako vynásobení rovnice konstantou  $-1$ . Znaménka = užíváme, kombinujeme-li vzájemně větší počet rovnic (blíže o těchto operacích viz kap. 3.3). Šipka  $\rightarrow$  říká, že reakce je nevratná a chemicky ekvivalentní množství reaktantů se **zcela** přemění na produkty. U vratné (rovnovážné reakce), kde tomu tak není, uijeme šipky dvousměrné  $\leftrightarrow$ . Je-li třeba vyznačit **skupenství (fáze)** reakčních složek, provedeme to např. takto



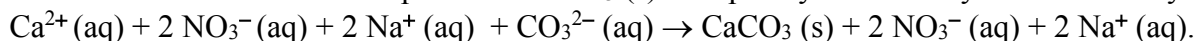
a čteme: kapalný (roztavený) cín (**l**) reaguje s vodní párou (**g**) za vzniku tuhého oxidu cíničitého (**s**) a plynného vodíku (**g**). Na vysvětlenou: liquidus = kapalina, solidus = tuhá látka a gas = plyn. Vodný roztok látky (např. HCl) napíšeme jako HCl(aq) – tzv. „kyselina chlorovodíková“, zatímco symbol HCl(l) znamená čistý kapalný chlorovodík. Symbolem  $\text{Na}^+(\text{aq})$  označíme hydratované sodné kationty, které ve vodném prostředí vzniknou např. elektrolytickou disociací sodné soli (**aqua** = voda). Důvody k tomuto opatření, jakož i k užití racionálních stechiometrických koeficientů, budou zjevné v kapitole 6 (Thermochemie).

Dle povahy reakcí a způsobu zápisu se chemické rovnice obvykle dělí takto:

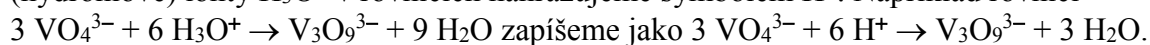
Obvyčejné rovnice: Rovnice reakcí, v nichž oxidační čísla všech atomů zůstávají stejná.

Oxidačně redukční (redox) rovnice: Rovnice reakcí, v nichž se oxidační čísla alespoň části atomů alespoň jednoho prvku mění. **Připomeňme:** Při oxidaci atom prvku **formálně** odevzdává určitý počet elektronů jiným atomům a jeho oxidační číslo o stejný počet jednotek roste. Při redukci je tomu naopak. Pro úpravy rovnic je toto pojetí redox děje dostatečné.

Iontové rovnice: Podstatu chemické reakce lze často dobře vystihnout stručnějším **iontovou rovnicí**, ve které nefigurují ionty, které se reakce **neúčastní**. Například smísením roztoků  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  a  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , v nichž jsou obě soli disociovány na ionty  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$  a  $\text{CO}_3^{2-}$ , vznikne sraženina uhličitanu vápenatého  $\text{CaCO}_3$  (s) a rozpustný disociovaný dusičnan sodný:



Množství iontů  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{Na}^+$  se nemění (neúčastní se reakce) a shodné členy na obou stranách rovnice se anulují. Iontová rovnice  $\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s})$  tak říká, že smísením roztoků jakékoliv vápenaté soli a jakéhokoliv uhličitanu vznikne tuhý  $\text{CaCO}_3$  (s). Oxoniové (hydroniové) ionty  $\text{H}_3\text{O}^+$  v rovnicích nahrazujeme symbolem  $\text{H}^+$ . Například rovnici



Ačkoliv druhý zápis není formálně správný, je stručnější a výsledky výpočtů neovlivní, neboť šest molekul vody vázaných v iontech oxonia se reakce neúčastní.

### 3.2 PODMÍNKY SPRÁVNOSTI CHEMICKÝCH ROVNIC A MOŽNOSTI JEJICH ÚPRAVY.

Úpravou chemické rovnice rozumíme nalezení takových stechiometrických koeficientů, aby byly splněny následující podmínky (pravidla A), B), C):

**A) Pravidlo zachování jader:** Počet jader každého prvku je na obou stranách rovnice stejný.

Tedy:  $L_X - P_X = 0$ , kde  $L_X$ , ( $P_X$ ) je počet jader prvku X na levé (pravé) straně rovnice.

**B) Pravidlo zachování náboje:** Součet nábojů iontů je na obou stranách rovnice stejný.

Tedy:  $\Sigma_L - \Sigma_P = 0$ , kde  $\Sigma_L$ , ( $\Sigma_P$ ) je součet nábojů na levé (pravé) straně. **Pozor!** Náboje iontů sčítáme s ohledem na znaménka. U neiontové rovnice dá pravidlo identitu  $0 = 0$ .

**C) Pravidlo zachování součtu oxidačních čísel:** Součet oxidačních čísel všech atomů je na obou stranách rovnice stejný. Pravidlo C) tak dá tytéž vztahy, jako pravidlo B). Pro redox reakce odtud plyne, že i součet oxidačních čísel všech atomů těch prvků, u nichž alespoň část jejich atomů oxidační číslo změnila, je na obou stranách stejný. Tedy:  $L_{ox} - P_{ox} = 0$ , kde  $L_{ox}$ , ( $P_{ox}$ ) je součet oxidačních čísel všech atomů dotyčných prvků na levé (pravé) straně rovnice. Proto i součet zvýšení oxidačních čísel ( $\Sigma_+$ ) atomů, které se oxidovaly, musí být roven součtu snížení oxidačních čísel atomů redukovaných ( $\Sigma_-$ ) a rovnice  $\Sigma_+ - \Sigma_- = 0$  je třetím vyjádřením pravidla C). Odtud je zjevné, že pravidlo C), které je jen jinou formulací pravidla B), bude splněno vždy, jsou-li splněna pravidla A), B) a pravidlo B) je splněno vždy, jsou-li splněna pravidla A), C). Při úpravě redox rovnic ale lze pravidlo C) s výhodou použít.

Nemá tedy smysl hledat úpravu rovnice, která nespĺňuje následující základní podmínky:

- 1) Každý prvek musí figurovat na obou stranách rovnice, jinak nelze vyhovět pravidlu A).
- 2) Stojí-li na jedné straně rovnice jen kationty (anionty), nemohou na druhé straně stát jen elektroneutrální molekuly či anionty (kationty), jinak nelze vyhovět pravidlu B).
- 3) Je-li z rovnice zjevné, že se některé atomy oxidovaly (redukovaly), musí v ní figurovat též atomy, které se redukovaly (oxidovaly), jinak nelze vyhovět pravidlu C).

Při snaze upravit navrženou (předpokládanou) rovnici tyto podmínky splňující se můžeme setkat s následujícími případy:

- 1) Existuje **jediná** možná standardní úprava rovnice (rovnice je jednoznačná).
- 2) Počet možných úprav rovnice je **neomezený**. Za správnou považujeme tu úpravu, která souhlasí s naší chemickou zkušeností. Někdy může být jediná, jindy jich může být více.
- 3) Rovnici **nelze** upravit, neboť je nejspíše neúplná (schází v ní alespoň jedna reakční složka).

Exaktně rozhodneme o jaký případ jde a možné úpravy najdeme, vyjádříme-li pomocí obecných stechiometrických koeficientů ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ...) vazné podmínky plynoucí z pravidel A), B), C) rovnicemi, které píšeme s výhodou tak, aby v nich figurovala nejmenší celá čísla. Z rovnic případně stejných ponecháme v soustavě vždy jen jednu. „Stejnými“ rovnicemi rozumíme ty, které lze vzájemně převádět násobením konstantou  $k \neq 0$ . „Stejně“ jsou např. rovnice  $8a - 4b - 8c = 0$  a  $-4a + 2b + 4c = 0$  (první dostaneme z druhé násobením konstantou  $k = -2$ ) a v soustavě je nahradíme jedinou „stejnou“ rovnicí  $2a - b - 2c = 0$ , která vznikne z první rovnice dělením čtyřmi. Pro  $n_{koef}$  hledaných koeficientů ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ...) dostaneme soustavu  $n$  různých lineárních rovnic bez absolutních členů (homogenní soustava), ze které jsme vždy až na jednu vyloučili rovnice zjevně lineárně závislé („stejně“) a jejím řešením pak lze správné koeficienty najít. Necht' je počet **nezávislých** (volných) rovnic soustavy (tzv. hodnota matice soustavy)  $n_{vol}$ . O možnostech řešení soustavy (úpravy rovnice chemické) rozhodují hodnoty  $n_{koef}$ ,  $n_{vol}$  a z algebry plyne, že mohou nastat následující případy:

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"><li>1) <math>n_{vol} = n_{koef} - 1</math>: Soustava má <b>jediné</b> řešení <math>a^* = a \cdot k</math>, <math>b^* = b \cdot k</math>, <math>c^* = c \cdot k</math>..., kde <math>a</math>, <math>b</math>, <math>c</math>... jsou standardní nejmenší celočíselné kladné koeficienty, <math>k \neq 0</math> je libovolné číslo a upravovaná chemická rovnice je <b>jednoznačná</b>.</li><li>2) <math>n_{vol} &lt; n_{koef} - 1</math>: Počet různých řešení soustavy a možných úprav rovnice je <b>neomezený</b>.</li><li>3) <math>n_{vol} = n_{koef}</math>: Soustava má jen triviální řešení <math>a^* = b^* = c^* = \dots = 0</math> a rovnici upravit <b>nelze</b>.</li></ol> |
|--|

Dále lze dokázat, že podmínka jednoznačnosti upravované rovnice ( $n_{vol} = n_{koef} - 1$ ) je splněna vždy, je-li počet hledaných koeficientů  $n_{koef}$  a různých vazných podmínek  $n$  stejný ( $n = n_{koef}$ ). Přitom považujeme redox podmínku z pravidla C) vždy za jednu různou podmínku, i když ji lze vyjádřit rovnicí shodnou s některou z podmínek z pravidel A), B). Odtud plyne jednoduché pravidlo D) umožňující i tomu, kdo postrádá hlubší znalost algebry, snadno posoudit, jaký případ lze očekávat a jak při úpravě rovnice postupovat.

#### D) Pravidlo o možnostech úpravy chemických rovnic

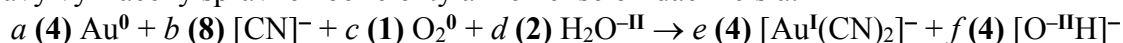
**1) Případ  $n = n_{koef}$ :** Rovnice je **vždy jednoznačná** a k nalezení jediné úpravy stačí hodnotu jednoho koeficientu libovolně zvolit.

**2) Případ  $n < n_{koef}$ :** Počet možných úprav rovnice je **obvykle neomezený**. K nalezení jedné z nich je **obvykle** třeba ( $n_{koef} - n$ ) nezávislých podmínek (rovnic) doplnit, nebo ( $n_{koef} - n + 1$ ) koeficientů zvolit (což je totéž). **Někdy** však může rovnice být i **jednoznačná**.

**3) Případ  $n > n_{koef}$ :** Rovnici **obvykle nelze upravit**. **Někdy** však může být i **jednoznačná**.

Exaktní postup úpravy bychom užíli jen výjimečně ve zvláště složitých případech. Nicméně, v případech  $n \neq n_{koef}$ , tak někdy nejrychleji rozhodneme, o kterou z možností označených v pravidle D) slovy „obvykle“ resp. „někdy“ se jedná, pokud to není již z výpisu vazných podmínek zřejmé. V praxi užívané „krátké“ či „jednoduché“ postupy úpravy rovnic vycházejí z určení **poměru** alespoň dvou koeficientů, **volby** hodnoty jednoho z nich a dohledávání koeficientů zbývajících. Nejsou tak ničím jiným, než řešením soustavy vazných podmínek z „hlavy“ a pohledu na rovnici upravovanou. Konkrétní provedení závisí na znalostech chemie a preferencích toho, kdo rovnici upravuje a univerzální návod lze proto poskytnout jen stěží. Přesto dáváme těmto postupům přednost a v řešených příkladech (kap. 3.4) je budeme používat vždy, pokud to povaha problému dovolí. Princip exaktního postupu, užití pravidla D), jakož i obvykle užívané „krátké postupy“ objasníme příklady A1 – A5.

**Příklad A1:** Máme upravit **iontovou redox** rovnicí, v níž jsou pro snazší sledování postupů úpravy vyznačeny správné koeficienty a měnící se oxidační čísla:



#### 1) EXAKTNÍ ÚPRAVA

Podmínky z pravidla A): Počet jader zlata na levé straně rovnice činí  $L_{\text{Au}} = a$ , na pravé straně je  $P_{\text{Au}} = e$  a odtud podmínka  $R_1$ . Z bilance jader C, N, O, H plynou jen tři různé rovnice  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ , neboť bilance uhlíku a dusíku dají stejnou rovnici  $R_2$ .

Podmínka z pravidla B): Součet nábojů na levé straně rovnice činí  $\Sigma_L = -b$ , na pravé straně je  $\Sigma_P = -e - f$  a odtud pátá podmínka  $R_5$ .

Podmínka z pravidla C): Oxidační čísla mění jen **zlato** a **kyslík** a podmínku z pravidla C) lze vyjádřit třemi způsoby. Oxidační číslo  $a$  nebo  $e$  atomů zlata o **jednotku** roste a součet zvýšení oxidačních čísel je  $\Sigma_+ = a = e$ . **Pouze  $2c$**  atomů kyslíku oxidační číslo o **dvě** jednotky snižuje a součet snížení oxidačních čísel je  $\Sigma_- = 4c$ . Platí  $\Sigma_+ = \Sigma_-$  a odtud rovnice  $R_{61}$ ,  $R_{62}$ . Součty oxidačních čísel zlata a kyslíku na levé a pravé straně rovnice jsou  $L_{\text{ox}} = -2d$ ,  $P_{\text{ox}} = e - 2f$ ,  $L_{\text{ox}} = P_{\text{ox}}$  a odtud rovnice  $R_{63}$ .

$$\mathbf{R_1(Au):} \quad a - e = 0 \quad \mathbf{R_2(C, N):} \quad b - 2e = 0 \quad \mathbf{R_3(O):} \quad 2c + d - f = 0 \quad \mathbf{R_4(H):} \quad 2d - f = 0$$

$$\mathbf{R_5:} \quad -b + e + f = 0 \quad \mathbf{R_{61}:} \quad a - 4c = 0 \quad \mathbf{R_{62}:} \quad e - 4c = 0 \quad \mathbf{R_{63}:} \quad -2d - e + 2f = 0$$

Stačí vyšetřit matici soustavy  $R_1$ – $R_5$ , redox podmínku  $R_6$  není třeba uvažovat - viz komentář k Pravidlu C). Počet nezávislých podmínek (hodnost matice) je  $n_{vol} = 5$  a  $n_{vol} = n_{koef} - 1 = 5$ . Rovnice je tedy **jednoznačná** a z matice najdeme nejmenší celočíselné kladné koeficienty  $a = 4$ ,  $b = 8$ ,  $c = 1$ ,  $d = 2$ ,  $e = 4$ ,  $f = 4$ , které jsou **jedinou** možnou standardní úpravou.

#### 2) RYCHLÁ ÚPRAVA Z VAZNÝCH PODMÍNEK

Pro **šest** koeficientů máme **šest** různých rovnic ( $R_1$ – $R_5$  a libovolná rovnice  $R_6$ ). Z pravidla D) plyne, že je rovnice jednoznačná ( $n = n_{koef} = 6$ ) a jeden libovolný koeficient lze libovolně

zvolit. S výhodou zvolíme ten, který vypoví co nejvíce o koeficientech dalších (zde  $e$ ). Necht'  $e = 4$ , z rovnic  $R_1$ ,  $R_2$  a  $R_{61}$  nebo  $R_{62}$  máme  $a = 4$ ,  $b = 8$ ,  $c = 1$ , z  $R_5$  plyne  $f = 4$ , z  $R_4$  uzavřeme  $d = 2$  a „nepoužitá“ rovnice  $R_3$  může sloužit ke kontrole. Tento ne zcela exaktní postup by selhal, kdybychom chybnou volbou připsali nenulovou hodnotu koeficientu, který má být roven nule (tj. taková složka nemá v rovnici figurovat). Jsou-li v rovnici jen **skutečné** reakční složky, nemůže se to stát, nicméně bychom si této možnosti měli být vědomi a o smyslu „nulového koeficientu“ více v příkladech A2, A4. Volbou  $e = 8$  ( $e = 2$ ) by koeficienty byly dvakrát vyšší (nižší). Volbou  $e = -4$  budou koeficienty záporné a získáme upravenou rovnici opačné reakce (viz předchozí oddíl 3.1). Skutečnost, že volba jednoho koeficientu k nalezení úpravy stačí, je zároveň důkazem, že rovnice je jednoznačná.

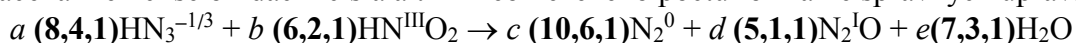
### 3) ÚPRAVA POSTUPNÝM DOPLŇOVÁNÍM KOEFICIENTŮ

$a (4)^1 \text{Au}^0 + b (8)^1 [\text{CN}]^- + c (1)^4 \text{O}_2^0 + d (2)^3 \text{H}_2\text{O}^{-\text{II}} \rightarrow e (4)^1 [\text{Au}^{\text{I}}(\text{CN})_2]^- + f (4)^2 [\text{O}^{-\text{II}}\text{H}]^-$   
 Předpokládejme, že rovnice je jednoznačná a potom stačí k nalezení úpravy jeden libovolný koeficient libovolně zvolit. Exponenty u koeficientů udávají číslo kroku, z něhož daný koeficient vyplynul. **1. krok:** Volíme  $e = 4$ . Je definitivně určen celkový počet atomů zlata a iontů  $[\text{CN}]^-$  a z pohledu na levou stranu rovnice plyne  $a = 4$ ,  $b = 8$ . **2. krok:** Na levé straně je určen celkový náboj  $(-8)$ , zatímco na pravé straně dosud činí jen  $(-4)$ . Odtud a z pravidla B) plyne  $f = 4$ . **3. krok:** Na pravé straně je určen celkový počet atomů vodíku (4) a z pohledu na levou stranu rovnice plyne  $d = 2$ . **4. krok:** Na pravé straně je určen celkový počet atomů kyslíku (4), zatímco na levé straně dosud činí jen (2). Z bilance kyslíku tak uzavíráme  $c = 1$ . Při volbě  $e = 2$  bychom našli racionální koeficient  $c = \frac{1}{2}$  a všechny koeficienty bychom vynásobili dvěma. Úpravu jsme mohli též najít volbou hodnoty jednoho z koeficientů z postupného poměru  $a : b : e = 1 : 2 : 1$ , který je z neupravené rovnice dobře „viditelný“.

### 4) ÚPRAVA ROVNICE Z PRAVIDLA C)

$a (4)^1 \text{Au}^0 + b (8)^2 [\text{CN}]^- + c (1)^1 \text{O}_2^0 + d (2)^4 \text{H}_2\text{O}^{-\text{II}} \rightarrow e (4)^1 [\text{Au}^{\text{I}}(\text{CN})_2]^- + f (4)^3 [\text{O}^{-\text{II}}\text{H}]^-$   
 Poměr alespoň dvou koeficientů můžeme též určit z redox podmínky vyjádřené rovnicemi  $R_{61}$ ,  $R_{62}$ . **1. krok:** Například z rovnice  $R_{61}$  plyne  $a/c = 4/1$ . Odtud a z volby  $c = 1$  máme  $a = 4$  a z pohledu na pravou stranu rovnice plyne  $e = 4$ . **2. krok:** Na pravé straně je určen počet iontů  $[\text{CN}]^-$  (8) a proto i  $b = 8$ . **3. krok:** Na levé straně je určen celkový náboj  $(-8)$ , na pravé straně však činí jen  $(-4)$ . Odtud a z pravidla B) proto plyne  $f = b - e = 4$ . **4. krok:** Na pravé straně je určen počet atomů vodíku (4) a z pohledu na levou stranu uzavřeme  $d = 2$ . „Nevyužitá“ bilance kyslíku může sloužit ke kontrole. Postup úpravy redox rovnic vycházející z rovnosti  $\Sigma_+ = \Sigma_-$  je základem populární mnemotechnické pomůcky tzv. „vyrovnávání počtu elektronů křížem“.

**Příklad A2:** Upravme redox rovnici reakce azoimidu s kyselinou dusitou, v níž jsou vyznačena měnící se oxidační čísla a tři z neomezeného počtu formálně správných úprav.



Podmínky z pravidla A): Z bilance jader prvků (C, H, N) plynou tři různé podmínky  $R_1 - R_3$ .

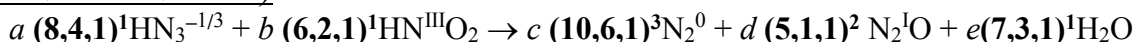
Podmínka z pravidla B): Odtud žádná podmínka neplyne, neboť rovnice není iontová.

Podmínka z pravidla C): Oxidační číslo mění pouze dusík. Bez dalšího předpokladu o rozdělení atomů dusíku mezi čtyři různé oxidační stavy nelze součty zvýšení a snížení oxidačních čísel ( $\Sigma_+$ ,  $\Sigma_-$ ) vyjádřit a redox podmínku můžeme formulovat jedině takto: součet oxidačních čísel atomů dusíku na levé straně rovnice činí  $L_{\text{ox}} = -3a/3 + 3b = -a + 3b$ , na pravé straně je  $P_{\text{ox}} = 2d$ , platí  $L_{\text{ox}} = P_{\text{ox}}$ . Odtud čtvrtá podmínka  $R_4$ . Pro  $n_{\text{koef}} = 5$  koeficientů tak máme  $n = 4$  různé rovnice.

**$R_1(\text{H})$ :**  $a + b - 2e = 0$   **$R_2(\text{N})$ :**  $3a + b - 2c - 2d = 0$   **$R_3(\text{O})$ :**  $2b - d - e = 0$   **$R_4$ :**  $3b - a - 2d = 0$   
 Hodnost matice je  $n_{\text{vol}} = 3$ , potom  $n_{\text{vol}} < n_{\text{koef}} - 1 = 4$ , počet úprav je **neomezený** a k nalezení jedné z nich je třeba hodnoty **dvou** koeficientů zvolit. Z matice, či přímo z vazných podmínek

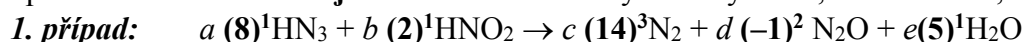
vyznačené úpravy snadno najdete a přesvědčíte se, že volba jednoho koeficientu k úpravě rovnice nestačí. Komu chybí znalosti z matematiky, může postupovat dle pravidla *D*).

#### ÚPRAVY Z PRAVIDLA *D*)

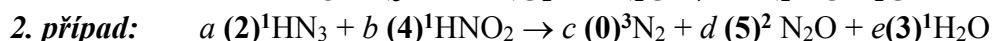


Dle pravidla *D*) je v případě  $n < n_{\text{koef}}$  obvykle třeba  $(n_{\text{koef}} - n)$  nezávislých podmínek doplnit (zde **jednu**), nebo  $(n_{\text{koef}} - n + 1)$  koeficientů zvolit (zde **dva**). **1. krok:** Volme  $a = 4$ ,  $b = 3$ , čímž zavádíme pátou různou podmínku  $3a = 4b$ . Levá strana rovnice je úplně určena, počet jader vodíku je **sedm** a z pohledu na pravou stranu rovnice plyne  $e = 7 / 2$ . Nalezené koeficienty vynásobíme dvěma a po prvním kroku máme:  $a = 8$ ,  $b = 6$ ,  $e = 7$ . Dále pokračujeme postupným doplňováním koeficientů **2. krok:** Na levé straně je určen počet jader kyslíku (12) a tedy  $d = 12 - 7 = 5$ . **3. krok:** Na levé straně rovnice je 30 jader dusíku a odtud snadno uzavřeme  $c = 10$ . Analogicky najdeme pro  $a = 4$ ,  $b = 2$  resp.  $a = 1$ ,  $b = 1$  zbývající dvě úpravy. Existence různých úprav pro každou volbu dvou koeficientů je i důkazem, že je zde vše skutečně tak, jak tomu dle pravidla *D*) obvykle bývá. Zvolíme-li více koeficientů než je přípustné (zde např. tři), můžeme je náhodně zvolit správně. Bude-li však jediný z nich nesprávný, rovnici neupravíme. Z většího počtu **formálně** správných úprav považujeme za „skutečně správnou“ tu, která odpovídá naší experimentální zkušenosti, což je úprava  $a = 4$ ,  $b = 2$ ,  $c = 6$ ,  $d = 1$ ,  $e = 3$ . Víme totiž, že dusík v  $\text{HN}_3$  je oxidován výlučně na elementární dusík  $\text{N}_2$  za současné redukce dusíku v  $\text{HNO}_2$  na  $\text{N}_2\text{O}$ , což lze vyjádřit např. rovnicí  $3a = 2c$ . Ta je **pátou** různou (**čtvrtou** nezávislou) podmínkou, které bychom si při dostatečné znalosti chemie byli vědomi a správnou úpravu snadno našli. Zde jsme ji získali z „ad hoc“ zavedené podmínky  $a = 2b$ . Nicméně, skutečnému průběhu reakce může někdy odpovídat i větší počet formálně správných rovnic.

Volba více než jednoho koeficientu může dát i koeficienty nulové či záporné a úpravou získáme rovnici **jiné** reakce. Zvažme nyní volby  $a = 8$ ,  $b = 2$  a  $a = 2$ ,  $b = 4$ .

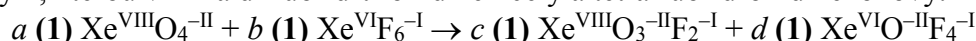


**1. krok:** Volíme  $a = 8$ ,  $b = 2$  a z bilance vodíku okamžitě plyne  $e = 5$ . **2. krok:** Na levé straně jsou definitivně určena **čtyři** jádra kyslíku, zatímco na pravé straně jich je ve vodě vázáno **pět**. Jediný způsob jak vyrovnat bilanci kyslíku bez narušení bilance vodíku spočívá v přesunu jedné molekuly  $\text{N}_2\text{O}$  na levou stranu a proto  $d = -1$ . **3. krok:** Z bilance dusíku uzavřeme  $c = 14$  a po přepisu do standardního tvaru máme upravenou rovnici této reakce:

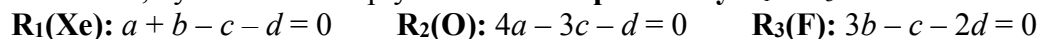


**1. krok:** Volíme  $a = 2$ ,  $b = 4$  a z bilance vodíku máme  $e = 3$ . **2. krok:** Z bilance kyslíku okamžitě plyne  $d = 5$ . **3. krok:** Jediná možnost jak vyrovnat bilanci dusíku bez narušení bilance zbývajících prvků je položit  $c = 0$ . Přepisem do standardního tvaru dostaneme tuto rovnici:  $2 \text{HN}_3 + 4 \text{HNO}_2 \rightarrow 5 \text{N}_2\text{O} + 3 \text{H}_2\text{O}$ . Jde o typ reakce zvaný synproporcionace, kdy určitý prvek (zde dusík) přechází z více oxidačních stavů do stavu jediného. Rovnice je dle pravidla *D*) již **jednoznačná**, neboť pro čtyři koeficienty plynou z pravidel *A*), *C*) čtyři různé podmínky a  $n = n_{\text{koef}}$ . Ačkoliv poslední dvě reakce nebyly (snad) dosud popsány, stěží s jistotou říci, že nelze najít podmínky, za nichž by probíhat mohly.

**Příklad A3:** Posuďme možnosti úpravy rovnice reakce oxidu xeničelého s fluoridem xenonovým, kterou vzniká difluorid-trioxid xeničelý a tetrafluorid-oxid xenonový.



Z bilance xenonu, kyslíku a fluoru plynou **tři různé podmínky**  $R_1 - R_3$ :

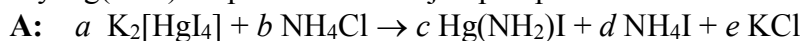


Kyslík a fluor oxidační čísla nemění a jediným myslitelným oxidačně redukčním dějem je ten, kdy atom  $\text{Xe}^{\text{VI}}$  redukuje atom  $\text{Xe}^{\text{VIII}}$  do stavu  $\text{Xe}^{\text{VI}}$ , přičemž se sám oxiduje do stavu  $\text{Xe}^{\text{VIII}}$ .



Přítom zůstávají počty atomů xenonu ve stavech  $\text{Xe}^{\text{VI}}$ ,  $\text{Xe}^{\text{VIII}}$  stejné, o redox reakci proto nejde a z pravidla C) žádná podmínka neplyne. Rovněž pravidlo B) podmínku nedá (rovnice není iontová). Exaktně bychom zjistili, že hodnost matice soustavy je  $n_{\text{vol}} = 3$ , vazné podmínky  $R_1$ – $R_3$  nezávislé, potom  $n_{\text{vol}} = n_{\text{koef}} - 1$  a vyznačená úprava jediná možná. Snadno bychom ji volbou  $d = 1$  z vazných podmínek našli. S případy, kdy pravidla A), B), C) poskytnou soubor lineárně nezávislých podmínek jako zde, se setkáme spíše výjimečně. Pro čtyři koeficienty máme tři různé podmínky ( $n = 3 < n_{\text{koef}} = 4$ ). Vyjděme nyní z pravidla D), dle kterého je v případech  $n < n_{\text{koef}}$  počet možných úprav **obvykle** neomezený, **někdy** je však rovnice i **jednoznačná** a k nalezení úpravy stačí **jeden** koeficient zvolit. Předpokládejme druhou možnost. Z rovnice je vidět, že výměnou atomu kyslíku za dva atomy fluoru mezi  $\text{XeO}_4$  a  $\text{XeF}_6$  vznikne po jedné molekule každého produktu a proto musí platit  $a = b = c = d$ . Volbou jednoho koeficientu (např.  $c = 1$ ) pak dostaneme jedinou možnou standardní úpravu rovnice:  $a = b = c = d = 1$ .

**Příklad A4:** Reakcí tetrajodortuťnatanu didraselného  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$  s  $\text{NH}_4\text{Cl}$  vzniká  $\text{NH}_4\text{I}$ ,  $\text{KCl}$  a amid-jodid rtuťnatý  $\text{Hg}(\text{NH}_2)\text{I}$ . Upravme následující předpokládanou rovnici reakce A.



Oxidační čísla prvků se nemění, rovnice není iontová, z pravidel B), C) žádné podmínky neplynou. Pravidlo A) dá pro **pět** koeficientů ( $n_{\text{koef}} = 5$ ) **šest** různých podmínek ( $n = 6$ ).

$$\begin{array}{lll} \mathbf{R}_1(\mathbf{K}): 2a - e = 0 & \mathbf{R}_2(\mathbf{Hg}): a - c = 0 & \mathbf{R}_3(\mathbf{I}): 4a - c - d = 0 \\ \mathbf{R}_4(\mathbf{N}): b - c - d = 0 & \mathbf{R}_5(\mathbf{H}): 2b - c - 2d = 0 & \mathbf{R}_6(\mathbf{Cl}): b - e = 0 \end{array}$$

Exaktním postupem zjistíme, že hodnost matice soustavy je  $n_{\text{vol}} = 5$ . Potom  $n_{\text{vol}} = n_{\text{koef}} = 5$ , rovnici upravit **nelze** (soustava má jen triviální řešení  $a = b = c = d = e = 0$ ).

Neumíme-li o hodnotě  $n_{\text{vol}}$  rozhodnout, můžeme vyjít z vazných podmínek a pravidla D), dle kterého v případě  $n > n_{\text{koef}}$  rovnici **obvykle** upravit nelze, **někdy** však může být i jednoznačná a k nalezení úpravy stačí jeden koeficient zvolit. Předpokládejme druhou možnost, volme  $a = 1$  a z podmínek  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_6$  plyne  $b = 2$ ,  $c = 1$ ,  $e = 2$ . Rovnice  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $R_5$  ale vedou ke třem různým hodnotám koeficientu  $d$  (**3**, **1**, **3/2**) a mohou tedy současně platit jen pro  $a = b = c = d = e = 0$ . Při chybné volbě „nulového koeficientu“  $a = 1$  pak soustava nemá žádné řešení (viz poznámku v příkladu A1 k „Rychlé úpravě z vazných podmínek“). To je ostatně zjevné již z pohledu na podmínky  $R_4$ ,  $R_5$ , které mohou být současně splněny jen pro  $c = 0$ . Z upravované rovnice potom musíme vypustit  $\text{Hg}(\text{NH}_2)\text{I}$  a následně i  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ . Pak v ní ovšem nemůže figurovat ani draslík a jod, vypustíme  $\text{NH}_4\text{I}$  i  $\text{KCl}$  a máme „upravenou rovnici“  $0 = 0$ . Proto je namístě zvážit, zda je rovnice **úplná**, neboť doplněním jedné reakční složky při zachování počtu vazných podmínek bude  $n = n_{\text{koef}} = 6$  a rovnice se stane **jednoznačnou**. Zde schází mezi produkty jodovodík a úplnou rovnici **B** již snadno upravíme.

**B:**  $a (1)^1 \text{ K}_2[\text{HgI}_4] + b (2)^2 \text{ NH}_4\text{Cl} \rightarrow c (1)^1 \text{ Hg}(\text{NH}_2)\text{I} + d (1)^3 \text{ NH}_4\text{I} + e (2)^1 \text{ KCl} + f (2)^4 \text{ HI}$   
**1. krok:** Volíme  $a = 1$ , z bilance rtuti a draslíku plyne  $c = 1$ ,  $e = 2$ . **2. krok:** Z bilance chlóru máme  $b = 2$ . **3. krok:** Z bilance dusíku plyne  $d = 1$ . **4. krok:** Z bilance jódu uzavřeme  $f = 2$ . „Nevyužitá“ bilance vodíku může sloužit ke kontrole.

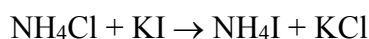
Nahradíme jodovodík v rovnici **B** jodidem draselným a upravme vzniklou rovnici **C**.



Oxidační čísla prvků se nemění, rovnice není iontová a z pravidla A) plyne pro  $n_{\text{koef}} = 6$  koeficientů  $n = 6$  různých podmínek  $R_1$ – $R_6$ :

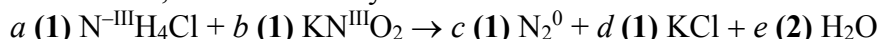
$$\begin{array}{lll} \mathbf{R}_1(\mathbf{K}): 2a - d - f = 0 & \mathbf{R}_2(\mathbf{Hg}): a - c = 0 & \mathbf{R}_3(\mathbf{I}): 4a - c - d - e = 0 \\ \mathbf{R}_4(\mathbf{N}): b - c - e = 0 & \mathbf{R}_5(\mathbf{H}): 2b - c - 2e = 0 & \mathbf{R}_6(\mathbf{Cl}): b - f = 0 \end{array}$$

Exaktním postupem najdeme  $n_{\text{vol}} = 5$ , potom  $n_{\text{vol}} = n_{\text{koef}} - 1$ , rovnice je **jednoznačná** a z upravené matice najdeme toto řešení:  $a = 0$ ,  $b = 1$ ,  $c = 0$ ,  $d = -1$ ,  $e = 1$  a  $f = 1$ . Složky  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$  a  $\text{Hg}(\text{NH}_2)\text{I}$  z upravované rovnice vypustíme ( $a = c = 0$ ), jodid draselný převedeme s kladným znaménkem na opačnou stranu ( $d < 0$ ) a získáme upravenou rovnici **jiné** reakce:



Vyjděme pouze z vazných podmínek a pravidla *D*), dle kterého stačí v případě  $n = n_{\text{koef}}$  jeden koeficient zvolit a volme např.  $e = 1$ . Z rovnic  $R_4$ ,  $R_5$  okamžitě plyne  $b = 1$ ,  $c = 0$  a ze zbývajících rovnic snadno dopočteme  $a = 0$ ,  $d = -1$ ,  $f = 1$ . O riziku a důsledcích chybné volby „nulového koeficientu“ platí, co již bylo řečeno výše. Zde je jen z pohledu na podmínky  $R_4$ ,  $R_5$  jasné, že volba  $c \neq 0$  je nepřipustná.

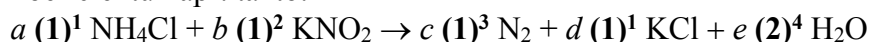
**Příklad A5:** Upravme rovnici reakce chloridu amonného s dusitanem draselným, kterou vzniká elementární dusík, chlorid draselný a voda.



Z bilance jader dle pravidla *A*) plyne **pět** různých podmínek  $R_1$ - $R_5$ . Oxidační číslo mění pouze dusík ( $\text{N}^{\text{III}}$ ,  $\text{N}^{\text{III}} \rightarrow \text{N}^0$ ) a pravidlo *C*) dá **šestou** podmínku. Oxidační číslo  $a$  atomů dusíku o **tři jednotky** roste a součet zvýšení oxidačních čísel je  $\Sigma_+ = 3a$ . Přitom  $b$  atomů dusíku oxidační číslo o **tři jednotky** snižuje a součet snížení oxidačních čísel činí  $\Sigma_- = 3b$ . Platí  $\Sigma_+ = \Sigma_-$  a odtud redox podmínka  $R_6$ . Pro  $n_{\text{koef}} = 5$  koeficientů máme  $n = 6$  různých podmínek.

$$\begin{array}{lll} \mathbf{R_1(N):} & a + b - 2c = 0 & \mathbf{R_2(H):} & 2a - e = 0 & \mathbf{R_3(Cl):} & a - d = 0 \\ \mathbf{R_4(K):} & b - d = 0 & \mathbf{R_5(O):} & 2b - e = 0 & \mathbf{R_6:} & a - b = 0 \end{array}$$

Exaktním postupem najdeme hodnotu matice  $n_{\text{vol}} = 4$ , potom  $n_{\text{vol}} = n_{\text{koef}} - 1$ , rovnice je jednoznačná a z upravené matice plyne jediná možná standardní úprava  $a = b = c = d = 1$ ,  $e = 2$ . Vyjděme nyní pouze z vazných podmínek a pravidla *D*), dle kterého je rovnice v případě  $n > n_{\text{koef}}$  **obvykle** neupravitelná, **někdy** však může být jednoznačná a stačí jeden koeficient zvolit. Předpokládejme druhý případ a volme  $a = 1$ . Z podmínek  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_6$  okamžitě plyne  $b = d = 1$ ,  $e = 2$ , z  $R_1$  uzavřeme  $c = 1$  a „nepoužité“ rovnice  $R_4$ ,  $R_5$  mohou sloužit ke kontrole. I bez výpisu podmínek můžeme rovnici snadno upravit postupným doplňováním koeficientů např. takto:



**1. krok:** Volíme  $a = 1$  a z bilance chlóru plyne  $d = 1$ . **2. krok:** Z bilance draslíku máme  $b = 1$ . **3. krok:** Z bilance dusíku plyne  $c = 1$ . **4. krok:** Z bilance vodíku uzavřeme  $e = 2$ . Bilancí kyslíku pak můžeme provést kontrolu úpravy. Týmž postup jsme mohli zahájit z poměru dvou koeficientů plynoucího z každé podmínky kromě podmínky  $R_1$ . To, že volba hodnoty jednoho koeficientu k provedení úpravy stačí, je zároveň důkazem jednoznačnosti rovnice.

### 3.3 PRÁCE S CHEMICKÝMI ROVNICEMI.

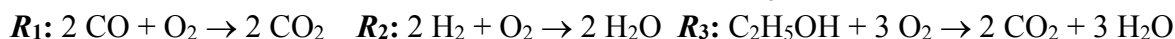
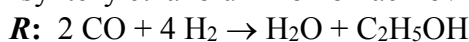
Standardní zápis rovnice neříká nic o složení soustavy po reakci, nebyla-li počáteční množství reaktantů stechiometrická. Například spalování methanu vyjadřuje tato standardní rovnice:  $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ . Reakce je nevratná ( $\rightarrow$ ) a z rovnice plyne, že po spálení stechiometrické směsi, kde na 1 mol  $\text{CH}_4$  připadaly 2 moly  $\text{O}_2$ , bude v soustavě pouze  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{O}$  v poměru látkových množství  $n(\text{CO}_2) : n(\text{H}_2\text{O}) = 1 : 2$ . Byl-li v reakční směsi např. kyslík v nadbytku 30 %, lze rovnici přepsat v následující „rozvinuté“ nestandardní formě:

$\text{CH}_4 + 2,6 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 0,6 \text{O}_2$ . Odtud můžeme pro poměr látkových množství složek po reakci okamžitě psát:  $n(\text{CO}_2) : n(\text{H}_2\text{O}) : n(\text{O}_2) = 1 : 2 : 0,6 = 5 : 10 : 3$ . Užití tohoto obratu při výpočtech z chemických rovnic je velmi výhodné.

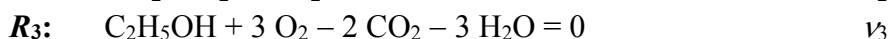
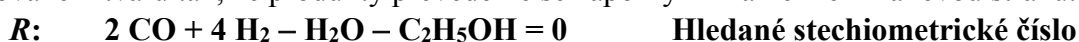
S chemickými rovnicemi provádíme stejné operace jako s rovnicemi matematickými. Jediný rozdíl spočívá v odlišném informačním obsahu stran chemické rovnice, kde na levé straně figurují vždy reaktanty a na pravé produkty. Matematické rovnice  $A + 2B = C$  a  $C = A + 2B$  jsou například stejné. Půjde-li však o rovnice chemické, budou to rovnice reakcí **opačných** ( $A + 2B \rightarrow C$  a  $C \rightarrow A + 2B$ ). Násobení rovnice konstantou spočívá ve vynásobení stechiometrických koeficientů. Je-li konstanta záporná, převedeme záporné členy

na opačnou stranu s kladným znaménkem, neboť ve standardním zápisu chemické rovnice figurují pouze kladné stechiometrické koeficienty. Násobíme-li číslem  $-1$ , strany rovnice prostě zaměníme. Rovnice sčítáme (odečítáme) tak, že sečteme (odečteme) jejich levé a pravé strany. Bude-li jejich součet např.  $A + 2 B \rightarrow C + B$ , píšeme  $A + B \rightarrow C$ . Je-li rozdíl dvou rovnic např.  $A + 2 B \rightarrow C - D$ , píšeme  $A + 2 B + D \rightarrow C$ . Těmito operacemi často kombinujeme více rovnic s cílem získat rovnici určité jiné reakce. Obvykle se postupuje zkusmo a při větším počtu rovnic se snadno dostaneme do obtíží. Ukážeme exaktní postup, kterým lze rozhodnout, zda žádaná kombinace dílčích rovnic vůbec existuje a zároveň ji najít.

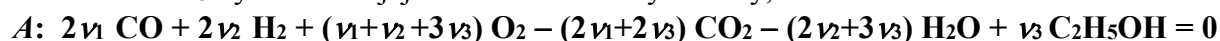
Máme vyjádřit rovnici syntézy ethanolu  $R$  kombinací rovnic dílčích reakcí  $R_1 - R_3$ .



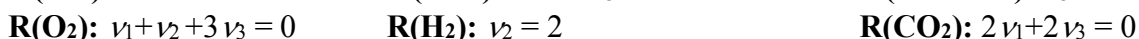
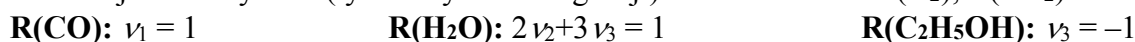
Potřebujeme tedy najít taková tzv. **stechiometrická čísla** dílčích reakcí  $\nu_1, \nu_2, \nu_3$ , aby platilo  $R \equiv \nu_1 \cdot R_1 + \nu_2 \cdot R_2 + \nu_3 \cdot R_3$ . Abychom se vyhnuli záměnám znamének, je lépe psát rovnice v anulovaném tvaru tak, že produkty převedeme se záporným znaménkem na levou stranu.



Rovnice  $R_1 - R_3$  vynásobíme jejich stechiometrickými čísly, sečteme a dostaneme rovnici  $A$ :



Nyní porovnáme koeficient každé složky v rovnici  $A$  s koeficientem téže složky v rovnici  $R$ . Například koeficient u  $\text{CO}$  v rovnici  $A$  je  $2 \nu_1$ , v rovnici  $R$  je **dvě** a odtud rovnice  $R(\text{CO})$ . Stejným způsobem dostaneme i rovnice  $R(\text{H}_2)$ ,  $R(\text{H}_2\text{O})$  a  $R(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$ . Koeficienty  $\text{O}_2$  a  $\text{CO}_2$  v rovnici  $R$  jsou rovny nule (tyto látky v ní nefigurují) a odtud rovnice  $R(\text{O}_2)$ ,  $R(\text{CO}_2)$ .



Pro tři neznámé  $\nu_1, \nu_2, \nu_3$  ( $n_\nu = 3$ ) máme **nehomogenní** soustavu šesti rovnic, z nichž jsou tři nezávislé, neboť hodnota matice soustavy je  $n_{\text{vol}} = 3$ . Protože  $n_{\text{vol}} = n_\nu$ , soustava má **jediné** řešení ( $\nu_1 = 1, \nu_2 = 2, \nu_3 = -1$ ) dané přímo rovnicemi  $R(\text{CO})$ ,  $R(\text{H}_2)$ ,  $R(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH})$  a rovnicí syntézy ethanolu vyjádříme jako  $R \equiv R_1 + 2 \cdot R_2 - R_3$ . Zde jsme mohli řešení „odezřít“ již z rovnic  $R$  a  $R_1 - R_3$ , neboť  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  a  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  figurují v souboru dílčích rovnic jen jednou. Kdyby v něm ale byly všechny látky zastoupeny vícekrát, je popsán exaktní postup nejspolehlivější cestou k cíli. Pro  $n_{\text{vol}} > n_\nu$  by soustava řešení **neměla** (žádaná kombinace dílčích reakcí by neexistovala). Kdyby zde např. platilo  $n_{\text{vol}} = 4$ , pak bychom zvážili, zda nelze vhodnou čtvrtou dílčí reakci doplnit a přejít k případu  $n_{\text{vol}} = n_\nu = 4$ .

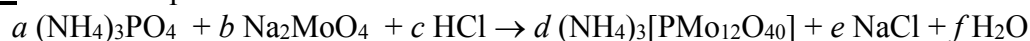
### 3.4 ŘEŠENÉ PŘÍKLADY.

Při sledování postupů úprav si koeficienty do upravovaných rovnic průběžně doplňujte.

#### Příklad 1

Upravme rovnici reakce fosforečnanu triamonného, molybdenanu sodného a chlorovodíku, kterou vznikají dodekamolybdenanofosforečnan triamonný, chlorid sodný a voda.

**Řešení:** Dle zadání píšeme:



**I.** Oxidační čísla prvků se nemění, rovnice není iontová, z pravidel  $B)$ ,  $C)$  žádné podmínky neplynou. Bilance sedmi prvků dá **šest** různých rovnic ( $n = 6$ ), neboť bilance  $\text{N}$  a  $\text{P}$  jsou stejné ( $a = d$ ). Hledáme **šest** koeficientů ( $n_{\text{koef}} = 6$ ) a tedy  $n = n_{\text{koef}}$ . Rovnice je dle pravidla  $D)$  jednoznačná a stačí jeden koeficient zvolit. **2.** Volíme  $d = 1$ . Na pravé straně je určen počet

jader P (1), Mo (12) a odtud  $a = 1$ ,  $b = 12$ . 3. Na levé straně je určen počet jader Na (24) a proto  $e = 24$ . 4. Na pravé straně je určen počet jader Cl (24) a proto  $c = 24$ . 5. Na levé straně je určen počet jader H (36) a z bilance vodíku uzavřeme  $f = 12$ .

**Závěr:**  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 + 12 \text{Na}_2\text{MoO}_4 + 24 \text{HCl} \rightarrow (\text{NH}_4)_3[\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}] + 24 \text{NaCl} + 12 \text{H}_2\text{O}$

**Poznámka:** Volba koeficientu  $b$ ,  $d$  nebo  $e$  dá přímo dva koeficienty další a je nejvýhodnější: ( $b \rightarrow d, e$ ), ( $d \rightarrow a, b$ ), ( $e \rightarrow b, c$ ). Volba  $a$  nebo  $c$  dá jen koeficient jeden: ( $a \rightarrow d$ ), ( $c \rightarrow e$ ).

### Příklad 2

Jest upravit rovnici reakce arsenu s kyselinou dusičnou, kterou vzniká oxid dusnatý a kyselina trihydrogenarseničná.

**Řešení:** Dle zadání píšeme:  $a \text{As} + b \text{HNO}_3 \rightarrow c \text{H}_3\text{AsO}_4 + d \text{NO}$ .

1. Rovnice není iontová, bilance čtyř prvků dá **čtyři** různé podmínky, **pátá** podmínka plyne z pravidla C), neboť arsen a dusík mění oxidační čísla ( $\text{As}^0 \rightarrow \text{As}^{\text{V}}$ ,  $\text{N}^{\text{V}} \rightarrow \text{N}^{\text{II}}$ ) a pro  $n_{\text{koef}} = 4$  koeficienty máme  $n = 5$  různých podmínek. Potom  $n > n_{\text{koef}}$  a dle pravidla D) rovnici obvykle nelze upravit, někdy však může být i jednoznačná. 2. Předpokládejme druhou možnost a vyjdeme z redox podmínky. Oxidační číslo  $a$  atomů As o **pět jednotek** roste a součet zvýšení oxidačních čísel je  $\Sigma_+ = 5a$ . Oxidační číslo  $b$  atomů N o **tři jednotky** klesá a  $\Sigma_- = 3b$ . Platí  $\Sigma_+ = \Sigma_-$ , potom  $a = 3b$ , volíme  $a = 3$  a máme  $b = 5$ . 3. Na levé straně jsou určeny počty všech jader a odtud plyne  $c = 3$ ,  $d = 5$ . 4. Na pravé straně je však o čtyři jádra vodíku a dvě jádra kyslíku více, což bez zavedení další reakční složky nelze napravit. Rovnice je zjevně neúplná a na levé straně schází dvě molekuly vody  $\text{H}_2\text{O}$ , která je třetím reaktantem.

**Závěr:**  $3 \text{As} + 5 \text{HNO}_3 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \text{H}_3\text{AsO}_4 + 5 \text{NO}$

**Poznámka:** Exaktně bychom našli, že  $n_{\text{vol}} = n_{\text{koef}} = 4$  a rovnici upravit nelze. Zde jsme ukázali, že pravidlo A) a podmínku  $a = 3b$  z pravidla C) nelze současně splnit a rovnici upravit.

### Příklad 3

Jest upravit tuto rovnici reakce hexakynoželeznatanu tetradraselného s  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a vodou:



**Řešení:** 1. Jde o neiontovou obyčejnou rovnici, hledáme **sedm** koeficientů ( $n_{\text{koef}} = 7$ ). Bilance sedmi prvků dle pravidla A) dá **sedm** různých podmínek ( $n = 7$ ). Potom  $n = n_{\text{koef}}$  a rovnice je jednoznačná. 2. Volme  $a = 1$ , čímž je určen celkový počet jader K (4), Fe (1), C (6), N (6) a z pohledu na pravou stranu okamžitě plyne  $d = 2$ ,  $e = 1$ ,  $f = 3$ ,  $g = 6$ . 3. Na pravé straně je určen počet skupin  $\text{SO}_4$  (6), v nichž je vázána veškerá síra, a proto  $b = 6$ . 4. Na pravé straně je určen počet jader H (24) a z bilance vodíku snadno uzavřeme  $c = 6$ .

**Závěr:**  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] + 6 \text{H}_2\text{SO}_4 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{FeSO}_4 + 3 (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 6 \text{CO}$

**Poznámka:** Z pouhého pohledu na upravovanou rovnici a bilance jader K, Fe, C, N plyne postupný poměr koeficientů  $a : d : e : f : g = 1 : 2 : 1 : 3 : 6$ , dle kterého píšeme:



Dohledání koeficientů  $b, c$  z bilance síry a vodíku je již elementární záležitostí.

### Příklad 4

Jest upravit rovnici redukce jodičnanu hydrogensiričitanem, kterou vzniká jodid, síran a reakční směs se stává kyselější.

**Řešení:** Dle zadání píšeme:  $a \text{IO}_3^- + b \text{HSO}_3^- \rightarrow c \text{I}^- + d \text{SO}_4^{2-} + e \text{H}^+$

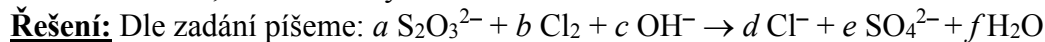
1. Hledáme **pět** koeficientů ( $n_{\text{koef}} = 5$ ). Rovnice je iontová, z bilance čtyř prvků a pravidla B) plyne **pět** různých podmínek. Všechna síra a jod mění oxidační čísla ( $\text{S}^{\text{IV}} \rightarrow \text{S}^{\text{VI}}$ ,  $\text{I}^{\text{V}} \rightarrow \text{I}^{-1}$ ) a z pravidla C) máme **šestou** podmínku ( $n = 6$ ). Potom  $n > n_{\text{koef}}$ , kdy dle pravidla D) rovnici **obvykle** nelze upravit, **někdy** však může být i jednoznačná. 2. Předpokládejme druhou možnost a zvolme jeden koeficient, např.  $b = 3$ . Z pohledu na pravou stranu rovnice okamžitě plyne  $c = 1$ ,  $d = 3$ ,  $e = 3$ . 3. Na pravé straně je určen celkový náboj ( $-4$ ) a odtud uzavřeme  $a = 1$ . Bilanci kyslíku můžeme úpravu zkontrolovat.



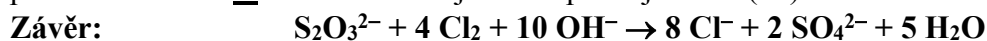
**Poznámka:** K úpravě rovnice stačila volba jednoho koeficientu, což je i důkaz, že je vskutku jednoznačná. Při úpravě jsme též mohli vyjít z redox podmínky, kterou jsme zde ani nepsali,

### **Příklad 5**

Jest upravit rovnici oxidace thiosíranu chlorem, která probíhá v alkalickém prostředí za vzniku chloridu, síranu a vody.



**1.** Hledáme **šest** koeficientů ( $n_{\text{koef}} = 6$ ). Rovnice je iontová a bilance čtyř prvků s pravidlem B) dají **pět** různých podmínek. Oxidační čísla chloru a síry se mění, z pravidla C) plyne **šestá** podmínka ( $n_{\text{koef}} = 6$ ), potom  $n = n_{\text{koef}}$  a rovnice je jednoznačná. **2.** Vyjděme z redox podmínky: **2b** atomů chloru se redukuje o **jeden** stupeň a součet snížení oxidačních čísel je  $\Sigma_- = 2b$ . Oxidační stavy atomů síry v iontu  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  jsou  $\text{S}^{-\text{II}}$ ,  $\text{S}^{\text{VI}}$ , na pravé straně je všechna síra ve stavu  $\text{S}^{\text{VI}}$ . Tedy pouze **a** atomů síry oxidační číslo o **osm** jednotek zvyšuje a  $\Sigma_+ = 8a$ . Platí  $\Sigma_+ = \Sigma_-$ , potom  $a/b = 1/4$ , volíme **a = 1** a dle zlomku píšeme **b = 4**. **3.** Tím je určen počet jader S (2), Cl (8) a odtud **d = 8**, **e = 2**. **4.** Na pravé straně je určen celkový náboj (-12) a proto položíme **c = 10**. **5.** Na levé straně je určen počet jader H (10) a odtud uzavřeme **f = 5**.



**Poznámka:** Ke správné redox podmínce dojdete, i tak, připišete-li atomům síry v aniontu  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  **průměrné** oxidační číslo +II, které jim formálně náleží. Potom oxidační číslo **2a** atomů síry roste o dvě jednotky a součet zvýšení oxidačních čísel je i zde  $\Sigma_+ = 8a$ .

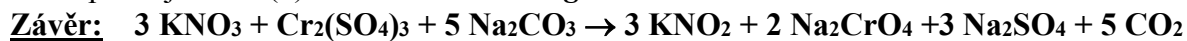
### **Příklad 6**

Zahříváním dusičnanu draselného a síranu chromitého s uhličitanem sodným vzniká dusitan draselný, chroman sodný, síran sodný a oxid uhličitý. Upravme rovnici reakce.

**Řešení:** Dle zadání je třeba upravit tuto rovnici:



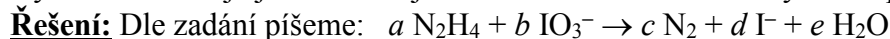
**1.** Hledáme **sedm** koeficientů ( $n_{\text{koef}} = 7$ ). Z bilance sedmi prvků dostaneme **šest** různých podmínek (bilance K a N je stejná:  $a = d$ ). Dusík a chrom mění oxidační čísla, pravidlo C) dá **sedmou** redox podmínku ( $n = 7$ ), potom  $n = n_{\text{koef}}$  a rovnice je jednoznačná. **2.** Vyjdeme z redox podmínky. Oxidační číslo zvyšuje **2b** atomů chromu o tři jednotky ( $\text{Cr}^{\text{III}} \rightarrow \text{Cr}^{\text{VI}}$ ) a  $\Sigma_+ = 6b$ . Oxidační číslo snižuje **a** atomů dusíku o dvě jednotky ( $\text{N}^{\text{V}} \rightarrow \text{N}^{\text{III}}$ ) a  $\Sigma_- = 2a$ . Platí  $\Sigma_+ = \Sigma_-$ , odtud  $a/b = 3/1$ , volíme **a = 3** a dle zlomku píšeme **b = 1**. **3.** Na levé straně je určen počet jader K (3), N (3), Cr (2) a skupin  $\text{SO}_4$  (3). Z pohledu na pravou stranu plyne **d = 3**, **e = 2** a **f = 3**. **4.** Na pravé straně je určen počet jader Na (10) a odtud **c = 5**. **5.** Na levé straně je určen počet jader C (5) a odtud uzavíráme **g = 5**.



**Poznámka:** Tuto jednoznačnou redox rovnici lze upravit pouze z pravidla A) volbou jednoho koeficientu, což si můžete vyzkoušet. Úpravy z redox podmínky jsou však obvykle rychlejší.

### **Příklad 7**

Hydrazin redukuje jodičnan na jodid za vzniku dusíku a vody. Jest upravit rovnici reakce.

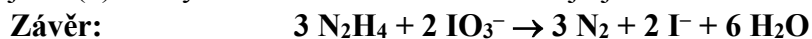


Hledáme  $n_{\text{koef}} = 5$  koeficientů. Z bilance jader čtyř prvků plynou **čtyři** různé podmínky. Oxidační čísla dusíku a jodu se mění ( $\text{N}^{-\text{II}} \rightarrow \text{N}^0$ ,  $\text{I}^{\text{V}} \rightarrow \text{I}^{-\text{I}}$ ) a pravidlo C) dá **pátou** různou podmínku. Rovnice je iontová, z pravidla B) plyne šestá podmínka, která je shodná s bilancí jodu ( $b - d = 0$ ) a tedy  $n = 5$ . Potom  $n = n_{\text{koef}}$  a rovnice je jednoznačná.

**Úprava z redox podmínky:** **1.** Oxidační číslo **b** atomů jodu o šest jednotek klesá a součet snížení oxidačních čísel je  $\Sigma_- = 6b$ . Oxidační číslo **2a** atomů dusíku o dvě jednotky

roste a  $\Sigma_+ = 4a$ . Platí  $\Sigma_+ = \Sigma_-$ , odtud  $a/b = 3/2$ , volíme  $a = 3$  a dle zlomku píšeme  $b = 2$ . 2. Levá strana rovnice je úplná a z pohledu na pravou stranu uzavřeme  $c = 3$ ,  $d = 2$ ,  $e = 6$ .

Úprava z pravidel A), B): 1. Volíme  $a = 1$ , na levé straně je dán počet jader H (2) i N (4) a odtud  $c = 1$ ,  $e = 2$ . 2. Na pravé straně je určen počet jader O (2), odtud  $b = 2/3$  a nalezené koeficienty vynásobíme třemi:  $a = 3$ ,  $b = 2$ ,  $c = 3$ ,  $e = 6$ . 3. Na levé straně je určen počet jader jodu (2) a tedy  $d = 2$ . Kontrola: součet nábojů je na obou stranách rovnice stejný (-2).



### **Příklad 8**

Jest upravit rovnici reakce suříku  $\text{Pb}_3\text{O}_4$  (oxid diolovnat-olovičitý  $2\text{Pb}^{\text{II}}\text{O} \cdot \text{Pb}^{\text{IV}}\text{O}_2$ ) se zředěnou kyselinou dusičnou, kterou vzniká dusičnan olovnatý, oxidu olovičitý a voda.

**Řešení:** Dle zadání píšeme:  $a \text{Pb}_3\text{O}_4 + b \text{HNO}_3 \rightarrow c \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + d \text{PbO}_2 + e \text{H}_2\text{O}$ .

Bilance prvků dá čtyři různé podmínky, z pravidla B) žádná podmínka neplyne. Oxidační čísla O, H a N se nemění. Jediným myslitelným redox dějem je reakce, kdy atom olova ve stavu  $\text{Pb}^{\text{IV}}$  oxiduje atom olova  $\text{Pb}^{\text{II}}$  a sám je přitom redukován do stavu  $\text{Pb}^{\text{II}}$ . Počet atomů ve stavech  $\text{Pb}^{\text{II}}$ ,  $\text{Pb}^{\text{IV}}$  se tím nemění a o redox reakci nejde. Hledáme **pět** koeficientů ( $n_{\text{koef}} = 5$ ) a k dispozici jsou pouze **čtyři** různé podmínky z pravidla A) ( $n = 4$ ). Potom  $n < n_{\text{koef}}$  a počet možných úprav je dle pravidla D) **obvykle** neomezený, **někdy** je ale rovnice i **jednoznačná**.

Úprava z pravidla A): 1. Předpokládejme, že je rovnice jednoznačná a volme  $a = 1$ . Tím je určen počet atomů  $\text{Pb}^{\text{II}}$  (2),  $\text{Pb}^{\text{IV}}$  (1) a proto  $c = 2$ ,  $d = 1$ . 2. Na pravé straně je určen počet jader N (4) a odtud  $b = 4$ . 3. Z bilance jader vodíku již snadno uzavřeme  $e = 2$ . Volba jednoho koeficientu k úpravě stačila a rovnice je tedy skutečně jednoznačná.

Úprava z pravidla C): 1. Považujme reakci formálně za redukčně oxidační disproportionaci, kdy olovo **průměrného** oxidačního čísla  $8/3$  v  $\text{Pb}_3^{8/3}\text{O}_4^{-\text{II}}$  přechází do stavů  $\text{Pb}^{\text{II}}$  a  $\text{Pb}^{\text{IV}}$  ( $\text{Pb}^{8/3} \rightarrow \text{Pb}^{6/3}$ ,  $\text{Pb}^{12/3}$ ). Oxidační číslo  $d$  atomů olova o  $4/3$  roste a oxidační číslo  $c$  atomů olova o  $2/3$  klesá. Součty zvýšení a snížení oxidačních čísel tak činí  $\Sigma_+ = 4d/3$  a  $\Sigma_- = 2c/3$ , platí  $\Sigma_+ = \Sigma_-$  a  $c/d = 2/1$ . Volíme  $c = 2$  a dle zlomku máme  $d = 1$ . 2. Na pravé straně je určen počet atomů Pb (3), skupin  $\text{NO}_3$  (4) a odtud  $a = 1$ ,  $b = 4$ . 3. Z bilance vodíku pak uzavřeme  $e = 2$ . Odtud je též zjevný smysl průměrného oxidačního čísla, formálního „redox děje“ a jejich možné využití.



*Poznámka:* Přepíšeme-li suřík jako  $2\text{PbO} + \text{PbO}_2$ , což odpovídá skutečnosti, dostaneme:

$2 \text{PbO} + \text{PbO}_2 + 4 \text{HNO}_3 \rightarrow 2 \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{PbO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ . Podtržené členy se ruší ( $\text{PbO}_2$  se nemění, neboť se reakce vlastně neúčastní) a problém přechází k triviální úpravě jednoznačné rovnice, kde  $n = n_{\text{koef}} = 4$ :  $a$  (2)  $\text{PbO} + b$  (4)  $\text{HNO}_3 \rightarrow c$  (2)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + d$  (2)  $\text{H}_2\text{O}$ .

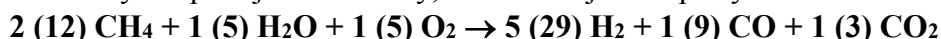
### **Příklad 9**

Jest upravit rovnici popisující výrobu vodíku štěpením methanu vodní parou za současného spalování části methanu. Kromě vodíku jsou dalšími produkty oxid uhelnatý a oxid uhličitý.

**Řešení:** Dle zadání píšeme:  $a \text{CH}_4 + b \text{H}_2\text{O} + c \text{O}_2 \rightarrow d \text{H}_2 + e \text{CO} + f \text{CO}_2$ .

1. Rovnice není iontová, bilance tří prvků dá **tři** různé podmínky, **čtvrtá** podmínka plyne z pravidla C), neboť všechny prvky mění oxidační čísla ( $\text{C}^{-\text{IV}} \rightarrow \text{C}^{\text{II}}, \text{C}^{\text{IV}}$ ,  $\text{H}^{\text{I}} \rightarrow \text{H}^0$ ,  $\text{O}^0 \rightarrow \text{O}^{-\text{II}}$ ) a pro  $n_{\text{koef}} = 6$  koeficientů máme  $n = 4$  různé podmínky. Potom  $n < n_{\text{koef}}$ , počet možných úprav rovnice je dle pravidla D) **obvykle** neomezený, **někdy** však může být i jednoznačná. 2. Předpokládejme první případ. Pak je dle pravidla D) k nalezení jedné úpravy **obvykle** třeba ( $n_{\text{koef}} - n + 1$ ) koeficientů zvolit (zde **tři**). Volme např.  $b = c = e = 1$ . Na levé straně je určen počet jader O (3) a odtud  $f = 1$ . 2. Na pravé straně je určen počet jader C (2) a tedy i  $a = 2$ . 3. Na levé straně je určen počet jader H (10), odtud uzavřeme  $d = 5$  a jedna z možných úprav rovnice je  $a = 2$ ,  $b = c = 1$ ,  $d = 5$ ,  $e = f = 1$ . 3. Z volby  $b = c = 5$ ,  $e = 9$  získáme stejným způsobem úpravu další:  $a = 12$ ,  $b = c = 5$ ,  $d = 29$ ,  $e = 9$ ,  $f = 3$ .

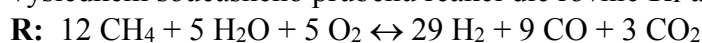
**Závěr:** Počet možných úprav je neomezený, dvě z nich jsou např. tyto:



**Poznámka:** Ze dvou různých voleb tří koeficientů jsme získali dvě různé úpravy rovnice. To je zároveň důkazem, že je vše skutečně tak, jak tomu dle pravidla D) „obvykle“ bývá. Z matice soustavy čtyř podmínek ( $n = 4$ ), které jsme zde ani nepsali, bychom zjistili, že pouze tři z nich jsou nezávislé ( $n_{vol} = 3$ ). Dalšími dvěma nezávislými podmínkami je pak třeba, aby platilo  $n_{vol} = n_{koef} - 1 = 5$ , což je k nalezení jedné určité úpravy nezbytné. To jsme dosáhli volbou tří koeficientů (např.  $b = c = e = 1$ ), odkud máme tři podmínky ( $b = c$ ,  $b = e$ ,  $c = e$ ), z nichž jsou však pouze dvě nezávislé (každá z nich plyne ze dvou zbývajících). Tato reakce skutečně probíhá, v závislosti na počátečním složení reakční směsi a dalších podmínkách, s různou stechiometrií. Chemické zkušenosti tak vyhovuje i více možných úprav rovnice (jsou správné) a z dalšího příkladu budou zjevné praktické důsledky této skutečnosti.

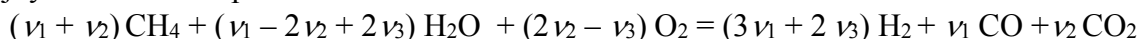
### **Příklad 10**

Jest zjistit, zda reakce daná rovnicí **R**, kterou jsme v předchozím příkladu získali, může být výsledkem současného průběhu reakcí dle rovnic **R<sub>1</sub>** až **R<sub>3</sub>**:



### **Řešení:**

Jak jsme ukázali v kapitole 3.3, jde o to, najít taková stechiometrická čísla  $\nu_1$ ,  $\nu_2$ ,  $\nu_3$ , aby platil vztah  $\mathbf{R} \equiv \nu_1 \cdot \mathbf{R}_1 + \nu_2 \cdot \mathbf{R}_2 + \nu_3 \cdot \mathbf{R}_3$ . Rovnice **R<sub>1</sub>** až **R<sub>3</sub>** jimi vynásobíme, sečteme, koeficienty stejných reaktantů a produktů sloučíme a dostaneme:



Z porovnání obecných koeficientů u CO a CO<sub>2</sub> s koeficienty v rovnici **R** plyne  $\nu_1 = 9$  a  $\nu_2 = 3$ . Z porovnání koeficientů u O<sub>2</sub> máme  $5 = 2\nu_2 - \nu_3$  a odtud  $\nu_3 = 1$ . Porovnání koeficientů u dalších složek může sloužit ke kontrole a reakci **R** vyjádříme takto:  $\mathbf{R} \equiv 9 \cdot \mathbf{R}_1 + 3 \cdot \mathbf{R}_2 + \mathbf{R}_3$ .

**Závěr:**  $\mathbf{R} \equiv 9 \cdot \mathbf{R}_1 + 3 \cdot \mathbf{R}_2 + \mathbf{R}_3$

**Poznámka:** Množství reaktantů odpovídající rovnici reakce **R** bylo zvoleno z praktických důvodů pro konkrétní technologické uspořádání tak, aby proces byl mírně exothermický. To proto, aby silně exothermická reakce **R<sub>2</sub>** (tzv. „vnitřní spalování methanu“) probíhala ve vhodném rozsahu (aby její stechiometrické číslo  $\nu_2$  mělo vhodnou hodnotu), kdy optimálně přispívá k zajištění teploty potřebné pro efektivní průběh hlavní produkční reakce vodíku **R<sub>1</sub>**. Pokud by se uplatňovala více ( $\nu_2$  by bylo vyšší než optimální), „topila“ by více než třeba a systém by bylo nutno chladit. Následkem velké spotřeby methanu v reakci **R<sub>2</sub>** by rovněž došlo k omezení rozsahu reakce **R<sub>1</sub>** (hodnota  $\nu_1$  by byla nižší).

## **3.5 PŘÍKLADY K ŘEŠENÍ.**

V rovnicích doplňte chybějící látky označené otazníkem a správné koeficienty.

1. a)  $\text{ZnI}_2 + \text{LiAlH}_4 \rightarrow \text{ZnH}_2 + \text{LiI} + \text{AlH}_3$
- b)  $\text{K}_4 [\text{Fe}(\text{CN})_6] + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{HCN} + \text{K}_2\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] + \text{K}_2\text{SO}_4$
- c)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CrO}_2\text{Cl}_2 + ? + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- d)  $\text{CuSO}_4 + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)]_4(\text{OH})_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- e)  $\text{Ag}^+ + \text{HCOH} + \text{OH}^- \rightarrow \text{Ag} + \text{HCOO}^- + ?$
- f)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KOH} + \text{BaCl}_2 \rightarrow \text{BaCrO}_4 + ? + \text{H}_2\text{O}$
- g)  $\text{V}_2\text{O}_5 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_3\text{VO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- h)  $\text{P}_4\text{O}_{10} + \text{CH}_2(\text{COOH})_2 \rightarrow \text{C}_3\text{O}_2 + \text{H}_3\text{PO}_4$

- i)*  $\text{KBrO}_3 + \text{C} \rightarrow \text{KBr} + \text{CO}_2$
2. *a)*  $\text{BF}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}[\text{BF}_4] + \text{H}_3\text{BO}_3$   
*b)*  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$   
*c)*  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{CCl}_4 \rightarrow \text{CrCl}_3 + \text{COCl}_2$   
*d)*  $\text{As}_2\text{S}_3 + \text{OH}^- \rightarrow \text{AsS}_3^{3-} + \text{AsO}_3^{3-} + ?$   
*e)*  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3 + ?$   
*f)*  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{HF} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_3[\text{AlF}_6] + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
*g)*  $\text{HNO}_3 + \text{P}_4\text{O}_{10} \rightarrow \text{HPO}_3 + \text{N}_2\text{O}_5$   
*h)*  $\text{As}_2\text{S}_5 + \text{OH}^- \rightarrow \text{AsO}_4^{3-} + \text{AsS}_4^{3-} + \text{H}_2\text{O}$   
*i)*  $\text{Al} + \text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2 \rightarrow (\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{Al}$
3. *a)*  $\text{NO}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
*b)*  $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{SO}_4$  Do stavu  $\text{O}^0$  přechází výlučně kyslík, jehož původní stav byl  $\text{O}^{-1}$ .  
*c)*  $\text{I}_2 + \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{NaI} + \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$   
*d)*  $\text{I}^- + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{I}_2 + \text{Cr}^{3+} + ?$   
*e)*  $\text{AsO}_3^{3-} + \text{MnO}_4^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{AsO}_4^{3-} + \text{Mn}^{2+} + ?$   
*f)*  $\text{Br}^- + \text{BrO}_3^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{Br}_2 + ?$   
*g)*  $\text{H}_2\text{SeO}_3 + \text{CsOH} \rightarrow \text{CsH}_5(\text{SeO}_3)_3 + ?$   
*h)*  $\text{CS}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CCl}_4 + \text{S}_2\text{Cl}_2$   
*i)*  $\text{CuO} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{Cu} + ? + \text{H}_2\text{O}$
4. *a)*  $\text{SiF}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2[\text{SiF}_6] + ?$   
*b)*  $\text{I}_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{HIO}_3 + ? + \text{H}_2\text{O}$   
*c)*  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{MnO}_4^- + \text{H}^+ \rightarrow ? + \text{Mn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$   
*d)*  $\text{CaO} + \text{Al} \rightarrow \text{Ca} + \text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$   
*e)*  $\text{Se} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SeO}_3 + \text{NO}$   
*f)*  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + \text{IO}_3^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{IO}_6^{3-} + \text{SO}_4^{2-} + ?$   
*g)*  $\text{HPO}_4^{2-} + \text{MoO}_4^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow [\text{P}(\text{Mo}_3\text{O}_{10})_4]^{3-} + \text{H}_2\text{O}$   
*h)*  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{CoO} + \text{NO}_2 + \text{O}_2$   
*i)*  $\text{Au} + \text{CN}^- + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Au}(\text{CN})_2]^- + \text{OH}^-$
5. *a)*  $\text{Na}_3\text{AlF}_6 + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Na}_3\text{AlO}_3 + ? + \text{CO}_2$   
*b)*  $\text{Na}_3\text{AlO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Al}(\text{OH})_3$   
*c)*  $\text{B}_2\text{O}_3 + \text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BF}_3 + ? + \text{H}_2\text{O}$   
*d)*  $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{FeSO}_4 + \text{CO} + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$   
*e)*  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{KAlO}_2 + \text{CO}_2$   
*f)*  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} + \text{H}_2\text{SO}_4 + ? \rightarrow \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   
*g)*  $\text{NO}_2 + \text{NO} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaNO}_2 + ?$   
*h)*  $\text{BaO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{BaO}_2$   
*i)*  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + ? + \text{H}_2\text{O}$
6. *a)*  $\text{ClO}^- + \text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{Cl}^- + ?$   
*b)*  $\text{H}_2\text{SeO}_3 + \text{HClO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{SeO}_4 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
*c)*  $\text{AuCl}_3 + \text{SO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Au} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + ? + \text{NaCl}$   
*d)*  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + ? + \text{H}_2\text{O}$



- e)  $\text{SeO}_2 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{Se} + \text{N}_2 + ?$   
 f)  $\text{Br}_2 + \text{HClO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HBrO}_3 + \text{HCl}$   
 g)  $\text{VO}_4^{3-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{V}_3\text{O}_9^{3-} + \text{H}_2\text{O}$   
 h)  $\text{CrCl}_2\text{O}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{CrO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$   
 i)  $\text{Al} + (\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Zn} \rightarrow (\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{Al} + \text{Zn}$

7. Napište rovnici reakce kyseliny dusičné s kyselinou chlorovodíkovou, při které vzniká chlorid nitrosylu a chlor.

8. a)  $\text{FeSO}_4 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 b)  $\text{FeS}_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$   
 c)  $\text{ReCl}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ReO}_2 + \text{HReO}_4 + \text{HCl}$   
 d)  $\text{FeS}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + ?$   
 e)  $\text{FeS}_2 + \text{Na}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{O}$   
 f)  $\text{NO} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + ? + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{SO}_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + ?$   
 h)  $\text{C} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 i)  $\text{As}_2\text{S}_3 + \text{OH}^- \rightarrow \text{AsO}_2^- + \text{AsS}_2^- + \text{H}_2\text{O}$

9. a)  $\text{Ag} + \text{O}_2 + \text{KCN} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2] + ?$   
 b)  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{NaNO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{NaNO}_2 + ?$   
 c)  $\text{MnO}_2 + \text{KClO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{KCl} + ?$   
 d)  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{KNO}_3 + ? \rightarrow \text{K}_2\text{FeO}_4 + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 e)  $\text{MgO} + \text{Si} + \text{CaO} \rightarrow \text{Mg} + \text{CaSiO}_3$   
 f)  $\text{As} + \text{NaClO} + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_3\text{AsO}_4 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{As}_2\text{S}_5 + (\text{NH}_4)_2\text{S} \rightarrow (\text{NH}_4)_3\text{AsS}_4$   
 h)  $\text{P} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NO}_2 + ?$   
 i)  $\text{Sn} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{SnO}_2 + ? + \text{H}_2\text{O}$

10. a)  $\text{Al}_2(\text{CH}_3)_6 + \text{B}_2\text{H}_6 \rightarrow \text{B}(\text{CH}_3)_3 + \text{Al}(\text{BH}_4)_3$   
 b)  $\text{CaF}_2 + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{SiF}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 c)  $\text{Na}_3\text{SbS}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Sb}_2\text{S}_5 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{S}$   
 d)  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Fe}_3\text{Br}_8 \rightarrow \text{NaBr} + \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$   
 e)  $\text{KMnO}_4 + (\text{COOH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{CO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 f)  $\text{Sr}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{SrCrO}_4 + \text{CH}_3\text{COOK} + \text{CH}_3\text{COONH}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{Ba} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{Ba}(\text{NH}_2)_2 + ?$   
 h)  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Na}_3\text{AsO}_3 + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{Ag}_3\text{AsO}_4 + \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$   
 i)  $\text{As}_2\text{S}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{As}_2\text{O}_3 + ?$

11. Rozpuštěním selenu v koncentrované kyselině dusičné vzniká kyselina seleničitá  $\text{H}_2\text{SeO}_3$  a oxid dusnatý. Napište rovnici reakce.

12. a)  $\text{Bi}(\text{OH})_3 + \text{Cl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaBiO}_3 + ? + \text{H}_2\text{O}$   
 b)  $\text{V}_2\text{O}_5 + \text{Si} + \text{CaO} \rightarrow \text{V} + \text{CaSiO}_3$   
 c)  $\text{CHBr}_3 + \text{As}_2\text{O}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_2\text{Br}_2 + \text{NaBr} + \text{Na}_3\text{AsO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 d)  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{C} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{P}_4 + \text{CO} + \text{CaSiO}_3$   
 e)  $\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$   
 f)  $\text{NH}_3 + \text{Br}_2 \rightarrow ? + \text{NH}_4\text{Br}$

- g)  $\text{PbS} + \text{O}_3 \rightarrow \text{PbSO}_4 + ?$   
 h)  $\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{SO}_2 + ? + \text{H}_2\text{O}$   
 i)  $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + ? + \text{H}_2\text{O}$

13. a)  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + \text{KNH}_2 \rightarrow \text{Hg}_3\text{N}_2 + \text{NH}_3 + \text{KNO}_3$   
 b)  $\text{Na}_2\text{S}_5 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{S}$   
 c)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{S} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 d)  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + \text{Mn}^{2+} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{MnO}_4^- + \text{H}^+$   
 e)  $\text{KMnO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$   
 f)  $\text{KMnO}_4 + \text{KI} + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{KIO}_4 + ?$   
 g)  $\text{SO}_3 + \text{HBr} \rightarrow \text{SO}_2 + ? + \text{H}_2\text{O}$   
 h)  $\text{Se} + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SeO}_3 + \text{HCl}$   
 i)  $\text{F}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HF} + \text{O}_2$

14. Chlornany poskytují reakcí s chlorovodíkem chloridy a chlor. Napište rovnici reakce.

15. a)  $\text{NaCl} + \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cl}_2 + ? + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 b)  $\text{GeO} + \text{Cl}_2 + \text{C} \rightarrow \text{GeCl}_4 + \text{CO}$   
 c)  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Ca}(\text{ClO})_2 \rightarrow \text{O}_2 + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 d)  $\text{Mo} + \text{NaNO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{MoO}_4 + \text{NaNO}_2 + \text{CO}$   
 e)  $\text{As}_4\text{O}_6 + \text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{AsH}_3 + \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 f)  $\text{ClO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaClO}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{KClO}_3 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{KCl} + ? + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 h)  $\text{TiO}_2 + \text{C} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{TiCl}_4 + ?$   
 i)  $\text{V}_2\text{O}_5 + \text{Al} \rightarrow ? + \text{Al}_2\text{O}_3$

16. a)  $\text{NaBH}_4 + \text{BF}_3 \cdot \text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2 \rightarrow \text{NaBF}_4 + \text{B}_2\text{H}_6 + (\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$   
 b)  $\text{SnO}_2 + \text{S} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{SnS}_3 + ? + \text{CO}_2$   
 c)  $\text{H}_2\text{WO}_4 + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{H}_3\text{P}(\text{W}_3\text{O}_{10})_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 d)  $\text{Na}_3\text{BO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{B}(\text{OCH}_3)_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 e)  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + ?\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Bi}(\text{OH})\text{CO}_3 + \text{NaNO}_3 + \text{CO}_2$   
 f)  $\text{As}_2\text{S}_3 + \text{NH}_4\text{SH} + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow (\text{NH}_4)_3\text{AsS}_3 + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{S}_2\text{O}_8^{2-} + \text{Mn} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_4^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+$   
 h)  $\text{MnO}_4^- + \text{H}_2\text{S} + ? \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{S} + \text{H}_2\text{O}$   
 i)  $\text{Cl}_2 + ? \rightarrow \text{Cl}^- + \text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$

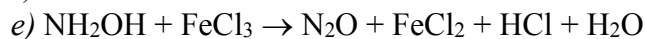
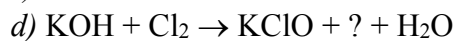
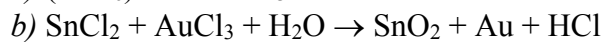
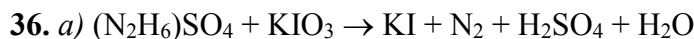
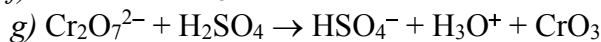
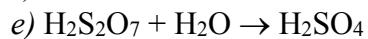
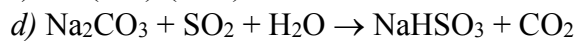
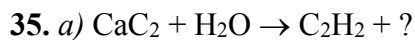
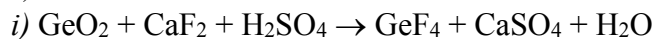
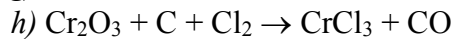
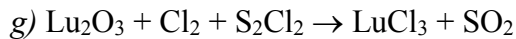
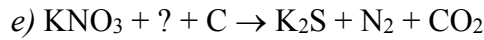
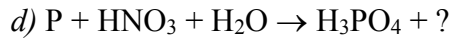
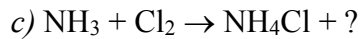
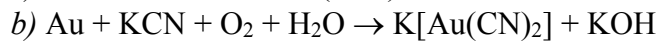
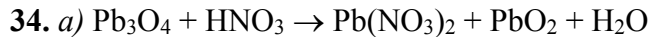
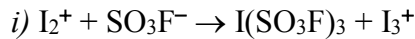
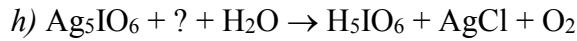
17. a)  $\text{CaCl}(\text{ClO}) + \text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + ? + \text{H}_2\text{O}$   
 b)  $\text{Pt} + \text{HNO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{H}_2[\text{PtCl}]_6 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$   
 c)  $\text{HCl} + \text{PbO}_2 \rightarrow ? + \text{PbCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 d)  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$   
 e)  $\text{P}_4 + \text{Ca}(\text{ClO}_2) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_6 + \text{HClO}$   
 f)  $\text{Pb}_3\text{O}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + ? + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{FeCr}_2\text{O}_7 + ? + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO}_2$   
 h)  $\text{Mn}_3\text{O}_4 + \text{Al} \rightarrow \text{Mn} + \text{Al}_2\text{O}_3$   
 i)  $\text{FeSO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_3 + \text{SO}_2$

18. Thiosíran a chlor v zásaditém prostředí poskytují chlorid a síran. Napište rovnici reakce.

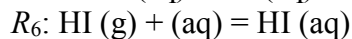
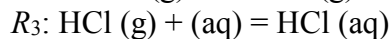
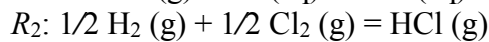
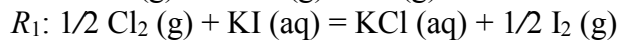
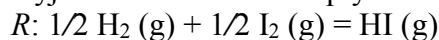
19. a)  $\text{Cu}_3\text{N} + \text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{Cu}^{2+} + \text{Cu}$   
 b)  $\text{C} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 c)  $\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + ? + \text{H}_2\text{O}$   
 d)  $\text{Ag}_2\text{S} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{AgNO}_3 + \text{NO}_2 + ? + \text{H}_2\text{O}$   
 e)  $\text{KNO}_3 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{KNO}_2 + \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{CO}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4$   
 f)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{KCr}(\text{SO}_4)_2 + \text{CH}_3\text{COH} + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{FeSO}_4 + \text{Ce}(\text{SO}_4)_2 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3$   
 h)  $\text{CuFeS}_2 + ? \rightarrow \text{Cu}_2\text{S} + \text{SO}_2 + \text{FeO}$   
 i)  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{HgNH}_2\text{Cl} + \text{Hg} + \text{NH}_4\text{Cl}$
20. a)  $\text{FeCr}_2\text{O}_4 + \text{O}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + ? + \text{CO}_2$   
 b)  $\text{Ag}_3\text{AsO}_4 + \text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{AsH}_3 + \text{Ag} + \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 c)  $(\text{NH}_4)_2\text{CrO}_4 \rightarrow \text{N}_2 + \text{Cr}_2\text{O}_3 + ? + \text{H}_2\text{O}$   
 d)  $\text{NaHSO}_3 + \text{Zn} + \text{SO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 + \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 e)  $\text{N}_2\text{O} + \text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 f)  $\text{IO}_3^- + \text{I}^- + ? \rightarrow \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{Zn} + \text{NO}_3^- + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-} + \text{NH}_3$   
 h)  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 i)  $\text{MnO}_4^- + \text{NO} + \text{H}^+ \rightarrow \text{Mn}^{2+} + \text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$
21. a)  $\text{K}_2\text{TaF}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ta}_2\text{O}_5 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{HF}$   
 b)  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{U}_2\text{O}_7 + ? + \text{H}_2\text{O}$   
 c)  $\text{FeCl}_3 + \text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \rightarrow \text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3 + \text{KCl}$   
 d)  $\text{KHF}_2 + \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{HSO}_3\text{F} + \text{K}_2\text{SO}_4$   
 e)  $\text{Sb}_2\text{O}_3 + \text{HF} + \text{NaF} \rightarrow \text{Na}_3\text{SbF}_6 + \text{H}_2\text{O}$   
 f)  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6 \cdot \text{CO}_3 + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{Sn} + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SnO}_3^{2-} + \text{H}_2$   
 h)  $\text{H}_3\text{PO}_2 + \text{Cu}^{2+} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_3 + ? + \text{H}^+$   
 i)  $\text{AsO}_3^{3-} + \text{I}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{AsO}_4^{3-} + \text{I}^- + \text{H}_2\text{O}$
22. a)  $\text{SeO}_3^{2-} + \text{Cl}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{SeO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$   
 b)  $\text{MnO}_4^- + \text{Mn}^{2+} + \text{OH}^- \rightarrow ? + \text{H}_2\text{O}$   
 c)  $\text{I}^- + \text{MnO}_4^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{IO}_3^- + \text{MnO}_2 + \text{OH}^-$   
 d)  $[\text{Pb}(\text{OH})_4]^{2-} + \text{ClO}^- \rightarrow \text{PbO}_2 + \text{Cl}^- + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O}$   
 e)  $\text{Zn} + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-} + ?$   
 f)  $\text{MnO}_4^- + \text{NO}_2^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{NO}_3^- + \text{Mn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{Cl}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$   
 h)  $\text{SO}_3^{2-} + \text{SeO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{Se} + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$   
 i)  $\text{F}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{OF}_2 + \text{F}^- + ?$
23. a)  $\text{KClO}_3 + (\text{COOH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ClO}_2 + \text{CO}_2 + \text{KHSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 b)  $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{CuO} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{Cu}_2\text{O}$   
 c)  $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} + \text{MnO}_4^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + \text{Mn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$   
 d)  $\text{AsO}_4^{3-} + \text{I}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{AsO}_3^{3-} + ? + \text{H}_2\text{O}$   
 e)  $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{IO}_4^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{IO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$   
 f)  $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{IO}_3^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{I}^- + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{HSO}_3^- + \text{IO}_3^- \rightarrow \text{HSO}_4^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}$

- h)  $\text{Cl}_2\text{O}_6 + \text{OH}^- \rightarrow ? + \text{ClO}_4^- + \text{H}_2\text{O}$   
 i)  $\text{VO}_3^- + \text{SO}_2 + ? \rightarrow \text{VO}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
24. a)  $\text{MnO}_4^- + \text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + \text{OH}^-$   
 b)  $\text{HSO}_3^- + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{HSO}_4^- + \text{Cr}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$   
 c)  $\text{SnCl}_2 + \text{SO}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{SnS}_2 + \text{SnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 d)  $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow ? + \text{MnSO}_4 + \text{KHSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 e)  $\text{Se} + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{Se} + \text{K}_2\text{SeO}_3 + \text{H}_2\text{O}$   
 f)  $\text{KClO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ClO}_2 + \text{HClO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{VO}_3^- + \text{Zn} + \text{H}^+ \rightarrow \text{V}^{2+} + \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$   
 h)  $\text{Cr}^{3+} + \text{O}_2^{2-} + \text{OH}^- \rightarrow \text{CrO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$   
 i)  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + \text{H}_2\text{S} + \text{H}^+ \rightarrow \text{Cr}^{3+} + ? + \text{H}_2\text{O}$
25. a)  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{SOCl}_2 \rightarrow \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + \text{SO}_2 + \text{HCl}$   
 b)  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + ?$   
 c)  $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \rightarrow \text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$   
 d)  $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{NaOH}$   
 e)  $\text{AsCl}_3 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{As}_2\text{S}_3 + \text{HCl}$   
 f)  $\text{SbCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SbOCl} + ?$   
 g)  $\text{MnO}_2 + \text{ClO}_3^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{MnO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$   
 h)  $\text{MnO}_2 + \text{SCN}^- + ? \rightarrow (\text{SCN})_2 + \text{Mn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$   
 i)  $\text{Mn}^{2+} + \text{BiO}_3^- + ? \rightarrow \text{MnO}_4^- + \text{Bi}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$
26. a)  $\text{P}_4 + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{PH}_3 + \text{H}_2\text{PO}_2^-$   
 b)  $\text{NaClO} \rightarrow ? + \text{NaClO}_3$   
 c)  $\text{Br}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{BrO}_3^- + \text{Br}^- + \text{H}_2\text{O}$   
 d)  $\text{KClO}_3 \rightarrow \text{KClO}_4 + \text{KCl}$   
 e)  $\text{HgCl}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{Hg}_2\text{Cl}_2 + \text{CO}_2 + ?$   
 f)  $\text{Fe}^{2+} + \text{Pb}_3\text{O}_4 + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{Pb}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{MnO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_4^- + \text{MnO}_2 + \text{OH}^-$   
 h)  $\text{Pb}^{2+} + \text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{PbO}_2 + \text{Cl}^- + \text{H}^+$   
 i)  $\text{Fe}^{2+} + \text{NO}_2^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
27. a)  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{S} + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$   
 b)  $\text{Mn}^{2+} + \text{Ag}_2\text{O}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{MnO}_4^- + \text{Ag}^+ + \text{H}_2\text{O}$   
 c)  $\text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{KMnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{KOH}$   
 d)  $\text{N}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_2 + ?$   
 e)  $\text{Al} + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Al}(\text{OH})_4]^- + ?$   
 f)  $\text{NaNO}_2 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NO} + \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{HCl} \rightarrow \text{KCrO}_3\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$   
 h)  $\text{Hg}_2^{2+} + ? \rightarrow \text{Hg} + \text{HgO} + \text{H}_2\text{O}$   
 i)  $\text{CaH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + ?$
28. a)  $\text{I}^- + \text{NO}_2^- + ? \rightarrow \text{I}_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$   
 b)  $\text{Zn} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3 + ? + \text{H}_2\text{O}$   
 c)  $\text{AsO}_4^{3-} + \text{Zn} + \text{H}^+ \rightarrow \text{AsH}_3 + ? + \text{H}_2\text{O}$   
 d)  $\text{SO}_3\text{S}^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{S} + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

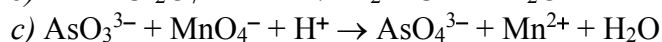
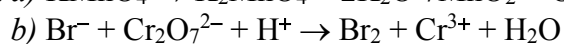
- e)  $\text{SO}_3\text{S}^{2-} + \text{Cl}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}$   
 f)  $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{N}_2 + \text{HCl}$   
 g)  $\text{BaO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4 + ?$   
 h)  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{Hg}_2\text{O} + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$   
 i)  $\text{Ba}(\text{NH}_2)_2 \rightarrow \text{Ba}_3\text{N}_2 + \text{NH}_3$
- 29.** a)  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + ? \rightarrow \text{Bi}(\text{OH})(\text{NO}_3)_2 + \text{HNO}_3$   
 b)  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + ? \rightarrow \text{Bi}(\text{OH})_2(\text{NO}_3) + \text{HNO}_3$   
 c)  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + ? \rightarrow \text{Bi}(\text{OH})_3 + \text{HNO}_3$   
 d)  $\text{As}_2\text{S}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{S} \rightarrow (\text{NH}_4)_3\text{AsS}_3$   
 e)  $\text{Sb}_2\text{S}_5 + (\text{NH}_4)_2\text{S} \rightarrow (\text{NH}_4)_3\text{SbS}_4$   
 f)  $\text{SnO}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SnO}_3 + ?$   
 g)  $\text{P}_4\text{O}_{10} + \text{PCl}_5 \rightarrow \text{POCl}_3$   
 h)  $\text{HNO}_2 + \text{I}^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{NO} + ? + \text{H}_2\text{O}$   
 i)  $\text{S}_4\text{N}_4 + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{S}_2\text{O}_3^{2-} + \text{SO}_3^{2-} + \text{NH}_3$
- 30.** a)  $\text{Se} + \text{OH}^- \rightarrow \text{Se}^{2-} + \text{SeO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$   
 b)  $\text{Na}[\text{BH}_4] + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{B}_2\text{H}_6 + \text{H}_2 + \text{NaHSO}_4$   
 c)  $\text{Be} + \text{OH}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow ? + [\text{Be}(\text{OH})_4]^{2-}$   
 d)  $\text{AsH}_3 + \text{AgNO}_3 + ? \rightarrow \text{Ag} + \text{H}_3\text{AsO}_3 + \text{HNO}_3$   
 e)  $\text{CaHPO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} + \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$   
 f)  $\text{CaAl}_2\text{H}_8 + \text{AlCl}_3 \rightarrow \text{AlH}_3 + \text{CaCl}_2$   
 g)  $\text{SbCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Sb}_4\text{Cl}_2\text{O}_5 + ?$   
 h)  $\text{SCl}_2 + \text{NaF} \rightarrow \text{SF}_4 + \text{S}_2\text{Cl}_2 + \text{NaCl}$   
 i)  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-} + ? \rightarrow \text{S}_5\text{O}_6^{2-} + \text{H}_2\text{O}$
- 31.** Vyjádřete reakci  $R$  pomocí dílčích reakcí  $R_1$ ,  $R_2$  a  $R_3$ .  
 $R: \text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{SO}_3 = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$       $R_2: \text{S} + 3/2 \text{O}_2 = \text{SO}_3$   
 $R_1: 3/2 \text{O}_2 + 2 \text{Al} = \text{Al}_2\text{O}_3$       $R_3: 2 \text{Al} + 3 \text{S} + 6 \text{O}_2 = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
- 32.** a)  $\text{As}_4\text{O}_6 + \text{HCl} + \text{Cu} \rightarrow \text{As} + \text{CuCl} + \text{H}_2\text{O}$   
 b)  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6] + \text{KOH} + \text{N}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow \text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 c)  $\text{MnSO}_4 + \text{PbO}_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{HMnO}_4 + \text{PbSO}_4 + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 d)  $\text{As}_4\text{O}_6 + \text{KHCO}_3 + \text{I}_2 \rightarrow \text{As}_4\text{O}_{10} + \text{KI} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 e)  $\text{Cu} + \text{SeOCl}_2 \rightarrow \text{CuCl}_2 + \text{SeO}_2 + \text{Se}_2\text{Cl}_2$   
 f)  $\text{MnO}_2 + (\text{COOH})_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow ? + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{SO}_2\text{F}_2 + ? \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{F}^- + \text{H}_2\text{O}$   
 h)  $\text{SOClF} + \text{S}_2\text{F}_2\text{O}_6 \rightarrow \text{S}_2\text{F}_2\text{O}_5 + \text{Cl}_2$   
 i)  $\text{NaOH} + \text{I}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{H}_3\text{IO}_6 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
- 33.** a)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{Pb}(\text{OH})_2 + \text{KNO}_3$   
 b)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{PbO}_2 + \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$   
 c)  $\text{AlCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + ?$   
 d)  $\text{AlCl}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{KCl}$   
 e)  $\text{AlCl}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_3\text{Al}(\text{OH})_6 + \text{NaCl}$   
 f)  $\text{B}_2\text{H}_6 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3 + ?$   
 g)  $\text{Na}_2\text{H}_3\text{IO}_6 + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{Ag}_5\text{IO}_6 + \text{NaNO}_3 + \text{HNO}_3$



37. Vyjádřete reakci vzniku plynného jodovodíku  $R$  pomocí dílčích reakcí  $R_1$  až  $R_6$ .



Při řešení nezapomínejte, že plynný chlorovodík a jodovodík  $\text{HCl} (\text{g})$   $\text{HI} (\text{g})$  je nutno považovat za jiné látky, než jsou jejich vodné roztoky  $\text{HCl} (\text{aq})$  resp.  $\text{HI} (\text{aq})$ . Symbol  $\text{aq}$  v rovnicích  $R_3$  a  $R_6$  znamená nadbytek vody, v níž se plyny rozpouštějí.



- d)  $\text{MnO}_2 + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + ? + \text{H}_2\text{O}$   
 e)  $\text{KMnO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$   
 f)  $\text{KIO}_4 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow ? + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{Ag} + \text{NaCN} + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Na}[\text{Ag}(\text{CN})_2] + \text{NaOH}$   
 h)  $\text{Ag}_2\text{S} + \text{NaCN} \rightarrow \text{Na}[\text{Ag}(\text{CN})_2] + ?$   
 i)  $[\text{Au}(\text{CN})_4]^- + \text{Zn} + \text{CN}^- \rightarrow \text{Au} + [\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$

39. V kyselém prostředí vzniká reakcí manganistanem draselného a sulfanu elementární síra, síran manganatý, síran didraselný a voda. Odpovídá skutečnému průběhu reakce jedna, nebo více z uvedených formálně správných rovnic? Pokud jen jedna, která a proč?

- 1)  $2 \text{KMnO}_4 + 2 \text{H}_2\text{S} + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{S} + 2 \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 4 \text{H}_2\text{O}$   
 2)  $2 \text{KMnO}_4 + 5 \text{H}_2\text{S} + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 5 \text{S} + 2 \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 8 \text{H}_2\text{O}$   
 3)  $2 \text{KMnO}_4 + 8 \text{H}_2\text{S} + 4 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 9 \text{S} + 2 \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 12 \text{H}_2\text{O}$   
 4)  $4 \text{KMnO}_4 + 7 \text{H}_2\text{S} + 5 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 6 \text{S} + 4 \text{MnSO}_4 + 2 \text{K}_2\text{SO}_4 + 12 \text{H}_2\text{O}$

40. a)  $\text{Na} + \text{NaNO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{N}_2$   
 b)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + (\text{COOH})_2 \rightarrow \text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{Cr}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 c)  $\text{Si}_3\text{H}_8 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2 + \text{H}_2$   
 d)  $\text{ZnS} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 e)  $\text{H}_2\text{S} + \text{HNO}_3 \rightarrow ? + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$   
 f)  $\text{Pb}(\text{OH})(\text{CH}_3\text{COO}) + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Pb}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2 + \text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{H}_2\text{O}$   
 g)  $\text{Sb}_4\text{O}_5\text{Cl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Sb}_4\text{O}_6 + \text{NaCl} + \text{CO}_2$   
 h)  $\text{CuCN} + \text{FeCl}_3 \rightarrow (\text{CN})_2 + \text{CuCl} + \text{FeCl}_2$   
 i)  $\text{LiNO}_3 \rightarrow \text{Li}_2\text{O} + \text{N}_2\text{O}_4 + \text{O}_2$

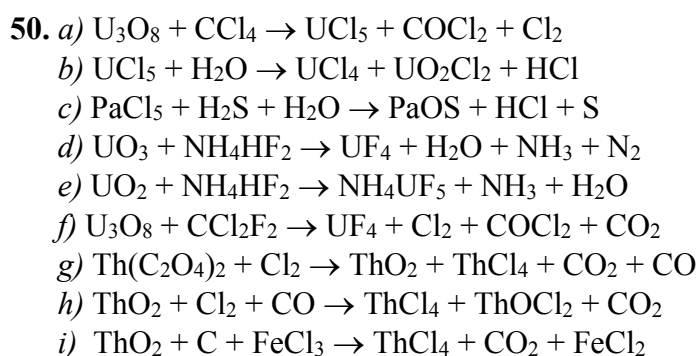
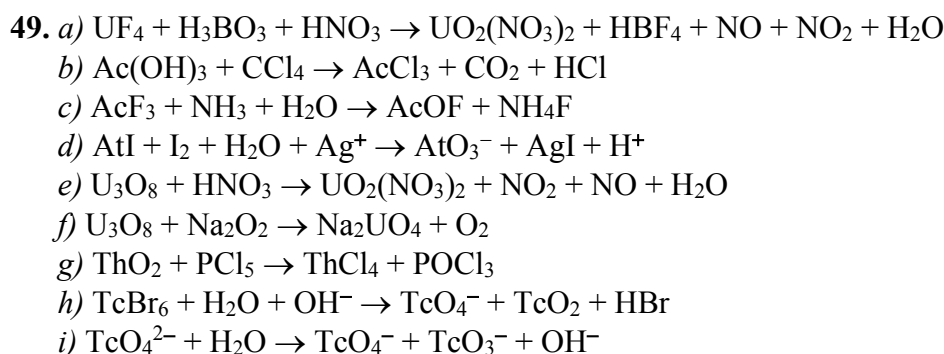
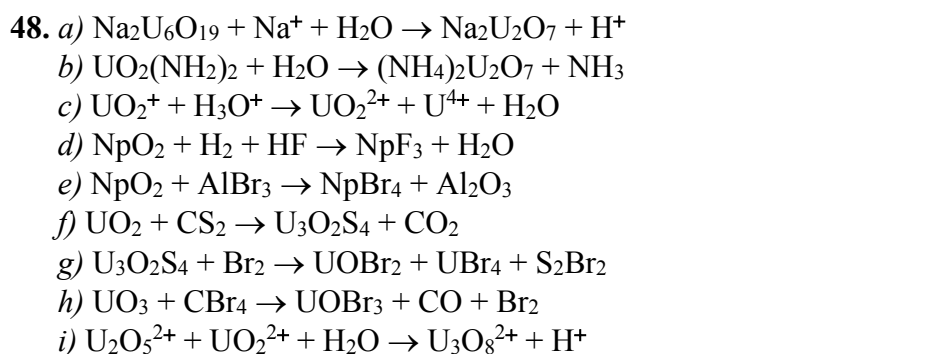
41. a)  $\text{NaIO}_3 + \text{NaHSO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{I}_2$   
 b)  $\text{CuI} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{I}_2$   
 c)  $\text{I}_2 + \text{NaOH} \rightarrow ? + \text{NaIO}_3 + \text{H}_2\text{O}$   
 d)  $\text{I}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaI} + ?$   
 e)  $\text{NaIO}_3 + \text{SO}_2 + \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CuI} + \text{NaHSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$   
 f)  $\text{KI} + \text{KIO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} + ?$   
 g)  $\text{Mg}_3\text{N}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{NH}_3$   
 h)  $\text{Al}_4\text{C}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{CH}_4$   
 i)  $\text{NaNO}_3 + \text{NaN}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{O} + \text{N}_2$

42. a)  $\text{Li} + \text{N}_2 \rightarrow ?$   
 b)  $\text{Na}_2\text{O}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + ?$   
 c)  $\text{B}_2\text{O}_3 + \text{CaF}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow ? + \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
 d)  $\text{BCl}_3 + \text{SO}_3 \rightarrow ? + \text{SO}_2\text{Cl}_2$   
 e)  $\text{B}(\text{OCH}_3)_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{BO}_2)_2 + \text{CH}_3\text{OH}$   
 f)  $\text{CaF}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{C} \rightarrow \text{CaS} + \text{KF} + \text{CO}$   
 g)  $\text{Al} + \text{C}_2\text{H}_5\text{Cl} + \text{NaH} + \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3 + \text{NaCl}$   
 h)  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{C} + \text{N}_2 \rightarrow \text{AlN} + ?$   
 i)  $\text{KCN} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{CO}$

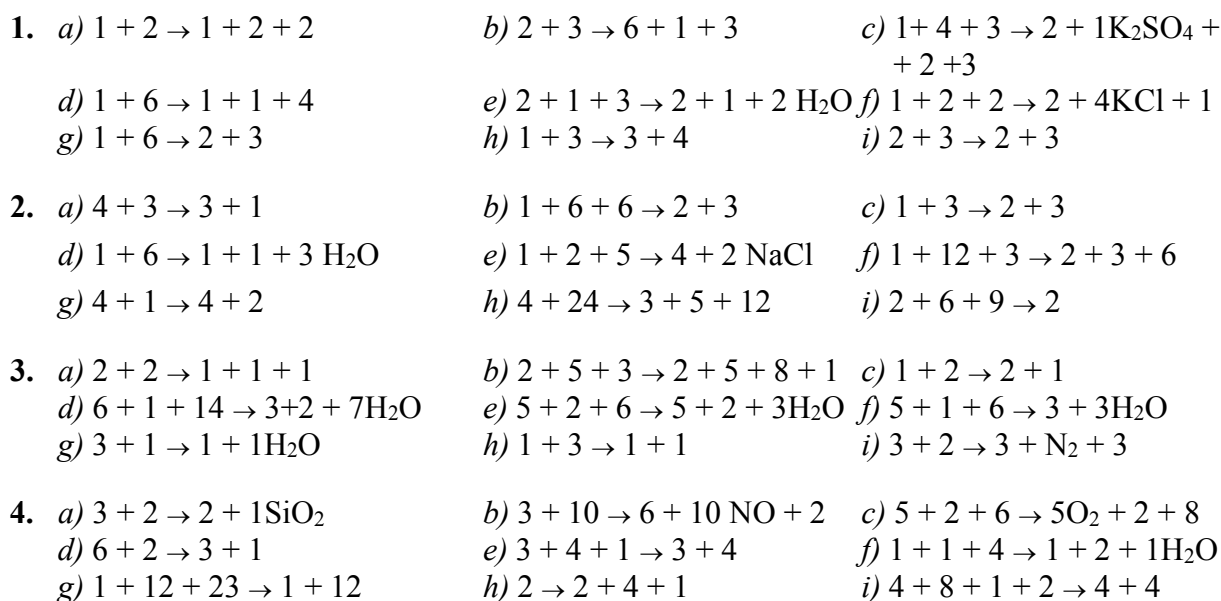
43. a)  $\text{CuCN} + \text{Fe}^{3+} + \text{Cl}^- \rightarrow \text{CuCl} + \text{Fe}^{2+} + (\text{CN})_2$   
 b)  $\text{K}_2[\text{SiF}_6] + \text{Al} \rightarrow \text{Si} + \text{K}[\text{AlF}_4] + \text{K}_2[\text{AlF}_5]$

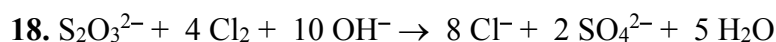
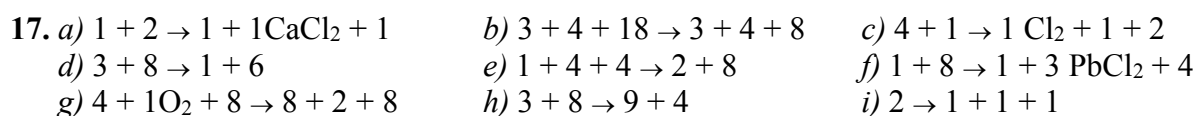
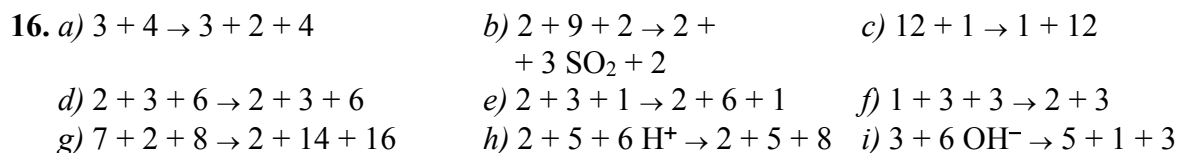
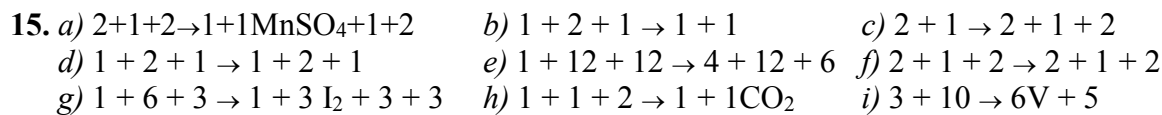
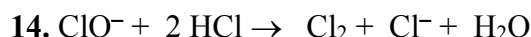
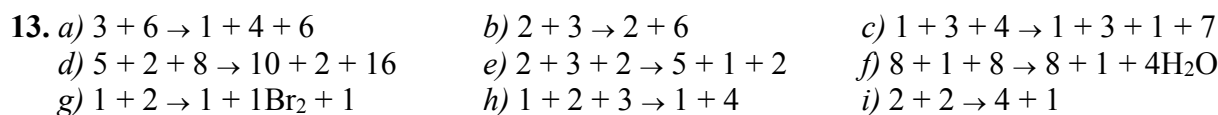
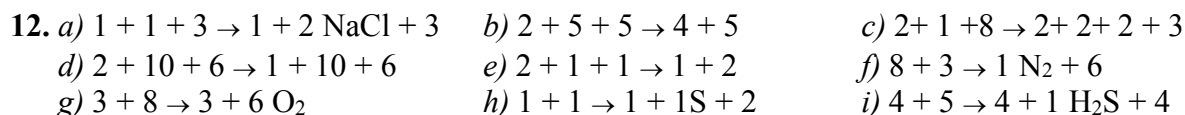
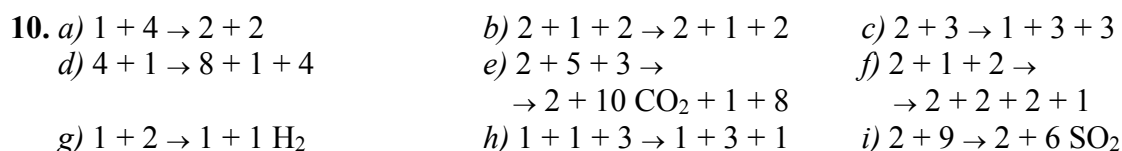
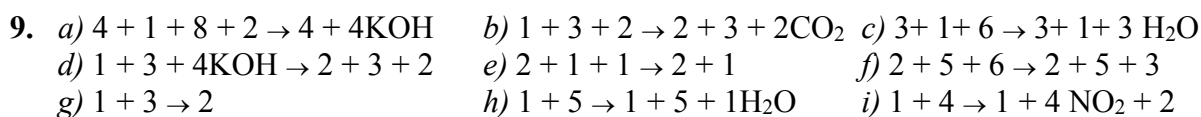
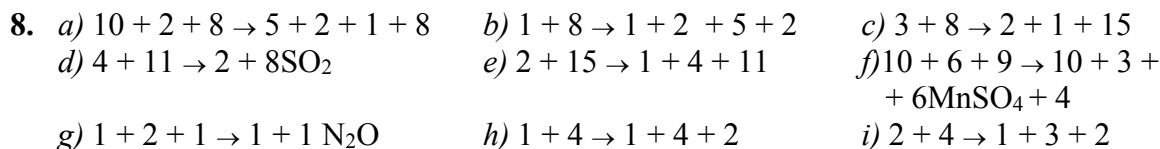
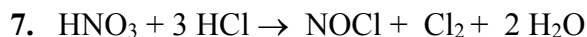
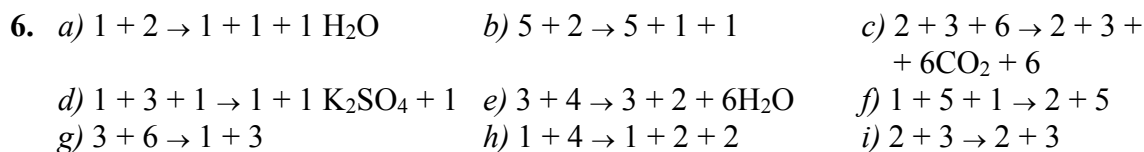
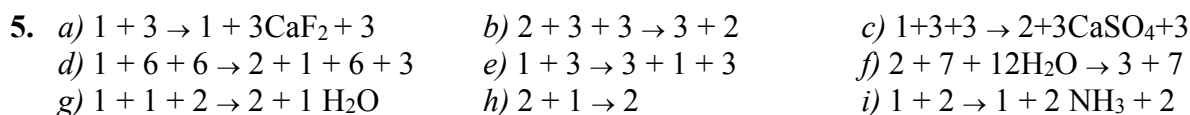
- c)  $\text{Pb}_3\text{O}_4 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_4 + \text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{H}_2\text{O}$   
d)  $\text{NaN}_3 + \text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ClN}_3 + \text{NaOH}$   
e)  $\text{NH}_3 + \text{Na} \rightarrow \text{NaNH}_2 + ?$   
f)  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   
g)  $? + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{PH}_3$   
h)  $\text{As}^{5+} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{As}_2\text{S}_3 + \text{S} + \text{H}^+$   
i)  $\text{NO}_3^- + \text{Cr}^{3+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{CrO}_4^{2-} + \text{CO}_2$
- 44.** a)  $\text{FeS}_2 + \text{O}_2 + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-$   
b)  $\text{Al} + \text{NH}_4\text{ClO}_4 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{AlCl}_3 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$   
c)  $\text{NH}_3 + \text{O}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow \text{HCN} + \text{H}_2\text{O}$   
d)  $\text{Br}_2 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HBrO}_3 + \text{HCl}$   
e)  $\text{TiCl}_4 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{TiN} + \text{N}_2 + \text{NH}_4\text{Cl}$   
f)  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + (\text{COOH})_2 \rightarrow [\text{Fe}(\text{COO})_6]^{3-} + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$   
g)  $\text{MoS}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{MoO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CO}_2$   
h)  $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{CuO} \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
i)  $\text{NH}_2\text{OH} + \text{CuO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$
- 45.** a)  $\text{U}^{4+} + \text{MnO}_4^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{UO}_2^{2+} + \text{Mn}^{2+} + \text{H}^+$   
b)  $\text{Am}^{3+} + \text{S}_2\text{O}_8^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{AmO}_2^{2+} + \text{HSO}_4^- + \text{H}^+$   
c)  $\text{PuO}_2^+ + \text{H}^+ \rightarrow \text{Pu}^{3+} + \text{PuO}_2^{2+} + \text{H}_2\text{O}$   
d)  $\text{Pu}^{4+} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Pu}^{3+} + \text{PuO}_2^{2+} + \text{H}^+$   
e)  $\text{AmO}_2^+ + \text{H}^+ \rightarrow \text{Am}^{3+} + \text{AmO}_2^{2+} + \text{H}_2\text{O}$   
f)  $\text{U} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{UO}_2 + \text{UH}_3$   
g)  $\text{UH}_3 + \text{Ag}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ag} + \text{UO}_2^{2+} + \text{H}^+ + \text{H}_2$   
h)  $\text{NpO}_2^+ + \text{H}^+ + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{NpO}_2^{2+} + \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$   
i)  $\text{AmO}_2 + \text{AlBr}_3 \rightarrow \text{AmBr}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Br}_2$
- 46.** a)  $\text{UO}_3 + \text{SOCl}_2 + \text{NaCl} \rightarrow \text{NaUCl}_6 + \text{SO}_2\text{Cl}_2 + \text{SO}_2$   
b)  $\text{U}_3\text{O}_8 + \text{U} + \text{I}_2 \rightarrow \text{UOI}_2$   
c)  $\text{Pu}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O} + \text{HCl} \rightarrow \text{PuCl}_3 + \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$   
d)  $\text{NpO}_2^+ + \text{AmO}_2^+ + \text{H}^+ \rightarrow \text{NpO}_2^{2+} + \text{Am}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$   
e)  $\text{UI}_4 + \text{Sb}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{UOI}_2 + \text{SbI}_3$   
f)  $\text{Np}^{4+} + \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NpO}_2^+ + \text{Fe}^{2+} + \text{H}^+$   
g)  $\text{NpO}_2^+ + \text{H}^+ \rightarrow \text{NpO}_2^{2+} + \text{Np}^{4+} + \text{H}_2\text{O}$   
h)  $\text{Bk} + \text{BkBr}_3 \rightarrow \text{BkBr}_2$   
i)  $\text{UF}_6 + \text{HBr} \rightarrow \text{UF}_5 + \text{Br}_2 + \text{HF}$
- 47.** a)  $\text{UO}_2 + \text{VO}_2^+ + \text{H}^+ \rightarrow \text{UO}_2^{2+} + \text{VO}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$   
b)  $\text{UO}_2 + \text{O}_2 + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-} + \text{OH}^-$   
c)  $\text{U}_3\text{O}_8 + \text{O}_2 + \text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- \rightarrow [\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-} + \text{H}_2\text{O}$   
d)  $\text{UO}_3 + \text{CCl}_4 \rightarrow \text{UCl}_5 + \text{COCl}_2 + \text{Cl}_2$   
e)  $\text{AmO}_2 + \text{CCl}_4 \rightarrow \text{AmCl}_2 + \text{COCl}_2 + \text{Cl}_2$   
f)  $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-} + \text{OH}^- + \text{Na}^+ \rightarrow \text{Na}_2\text{UO}_4 + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$   
g)  $\text{U}_3\text{O}_8 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{UO}_2\text{SO}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$   
h)  $\text{PuF}_3 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{PuO}_2 + \text{HF}$   
i)  $\text{PuO}_2 + \text{AlI}_3 \rightarrow \text{PuI}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{I}_2$





### 3.6 VÝSLEDKY PŘÍKLADŮ KE 3. KAPITOLE.





19. a)  $2 + 8 \rightarrow 2 + 3 + 3$       b)  $1 + 2 \rightarrow 1 + 2 + 2$       c)  $1 + 2 \rightarrow 1 + 1 \text{ SO}_2 + 2$   
d)  $1 + 4 \rightarrow 2 + 2 + 1 \text{ S} + 2$       e)  $3 + 1 + 5 \rightarrow 3 + 2 + 5 + 3$       f)  $1 + 3 + 4 \rightarrow 2 + 3 + 7$   
g)  $2 + 2 \rightarrow 1 + 1$       h)  $2 + 4 \text{ O}_2 \rightarrow 1 + 3 + 2$       i)  $1 + 2 \rightarrow 1 + 1 + 1$
20. a)  $4 + 7 + 8 \rightarrow 8 + 2 \text{ Fe}_2\text{O}_3 + 8$       b)  $2 + 11 + 11 \rightarrow$   
 $\rightarrow 2 + 6 + 11 + 8$       c)  $2 \rightarrow 1 + 1 + 2 \text{ NH}_3 + 5$   
d)  $4 + 1 + 1 \rightarrow 2 + 1 + 2$       e)  $3 + 2 \rightarrow 4 + 3$       f)  $1 + 5 + 6 \text{ H}_3\text{O}^+ \rightarrow 3 + 9$   
g)  $4 + 1 + 7 + 6 \rightarrow 4 + 1$       h)  $1 \rightarrow 1 + 1 + 4$       i)  $3 + 5 + 4 \text{ H}^+ \rightarrow 3 + 5 + 2$
21. a)  $2 + 2 + 5 \rightarrow 1 + 2 + 14$       b)  $2 + 6 \rightarrow 1 + 4 \text{ KNO}_3 + 3$       c)  $4 + 3 \rightarrow 1 + 12$   
d)  $2 + 4 + 1 \rightarrow 4 + 1$       e)  $1 + 6 + 6 \rightarrow 2 + 3$       f)  $10 + 6 + 1 \rightarrow 1 + 19 + 1$   
g)  $1 + 2 + 1 \rightarrow 1 + 2$       h)  $1 + 1 + 1 \rightarrow 1 + 1 \text{ Cu} + 2$       i)  $1 + 1 + 2 \rightarrow 1 + 2 + 1$
22. a)  $1 + 1 + 2 \rightarrow 1 + 2 + 1$       b)  $2 + 3 + 4 \rightarrow 5 \text{ MnO}_2 + 2$       c)  $1 + 2 + 1 \rightarrow 1 + 2 + 2$   
d)  $1 + 1 \rightarrow 1 + 1 + 2 + 1$       e)  $1 + 2 + 2 \rightarrow 1 + 1 \text{ H}_2$       f)  $2 + 5 + 6 \rightarrow 5 + 2 + 9$   
g)  $1 + 4 + 10 \rightarrow 2 + 8 + 5$       h)  $2 + 1 + 2 \rightarrow 1 + 2 + 1$       i)  $2 + 2 \rightarrow 1 + 2 + 1 \text{ H}_2\text{O}$
23. a)  $2 + 1 + 2 \rightarrow 2 + 2 + 2 + 2$       b)  $1 + 2 \rightarrow 1 + 1$       c)  $5 + 1 + 8 \rightarrow 5 + 1 + 4$   
d)  $1 + 2 + 2 \rightarrow 1 + 1 \text{ I}_2 + 1$       e)  $1 + 2 \rightarrow 1 + 2 + 2$       f)  $3 + 2 \rightarrow 3 + 2 + 6$   
g)  $5 + 2 \rightarrow 3 + 2 + 1 + 1$       h)  $1 + 2 \rightarrow 1 \text{ ClO}_3^- + 1 + 1$       i)  $2 + 1 + 4 \text{ H}^+ \rightarrow 2 + 1 + 2$
24. a)  $2 + 3 + 1 \rightarrow 2 + 3 + 2$       b)  $3 + 1 + 8 \rightarrow 3 + 2 + 12$       c)  $6 + 2 + 8 \rightarrow 1 + 5 + 4$   
d)  $1 + 2 + 4 \rightarrow 2 \text{ CO}_2 + 2 + 2 + 4$       e)  $3 + 6 \rightarrow 2 + 1 + 3$       f)  $6 + 3 \rightarrow 4 + 2 + 3 + 2$   
g)  $2 + 3 + 12 \rightarrow 2 + 3 + 6$       h)  $2 + 3 + 4 \rightarrow 2 + 2$       i)  $1 + 3 + 8 \rightarrow 2 + 3 \text{ S} + 7$
25. a)  $2 + 1 \rightarrow 1 + 1 + 2$       b)  $1 + 3 \rightarrow 2 + 3 \text{ CaSO}_4$       c)  $2 \rightarrow 1 + 2 + 1$   
d)  $1 + 1 \rightarrow 1 + 1$       e)  $2 + 3 \rightarrow 1 + 6$       f)  $1 + 1 \rightarrow 1 + 2 \text{ HCl}$   
g)  $3 + 1 + 6 \rightarrow 3 + 1 + 3$       h)  $1 + 2 + 4 \text{ H}^+ \rightarrow 1 + 1 + 2$       i)  $2 + 5 + 14 \text{ H}^+ \rightarrow 2 + 5 + 7$
26. a)  $1 + 3 + 3 \rightarrow 1 + 3$       b)  $3 \rightarrow 2 \text{ NaCl} + 1$       c)  $3 + 6 \rightarrow 1 + 5 + 3$   
d)  $4 \rightarrow 3 + 1$       e)  $2 + 1 \rightarrow 1 + 2 + 2 \text{ NH}_4\text{Cl}$       f)  $2 + 1 + 8 \rightarrow 2 + 3 + 12$   
g)  $3 + 2 \rightarrow 2 + 1 + 4$       h)  $1 + 1 + 1 \rightarrow 1 + 1 + 2$       i)  $1 + 1 + 2 \rightarrow 1 + 1 + 1$
27. a)  $4 + 2 + 6 \rightarrow 3 + 5$       b)  $2 + 5 + 4 \rightarrow 2 + 10 + 2$       c)  $3 + 2 \rightarrow 2 + 1 + 4$   
d)  $1 + 1 \rightarrow 1 + 1 \text{ HNO}_3$       e)  $2 + 2 + 6 \rightarrow 2 + 3 \text{ H}_2$       f)  $2 + 2 + 2 \rightarrow 2 + 1 + 1 + 1 + 2$   
g)  $1 + 2 \rightarrow 2 + 1$       h)  $1 + 2 \text{ OH}^- \rightarrow 1 + 1 + 1$       i)  $1 + 2 \rightarrow 1 + 2 \text{ H}_2$
28. a)  $2 + 2 + 4 \text{ H}_3\text{O}^+ \rightarrow 1 + 2 + 6$       b)  $4 + 10 \rightarrow$   
 $\rightarrow 1 + 4 \text{ Zn}(\text{NO}_3)_2 + 3$       c)  $+ 4 + 11 \rightarrow 1 + 4 \text{ Zn}^{2+} + 4$   
d)  $1 + 2 \rightarrow 1 + 1 + 3$       e)  $1 + 4 + 10 \rightarrow 8 + 2 + 5$       f)  $1 + 2 \rightarrow 1 + 4$   
g)  $1 + 1 \rightarrow 1 + 1 \text{ H}_2\text{O}_2$       h)  $1 + 2 \rightarrow 1 + 2 + 1$       i)  $3 \rightarrow 1 + 4$
29. a)  $1 + 1 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 1 + 1$       b)  $1 + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 1 + 2$       c)  $1 + 3 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 1 + 3$   
d)  $1 + 3 \rightarrow 2$       e)  $1 + 3 \rightarrow 2$       f)  $1 + 2 \rightarrow 1 + 1 \text{ H}_2\text{O}$   
g)  $1 + 6 \rightarrow 10$       h)  $2 + 2 + 2 \rightarrow 2 + 1 \text{ I}_2 + 4$       i)  $1 + 6 + 3 \rightarrow 1 + 2 + 4$
30. a)  $3 + 6 \rightarrow 2 + 1 + 3$       b)  $2 + 2 \rightarrow 1 + 2 + 2$       c)  $1 + 2 + 2 \rightarrow 1 \text{ H}_2 + 1$   
d)  $1 + 6 + 3 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 6 + 1 + 6$       e)  $7 + 1 \rightarrow 1 + 2$       f)  $3 + 2 \rightarrow 8 + 3$   
g)  $4 + 5 \rightarrow 1 + 10 \text{ HCl}$       h)  $3 + 4 \rightarrow 1 + 1 + 4$       i)  $5 + 6 \text{ H}^+ \rightarrow 2 + 3$



- g)  $2 + 6 + 9 \rightarrow 2 + 4 + 6$       h)  $1 + 4 \rightarrow 2 + 1 + 2$       i)  $2 + 4 \rightarrow 1 + 2 + 3$
45. a)  $5 + 2 + 2 \rightarrow 5 + 2 + 4$       b)  $2 + 3 + 4 \rightarrow 2 + 6 + 2$       c)  $3 + 4 \rightarrow 1 + 2 + 2$   
d)  $3 + 2 \rightarrow 2 + 1 + 4$       e)  $3 + 4 \rightarrow 1 + 2 + 2$       f)  $7 + 6 \rightarrow 3 + 4$   
g)  $2 + 12 + 4 \rightarrow 12 + 2 + 8 + 3$       h)  $2 + 3 + 1 \rightarrow 2 + 1 + 1$       i)  $6 + 8 \rightarrow 6 + 4 + 3$
46. a)  $2 + 6 + 2 \rightarrow 2 + 1 + 5$       b)  $1 + 5 + 8 \rightarrow 8$       c)  $1 + 6 \rightarrow 2 + 3 + 3 + 13$   
d)  $2 + 1 + 4 \rightarrow 2 + 1 + 2$       e)  $3 + 1 \rightarrow 3 + 2$       f)  $1 + 1 + 2 \rightarrow 1 + 1 + 4$   
g)  $2 + 4 \rightarrow 1 + 1 + 2$       h)  $1 + 2 \rightarrow 3$       i)  $2 + 2 \rightarrow 2 + 1 + 2$
47. a)  $1 + 2 + 4 \rightarrow 1 + 2 + 2$       b)  $2 + 1 + 6 + 2 \rightarrow 2 + 4$       c)  $2 + 1 + 6 + 12 \rightarrow 6 + 6$   
d)  $2 + 6 \rightarrow 2 + 6 + 1$       e)  $1 + 2 \rightarrow 1 + 2 + 1$       f)  $1 + 4 + 2 \rightarrow 1 + 3 + 2$   
g)  $2 + 6 + 2 \rightarrow 6 + 1 + 1 + 7$       h)  $4 + 1 + 6 \rightarrow 4 + 12$       i)  $6 + 8 \rightarrow 6 + 4 + 3$
48. a)  $1 + 4 + 2 \rightarrow 3 + 4$       b)  $2 + 3 \rightarrow 1 + 2$       c)  $2 + 4 \rightarrow 1 + 1 + 6$   
d)  $2 + 1 + 6 \rightarrow 2 + 4$       e)  $3 + 4 \rightarrow 3 + 2$       f)  $3 + 2 \rightarrow 1 + 2$   
g)  $1 + 6 \rightarrow 2 + 1 + 2$       h)  $2 + 4 = 2 + 4 + 5$       i)  $1 + 1 + 1 \rightarrow 1 + 2$
49. a)  $2 + 2 + 6 \rightarrow 2 + 2 + 1 + 1 + 5$       b)  $2 + 3 \rightarrow 2 + 3 + 6$       c)  $1 + 2 + 1 \rightarrow 1 + 2$   
d)  $1 + 2 + 3 + 5 \rightarrow 1 + 5 + 6$       e)  $2 + 14 \rightarrow 6 + 1 + 1 + 7$       f)  $1 + 3 \rightarrow 3 + 1$   
g)  $1 + 2 \rightarrow 1 + 2$       h)  $3 + 8 + 2 \rightarrow 2 + 1 + 18$       i)  $2 + 1 \rightarrow 1 + 1 + 2$
50. a)  $2 + 16 \rightarrow 6 + 16 + 1$       b)  $2 + 2 \rightarrow 1 + 1 + 4$       c)  $2 + 3 + 2 \rightarrow 2 + 10 + 1$   
d)  $3 + 6 \rightarrow 3 + 9 + 4 + 1$       e)  $2 + 5 \rightarrow 2 + 3 + 4$       f)  $1 + 6 \rightarrow 3 + 2 + 4 + 2$   
g)  $4 + 4 \rightarrow 2 + 2 + 12 + 4$       h)  $2 + 3 + 3 \rightarrow 1 + 1 + 3$       i)  $1 + 1 + 4 \rightarrow 1 + 1 + 4$

## 4 Složení látek a jejich soustav.

Složení soustavy látek lze udát výčtem množství všech jejích složek, tj. extenzívními údaji závislými na velikosti soustavy. Průběh chemické reakce je však především určen poměry absolutních množství složek vůči velikosti soustavy (jejich koncentracemi), a proto složení soustav s výhodou vyjadřujeme pomocí různých koncentračních veličin, které jsou intenzívní a na velikosti soustavy nezávislé.

### 4.1 KONCENTRAČNÍ VELIČINY.

**Molární (též látkový) zlomek** látky A  $x_A$  nebo  $x(A)$  je definován rovnicí 16, kde  $n_A$  (mol) je látkové množství látky A v soustavě a  $n_s = \sum n_i$  je součet látkových množství všech složek - tj. celkové látkové množství soustavy.

$$x_A = n_A / n_s = n_A / \sum n_i \quad 16$$

Součet molárních zlomků všech látek v soustavě přítomných je tedy z definice **roven jedné**. V jiném smyslu hovoříme i o molárním zlomku prvku v určité látce či molárním zlomku sloučeniny v určité látce vázané. Například v čisté kyselině dihydrogensírové je molární zlomek atomů síry  $x_S$  roven 1/7. Přitom za soustavu považujeme molekulu  $H_2SO_4$ , neboť v čisté kyselině jiné molekuly nejsou. Obdobně v čisté modré skalici  $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$  bude molární zlomek bezvodého síranu měďnatého 1/6 a molární zlomek vody 5/6. Ačkoliv je význam těchto molárních zlomků formální (S,  $CuSO_4$ ,  $H_2O$  v uvedených látkách jako samostatná chemická individua neexistují), při stechiometrických výpočtech jich s výhodou užíváme. Molární zlomek je plně určen složením soustavy a nezávisí na teplotě.

**Hmotnostní zlomek** látky A  $w_A$  nebo  $w(A)$  je definován rovnicí 17, kde  $m_A$  je hmotnost látky A v soustavě obsažené a  $m_s = \sum m_i$  je celková hmotnost soustavy.

$$w_A = m_A / m_s = m_A / \sum m_i \quad 17$$

Hodnoty hmotnostních zlomků jsou určeny složením soustavy a jejich součet je **roven jedné**. Pro hmotnostní zlomek prvku A v látce o relativní molekulové hmotnosti M platí:

$$w_A = a \cdot M_A \cdot u / M \cdot u = a \cdot M_A / M$$

Zde  $a$  značí počet atomů prvku A v molekule vázaných,  $M_A$  je jeho relativní atomová hmotnost a  $u$  je atomová hmotnostní jednotka. Hmotnostní zlomek síry v čisté kyselině dihydrogensírové tedy bude  $w_S = M(S) / M(H_2SO_4) = 0,3269$  a hmotnostní zlomek  $H_2O$  v  $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$  činí  $w(H_2O) = 5 \cdot M(H_2O) / M(CuSO_4 \cdot 5 H_2O) = 0,36076$ , odkud též plyne  $w(CuSO_4) = 1 - w(H_2O) = 0,63924$ .

Bez důkazu uvedeme vztah pro výpočet hmotnostního zlomku prvku A ve směsi různých látek, který přímo plyne z rovnice 17. Nechť směs obsahuje různé látky, přičemž absolutní hmotnost každé z nich je  $m_i$ . Pro celkovou hmotnost soustavy pak platí  $m_s = \sum m_i$ . Hmotnostní zlomek prvku A v  $i$ -té látce budiž  $w(A)_i$ . Pro jeho hmotnostní zlomek v celé soustavě  $w(A)$  bude platit vztah 18, kde  $w_i$  označuje hmotnostní zlomek  $i$ -té látky v soustavě.

$$w(A) = \sum m_i \cdot w(A)_i / \sum m_i = \sum w_i \cdot w(A)_i \quad 18$$

K popisu složení směsí tuhých látek a související výpočty se používá hmotnostních zlomků téměř vždy, výjimečně pak zlomků molárních.

**Objemový zlomek** látky A  $\phi_A$  nebo  $\phi(A)$  je definován rovnicí 19, kde  $V_A$  je objemové množství (objem) látky A do soustavy přidané a  $V_s$  je **výsledný** (skutečný) objem soustavy.

$$\phi_A = V_A / V_s \quad 19$$

Součet objemových zlomků všech složek, zejména u kapalných soustav, nemusí být roven jedné, neboť součet objemů látek před jejich smísením  $\Sigma V_i$  se od výsledného objemu  $V_s$  může značně lišit. Při  $V_s > \Sigma V_i$  jde o objemovou expanzi, v opačném případě hovoříme o objemové kontrakci. Čím přesněji platí  $V_s = \Sigma V_i$ , tím více se součet objemových zlomků blíží jedničce. Smísíme-li například  $V_A = 2$  l kapaliny A s  $V_B = 3$  l kapaliny B za vzniku  $V_s = 4,9$  l směsi, došlo k objemové kontrakci,  $\phi_A = 2/4,9$ ,  $\phi_B = 3/4,9$  a  $\phi_A + \phi_B > 1$ . Hodnoty objemových zlomků dále obecně závisí na teplotě.

Vynásobením dosud definovaných koncentračních veličin (zlomků) faktorem  $10^2$  získáme příslušná **procenta (%)**, násobením číslem  $10^3$  převádíme údaj na **promile (‰)**, násobením faktory  $10^6$  a  $10^9$  získáme **ppm** resp. **ppb**. Hovoříme pak o molárních, hmotnostních a objemových procentech, či dalších zde jmenovaných poměrných veličinách (promile, ppm, ppb). V textu užíváme značek  $(n/n)$ ,  $(m/m)$  a  $(V/V)$ , které v tomto pořadí označují molární (látkovou), hmotnostní a objemovou poměrnou veličinu (% , ppm atd.). Tedy: %  $(V/V)$  jsou objemová procenta a symbol ppm  $(m/m)$  čteme jako „hmotnostní ppm“. Obecně lze doporučit práci především v termínech zlomků a jejich násobky používat jen tehdy, jsou-li hodnoty zlomků příliš malé. Těto zásady se budeme přidržovat v celém textu.

**Látková (též molární) koncentrace** látky A  $c_A$  nebo  $c(A)$  je definována rovnicí **20**, kde  $n_A$  (mol) je látkové množství látky A a  $V_s$  ( $m^3$ ) je objem soustavy.

$$c_A = n_A / V_s \quad (\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}) \quad \mathbf{20}$$

Hlavní jednotkou je  $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ , v praxi se však téměř výlučně používá povolené vedlejší jednotky  $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1} = \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ . Silně vžitý je i termín **molarita**, kterým se automaticky rozumí molární koncentrace udaná v  $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ . Pro molaritu bylo užíváno též zvláštního symbolu  $c_M(A) = 10^{-3} \cdot c_A$ . Často se lze setkat s dalším symbolem molarity - M. Je-li roztok látky A označen jako 2 M, jsou v jednom litru roztoku obsaženy právě 2 moly látky A a běžně hovoříme o dvoumolárním roztoku. Zde budeme látkovou koncentrací zásadně vyjadřovat **v molech na litr**. Bude-li třeba v obecných vztazích vyjádřit objem soustavy v litrech, vyznačíme tuto skutečnost následovně:  $V_s(\text{l})$ . Přitom si jsme vědomi, že současně platí  $V_s(\text{l}) = 10^3 \cdot V_s$  (viz též kap. 1.1). Hodnoty molárních koncentrací závisí na teplotě, což je při přesné práci třeba brát v úvahu.

**Molalita roztoku látky A**  $M_A$  je definována rovnicí **21**, kde  $n_A$  (mol) je látkové množství látky A a  $m_r$  (kg) je hmotnost rozpouštědla.

$$M_A = n_A / m_r \quad (\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad \mathbf{21}$$

Výhodou této koncentrační veličiny je její nezávislost na teplotě. Ve zředěných vodných roztocích, jejichž hustota se blíží hustotě čisté vody, se molalita rozpuštěné látky blíží její látkové koncentraci. Narozdíl od molární koncentrace molalita nepodává bezprostřední informaci o látkovém množství rozpuštěné látky v jednotce objemu roztoku.

**Hmotnostní koncentrace** látky A  $c_m(A) = m_A / V_s$  ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) udává hmotnost rozpuštěné látky v jednotce objemu roztoku. Častěji se vyjadřuje ve vedlejších jednotkách  $\text{g} \cdot \text{dm}^{-3} = \text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  a  $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ . Její hodnota závisí na teplotě.

**Ekvivalentová či valová koncentrace** (zvaná též **normalita**) je u nás dnes téměř nepoužívanou mimosystémovou koncentrační veličinou. Více se s ní setkáváme v anglosaské literatuře, do konce 70. let byla hojně užívána i v literatuře české. Je proto účelné se s ní seznámit. K tomu je třeba nejprve definovat **chemický ekvivalent**.

**Definice:** *Chemický ekvivalent určité sloučeniny či prvku je formálním v-tým dílem molekuly (atomu) uvažované látky. Číslo v je dáno buď počtem elektronů přijatých či odevzdaných touto molekulou (atomem) při dané oxidačně redukční reakci, anebo úhrnným nábojem*

kationtů, které molekula vyměnila při uvažované reakci jiného než oxidačně redukčního typu. Chemický ekvivalent iontu je formálním  $\nu$ -tým dílem iontu, kde číslo  $\nu$  je pro oxidačně redukční a neutralizační reakce dáno stejným způsobem jako v předešlém případě. Pro jiné reakce je rovno přímo náboji iontu (bez ohledu na znaménko).

Jednomu molu ekvivalentů určité látky pak byl připsán název **val**. Valovou koncentraci látky A  $c_E(A)$  definuje rovnice 22, kde je zároveň zachycen vztah mezi  $c_E(A)$  a molární koncentrací  $c_A$ . Symbol  $n_E(A)$  (val) označuje látkové množství chemických ekvivalentů látky A.

$$c_E(A) = n_E(A) / V_s = c_A \cdot \nu \quad (\text{val} \cdot \text{m}^{-3}) \quad 22$$

Valová koncentrace vyjádřená ve **valech na litr** se běžně označovala jako **normalita** a používal se pro ni symbol N. Roztok o koncentraci tři valy na litr (3 N roztok) se nazýval roztokem třinormálním. Vidíme, že pojem val určité látky nemusí být často jednoznačný, není-li řečeno, do jaké reakce ona látka vstupuje. Například mangan  $\text{Mn}^{\text{VII}}$  může v závislosti na podmínkách přecházet na  $\text{Mn}^{\text{V}}$  nebo  $\text{Mn}^{\text{II}}$ . V prvním případě atom manganu formálně přijímá dva a v druhém pět elektronů. V rovnici 22 tomu odpovídají čísla  $\nu=2$  a  $\nu=5$ . Jednomolární roztok  $\text{Mn}^{\text{VII}}$  tak bude v první reakci dvounormální a v druhé pětinnormální.

## 4.2 PŘEPOČTY KONCENTRAČNÍCH VELIČIN.

Při výpočtech je často třeba různé koncentrační veličiny navzájem převádět. Shrneme zde vztahy spojující molární koncentraci látky A  $c_A$  ( $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) s ostatními koncentračními údaji. Z nich snadno získáte vztahy mezi libovolným párem veličin, nicméně si je zkuste sami odvodit z definičních rovnic 17 až 22. U některých veličin vyznačíme i jejich jednotky, neboť právě zde vzniká mnoho chyb. Zdůrazněme: Ve všech vztazích je molární koncentrace  $c_A$  v jednotkách **mol·l<sup>-1</sup>**.

Převod molárního zlomku  $x_A \rightarrow c_A$ : 
$$c_A = \frac{x_A}{V_s(l)} \cdot \sum m_i / M_i = \frac{x_A}{V_s(l)} \cdot \sum V_i / V_{mi} \quad 23$$

$V_s(l)$  je objem soustavy v litrech,  $m_i$  hmotnost i-té složky a  $M_i$  její molární hmotnost.  $V_i$  je objem čisté i-té složky do soustavy přidané a  $V_{mi}$  její molární objem.

Převod hmotnostního zlomku  $w_A \rightarrow c_A$ : 
$$c_A = \rho_s \cdot w_A / M_A \quad 24$$

$\rho_s$  ( $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ) je hustota roztoku a  $M_A$  ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) molární hmotnost rozpuštěné látky A.

Převod objemového zlomku  $\varphi_A \rightarrow c_A$ : 
$$c_A = \varphi_A \cdot \rho_A / M_A \quad 25$$

$\rho_A$  ( $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ ) je hustota čisté látky A a  $M_A$  ( $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) je její molární hmotnost.

Převod molality  $M_A \rightarrow c_A$ : 
$$c_A = \rho_s \cdot M_A / (1 + M_A \cdot M_A) \quad 26$$

$\rho_s$  je hustota roztoku (**kg·l<sup>-1</sup>**) a  $M_A$  molární hmotnost látky A (**kg·mol<sup>-1</sup>**).

Převod hmotnostní koncentrace  $c_m(A) \rightarrow c_A$ : 
$$c_A = c_m(A) / M_A \quad 27$$

$c_m(A)$  je hmotnostní koncentrace látky A (**g·l<sup>-1</sup>**) a  $M_A$  její molární hmotnost (**g·mol<sup>-1</sup>**).

## 4.3 STANOVENÍ SUMÁRNÍHO VZORCE LÁTKY ZE ZNÁMÉHO SLOŽENÍ.

Mějme látku složenou z prvků A, B a C, jejíž sumární (též stechiometrický či empirický) vzorec zapíšeme jako  $A_x B_y C_z$ . Analýza poskytla hmotnostní zlomky prvků  $w_A$ ,  $w_B$  a  $w_C$ . Máme nalézt stechiometrické koeficienty  $x$ ,  $y$  a  $z$ . Jejich postupný poměr  $x : y : z$  musí odpovídat poměru látkových množství  $n_A : n_B : n_C$ , v nichž jsou prvky v látce vázány. Hmotnost prvku A  $m_A$  ve vzorku látky o hmotnosti  $m$  činí  $m_A = w_A \cdot m$  a pro látkové množství prvku A můžeme psát  $n_A = m_A / M_A = w_A \cdot m / M_A$ , kde  $M_A$  je molární hmotnost prvku A. Obdobně vyjádříme látkové množství prvků B a C, sestavíme postupný poměr, který krátíme



hmotností vzorku  $m$  a molární hmotnosti prvků  $M$  nahradíme jejich relativními atomovými hmotnostmi  $M$ , neboť  $M = M \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$ . Tak získáme konečný vztah **28**:

$$x : y : z = \frac{w_A}{M_A} : \frac{w_B}{M_B} : \frac{w_C}{M_C} \quad \mathbf{28}$$

Po vyčíslení zlomků poměr vyjádříme nejmenšími celými čísly, která budou hledanými koeficienty. Pozor! Empirický vzorec udává jen poměry počtu atomů, v jakých jsou prvky ve sloučenině vázány a nemusí být totožný se vzorcem molekulovým, který říká, jaké jsou počty atomů prvků v jedné molekule. Například hmotnostní zlomky prvků v boranu  $\text{BH}_3$  a diboranu  $\text{B}_2\text{H}_6$  budou stejné a přepíšeme jim stejný empirický vzorec  $\{\text{BH}_3\}$ , který se píše do složených závorek, je-li třeba zdůraznit, že jde o vzorec empirický. Naproti tomu, v případě vody je empirický  $\{\text{H}_2\text{O}\}$  a molekulový vzorec  $\text{H}_2\text{O}$  stejný. O molekulovém vzorci lze často rozhodnout až na základě hodnoty molární hmotnosti látky. Nalezneme-li ovšem empirický vzorec jistého uhlovodíku  $\{\text{CH}_3\}$ , jedná se zjevně o ethan molekulového vzorce  $\text{C}_2\text{H}_6$ , neboť vysoce reaktivní methylové radikály  $\cdot\text{CH}_3$  nejsou za normálních podmínek schopny samostatné existence. Není-li stechiometrický vzorec totožný se vzorcem molekulovým, potom charakterizuje tzv. vzorcovou jednotku látky. Například vzorcovou jednotkou křemene je hypotetická molekula  $\text{SiO}_2$ , neboť krystal křemene je jedinou molekulou, ve které jsou vzorcové jednotky vzájemně spojeny chemickou vazbou.

Pamatujme si další užitečný obrat. Mějme látku  $\text{A}_x\text{B}_y$ , jejíž molekula váže  $z$  molekul vody. Sumární vzorec lze napsat jako  $\text{A}_x\text{B}_y(\text{H}_2\text{O})_z$ . Známe-li hmotnostní zlomky prvků A, B a vody, určíme popsáním postupem koeficienty  $x$ ,  $y$  a  $z$ . Stechiometrický vzorec pak správně zapíšeme jako  $\text{A}_x\text{B}_y \cdot z\text{H}_2\text{O}$ . V rovnici **28** tak hraje prvek C roli vody a  $M_C$  je její relativní molekulová hmotnost. Tedy: Uvažovanými základními komponentami sloučenin nemusí být jen atomy prvků, ale mohou to být i molekuly různých látek, které jsou v dané sloučenině vázány v definovaných stechiometrických poměrech.

## 4.4 KAPALNÉ SOUSTAVY.

### 4.4.1 PŘÍPRAVA A SMĚŠOVÁNÍ ROZTOKŮ.

Práce s roztoky zahrnuje jejich přípravu, úpravy a směšování. Je třeba umět vypočítat, jak roztok určitého složení připravit a jak jej různé následné operace změni. Výpočty vycházejí z hmotnostní bilance rozpuštěných látek a rozpouštědla, přičemž je třeba mít na paměti, že nerozpustné látky (nečistoty) **nejsou součástí roztoku** a jejich hmotnost do hmotnosti roztoku nezapočítáváme. Tedy: Rozpuštěním 10 g tuhé látky o hmotnostním zlomku nerozpustných nečistot  $w_{\text{neč}} = 0,05$  vzroste hmotnost roztoku pouze o 9,5 g.

Omezme se nyní na **nenasyčené roztoky**, kdy jsou všechny látky zcela rozpuštěny. Pro hmotnostní bilanci každé rozpuštěné látky (zde např. látky A) lze psát tzv. směšovací rovnici **29** a výsledná hmotnost roztoku  $m$  je dána rovnicí **30**, kde  $m_i$  jsou hmotnosti **všech** komponent ( $i$  rozpouštědla), z nichž výsledný roztok vznikl.

$$m \cdot w(\text{A}) = \sum m_i \cdot w(\text{A})_i \quad \mathbf{29} \qquad m = \sum m_i \quad \mathbf{30}$$

Symbol  $w(\text{A})$  značí hmotnostní zlomek látky A ve výsledném roztoku a levá strana rovnice **29** má význam hmotnosti čisté látky A v roztoku obsažené. Ta musí být rovna součtu hmotností látky A obsažené v komponentách roztok tvořících – tj.  $\sum m_i \cdot w(\text{A})_i$ , kde  $m_i$  je hmotnost  $i$ -té komponenty a  $w(\text{A})_i$  hmotnostní zlomek látky A v ní obsažené. Tedy: Rozpuštěním  $m_i$  g **čisté** látky A vzrostou o tutéž hodnotu jak hodnota  $m$ , tak hodnota  $m \cdot w(\text{A})$ , neboť pro čistou látku A je  $w(\text{A})_i = 1$ . Přídavek  $m_i$  g jiné komponenty látku A **neobsahující** (čisté rozpouštědlo, roztok jiné látky, jiná rozpustná tuhá látka), vzroste o tutéž hodnotu hodnota  $m$ , hodnota  $m \cdot w(\text{A})$  se však nezmění, neboť  $w(\text{A})_i = 0$ . Odstraníme-li odpařením či vymražením  $m_i$  g

čistého rozpouštědla, hodnota  $m \cdot w(\mathbf{A})$  zůstane stejná, hodnotu  $m_i$  ale musíme odečíst od konečné hmotnosti roztoku  $m$ .

Obsahuje-li roztok  $n - 1$  rozpuštěných látek (tedy  $n$  včetně rozpouštědla), lze napsat  $n$  bilančních rovnic typu 29. Pokud známe pro všechny látky data analogická veličinám  $m_i$  a  $w(\mathbf{A})_i$  v bilanci látky A (29), snadno z nich vypočteme jejich hmotnostní zlomky ve výsledném roztoku. Stačí tak učinit pro  $n - 1$  látek, neboť hmotnostní zlomek zbývající látky  $w_Z = 1 - \sum w_i$ , kde  $\sum w_i$  je součet hmotnostních zlomků látek ostatních. Množství roztoků zpravidla odměřujeme objemově a proto dosazujeme do bilančních rovnic 29 a 30 často za hodnoty  $m_i$  raději součin objemu a hustoty přidávaného  $i$ -tého roztoku:  $m_i = V_i \cdot \rho_i$ . Pouze přidávky čistých látek a změny obsahu rozpouštědla vyjadřujeme jejich hmotností.

Ukážeme nyní nejčastější případ aplikace směšovací rovnice. Mějme dva roztoky téže látky o hmotnostních zlomcích  $w_1, w_2$  a hustotách  $\rho_1, \rho_2$ .

a) Je třeba zjistit hmotnostní zlomek rozpuštěné látky  $w$  v roztoku připraveném smíšením těchto roztoků v objemovém poměru  $V_1/V_2$ . **Řešení:** Bilance rozpuštěné látky dle rovnice 29 dá rovnici 31, kde  $m_1, m_2$  jsou hmotnosti spojených roztoků. Tu řešíme vzhledem k  $w$  a dostaneme rovnici 32. Její pravou stranu vykrátíme hodnotou  $m_2$ , za poměr  $m_1/m_2$  dosadíme  $m_1/m_2 = \rho_1 \cdot V_1/\rho_2 \cdot V_2$  a dostaneme hledané řešení 33.

$$(m_1 + m_2) \cdot w = m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2 \quad \mathbf{31} \qquad w = (m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2) / (m_1 + m_2) \quad \mathbf{32}$$

$$w = (w_1 \cdot m_1 / m_2 + w_2) / (m_1 / m_2 + 1) = (\rho_1 \cdot w_1 \cdot V_1 / V_2 + \rho_2 \cdot w_2) / (\rho_1 \cdot V_1 / V_2 + \rho_2) \quad \mathbf{33}$$

b) Nyní opačný problém: Jaké objemy uvažovaných roztoků je třeba smíchat, aby hmotnost výsledného roztoku byla  $m$  a hmotnostní zlomek rozpuštěné látky  $w$ ? **Řešení:** K nalezení neznámých  $V_1, V_2$  je třeba dvou nezávislých rovnic. Z hmotnostní bilance 29 pro rozpuštěnou látku a rozpouštědlo plynou dvě rovnice, které jsou však závislé, neboť hmotnostní zlomek rozpouštědla  $w_r$  je  $w_r = 1 - w$ . Můžeme proto použít jen jednu z nich. Přitom je jedno kterou - na výsledku to nic nezmění. Vyjděme z bilance rozpuštěné látky 34. Druhou potřebnou nezávislou rovnicí pak je celková hmotnostní bilance 30 vyjádřená rovnicí 35. Z těchto rovnic vypočteme potřebné hmotnosti roztoků  $m_1, m_2$  a převedeme je pomocí známých hustot na objemy (rovnice 36 a 37). Tím je problém vyřešen.

$$m \cdot w = m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2 \quad \mathbf{34} \qquad m = m_1 + m_2 \quad \mathbf{35}$$

$$V_1 = m_1 / \rho_1 = m \cdot (w_2 - w) / [\rho_1 \cdot (w_2 - w_1)] \quad \mathbf{36} \qquad V_2 = m_2 / \rho_2 = m \cdot (w - w_1) / [\rho_2 \cdot (w_2 - w_1)] \quad \mathbf{37}$$

Neznáme-li hmotnost výsledného roztoku  $m$ , nelze vypočíst potřebné hmotnosti resp. objemy roztoků výchozích. Lze však vypočítat, v jakém hmotnostním (objemovém) poměru je třeba tyto roztoky smísit. Do rovnice 34 dosadíme  $m = m_1 + m_2$ , vydělíme ji  $m_2$  a vypočteme poměr  $m_1/m_2$ . Ten pomocí hustot snadno převedeme na poměr  $V_1/V_2$ , jak je naznačeno v řešení 38.

$$m_1 / m_2 = (V_1 / V_2) \cdot (\rho_1 / \rho_2) = (w_2 - w) / (w - w_1) \quad \mathbf{38}$$

Namísto **hmotnostních** bilancí 29 a 30 bychom mohli koncentrační výpočty založit na analogických bilancích **látkových množství** 39a, 39b.

$$n \cdot x(\mathbf{A}) = \sum n_i \cdot x(\mathbf{A})_i \quad \mathbf{39a} \qquad n = \sum n_i \quad \mathbf{39b}$$

V nich značí  $n$  (**mol**) celkové látkové množství výsledného roztoku,  $x(\mathbf{A})$  je molární zlomek látky A v něm rozpuštěné,  $n_i$  (**mol**) je celkové látkové množství  $i$ -té komponenty roztoku a  $x(\mathbf{A})_i$  označuje molární zlomek látky A v ní obsažené. Pro  $n_i$  a  $x(\mathbf{A})_i$  přitom platí vše, co bylo výše řečeno o analogických veličinách  $m_i, w(\mathbf{A})_i$ . Výše popsaným postupem bychom snadno odvodili např. vztah  $n_1 / n_2 = (x_2 - x) / (x - x_1)$ , který je k rovnici 38 analogický. Odtud bychom mohli vypočíst v jakém poměru látkových množství je třeba spojit dva roztoky určité látky o molárních zlomcích  $x_1, x_2$ , aby byl její výsledný molární zlomek právě  $w$ . Tohoto přístupu se u roztoků příliš neuzívá, neboť je značně pracný. Pro koncentrační výpočty v plynných soustavách jsou molární zlomky naopak velmi vhodné.

Zcela stejným způsobem lze pracovat s objemovými zlomky či molárními (látkovými) koncentracemi. Stačí nahradit v rovnicích **39a**, **39b** veličinu  $n$  výsledným objemem roztoku  $V_s$  a za  $n_i$  dosadit  $V_i$  - tj. objem  $i$ -té komponenty do roztoku zavedené. Za  $x(A)_i$  pak dosadíme buď objemový zlomek látky A  $\phi(A)_i$  či její molární koncentraci  $c(A)_i$  v  $i$ -té komponentě. Rovnice **39b** přejde na tvar  $V_s = \Sigma V_i$  a v tom je právě potíž. Nebude-li z důvodů objemové kontrakce či expanze roztoku platit dostatečně přesně, nebudou naše výpočty správné. Obecně platí: Čím méně se směřované roztoky liší svým složením, tím lépe je podmínka aditivity objemů splněna. **Nelze proto doporučit** použití jednoduché rovnice **38**, známé v mnemotechnické podobě jako „křížové pravidlo“, k výpočtům s koncentračními údaji vztaženými na objem (objemové zlomky, molární koncentrace, hmotnostní koncentrace). Její použití je na místě v případě hmotnostních zlomků, molárních zlomků a molality. I v chemických tabulkách [5] najdete příklady aplikace křížového pravidla na objemové zlomky a molarity. Těmto výpočtům je lépe se vyhnout a vstupní hodnoty koncentračních veličin přepočítat pomocí hustot míšených roztoků na hmotnostní zlomky. Dostatek potřebných dat najdeme např. v Chemickoanalytických výpočetních tabulkách [6].

#### 4.4.2 NASYČENÉ ROZTOKY, ROZPUSTNOST TUHÝCH LÁTEK, KRYSTALIZACE.

Přidáváme-li do rozpouštědla rozpustnou látku A, dosáhneme stavu, kdy se již její další podíly nerozpouštějí. Potom je při dané teplotě dosaženo maximální možné koncentrace látky A v roztoku, který se stal roztokem **nasyceným**. Koncentrace látky A je určena její rozpustností  $s_A$  při dané teplotě. Ta se obvykle vyjadřuje v **gramech rozpuštěné látky  $m_A$  (g) ve 100 gramech rozpouštědla**. Rozpustnost  $s_A$  je tak definována rovnicí **40**, kde  $m_r$  (**100 g**) je hmotnost rozpouštědla v jednotkách **100 g**. Pro poměr  $m_A/m_r$  odtud plyne rovnice **41**, ve které hodnotám  $m_A, m_r$  náleží libovolné, ale **stejně jednotky!**

$$s_A = m_A (\text{g}) / m_r (\text{100 g}) \quad \mathbf{40} \qquad m_A / m_r = s_A / 100 \quad \mathbf{41}$$

Vezmeme-li hustotu vody  $\rho \cong 100 \text{ ml} \cdot \text{g}^{-1}$ , hodnota  $s_A$  zároveň říká, kolik gramů látky A lze rozpustit ve 100 ml vody. Často se setkáme s tzv. molární rozpustností  $r$  ( $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ) vyjádřené molární koncentrací dané látky v nasyceném roztoku. Používáme ji zvláště při výpočtech ze součinu rozpustnosti málo rozpustných elektrolytů, jak uvidíme v kapitole 8.

Rozpustnost látek zpravidla s teplotou roste, může však i klesat. Například při zvýšení teploty z  $20^\circ\text{C}$  na  $60^\circ\text{C}$  vzroste rozpustnost dusičnanu draselného  $\sim 3 \times$ , rozpustnost chloridu sodného se téměř nezmění a rozpustnost tetrahydrátu síranu manganatého klesne o  $\sim 30\%$ . Dále ji může ovlivňovat i přítomnost jiných rozpuštěných látek. Zde budeme hovořit pouze o **dvousložkových** vodných roztocích obsahujících rozpuštěnou látku a vodu.

Pro hmotnostní zlomek rozpuštěné látky v nasyceném roztoku  $w_A$  plyne z rovnice **40** vztah **42**. Pro hmotnostní zlomek rozpouštědla  $w_r$  pak snadno dostaneme rovnicí **43**, neboť musí platit  $w_A + w_r = 1$ .

$$w_A = s_A / (100 + s_A) \quad \mathbf{42} \qquad w_r = 100 / (100 + s_A) \quad \mathbf{43}$$

Řada látek tvoří za normálních podmínek hydráty definovaného složení (např.  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ). Nechť je rozpustnost určitého hydrátu ve vodě  $s_H$  a jeho molární hmotnost  $M_H$ , molární hmotnost bezvodé látky budiž  $M$ . Jaký je hmotnostní zlomek bezvodé látky  $w$  v nasyceném roztoku tohoto hydrátu? Hodnota  $w$  je rovna součinu hmotnostního zlomku hydrátu  $w_H$  v nasyceném roztoku a hmotnostního zlomku bezvodé látky v **čistém tuhém** hydrátu  $w_B$  (plyne z definice hmotnostního zlomku **18**). Dle rovnice **42** můžeme psát  $w_H = s_H / (100 + s_H)$  a hodnota  $w_B$  činí  $w_B = M / M_H$ . Molární hmotnosti nahradíme relativními molekulovými hmotnostmi  $M$  a problém je tím vyřešen:

$$w = s_H \cdot M / [(100 + s_H) \cdot M_H]$$

Odpařujeme-li z roztoku rozpouštědlo, koncentrace rozpuštěné látky roste až na hodnotu rozpustnosti, kterou nemůže přesáhnout, z roztoku se stává nasycený roztok a vylučuje se tuhý podíl (krystaly) rozpuštěné látky. Pokud se tak děje za konstantní teploty, hovoříme o **volné krystalizaci**. Když se z nasyceného roztoku odpaří určité množství rozpouštědla, přejde do tuhé fáze právě to množství látky A, které v něm bylo rozpuštěno. Proto i mezi hmotnostmi **odpařeného** rozpouštědla  $m_r$  a **vyloučené** tuhé látky  $m_A$  musí platit již uvedený vztah **41** udávající poměr hmotností obou složek v nasyceném roztoku.

Mějme roztok nasycený rozpuštěnou látkou při teplotě  $t_1$  °C, které odpovídá rozpustnost  $s_1$ . Ochladíme-li roztok na teplotu  $t_2$  °C, při které je rozpustnost  $s_2$  nižší než  $s_1$ , roztok se stane přesyceným a určitá relativní část původně rozpuštěné látky  $f$  přejde do tuhé fáze. Hovoříme pak o **rušené krystalizaci**. Rovnici **44** pro výpočet  $f$  snadno získáte z definiční rovnice **40**. K významu pojmu relativní část  $f$ : Je-li  $f = 0,3$ , znamená to, že do tuhé fáze přešlo 30 % rozpuštěné látky.

$$f = (s_1 - s_2) / s_1 \quad \mathbf{44}$$

Bude-li však  $s_1 < s_2$  (viz příklad  $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), roztok se stane nenasyceným a rozpustí se další podíl tuhé fáze, je-li v soustavě k dispozici. Záporná hodnota  $f$  udává, jakou relativní část původně rozpuštěné látky je třeba ještě do roztoku přidat, aby se stal znovu nasyceným.

#### 4.5 PLYNNÉ SOUSTAVY, IDEÁLNÍ SMĚSI PLYNŮ.

Ideální plyn definujeme jako plyn, jehož molekuly jsou hmotné body (tj. nezaujímají žádný objem), mezi kterými nepůsobí žádné síly. Stavovou rovnici ideálního plynu a její užitečné varianty jsme již poznali v kapitole 1.3.3 (rovnice **6** až **8**), kde jsou rovněž uvedeny podmínky, za kterých se reálné plyny s vyhovující přesností touto rovnicí řídí. Připomeňme, že stavovou rovnici  $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$  je někdy užitečné přepsat ve tvaru **45**, kde indexy 1 a 2 označují hodnoty stavových veličin ve dvou různých stavech.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{n_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{n_2 \cdot T_2} \quad \mathbf{45}$$

Předpokládejme, že máme směs různých plynů, jejichž chování se za daných podmínek řídí s dostatečnou přesností stavovou rovnicí plynu ideálního. Z definice ideálního plynu plyne, že všechny molekuly přítomné v soustavě se vzájemně neomezují ve volném pohybu (nulový objem molekul ideálního plynu, mezi kterými nepůsobí žádné síly). Tedy: ve směsi plynů, jejíž látkové množství  $n_s$  je rovno součtu látkových množství složek  $n_s = \sum n_i$ , se každá složka chová tak, jako kdyby byla za daných podmínek v soustavě sama (tzv. Ostwaldův zákon). Pro objem směsi za teploty  $T$  a tlaku  $p$  můžeme psát  $V_s = R \cdot T \cdot \sum n_i / p = R \cdot T \cdot n_s / p$ . Objem jedné složky za téže teploty a tlaku bude  $V_i = R \cdot T \cdot n_i / p$  a nazýváme jej **parciálním objemem i-té složky** za daných podmínek ( $T, p$ ). Vyjádříme-li objemový zlomek i-té složky  $\phi_i$ , zjistíme, že je roven jejímu molárnímu zlomku:

$$\phi_i = V_i / V_s = n_i / n_s = n_i / \sum n_i = x_i \quad \mathbf{46}$$

Je tomu tak proto, že objem soustavy je roven součtu parciálních objemů jejich složek (tzv. Amagatův zákon aditivity parciálních objemů). Tato skutečnost velmi zjednodušuje koncentrační výpočty v plynných soustavách oproti soustavám kapalným. Pamatujte si proto následující vztah **47**:

$$V_i = V_s \cdot x_i = V_s \cdot \phi_i \quad \mathbf{47}$$

Stejně, jako jsme definovali parciální objem, definujeme též parciální tlak i-té složky  $p_i$  při určité teplotě a objemu soustavy ( $T, V$ ). Vyjdete-li ze stavové rovnice a tzv. Daltonova zákona aditivity parciálních tlaků, který říká, že tlak soustavy  $p_s$  je roven součtu parciálních tlaků složek, dojdete snadno k podobnému závěru, jako v předchozím případě:

$$p_i = p_s \cdot x_i = p_s \cdot \phi_i \quad 48$$

Takto je spojen údaj o obsahu  $i$ -té složky s celkovým objemem či tlakem soustavy.

Pro celkovou molární koncentraci plynů ve směsi  $c_s$  plyne ze stavové rovnice vztah **49** a pro molární koncentraci  $i$ -té složky  $c_i$  vztah **50**, neboť  $n_i = x_i \cdot n_s$ .

$$c_s \text{ (mol} \cdot \text{l}^{-1}\text{)} = 10^{-3} \cdot n_s / V_s = 10^{-3} \cdot p_s / (R \cdot T) \quad 49 \quad c_i = x_i \cdot c_s \quad 50$$

Faktorem  $10^{-3}$  je hodnota  $c_s$  převedena na domluvenou jednotku  $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ . Jinak by v rámci naší dohody (kap. 1.1) byla dle rovnice **49** vyjádřena v jednotkách  $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ , neboť symbolem  $V_s$  automaticky rozumíme objem v hlavních jednotkách  $\text{m}^3$  a  $V_s = 10^{-3} \cdot V_s \text{ (l)}$ .

Nad kapalnou látkou dojde při konstantní teplotě k ustavení rovnovážného tlaku par (tzv. tlak nasycených par při dané teplotě), který je pro ni charakteristický a závisí pouze na teplotě. Mějme uzavřenou soustavu obsahující kapalinu, nad níž je směs různých plynů a tlaku nasycených par kapalně látky náleží při dané teplotě hodnota  $p_k$ . Za předpokladu ideálního chování plynných složek i par kapaliny bude celkový tlak plynné fáze součtem parciálních tlaků plynných složek a tlaku sytých par kapalně látky  $p_k$ . Ať se změni poměry v plynné fázi jakkoliv (zvýšení tlaku soustavy dodáním dalších plynů atd.), parciální tlak par kapaliny bude mít konstantní hodnotu  $p_k$ , pokud se teplota soustavy nezmění.

V kapitole 1.3.3 jsme ukázali, jak lze ze stavové rovnice určit molární hmotnost plynu  $M$ , přepíšeme-li ji ve tvaru  $p \cdot V = m \cdot R \cdot T / M$ . Ukažme nyní, jaký je význam hodnoty  $M$  plynoucí ze stavového chování ideální směsi dvou plynů. Nechť jim náleží molární hmotnosti  $M_1, M_2$  a absolutní hmotnosti množství složek ať činí  $m_1, m_2$ . Pohlédněme na směs jako na jediný plyn **hypothetické** molární hmotnosti  $M$ . Pro látkové množství hypothetického plynu  $n_h$  a skutečné látkové množství v soustavě  $n_s$  můžeme psát:

$$n_h = (m_1 + m_2) / M \quad n_s = (n_1 + n_2) = m_1 / M_1 + m_2 / M_2$$

Potom ovšem musí platit  $pV = R \cdot T \cdot n_h = R \cdot T \cdot n_s$ . Odtud plyne rovnost  $n_h = n_s$ , ze které vyjádříme  $M$  pomocí molárních a absolutních hmotností obou složek:

$$\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} = \frac{m_1 + m_2}{M} \quad \Rightarrow \quad M = \frac{M_1 \cdot M_2 \cdot (m_1 + m_2)}{m_1 \cdot M_2 + m_2 \cdot M_1}$$

Výraz pak upravíme do konečného tvaru **51**, kde  $x_{1,2}$  označuje molární zlomky složek.

$$M = M_1 \frac{m_1 / M_1}{m_1 / M_1 + m_2 / M_2} + M_2 \frac{m_2 / M_2}{m_1 / M_1 + m_2 / M_2} = M_1 \cdot x_1 + M_2 \cdot x_2 \quad 51$$

Tedy: Molární hmotnost hypothetické molekuly  $M$  je rovna váženému průměru molárních hmotností plynů ve směsi přítomných. Závěr lze zobecnit pro libovolný počet složek takto:

$$M = \sum x_i \cdot M_i$$

## 4.6 ŘEŠENÉ PŘÍKLADY.

### Příklad 1

V kolika gramech čistého uhličitanu vápenatého ( $m_U$ ) je přítomno právě  $m_{Ca} = 10$  g vápníku?

Řešení:

Z definice hmotnostního zlomku **17** plyne  $m_U = m_{Ca} / w_{Ca}$ , kde  $w_{Ca}$  je hmotnostní zlomek vápníku v uhličitanu vápenatém  $\text{CaCO}_3$ , který zjistíme z relativních atomových hmotností prvků:  $w_{Ca} = M_{Ca} / (M_{Ca} + M_C + 3 \cdot M_O)$ . Potom  $m_U = m_{Ca} \cdot (M_{Ca} + M_C + 3 \cdot M_O) / M_{Ca}$ . Dosadíme tabulkové hodnoty relativních atomových hmotností a vyčíslíme:

$$m_U = 10 \cdot (40,08 + 12,01 + 3 \cdot 16,00) / 40,08 = \mathbf{24,97 \text{ g}}$$

Závěr: Deset gramů vápníku je obsaženo právě ve 24,97 gramech uhličitanu vápenatého.

### Příklad 2

Kolik gramů uhličitanu draselného ( $m_C$ ) a kolik mililitrů vody ( $V_V$ ) je zapotřebí k přípravě  $m_r = 220,00$  gramů roztoku, v němž hmotnostní zlomek uhličitanu činí  $w_C = 0,24$ ? Hustota roztoku je při  $20\text{ °C}$   $\rho_r = 1,2320\text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ . Vypočítejte molární zlomek  $x_C$  uhličitanu, jeho molární koncentraci  $c_C$ , molalitu  $M_C$  a hmotnostní koncentraci  $c_m(C)$ . K výpočtu vezměte hustotu vody při  $20\text{ °C}$   $\rho_V = 0,99821\text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ . Molární hmotnost uhličitanu draselného je  $M_C = 138,213\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  a vody  $M_V = 18,0153\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .

#### Řešení:

a) Z definice hmotnostního zlomku **17** plyne  $m_C = m_r \cdot w_C$ . V roztoku je přítomna jen rozpuštěná látka a voda. Pro hmotnost vody  $m_V$  proto platí  $m_V = m_r - m_C$  a její objem je  $V_V = m_V / \rho_V$ . Vypočítejte látková množství uhličitanu a vody:

$$n_C = m_C / M_C \qquad n_V = m_V / M_V.$$

To umožní z definice **16** určit molární zlomek uhličitanu  $x_C$ , neboť  $x_C = n_C / (n_C + n_V)$ .

Vyčíslení:

$$\begin{aligned} m_C &= 220,00 \cdot 0,24 = \mathbf{52,800\text{ g}} & m_V &= 220,00 - 52,80 = 167,20\text{ g} \\ n_C &= 52,800 / 138,213 = 0,38201\text{ mol} & n_V &= 167,20 / 18,0153 = 9,2810\text{ mol} \\ V_V &= 167,20 / 0,99821 = \mathbf{167,50\text{ ml}} & x_C &= 0,38201 / (0,38201 + 9,2810) = \mathbf{0,039533} \end{aligned}$$

b) Dle vztahu  $V_r = m_r / \rho_r$  vypočítejte objem roztoku  $V_r$ , molární koncentraci uhličitanu  $c_C = n_C / V_r$  (l) (definiční rovnice **20**) a hmotnostní koncentraci  $c_m(C) = m_C$  (g) /  $V_r$  (l). Molalitu vypočítejte rovněž z definiční rovnice **21**:  $M_C = n_C / m_V$  (kg). Výpočet provedeme v jednotkách uvedených u příslušných veličin.

Vyčíslení:

$$\begin{aligned} V_r &= 220,00 / 1,2320 = 178,57\text{ ml} & c_C &= 0,38201 / 0,17857 = \mathbf{2,1393\text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}} \\ c_m(C) &= 52,800 / 0,17857 = \mathbf{295,68\text{ g}\cdot\text{l}^{-1}} & M_C &= 0,38201 / 0,16720 = \mathbf{2,2847\text{ mol}\cdot\text{kg}^{-1}} \end{aligned}$$

Závěr: Tímto je příklad plně vyřešen, odpovědi na jednotlivé otázky jsou vytištěny tučně.

### Příklad 3

Bylo smíšeno  $m_{Et} = 1000,0\text{ g}$  čistého ethanolu s  $m_V = 1000,0\text{ g}$  vody a hustota výsledného roztoku činila  $\rho_s = 0,9138\text{ kg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Hustotě vody a čistého ethanolu při téže teplotě náleží hodnoty  $\rho_V = 0,9982\text{ kg}\cdot\text{l}^{-1}$  a  $\rho_{Et} = 0,7893\text{ kg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Vypočítejte molární, hmotnostní a objemový zlomek ethanolu v tomto roztoku a rozhodněte, zda došlo k objemové kontrakci či expanzi. Všechny hodnoty hustot odpovídají teplotě  $20\text{ °C}$ .

#### Řešení:

a) Z definice **17** pro hmotnostní zlomek ethanolu  $w_{Et}$  plyne:

$$w_{Et} = m_{Et} / (m_V + m_{Et}) = 1000,0 / 2000,0 = \mathbf{0,50000}$$

Molární hmotnosti ethanolu a vody jsou  $M_{Et} = 46,0696\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  a  $M_V = 18,0153\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Pro látková množství obou složek dostáváme  $n_{Et} = m_{Et} / M_{Et} = 1000,0 / 46,070 = 21,706\text{ mol}$ . Dále,  $n_V = m_V / M_V = 1000,0 / 18,015 = 55,509\text{ mol}$ . Dle definice **16** můžeme pro molární zlomek ethanolu psát:

$$x_{Et} = n_{Et} / (n_V + n_{Et}) = 21,706 / (21,706 + 55,509) = \mathbf{0,28111}$$

b) Z hustot ethanolu a vody vypočítejte objemová množství obou složek  $V_{Et}$  a  $V_V$ , která byla smíšena (pozor na jednotky!):

$$\begin{aligned} V_{Et} &= m_{Et} / \rho_{Et} = 1,0000\text{ (kg)} / 0,7893\text{ (kg}\cdot\text{l}^{-1}) = 1,267\text{ l} \\ V_V &= m_V / \rho_V = 1,0000 / 0,9982\text{ (kg}\cdot\text{l}^{-1}) = 1,002\text{ l} \end{aligned}$$

Vypočítejte skutečný objem výsledné směsi  $V_s$  pomocí její hustoty  $\rho_s$  a známé celkové hmotnosti roztoku  $m_V + m_{Et}$ :

$$V_s = (m_V + m_{Et}) / \rho_s = 2,0000 / 0,9138 = \mathbf{2,189\ l}$$

Pro objemový zlomek ethanolu můžeme dle definiční rovnice **19** psát:

$$\varphi_{Et} = V_{Et} / V_s = 1,267 / 2,189 = \mathbf{0,5788}$$

**c)** Pokud by při mísení čistých složek nedocházelo k objemovým změnám, ideální objem výsledného roztoku  $V_{id}$  by byl roven součtu objemů složek  $V_{Et} + V_V$ :

$$V_{id} = V_{Et} + V_V = 1,267 + 1,002 = \mathbf{2,269\ l}$$

Skutečný objem roztoku má ale hodnotu  $V_s = 2,189\ l$ . Protože  $V_s < V_{id}$ , došlo k objemové kontrakci, která činí 3,52 % hodnoty  $V_{id}$ .

Závěr: Hmotnostní zlomek ethanolu v uvažovaném roztoku činí  $w_{Et} = 0,50000$ . Molárnímu zlomku ethanolu náleží hodnota  $x_{Et} = 0,28111$  a jeho objemový zlomek je  $\varphi_{Et} = 0,5788$ . Při přípravě roztoku dochází k objemové kontrakci.

#### **Příklad 4**

Analýzou vzorku čisté látky tvořené dusíkem, kyslíkem, uhlíkem a vodíkem byla nalezena tato množství jednotlivých prvků:  $m_N = 1,121\ g$ ,  $m_O = 0,640\ g$ ,  $m_C = 0,480\ g$  a  $m_H = 0,161\ g$ . Dále bylo zjištěno, že relativní molekulová hmotnost této látky je  $M = 60,07$ . Najděte molekulový vzorec a určete o jakou látku se jedná.

Řešení:

Látka obsahuje pouze čtyři uvedené prvky a její empirický vzorec lze psát jako  $\{N_v H_x C_y O_z\}$ . Dle rovnice **28** vyjádříme postupný poměr stechiometrických koeficientů takto:

$$v : x : y : z = \frac{w_N}{M_N} : \frac{w_H}{M_H} : \frac{w_C}{M_C} : \frac{w_O}{M_O}$$

Pro hmotnostní zlomek každého prvku platí  $w_i = m_i / m_{vz}$ , kde  $m_i$  je nalezená hmotnost prvku v analyzovaném vzorku a  $m_{vz}$  je hmotnost vzorku. Proto můžeme do čitatele zlomků v postupném poměru dosadit přímo nalezené absolutní hmotnosti prvků a do jmenovatelů jejich relativní atomové hmotnosti.

$$\begin{aligned} v : x : y : z &= \frac{m_N}{M_N} : \frac{m_H}{M_H} : \frac{m_C}{M_C} : \frac{m_O}{M_O} = \frac{1,121}{14,01} : \frac{0,161}{1,008} : \frac{0,480}{12,0} : \frac{0,640}{16,0} \\ &= \mathbf{0,08001 : 0,160 : 0,0400 : 0,0400} \end{aligned}$$

Postupný poměr pak upravíme na poměr nejmenších celých čísel. První krok spočívá v dělení čísel nejmenším z nich (zde 0,04). Pokud takto nevznikne sada celých čísel, musíme je pak vhodným celým číslem násobit. Zde již po prvním kroku dostaneme  $v = 2$ ,  $x = 4$ ,  $y = 1$  a  $z = 1$  a empirický vzorec  $\{N_2H_4CO\}$ . Molekule  $N_2H_4CO$  by náležela relativní molekulová hmotnost  $M = 2M_N + 4M_H + M_C + M_O = \mathbf{60,05}$ . Protože vykazuje velmi dobrou shodu s hodnotou  $M = 60,07$  deklarovanou v zadání, je nalezený empirický vzorec shodný s molekulovým vzorcem  $(NH_2)_2 \cdot CO$ , který náleží látce zvané močovina.

Závěr: Molekulový vzorec analyzované látky je  $(NH_2)_2 \cdot CO$  a jde o močovinu.

#### **Příklad 5**

Dokonalým spálením se plynný uhlovodík  $C_xH_y$  zcela přemění na oxid uhlíčitý a vodu. Pro poměr hmotnosti oxidu  $m_{ox}$  k hmotnosti vznikající vody  $m_V$  přitom platí  $m_{ox} : m_V = 22 : 9$ . Hustotě neznámého uhlovodíku náleží za normálních podmínek hodnota  $\rho = 1,882\ kg \cdot m^{-3}$ . Určete o jaký uhlovodík se jedná.

Řešení:

**a)** Najdeme empirický vzorec uhlovodíku  $\{C_xH_y\}$ . Pro hmotnostní zlomky oxidu uhlíčitého  $w_{ox}$  a vody  $w_V$  ze zadání plyne:  $w_{ox} = 22/31$  a  $w_V = 9/31$ . Dále vyjádříme hmotnostní zlomek uhlíku v oxidu uhlíčitým  $(w_C)_{ox}$  a vodíku ve vodě  $(w_H)_V$ :

$$(w_C)_{ox} = M_C / (M_C + 2 \cdot M_O) \qquad (w_H)_V = 2M_H / (M_O + 2 \cdot M_H)$$

Pro hmotnostní zlomek uhlíku  $w_C$  a vodíku  $w_H$  ve směsi spalin musí dle rovnice **18** platit:

$$w_C = (w_C)_{ox} \cdot w_{ox} \qquad w_H = (w_H)_V \cdot w_V$$

Poměr  $w_C / w_H$  ve spalinách je ale stejný jako poměr hmotnostních zlomků těchto prvků v **čistém** uhlovodíku  $C_xH_y$ , neboť se dle zadání oba prvky kvantitativně (zcela) přeměnily na oxid uhličitý a vodu. Proto můžeme dle rovnice **28** psát:

$$\begin{aligned} x : y &= \frac{w_C}{M_C} : \frac{w_H}{M_H} = \frac{(w_C)_{ox} \cdot w_{ox}}{M_C} : \frac{(w_H)_V \cdot w_V}{M_H} = \frac{w_{ox}}{M_C + 2 \cdot M_O} : \frac{2 \cdot w_V}{M_O + 2 \cdot M_H} = \\ &= \frac{22}{31 \cdot (12,01 + 32,00)} : \frac{18}{31 \cdot (16,00 + 2,02)} = \frac{22}{12,01 + 32,00} : \frac{18}{16,00 + 2,02} = \mathbf{0,499 : 0,9989} \end{aligned}$$

Po krácení poměru číslem 0,4999 a zaokrouhlení máme  $x = 1$ ,  $y = 2$  a dostaneme empirický vzorec  $\{CH_2\}$ . Takový stabilní uhlovodík neexistuje a jedná se o vzorec velmi reaktivního methylenového radikálu  $:CH_2$ .

**b)** Abychom zjistili o jaký uhlovodík jde, vypočteme ze známé hustoty pomocí upravené stavové rovnice **8** jeho molární hmotnost. Hustota plynu  $\rho$  je za normálních podmínek ( $T = 273,15 \text{ K}$ ,  $p = 101325 \text{ Pa}$ )  $\rho = 1,882 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . K výpočtu vezmeme hodnotu molární plynové konstanty  $R = 8,315 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ , rovnici **8** upravíme, dosadíme zadané hodnoty, vypočteme molární hmotnost plynu  $M$  a patřičně zaokrouhlíme:

$$M = \rho \cdot R \cdot T / p = 1,882 \cdot 8,315 \cdot 273,15 / 101325 = 0,04219 \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1} = \mathbf{42,19 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

Relativní molekulová hmotnost plynu je  $M = 42,19$ . Radikálu  $:CH_2$  náleží relativní molekulová hmotnost  $M(CH_2) = M_C + 2M_H = 14,03$  a její trojnásobek činí  $3 \cdot M(CH_2) = 42,09$ . S přihlédnutím k chybám analýz, stanovení hustoty plynu a jeho odchylkám od ideálního chování, lze považovat rovnost  $M = 3 \cdot M(CH_2)$  za prokázanou a neznámému uhlovodíku můžeme připisat molekulový vzorec  $C_3H_6$ , který odpovídá propenu.

Závěr: Neznámým uhlovodíkem je propen  $C_3H_6$ .

### Příklad 6

Minerál kaolinit je tvořen oxidem křemičitým krystalujícím s oxidem hlinitým a vodou. Analýzou byly nalezeny tyto hmotnostní zlomky jednotlivých složek:  $w(\text{SiO}_2) = 0,4652$ ,  $w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 0,3950$  a  $w(\text{H}_2\text{O}) = 0,1395$ . Určete empirický vzorec této látky.

Řešení:

Empirický vzorec kaolinitu zapíšeme jako  $\{(\text{SiO}_2)_x \cdot (\text{Al}_2\text{O}_3)_y \cdot (\text{H}_2\text{O})_z\}$ . Pohledme nyní na jednotlivé složky jako na tři „prvky“ skládající „molekulu“ tohoto minerálu. Hodnoty jejich hmotnostních zlomků dosadíme do rovnice **28**, za relativní atomové hmotnosti prvků dosadíme relativní molekulové hmotnosti jednotlivých složek a postupný poměr vyčíslíme:

$$\begin{aligned} x : y : z &= \frac{w(\text{SiO}_2)}{M(\text{SiO}_2)} : \frac{w(\text{Al}_2\text{O}_3)}{M(\text{Al}_2\text{O}_3)} : \frac{w(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0,4652}{60,085} : \frac{0,3950}{101,96} : \frac{0,1395}{18,015} = \\ &= 7,742 \cdot 10^{-3} : 3,874 \cdot 10^{-3} : 7,744 \cdot 10^{-3} = \mathbf{1,998 : 1 : 1,999} \end{aligned}$$

Po zaokrouhlení lze tedy empirický vzorec kaolinitu psát jako  $\{2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}\}$ . V daném případě se vskutku jedná o vzorec vzorcové jednotky (viz kap. 4.3), která je základní jednotkou krystalové mřížky uvažovaného minerálu.

Závěr: Empirický vzorec kaolinitu je  $\{2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}\}$ .

### Příklad 7

Byla rozpuštěna směs bromidu draselného a chloridu hořečnatého, jejíž celková hmotnost činila  $m_1$ . Přídavkem roztoku dusičnanu stříbrného byly bromidové a chloridové anionty úplně převedeny na nerozpustné halogenidy stříbra ( $\text{AgCl}$ ,  $\text{AgBr}$ ), jejich sraženina oddělena, vysušena a vážením stanovena její hmotnost  $m_2$ . Bylo zjištěno, že  $m_1 / m_2 = 1/2$ . Vypočítejte,



jaké byly molární zlomky KBr a MgCl<sub>2</sub> a hmotnostní zlomky jednotlivých prvků v původní směsi tuhých látek.

Řešení:

a) Pohlédneme na výchozí směs KBr a MgCl<sub>2</sub> jako na látku složenou z hypotetických „molekul“ (KBr)<sub>a</sub>·(MgCl<sub>2</sub>)<sub>b</sub> o relativní molekulové hmotnosti M, které se v roztoku srážením stříbrných halogenidů mění na „molekuly“ tuhé látky (AgBr)<sub>a</sub>·(AgCl)<sub>2b</sub>. Najdeme-li poměr stechiometrických koeficientů *a/b*, snadno určíme ze vzorce původní „molekuly“ požadované údaje. Poměr hmotností směsí *m*<sub>1</sub>/*m*<sub>2</sub> musí být roven poměru relativních molekulových hmotností jejich „molekul“ a proto platí:

$$\frac{1}{2} = m_1 / m_2 = \frac{a \cdot M(\text{KBr}) + b \cdot M(\text{MgCl}_2)}{a \cdot M(\text{AgBr}) + 2 \cdot b \cdot M(\text{AgCl})}$$

Čitatele a jmenovatele zlomku dělíme koeficientem *b*, rovnici vyřešíme vzhledem k poměru *a/b*, dosadíme relativní molekulové hmotnosti jednotlivých látek a poměr *a/b* vyčíslíme:

$$a : b = [M(\text{AgCl}) - M(\text{MgCl}_2)] : [M(\text{KBr}) - \frac{1}{2} M(\text{AgBr})] = \\ = [143,321 - 95,211] : [119,006 - 93,886] = 48,110 : 25,120 = \mathbf{1,9152 : 1}$$

Hypotetickou „molekulu“ původní tuhé směsi lze tedy formulovat jako (KBr)<sub>1,9152</sub>·MgCl<sub>2</sub>, odkud plyne pro molární zlomek KBr hodnota *x*(KBr) = 1,9152/2,9152 = **0,6570**. Molární zlomek MgCl<sub>2</sub> pak činí *x*(MgCl<sub>2</sub>) = 1 - *x*(KBr) = **0,3430**.

b) Pro relativní hmotnost formální molekuly platí M = 1,9152·M(KBr) + M(MgCl<sub>2</sub>), tj. M = 1,9152·119,01 + 95,211 = 323,14. Hmotnostní zlomky *w* jednotlivých prvků v původní tuhé směsi pak vypočteme takto: Relativní hmotnost prvku násobenou počtem jeho atomů obsažených ve formální molekule dělíme relativní hmotností této molekuly.

$$w(\text{K}) = 1,9152 \cdot M(\text{K}) / M = 1,9152 \cdot 39,102 / 323,14 = \mathbf{0,2318}$$

$$w(\text{Br}) = 1,9152 \cdot M(\text{Br}) / M = 1,9152 \cdot 79,904 / 323,14 = \mathbf{0,4736}$$

$$w(\text{Mg}) = M(\text{Mg}) / M = 24,305 / 323,14 = \mathbf{0,0752}$$

$$w(\text{Cl}) = 1 - w(\text{K}) - w(\text{Br}) - w(\text{Mg}) = \mathbf{0,2194}$$

Závěr: Molární zlomky složek směsi KBr a MgCl<sub>2</sub> mají hodnoty *x*(KBr) = 0,6570 a *x*(MgCl<sub>2</sub>) = 0,3430. Hmotnostní zlomky jednotlivých prvků jsou *w*(K) = 0,2318, *w*(Br) = 0,4736, *w*(Mg) = 0,0752 a *w*(Cl) = 0,2194.

### Příklad 8

Kolik gramů tetrahydrátu chloridu manganatého (*m*<sub>h</sub>) a kolik gramů vody (*m*<sub>v</sub>) je třeba použít k přípravě *m* = 250,0 gramů roztoku, v němž je hmotnostní zlomek chloridu manganatého *w* = 0,250? Molární hmotnost MnCl<sub>2</sub> je *M* = 125,844 g·mol<sup>-1</sup> a molární hmotnost tetrahydrátu MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O činí *M*<sub>h</sub> = 197,905 g·mol<sup>-1</sup>.

Řešení:

Napíšeme látkovou bilanci typu **29** pro **bezvodý** MnCl<sub>2</sub> a celkovou hmotnostní bilanci typu **30**. Tím získáme dvě nezávislé rovnice pro neznámé *m*<sub>h</sub>, *m*<sub>v</sub>. Při bilancování chloridu manganatého nesmíme zapomenout, že hmotnostní zlomek bezvodého chloridu v tetrahydrátu činí *w*<sub>b</sub> = *M*/*M*<sub>h</sub>. Proto *m*<sub>h</sub> gramům hydrátu odpovídá pouze *m*<sub>h</sub>·*w*<sub>b</sub> gramů bezvodého chloridu manganatého. Bilanční rovnice MnCl<sub>2</sub> má pak tvar *m*<sub>h</sub>·*w*<sub>b</sub> = *m*·*w* a pro celkovou hmotnostní bilanci platí *m* = *m*<sub>h</sub> + *m*<sub>v</sub>. Z první rovnice vypočteme potřebnou hmotnost hydrátu a z druhé hmotnost vody potřebné pro přípravu žádaného roztoku.

$$m_h = m \cdot w \cdot M_h / M = 250,0 \cdot 0,250 \cdot 197,905 / 125,844 = \mathbf{98,3 \text{ g}}$$

$$m_v = m - m_h = 250,0 - 98,3 = \mathbf{151,7 \text{ g}}$$

Závěr: K přípravě roztoku použijeme 98,3 g tetrahydrátu chloridu manganatého a 151,7 g vody.

### **Příklad 9**

V roztoku je rozpuštěna látka A, jejíž molární koncentraci  $c_1$  neznáme. K práci byly vzaty  $V_1 = 2$  ml tohoto roztoku a jejich objem upraven destilovanou vodou na hodnotu  $V_2 = 100$  ml. Z tohoto druhého roztoku byl k analýze odebrán vzorek o objemu  $V_3 = 500$   $\mu\text{l}$ , jeho objem upraven na  $V_4 = 10$  ml a stanovena koncentrace látky A  $c_3 = 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ . Jaká byla koncentrace látky  $c_1$  v původním roztoku?

#### **Řešení:**

Látkové množství látky A obsažené ve  $V_1 = 2$  ml původního roztoku musí být stejné i v prvním zředěném roztoku. Z definice **20** pak plyne  $V_1 c_1 = V_2 c_2$  a  $c_2 = V_1 c_1 / V_2$ , kde  $c_2$  je koncentrace látky po prvním ředění. Při druhém ředění analogicky platí:  $V_3 c_2 = V_4 c_3$ . Do tohoto vztahu dosadíme za  $c_2$ , vyjádříme a vyčíslíme hledané  $c_1$ . Při výpočtu je nutno dosazovat objemy ve stejných jednotkách!

$$c_1 = \frac{V_2 \cdot V_4 \cdot c_3}{V_1 \cdot V_3} = \frac{100 \cdot 10 \cdot 3,8 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 0,5} = \mathbf{0,38 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}}$$

Povšimněte si: Poprvé jsme původní roztok ředili 50 x (zředovací faktor  $V_2/V_1 = 50$ ) a výsledný roztok byl dále ředěn 20 x (zředovací faktor  $V_4/V_3 = 20$ ). Výsledný zředovací faktor původního roztoku je roven součinu dílčích zředovacích faktorů:  $20 \times 50 = 1000$ .

Závěr: Molární koncentrace látky A v původním roztoku činila  $0,38 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ .

### **Příklad 10**

Roztok kyseliny trihydrogenfosforečné má hustotu  $\rho = 1,426 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$  a hmotnostnímu zlomku  $\text{H}_3\text{PO}_4$  náleží hodnota  $w = 0,600$ . Jak z tohoto roztoku připravíte  $V = 1,50$  l roztoku, jemuž náleží látková koncentrace kyseliny  $c = 1,80 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ ? Molární hmotnost  $\text{H}_3\text{PO}_4$  je  $M = 97,9953 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

#### **Řešení:**

Ze zadání plyne, že výsledný roztok musí obsahovat  $n = c \cdot V$  molů  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Najdeme tedy objemové množství  $V_k$  výchozího roztoku, ve kterém je právě toto látkové množství kyseliny obsaženo, odměříme je a vodou upravíme celkový objem na hodnotu  $V = 1,50$  l. Pro látkové množství kyseliny  $n_k$  v objemovém množství výchozího roztoku  $V_k$  platí:  $n_k = V_k \cdot \rho \cdot w / M$ . Dosazením do podmínky  $n_k = n$  získáme rovnici, kterou vyřešíme vzhledem k  $V_k$ , dosadíme zadané hodnoty, vyčíslíme a zaokrouhlíme:

$$V_k = M \cdot c \cdot V / (\rho \cdot w) = 97,9953 \cdot 1,80 \cdot 1,50 / (1,426 \cdot 0,600) = \mathbf{309 \text{ ml}}$$

Závěr: Odměříme 309 ml roztoku kyseliny a doplníme jej vodou na celkový objem 1,50 l.

### **Příklad 11**

Jaký objem vody  $V$  je nutno smístit s  $V_k = 29,0$  ml koncentrované kyseliny dusičné, které náleží hustota  $\rho_k = 1,40 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$  a hmotnostní zlomek  $\text{HNO}_3$  činí  $w_k = 0,670$ , aby byl výsledný hmotnostní zlomek kyseliny  $w$  právě 0,25. Počítejte s hustotou vody  $\rho = 1,00 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ .

#### **Řešení:**

Hmotnosti výchozího roztoku kyseliny  $m_k$  a potřebné vody  $m$  jsou  $m_k = V_k \cdot \rho_k$  a  $m = V \cdot \rho$ . Sestavíme bilanční rovnici (směšovací rovnici **31**) pro směšování dvou roztoků, přičemž jedním z nich je voda, v níž je hmotnostní zlomek kyseliny roven nule. Ve výsledné soustavě může být jen **tolik čisté kyseliny, kolik ji je přítomno v ředěném roztoku**. Proto:

$$(V_k \cdot \rho_k + V \cdot \rho) \cdot w = V_k \cdot \rho_k \cdot w_k$$

Odtud vypočteme neznámou  $V$ , dosadíme zadané hodnoty a vyčíslíme.

$V = V_k \cdot \rho_k \cdot (w_k - w) / (\rho \cdot w) = 29,0 \cdot 1,40 \cdot (0,670 - 0,25) / (1,00 \cdot 0,25) = 68,2 \text{ ml}$   
 Závěr: Uvedené množství  $\text{HNO}_3$  je třeba spojit s 68,2 ml vody.

### Příklad 12

Hustota roztoku HCl je  $\rho_1 = 1,0675 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$  a hmotnostní zlomek chlorovodíku činí  $w_1 = 0,140$ . Analogické hodnoty pro druhý roztok jsou následující:  $\rho_2 = 1,1691 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$  a  $w_2 = 0,340$ . V jakém hmotnostním a objemovém poměru je třeba tyto roztoky smíchat, aby byl hmotnostní zlomek HCl ve výsledném roztoku  $w = 0,200$ ?

Řešení:

a) Dle rovnice 29 vyjádříme látkovou bilanci chlorovodíku, kde  $m_1, m_2$  jsou hmotnosti potřebných množství prvního a druhého roztoku:  $(m_1 + m_2) \cdot w = m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2$ . Protože je jedinou rovnicí, kterou pro dvě neznámé  $m_1, m_2$  máme a neobsahuje absolutní člen, vydělíme její strany  $m_2$  a vypočteme poměr  $m_1/m_2$ , což dá směšovací rovnici ve tvaru 38. Poměr  $m_1/m_2$  pak převedeme pomocí známých hustot na poměr objemů  $V_1/V_2$ .

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{w_2 - w}{w - w_1} = \frac{0,340 - 0,200}{0,200 - 0,140} = \frac{0,140}{0,060} = \frac{7}{3} \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot \frac{m_1}{m_2} = \frac{1,1691}{1,0675} \cdot \frac{7}{3} = \frac{8,1837}{3,2025} = \frac{2,56}{1}$$

b) Lze postupovat i tak, že hmotnost výsledného roztoku ( $m_1 + m_2$ ), nebo jednu z hmotností  $m_1, m_2$  libovolně zvolíme. Volme např. hmotnost výsledného roztoku  $(m_1 + m_2) = 100 \text{ g}$ . Směšovací rovnice tím nabývá tvaru  $100 \cdot w = m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2$  a provedená volba (celková hmotnostní bilance 30)  $m_1 + m_2 = 100$  je druhou nezávislou rovnicí pro naše dvě neznámé. Dosadíme zadané hodnoty a najdeme toto řešení:  $m_1 = 70 \text{ g}$  a  $m_2 = 30 \text{ g}$ , tj.  $m_1 : m_2 = 7 : 3$ .  
 Závěr: K přípravě roztoku HCl žádané koncentrace je třeba výchozí roztoky smísit v objemovém poměru  $V_1 : V_2 = 2,56 : 1$ , resp. v hmotnostním poměru  $m_1 : m_2 = 7 : 3$ .

### Příklad 13

Jeden roztok obsahuje pouze látku A, druhý pouze látku B. Hmotnostní zlomky rozpuštěných látek jsou tyto:  $w_{A1} = 0,180$  a  $w_{B2} = 0,240$ . Kolik gramů prvního roztoku ( $m_1$ ), druhého roztoku ( $m_2$ ) a vody ( $m_3$ ) je třeba smísit, abychom získali  $m_4 = 300 \text{ g}$  roztoku, kde bude hmotnostní zlomek látky A  $w_{A4} = 0,040$  a látky B  $w_{B4} = 0,060$ ?

Řešení:

Hledáme tři neznámé ( $m_1, m_2, m_3$ ). Pro tři složky (látky A, B a voda) lze psát tři bilanční rovnice typu 29. Pouze dvě jsou však lineárně nezávislé, neboť hmotnost každé složky je rovna celkové hmotnosti roztoku zmenšené o hmotnost složek zbývajících. K výpočtu proto vezmeme pouze dvě z nich (např. bilance rozpuštěných látek A a B). Třetí nezávislou rovnicí je celková hmotnostní bilance typu 30. Máme tak soustavu tří rovnic pro tři neznámé:

$$m_1 \cdot w_{A1} = m_4 \cdot w_{A4} \quad m_2 \cdot w_{B2} = m_4 \cdot w_{B4} \quad m_1 + m_2 + m_3 = m_4$$

Neznáme vyjádříme, dosadíme zadané hodnoty a vyčíslíme:

$$m_1 = \frac{m_4 \cdot w_{A4}}{w_{A1}} = \frac{300 \cdot 0,040}{0,180} = 66,7 \text{ g} \quad m_2 = \frac{m_4 \cdot w_{B4}}{w_{B2}} = \frac{300 \cdot 0,060}{0,240} = 75,0 \text{ g}$$

$$m_3 = m_4 - m_1 - m_2 = 300,0 - 66,7 - 75,0 = 158,3 \text{ g}$$

Závěr: Je třeba smísit 66,7 g roztoku látky A, 75,0 g roztoku látky B a 158,3 g vody.

### Příklad 14

Bylo smícháno  $m_1 = 350 \text{ g}$  roztoku látky A s  $m_2 = 200 \text{ g}$  roztoku téže látky. Hmotnostní zlomky látky A v těchto roztocích činily  $w_1 = 0,045$  a  $w_2 = 0,060$ . V tomto roztoku bylo dále rozpuštěno  $m_3 = 15,0 \text{ g}$  látky A, která obsahovala nerozpustné nečistoty, jejichž hmotnostní zlomek činil  $w_n = 0,080$ . Kolik gramů vody ( $m_4$ ) je třeba k tomuto roztoku přidat, aby měl výsledný hmotnostní zlomek látky A hodnotu  $w_4 = 0,200$ ?

### Řešení:

Pro látku A napíšeme bilanci typu **29**. Protože dodatečně přidaná látka obsahuje nerozpustné nečistoty, jejich hmotnost  $m_3 \cdot w_n$  z bilance látky A vyloučíme a nebudeme ji započítávat ani do hmotnosti roztoku:

$$m_1 \cdot w_1 + m_2 \cdot w_2 + m_3 \cdot (1 - w_n) = [m_1 + m_2 + m_3 \cdot (1 - w_n) + m_4] \cdot w_4$$

Rovnici vyřešíme vzhledem k  $m_4$ , dosadíme zadané hodnoty a vyčíslíme:

$$m_4 = [m_1 \cdot (w_1 - w_4) + m_2 \cdot (w_2 - w_4) + m_3 \cdot (1 - w_n) \cdot (1 - w_4)] / w_4 = \\ = [350 (0,045 - 0,200) + 200 (0,060 - 0,200) + 15,0 (1 - 0,080) (1 - 0,200)] / 0,200 = \mathbf{-356 \text{ g}}$$

Závěr: Hodnota hmotnosti potřebné vody vychází záporná. To znamená, že z roztoku je zapotřebí odpařit 356 gramů vody.

### Příklad 15

Roztoku hydroxidu draselného náleží molární koncentrace  $c_1 = 0,930 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  a hustota  $\rho_1 = 1,0440 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ . Koncentrace druhého roztoku je  $c_2 = 8,061 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  a jeho hustota činí  $\rho_2 = 1,3304 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ . V jakém objemovém poměru  $V_1 / V_2$  je třeba tyto roztoky smíchat, aby vznikl roztok o koncentraci  $c_3 = 4,730 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ , který má hustotu  $\rho_3 = 1,2062 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ ?

### Řešení:

Součet látkových množství KOH v prvním a druhém roztoku musí být roven látkovému množství hydroxidu v roztoku výsledném. Objemy výchozích roztoků necht' jsou  $V_1$  a  $V_2$ . Protože nelze vyloučit kontrakci či dilataci objemu v důsledku smíšení roztoků, musíme objem výsledného roztoku vyjádřit pomocí jeho hustoty a hmotnosti, která bude rovna součtu hmotností roztoků výchozích:  $V_3 = (V_1 \cdot \rho_1 + V_2 \cdot \rho_2) / \rho_3$ . Pro látkovou bilanci KOH pak platí:

$$c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 = c_3 \cdot (V_1 \cdot \rho_1 + V_2 \cdot \rho_2) / \rho_3$$

Rovnici dělíme objemem  $V_2$ , řešíme vzhledem k poměru  $V_1 / V_2$ , dosadíme zadané hodnoty, vyčíslíme a zaokrouhlíme:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{c_3 \cdot \rho_2 - c_2 \cdot \rho_3}{c_1 \cdot \rho_3 - c_3 \cdot \rho_1} = \frac{4,730 \cdot 1,3304 - 8,061 \cdot 1,2062}{0,930 \cdot 1,2062 - 4,730 \cdot 1,0440} = \frac{3,430}{3,816} = \mathbf{1,000}$$

Závěr: Abychom dostali žádaný výsledný roztok, je třeba k jednomu objemovému dílu prvního roztoku přidat 1,113 stejných objemových dílů roztoku druhého.

### Příklad 16

Kolik gramů dvojjchromanu draselného  $m_{Cr}$  je v  $m = 200 \text{ g}$  roztoku nasyceného při  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Kolik mililitrů vody ( $V$ ) je třeba k přípravě tohoto množství roztoku použít? Rozpustnost  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  při  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  činí  $s = 12 \text{ g}$  ve  $100 \text{ g}$  vody. Počítejte s hustotou vody  $\rho = 1,00 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ .

### Řešení:

Z definice rozpustnosti plyne pro poměr hmotností rozpuštěné látky a rozpouštědla v nasyceném roztoku rovnice **41**, kterou pro náš případ přepíšeme jako  $m_{Cr} / m_v = s / 100$ , kde  $m_v$  je hmotnost vody (rozpouštědla). Pro celkovou hmotnost roztoku musí platit  $m = m_{Cr} + m_v = m_{Cr} + V \cdot \rho$ . Soustavu rovnic řešíme vzhledem k  $m_{Cr}$  a  $V$ , dosadíme, vyčíslíme a zaokrouhlíme:

$$V = \frac{100m}{(100 + s) \cdot \rho} = \frac{100 \cdot 200}{(100 + 12) \cdot 1,00} = \mathbf{178,6 \text{ ml}} \quad m_{Cr} = m - m_v = \frac{m \cdot s}{100 + s} = \frac{200 \cdot 12}{112} = \mathbf{21,4 \text{ g}}$$

Závěr: Ve  $200 \text{ g}$  nasyceného roztoku  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  je obsaženo  $21,4 \text{ g}$  soli. K jeho přípravě bylo třeba  $178,6 \text{ ml}$  vody.

### Příklad 17

Kolik gramů ( $m_{60}$ ) dihydrátu chloridu barnatého  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  se musí při teplotě  $60^\circ\text{C}$  rozpustit na nasycený roztok, aby po jeho ochlazení na  $20^\circ\text{C}$  vykristalovalo  $m = 25,0$  g této látky? Kolik gramů vody ( $m_v$ ) je k přípravě tohoto roztoku třeba? Rozpustnosti  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  při  $20^\circ\text{C}$  a  $60^\circ\text{C}$  jsou  $s_{20} = 44,6$  a  $s_{60} = 59,2$  g ve 100 g vody.

Řešení:

Relativní část látky  $f$  vyloučené z nasyceného roztoku při změně teploty je dána rovnicí 44. Ochlazením roztoku nasyceného při  $60^\circ\text{C}$  na  $20^\circ\text{C}$  se jí má vyloučit právě  $m = 25,0$  g. Potom  $f = m / m_{60}$ , rovnici 44 přepíšeme pro náš případ a vypočteme neznámou  $m_{60}$ :

$$f = m / m_{60} = (s_{60} - s_{20}) / s_{60} \quad m_{60} = \frac{s_{60} \cdot m}{(s_{60} - s_{20})} = \frac{59,2 \cdot 25,0}{(59,2 - 44,6)} = \mathbf{101,4 \text{ g}}$$

Nyní bychom mohli z hodnoty  $s_{60}$  úměrou vypočítat, kolik vody je třeba k vytvoření nasyceného roztoku ze 101,4 g  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Rychleji vyjdeme z rovnice 41 pro poměr hmotnosti rozpouštědla a rozpuštěné látky, ze které zde dostaneme:

$$m_v = 100 \cdot m_{60} / s_{60} = 100 \cdot 101,4 / 59,2 = \mathbf{171,3 \text{ g}}$$

Závěr: K přípravě požadovaného roztoku je třeba vzít 101,4 g  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  a 171,3 g vody.

### Příklad 18

Soustava o objemu  $V_1 = 4,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  obsahovala pouze kyslík pod tlakem  $p_1$ . Druhá soustava objemu  $V_2 = 2,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  obsahovala pouze dusík pod tlakem  $p_2$ . Oběma soustavám náležela stejná teplota  $T$ , při které byly spojeny. Výsledná soustava měla objem  $V = 5,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ , tlak  $p = 104,0$  kPa a parciální tlak kyslíku v ní činil  $p(\text{O}_2) = 66,7$  kPa. Vypočítejte tlaky  $p_1$  a  $p_2$  ve výchozích soustavách. Předpokládejte ideální chování plynů.

Řešení: Pro soustavu obsahující **kyslík** platí:  $p_1 \cdot V_1 = n(\text{O}_2) \cdot R \cdot T$ . Odebereme-li z **výsledné** soustavy dusík při zachování objemu  $V$  a teploty  $T$ , bude její tlak totožný s parciálním tlakem kyslíku  $p(\text{O}_2)$  a musí platit:  $p(\text{O}_2) \cdot V = n(\text{O}_2) \cdot R \cdot T$ . Protože je látkové množství kyslíku  $n(\text{O}_2)$  v obou soustavách stejné, platí  $p_1 \cdot V_1 = p(\text{O}_2) \cdot V$ , odkud vypočteme tlak  $p_1$ . Stejným způsobem najdeme tlak druhé z původních soustav  $p_2$ , neboť pro jeho parciální tlak dusíku ve výsledné soustavě platí:  $p(\text{N}_2) = p - p(\text{O}_2)$ . Protože i množství dusíku je v počáteční a výsledné soustavě stejné, lze psát  $p_2 \cdot V_2 = [p - p(\text{O}_2)] \cdot V$ , odkud vypočteme tlak  $p_2$ . Vyjádříme obě neznámé, dosadíme zadané hodnoty, vyčíslíme a zaokrouhlíme:

$$p_1 = p(\text{O}_2) \cdot V / V_1 = 66,7 \cdot 5,00 \cdot 10^{-3} / 4,00 \cdot 10^{-3} = \mathbf{83,4 \text{ kPa}}$$

$$p_2 = [p - p(\text{O}_2)] \cdot V / V_2 = (104,0 - 66,7) \cdot 5,00 \cdot 10^{-3} / 2,00 \cdot 10^{-3} = \mathbf{93,3 \text{ kPa}}$$

Závěr: Tlak soustavy obsahující kyslík byl 83,4 kPa, tlak soustavy s dusíkem činil 93,3 kPa.

### Příklad 19

Směs methanu a argonu má při teplotě  $t = 20,0^\circ\text{C}$  a tlaku  $p = 101325$  Pa hustotu  $\rho = 0,96505 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Jaké jsou molární ( $x_M$ ,  $x_{Ar}$ ) a objemové ( $\phi_M$ ,  $\phi_{Ar}$ ) zlomky složek? Předpokládejte ideální chování plynné směsi.

Řešení:

**a)** Z varianty stavové rovnice 8 ( $M \cdot \rho = p \cdot M / R \cdot T$ ) vypočteme zdánlivou molární hmotnost směsi plynů:  $M = \rho \cdot R \cdot T / p = 0,96505 \cdot 8,31451 \cdot (20,0 + 273,15) / 101325 = 23,215 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**b)** Dle rovnice 51 zároveň platí  $M = x_M \cdot M_M + x_{Ar} \cdot M_{Ar}$ , kde  $M_M$ ,  $M_{Ar}$  jsou molární hmotnosti methanu a argonu, což je první rovnice pro neznámé  $x_M$ ,  $x_{Ar}$ . Protože jsou v soustavě pouze dvě složky, zároveň musí platit  $x_M + x_{Ar} = 1$ , což je druhá potřebná rovnice. K výpočtu vezmeme hodnoty  $M = 23,215 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $M_{Ar} = 39,948 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  a  $M_M = 16,043 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

**c)** Protože  $x_M = 1 - x_{Ar}$ , dosadíme za  $x_M$  do rovnice  $M = x_M \cdot M_M + x_{Ar} \cdot M_{Ar}$  a vypočteme  $x_{Ar}$ :

$$x_{Ar} = (M - M_M) / (M_{Ar} - M_M) = (23,215 - 16,043) / (39,948 - 16,043) = \mathbf{0,3000}$$

Pro molární zlomek methanu pak máme  $x_M = 1 - x_{Ar} = 0,7000$ . Dle předpokladu jde o ideální směs plynů a proto jsou molární zlomky složek směsi rovny i jejich zlomkům objemovým, jak je zjevné z rovnice 46.

Závěr: Ve směsi plynů jsou molární a objemové zlomky methanu a argonu tyto:  $x_M = \phi_M = 0,7000$  a  $x_{Ar} = \phi_{Ar} = 0,3000$ .

### **Příklad 20**

V plynojemu s vodním uzávěrem je nad vodou při teplotě  $t = 10\text{ °C}$  uzavřen svítiplyn, jehož objem činí  $V = 2000\text{ m}^3$  a náleží mu tlak  $p = 104,52445\text{ kPa}$ . Hodnoty objemových zlomků složek suchého svítiplynu jsou následující:  $\phi(\text{H}_2) = 0,47$ ,  $\phi(\text{CH}_4) = 0,36$ ,  $\phi(\text{CO}) = 0,08$ ,  $\phi(\text{C}_2\text{H}_4) = 0,03$  a  $\phi(\text{N}_2) = 0,06$ . Tlak sytých par vody při udané teplotě je  $p_v = 1,22656\text{ kPa}$ . Vypočtete hmotnost plynu  $m_p$ , který je v plynojemu uzavřen a hmotnost vody  $m_v$  v něm obsažené. Předpokládejte ideální chování plynu i vodní páry.

**Řešení:**

Svítiplyn i vodní pára se chovají ideálně, parciální tlak suchého svítiplynu  $p_p$  je proto  $p_p = p - p_v$  a objemové zlomky  $\phi$  všech složek jsou rovny jejich molárním zlomkům  $x$ . Bylo by tedy možné dle rovnice 48 vypočítat parciální tlak každé složky, „odmyslet“ si všechny složky kromě jediné, do stavové rovnice  $p \cdot V = n \cdot R \cdot T = m \cdot R \cdot T / M$  dosazovat parciální tlaky jednotlivých složek, jejich molární hmotnosti, **celkový objem** plynné fáze  $V$  a vypočítat hmotnost každé složky. Jejich součet by byl potom roven hmotnosti suchého svítiplynu. Protože nás hmotnosti jednotlivých složek plynné fáze kromě hmotnosti vodní páry nezajímají, budeme o suchém svítiplynu uvažovat jako o plynu, jehož molární hmotnost je váženým průměrem molárních hmotností jeho složek  $M_p = \sum x_i \cdot M_i$  (viz rovnice 51). Ze stavové rovnice pak přímo vypočteme hmotnost suchého svítiplynu  $m_p$  jako  $m_p = p_p \cdot V \cdot M_p / R \cdot T$ , kde  $p_p$  je parciální tlak suchého svítiplynu. Korektnost tohoto přístupu je zřejmá z výkladu a odvození rovnice 51. Hmotnost vody ve svítiplynu  $m_v$  snadno vypočteme jako  $m_v = p_v \cdot V \cdot M(\text{H}_2\text{O}) / R \cdot T$ . Nejprve tedy vypočteme z relativních molekulových hmotností složek svítiplynu a jejich molárních zlomků hodnotu  $M_p$ :

$$M_p = x(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2) + x(\text{CH}_4) \cdot M(\text{CH}_4) + x(\text{CO}) \cdot M(\text{CO}) + x(\text{C}_2\text{H}_4) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_4) + x(\text{N}_2) \cdot M(\text{N}_2) = \\ = 0,47 \cdot 2,02 + 0,36 \cdot 16,04 + 0,08 \cdot 28,01 + 0,03 \cdot 28,05 + 0,06 \cdot 28,01 = 11,487\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Dále vypočteme hmotnost suchého svítiplynu:

$$m_p = p_p \cdot V \cdot M_p / R \cdot T = (p - p_v) \cdot V \cdot M_p / R \cdot T = \\ = (104524,5 - 1226,6) \cdot 2000 \cdot 11,487 \cdot 10^{-3} / 8,3145 \cdot (273,15 + 10,0) = 1,008 \cdot 10^3\text{ kg}$$

Pro hmotnost vodní páry ve svítiplynu dostaneme:

$$m_v = p_v \cdot V \cdot M(\text{H}_2\text{O}) / R \cdot T = 1226,56 \cdot 2000 \cdot 18,02 \cdot 10^{-3} / 8,3145 \cdot (273,15 + 10,0) = 18,78\text{ kg}$$

Závěr: V plynojemu je uzavřeno  $1,008 \cdot 10^3\text{ kg}$  suchého svítiplynu a  $18,78\text{ kg}$  vodní páry.

### **4.7 PŘÍKLADY K ŘEŠENÍ.**

1. Jaký je hmotnostní zlomek dusíku v dusičnanu sodném?
2. Kolik gramů sodíku je v 10 gramech hydroxidu sodného?
3. Kolik gramů dusíku je v 2,5 molech kyseliny dusičné?
4. Kolik gramů draslíku, síry a kyslíku je obsaženo v 10 gramech síranu draselného? Vypočtete hmotnostní zlomky jednotlivých prvků v  $\text{K}_2\text{SO}_4$ !
5. Jistá látka je tvořena baryem, dusíkem a kyslíkem. Jednotlivým prvkům náleží ve stejném pořadí tyto hmotnostní zlomky: 0,525, 0,107 a 0,368. Určete empirický vzorec a uveďte název látky.

6. Odvodte empirický vzorec minerálu tvořeného oxidem hořečnatým a hlinitým, v němž má hmotnostní zlomek MgO hodnotu 0,284.
7. Najděte vzorec oxidu vanadu, v jehož 2,73 g je obsaženo 1,53 g vanadu a uveďte jeho název.
8. Odvodte vzorec hydrátu chloridu vápenatého, ztrácí-li 7,3 g tohoto hydrátu při zahřívání 3,6 g vody, a uveďte jeho název.
9. V jisté sloučenině jsou hmotnostní zlomky vody 0,362, sodíku 0,186 a síry 0,258. Dále tato látka obsahuje kyslík. Uveďte její vzorec a název.
10. Jaké je složení a název hydrátu uhličitanu sodného, vzniká-li dehydratací 14,3 g této látky 5,3 g bezvodého  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ?
11. V kyselině, složené z vodíku, síry a kyslíku, jejíž relativní molekulová hmotnost je 194, náleží vodíku hmotnostní zlomek 0,01, síře 0,33 a kyslíku 0,66. Jaký je její molekulový vzorec a název?
12. Odvodte molekulový vzorec látky  $\text{Ag}_x\text{N}_y\text{O}_z$  a uveďte její název, jsou-li hmotnostní zlomky prvků  $w_{\text{Ag}} = 0,782$ ;  $w_{\text{N}} = 0,102$  a  $w_{\text{O}} = 0,116$  a relativní molekulová hmotnost sloučeniny činí 276.
13. Hmotnost uhlíku obsaženého v jednom molu kyseliny vinné je osminásobkem hmotnosti vodíku a polovinou hmotnosti kyslíku. Určete její molekulový vzorec, má-li relativní molekulovou hmotnost 150.
14. Oxidačním žíháním se jeden gram minerálu, který je tvořen železem, mědí a sírou, převedl na oxidy. Oxid siřičitý unikl ze vzorku, tuhému zbytku náležela hmotnost 0,869 g a hmotnostní zlomky mědi a železa měly tyto hodnoty:  $w_{\text{Cu}} = 0,3987$  a  $w_{\text{Fe}} = 0,3504$ . Najděte empirický vzorec minerálu.
15. Analýzou sloučeniny vodíku, kyslíku a arsenu byly nalezeny tyto hmotnostní zlomky prvků:  $w_{\text{H}} = 0,015$ ,  $w_{\text{As}} = 0,564$  a  $w_{\text{O}} = 0,421$ . Najděte empirický vzorec látky a uveďte její název.
16. Ve směsi bezvodého chloridu fosforečného a hlinitého je hmotnostní zlomek chloru 0,8308. Jaký je poměr látkových množství obou chloridů?
17. Hmotnostní zlomek dusíku ve směsi dusičnanu sodného a síranu amonného je 0,175. Jaký je v této směsi hmotnostní zlomek síry?
18. Směs uhličitanu hořečnatého a vápenatého byla žíháním úplně rozložena. Přitom bylo zjištěno, že jeden gram této směsi poskytne 0,5109 g směsi oxidů příslušných kovů. Jaké jsou hmotnostní zlomky jednotlivých uhličitanů v původní směsi a hmotnostní zlomky oxidů kovů ve směsi rozložené?
19. Hmotnostní zlomek chlorovodíku ve vodném roztoku je 0,360. Hustota roztoku činí  $\rho = 1,1789 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Vypočítejte, kolik gramů chlorovodíku je obsaženo v 1 mililitru vodného roztoku a jaká je hmotnost jednoho mililitru tohoto roztoku v gramech.
20. Kolik gramů chlorovodíku obsahuje 1200 mililitrů jeho vodného roztoku, jehož hustota je  $\rho = 1,1740 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  a hmotnostní zlomek HCl činí 0,35?
21. Kolik gramů  $\text{FeCl}_3$  obsahuje 10 ml roztoku této látky o koncentraci  $3 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ?
22. Vypočítejte, kolik gramů chloridu draselného obsahuje 15 g roztoku, v němž hmotnostní zlomek KCl činí 0,25.

23. Ve vodě bylo pohlceno 8,2 molu chlorovodíku za vzniku 2135 g roztoku. Jaký je hmotnostní zlomek chlorovodíku v roztoku a jaký by byl objem rozpuštěného množství HCl za normálních podmínek?
24. Hmotnostní zlomek amoniaku ve vodném roztoku činil 0,02 a roztoku náležela hustota  $\rho = 0,9895 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . V 650 mililitrech tohoto roztoku bylo rozpuštěno 2,5 molu plynného amoniaku. Jaký bude hmotnostní zlomek amoniaku v tomto roztoku, jestliže byl amoniak zcela pohlcen? Změnu objemu kapalné fáze zanedbejte.
25. Kolik litrů roztoku kyseliny sírové o koncentraci  $3 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  lze teoreticky získat z takového množství oxidu siřičitého, kterému za normálních podmínek náleží objem  $336,15 \text{ dm}^3$ ?
26. Kolik molů sirovodíku je rozpuštěno ve 200 ml roztoku této látky, kterému náleží koncentrace  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ? Jaký objem by rozpuštěnému sirovodíku náležel za normálních podmínek?
27. Vypočítejte hmotnostní zlomek síranu měďnatého v roztoku, který byl připraven rozpuštěním dvanácti gramů pentahydrátu této sloučeniny v 75 ml vody.
28. Jaký je hmotnostní zlomek kyseliny sírové v roztoku o koncentraci  $1,5 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ , který má hustotu  $\rho = 1,0913 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ?
29. Kolik gramů heptahydrátu síranu železnatého  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$  je třeba použít k přípravě 1600 g roztoku, v němž hmotnostní zlomek bezvodé soli  $\text{FeSO}_4$  činí 0,035?
30. Kolik mililitrů roztoku HCl, jemuž náleží hmotnostní zlomek chlorovodíku 0,20 a hustota  $\rho = 1,0980 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , obsahuje stejné látkové množství HCl jako 120 ml roztoku, kde je hmotnostní zlomek HCl 0,05 a hustota roztoku činí  $1,0230 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ?
31. Kolik litrů roztoku o koncentraci  $0,25 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  lze připravit rozpuštěním 36,50 g rhodanidu amonného?
32. Jaká je molární koncentrace roztoku HCl, v jehož 3000 mililitrech je obsaženo 25 ml roztoku chlorovodíku o hmotnostním zlomku  $w(\text{HCl}) = 0,30$  a hustotě  $\rho = 1,1493 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ?
33. Tři litry roztoku kyseliny sírové o hustotě  $\rho = 1,7272 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  a hmotnostním zlomku  $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,80$  byly smíseny s jedním litrem roztoku téže kyseliny, kterému náležel hmotnostní zlomek kyseliny  $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,10$  a jehož hustota činila  $\rho = 1,0661 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Jaká je molární koncentrace kyseliny ve výsledném roztoku, kterému náleží hustota  $\rho = 1,5874 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ?
34. Kolik gramů KOH je zapotřebí pro přípravu 500 ml roztoku, v němž hmotnostní zlomek hydroxidu činí 0,20 a náleží mu hustota  $\rho = 1,185 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ?
35. Jaká je molarita roztoku kyseliny sírové o hustotě  $\rho = 1,175 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  a hmotnostním zlomku kyseliny 0,25?
36. Kolik mililitrů kyseliny sírové o hustotě  $\rho = 1,84 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  a hmotnostním zlomku kyseliny  $w(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,96$  je zapotřebí k přípravě 1 litru roztoku, který má molární koncentraci  $0,25 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ?
37. Roztok NaOH o koncentraci  $2,0 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$  má hustotu  $\rho = 1,08 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . Jaký je hmotnostní zlomek hydroxidu v tomto roztoku?
38. Jaký je hmotnostní zlomek a molarita kyseliny v roztoku, který vznikl přidáním 400 gramů vody ke 100 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , jíž náleží hmotnostní zlomek kyseliny 0,96 a hustota  $\rho = 1,84 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ? Hustota výsledného roztoku je  $1,225 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , pro vodu vezměte hustotu  $1,00 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ .



39. Jaká je molární koncentrace  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  v roztoku, kde hmotnostní zlomek rozpuštěné látky činí 0,10 a hustota roztoku je  $\rho = 1,1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ? Počítejte s relativní molekulovou hmotností uhličitanu sodného 106.
40. Jaká je molární koncentrace kyseliny dusičné, je-li její hustota  $1,47 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  a hmotnostní zlomek  $\text{HNO}_3$  činí 0,86.
41. Jaká je molární koncentrace chlorovodíku v roztoku hustoty  $\rho = 1,1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , kde má jeho hmotnostní zlomek hodnotu 0,20?
42. Kolik mililitrů roztoku chlorovodíku hustoty  $\rho = 1,0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  a hmotnostního zlomku  $\text{HCl}$  0,02 je zapotřebí k přípravě 250 mililitrů roztoku, v němž bude molární koncentrace  $\text{HCl}$  právě  $0,5 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ?
43. Kolik mililitrů roztoku hydroxidu draselného o hmotnostním zlomku  $w_{\text{KOH}} = 0,20$  a hustotě  $\rho = 1,187 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  použijeme k přípravě 100 mililitrů roztoku o molární koncentraci  $0,25 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ?
44. Kolik mililitrů roztoku chlorovodíku hustoty  $\rho = 1,15 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ , v němž hmotnostní zlomek  $\text{HCl}$  činí 0,30, je zapotřebí k přípravě jednoho litru roztoku, ve kterém je molární koncentrace chlorovodíku  $1,0 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ ?
45. Určité množství nasyceného roztoku síranu draselného obsahuje při  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  právě 152,0 g této látky. Roztoku náleží hustota  $\rho = 1,08 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  a rozpustnost  $\text{K}_2\text{SO}_4$  při této teplotě činí 11,2 g ve 100 g  $\text{H}_2\text{O}$ . Jaký je objem roztoku a jaký je hmotnostní zlomek síranu draselného?
46. K 75 mililitrům roztoku síranu amonného nasyceného při  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  bylo přidáno za stejné teploty 75 mililitrů vody. Hustota nasyceného roztoku činila  $\rho = 1,17 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ , rozpustnost síranu amonného při uvažované teplotě je  $s = 75,4 \text{ g}$  ve 100 g ramech vody. Vypočítejte hmotnostní zlomek síranu ve zředěném roztoku. Počítejte s hustotou vody  $1,00 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ .
47. Jaký objem vody vezmeme a kolik zelené skalice ( $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) navážíme k přípravě 240 gramů roztoku  $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$  nasyceného při teplotě  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Skalice obsahuje, kromě krystalové vody zahrnuté ve vzorci, ještě další vodu (vlhkost), které náleží hmotnostní zlomek 0,07. Rozpustnost  $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$  při uvažované teplotě je  $s = 149 \text{ g}$  ve 100 g vody. Vezměte hustotu vody  $1,00 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1}$ .
48. Z 248 gramů roztoku dusičnanu měďnatého, jehož hmotnostní zlomek činí 0,140, má být volnou krystalizací při teplotě  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  získáno 20,0 g trihydrátu dusičnanu měďnatého  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Vypočítejte hmotnost vody, která se musí z roztoku odpařit. Rozpustnost  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$  při uvažované teplotě je  $s = 252 \text{ g}$  ve 100 g ramech vody.
49. Kolik gramů dusičnanu amonného vykrystaluje z 260,5 g roztoku nasyceného při  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  po jeho ochlazení na  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Rozpustnost  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ :  $s = 421,0 \text{ g}$  ve 100 g ramech vody při  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $s = 192,0 \text{ g}$  ve 100 g ramech vody při  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .
50. Kolik gramů hexahdrátu chloridu hlinitého se vyloučí ochlazením 2000 g roztoku nasyceného při  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  na teplotu  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Sto gramů roztoku nasyceného při  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  obsahuje 33,2 g  $\text{AlCl}_3$  a rozpustnost  $\text{AlCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  při teplotě  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  činí  $s = 131,9 \text{ g}$  ve 100 g ramech vody.
51. Při teplotě  $T$  bylo pod tlakem  $p_1 = 0,30 \text{ MPa}$  odebráno  $V_1$  litrů kyslíku. Pod tlakem  $p_3 = 0,20 \text{ MPa}$  bylo odebráno  $V_3$  litrů vodíku a pod tlakem  $p_2$  dusík, jemuž náležel objem  $V_2 = 1,0$  litru. Všechny tři plyny byly za téže teploty smíseny. Objem výsledné směsi měl hodnotu  $V = 6,0\cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ , její tlak byl  $p = 0,40 \text{ MPa}$ , parciální tlak kyslíku činil  $0,10 \text{ MPa}$

a parciální tlak dusíku byl 0,20 MPa. Vypočtete objemy  $V_1$ ,  $V_3$  a tlak  $p_2$ . Předpokládejte ideální chování plynné směsi.

52. V nádobě je směs obsahující 0,35 g vodíku a 5,6 g oxidu uhelnatého. Při teplotě 20,0 °C je celkový tlak směsi 152,06 kPa. Vypočtete objem nádoby, ve které je směs přechovávána a parciální tlaky obou plynů. Předpokládejte ideální chování plynné směsi.
53. Vzduch lze za běžných podmínek považovat za směs čtyř složek, které mají následující objemové zlomky:  $\phi(\text{N}_2) = 0,7808$ ,  $\phi(\text{O}_2) = 0,2095$ ,  $\phi(\text{Ar}) = 0,0093$  a  $\phi(\text{CO}_2) = 0,0003$ . Vypočtete střední molární hmotnost vzduchu. Předpokládejte ideální chování plynné směsi.
54. Parám  $\text{H}_2\text{SO}_4$  náleží při teplotě 421 °C objem 5320 ml a tlak 663,7 kPa. Jejich celková hmotnost činí 30,0 gramů. Z jakých molekul je plynná fáze složena? Předpokládejte ideální chování plynné směsi.
55. Směs plynů je tvořena methanem, oxidem uhelnatým, oxidem uhličitým a ethenem. Ve stejném pořadí náleží jednotlivým složkám tyto objemové zlomky: 0,50, 0,30, 0,15 a 0,05. Vypočtete hmotnostní zlomek uhlíku ve směsi. Předpokládejte ideální chování plynné směsi.
56. Směs plynů obsahuje dusík, oxid dusnatý a amoniak. Ve stejném pořadí náleží složkám tyto objemové zlomky: 0,50, 0,30 a 0,20. Vypočítejte **celkovou** hmotnost dusíku (tedy i sloučeného), který je obsažen za normálních podmínek v jednom litru této směsi.
57. Jeden litr směsi dusíku a oxidu dusnatého za normálních podmínek obsahuje přesně jeden gram dusíku  $\text{N}_2$ . Vypočtete objemové a hmotnostní zlomky obou složek.
58. Oxid dusičitý  $\text{NO}_2$  tvoří dimer  $\text{N}_2\text{O}_4$ . Zastoupení složek závisí na teplotě, při níž se ustavila rovnováha. Při jisté teplotě činila střední molární hmotnost plynu  $57,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Najděte objemové a molární zlomky monomeru a dimeru. Předpokládejte ideální chování této plynné směsi
59. Objem 1,223 g plynné organické látky při 20 °C a tlaku 102,658 kPa činí 500 ml. Spálením 0,4833 g této látky dostaneme při teplotě 23 °C a tlaku 101,325 kPa 405  $\text{cm}^3$  oxidu uhličitého a 0,15 g vody. Určete molekulový vzorec této látky.
60. Ekvimolární směs (stejná látková množství složek) oxidu uhelnatého a kyslíku za zvýšené teploty částečně zreagovala. Hustota směsi při 25 °C a 102,15 kPa je  $1,4544 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Kolik procent oxidu uhelnatého zreagovalo? Najděte molární zlomky složek výsledné směsi a vyjádřete jejich poměr postupným poměrem nejmenších celých čísel.
61. V plynojemu je pod vodním uzávěrem 10 litrů dusíku při teplotě 24,0 °C a tlaku 104,79 kPa. Tenze vodní páry při této teplotě činí 2,986 kPa. Kolik kilogramů suchého dusíku je v plynojemu?
62. Relativní molekulová hmotnost jistého plynu je 68. Jaký bude parciální objem 15 gramů tohoto plynu v plynojemu s vodním uzávěrem při teplotě 24,0 °C a tlaku 98,658 kPa? Tlak sytých par vody je při této teplotě 2,986 kPa.

#### 4.8 VÝSLEDKY PŘÍKLADŮ KE 4. KAPITOLE.

1. 0,1647
2. 80,5 g
3. 35 g
4. 4,448 g K, 1,840 g S, 3,672 g O,  $w_K = 0,448$ ,  $w_S = 0,184$ ,  $w_O = 0,368$
5.  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$
6.  $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$
7. oxid vanadičný  $\text{V}_2\text{O}_5$
8. hexahydrát chloridu vápenatého  $\text{CaCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$
9. pentahydrát thiosíranu sodného  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3\cdot 5\text{H}_2\text{O}$
10. dekahydrát uhličitá-

nu sodného  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  **11.** kyselina peroxodisírová  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$  **12.** dimer dusnanu stříbrného  $\text{Ag}_2\text{N}_2\text{O}_2$  **13.**  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$  **14.**  $\text{CuFeS}_2$  **15.**  $\text{H}_4\text{As}_2\text{O}_7$ , kyselina tetrahydrogendiarseničná **16.** Poměr je 1:1. **17.**  $w_{\text{S}} = 0,053$  **18.**  $w(\text{CaCO}_3) = 0,4$ ,  $w(\text{MgCO}_3) = 0,6$ ,  $w_{\text{CaO}} = 0,4382$ ,  $w_{\text{MgO}} = 0,5618$  **19.** 0,424 g HCl, 1,1789 g **20.** 493,08 g HCl **21.** 4,866 g  $\text{FeCl}_3$  **22.** 3,75 g KCl **23.** 0,14; 183,76  $\text{dm}^3$  **24.** 0,0807 **25.** 5 litrů 3M kyseliny **26.** 0,02 molu a 0,4482 litru **27.** 0,0882 **28.** 0,1348 **29.** 102,50 g  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  **30.** 27,95 ml **31.** 1,918 l **32.** 0,0788  $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$  **33.** 11,0  $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$  **34.** 118,5 g **35.**  $c = 3,0 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$  **36.** 13,84 ml **37.** 0,074 **38.** 0,3025 a 3,78  $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$  **39.** 1  $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$  **40.** 20,0  $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$  **41.** 6,03  $\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$  **42.** 228 ml **43.** 5,9 ml **44.** 104 ml **45.** 1397 ml, 0,101 **46.**  $w[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4] = 0,232$  **47.** 154,4 g zelené skalice, 85,6 ml  $\text{H}_2\text{O}$  **48.** 193,4 g vody **49.** 114,5 g **50.** 67,07 g  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  **51.**  $V_1 = 2,0 \text{ l}$ ,  $V_3 = 3,0 \text{ l}$ ,  $p_2 = 1,2 \text{ MPa}$  **52.** 6,01  $\text{dm}^3$ ;  $\text{H}_2$ : 70,96 kPa,  $\text{CO}$ : 81,10 kPa **53.**  $M = 28,96 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  **54.**  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  **55.**  $w_{\text{C}} = 0,504$  **56.** 0,938 g **57.**  $\phi(\text{N}_2) = 0,60$ ,  $\phi(\text{NO}) = 0,40$ ,  $w(\text{N}_2) = 0,5834$ ,  $w(\text{NO}) = 0,4166$  **58.**  $\phi(\text{N}_2\text{O}_4) = x(\text{N}_2\text{O}_4) = 0,25$ ;  $\phi(\text{NO}_2) = x(\text{NO}_2) = 0,75$ . **59.**  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$  **60.** Poměr  $x(\text{CO}):x(\text{O}_2):x(\text{CO}_2) = 4:7:6$ , zreaguje 60 %  $\text{CO}$ . **61.**  $1,154 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$  **62.** 5,52  $\text{dm}^3$

## 5 Literatura.

1. Klikorka, J., Hanzlík, J. (redaktoři): Názvosloví anorganické chemie (pravidla k roku 1985), ACADEMIA, Praha 1987, 183 s.
2. Bláha, K. a kol.: Nomenklatura organické chemie, ACADEMIA, Praha 1985, 444 s.
3. Mička, Z., Havlíček, D., Lukeš, I., Mosinger, J., Vojtíšek, P.: Základní pojmy, příklady a otázky z anorganické chemie, KAROLINUM - nakladatelství Univerzity Karlovy, Praha 1998, skriptum, 138 s.
4. Flemr, V., Holečková, E.: Úlohy z názvosloví a chemických výpočtů v anorganické chemii, Ediční a audiovizuální centrum Vysoké školy chemickotechnologické, Praha 1996, skriptum, 205 s.
5. Sýkora, V., Zátka V.: Příruční tabulky pro chemiky, SNTL, Praha 1967, 294 s.
6. Küster-Thiel.: Chemickoanalytické výpočetní tabulky, ACADEMIA, Praha 1988, 328 s.