



**FAKULTA
STAVEBNÍ
ČVUT V PRAZE**

Studijní materiál předmětu
Chemie – repetitorium



CHO, FSv, ČVUT v Praze

Kolektiv autorů ČVUT v Praze, 2018



1. Chemické látky a jejich názvosloví

1.1 Atomy, molekuly, elektronegativita

Atom budeme uvažovat jako základní stavební jednotku hmoty. Skládá se z jádra, které obsahuje kladně nabitě protony a neutrální částice – neutrony; má tedy kladný elektrický náboj. Jádro je obklopeno elektronovým obalem, tvořeným elektrony, což jsou záporně nabitě částice. Pokud se atom nachází sám o sobě, nikoliv ve sloučenině, je počet kladných protonů a záporných elektronů stejný, tzn. je elektroneutrální (elektrický náboj nesloučeného atomu je 0). Poslední vrstva elektronového obalu atomu obsazená elektrony se označuje jako valenční sféra (několik posledních atomů). Ta se podílí na tvorbě chemických vazeb mezi atomy.

Látky z chemického hlediska dělíme na látky čisté a směsné. Čisté látky zahrnují chemické prvky (atomy, chemická individua) a sloučeniny (molekuly). Směsné látky mohou být homogenní (např. slitiny, sklo), nebo heterogenní (např. beton, keramika).

Atomy spojené chemickými vazbami tvoří neutrální (nenabitě) částice, neboli molekuly (např. H_2O). Pokud má vzniklá částice elektrický náboj, hovoříme o iontu, je-li nabitý kladně, jde o kation (např. H_3O^+), pokud záporně, je to anion (např. OH^-).

Všechny chemické prvky jsou seřazeny v periodické tabulce prvků (PTP) v pořadí podle svého protonového čísla Z , tedy podle počtu protonů, což je základní parametr odlišující prvky (atomy) mezi sebou. V tabulce dále najdeme zejména atomovou hmotnost a elektronegativitu. To je relativní veličina popisující schopnost atomu přitahovat k sobě elektrony. Nejvyšší elektronegativitu mají prvky v tabulce vpravo nahoře (halogeny, kyslík, dusík atd.). Směrem doleva a dolů se elektronegativita snižuje, nejnižší ji mají alkalické kovy a kovy alkalických zemin.

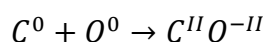
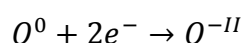
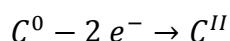
✎ Vysoká elektronegativita prvků v pravé části tabulky způsobuje, že v chemických sloučeninách většinou tvoří aniony, záporné částice. Naopak kovy mají nízkou elektronegativitu, elektrony snadno ztrácejí a nabývají tak kladný náboj, tvoří kationy.



1.1.1 Oxidační číslo

České anorganické názvosloví je založeno na konceptu oxidačního čísla. To vyjadřuje rozdíl mezi počtem elektronů přítomných v určitém atomu v základním (neutrálním) stavu (mimo sloučeninu) a počtem elektronů přítomných v tomto atomu v dané sloučenině.

Př. Představme si reakci jednoho uhlíku (6 elektronů, elektronegativita 2,5) s jedním kyslíkem O (8 elektronů, elektronegativita 3,5) za vzniku molekuly CO. Vyšší elektronegativita kyslíku znamená, že vazba mezi kyslíkem a uhlíkem bude realizována tak, že 2 elektrony od uhlíku budou přitahovány ke kyslíku. Kyslík tak bude mít o 2 elektrony navíc než v neutrálním stavu, jeho oxidační číslo bude $-II$. Naopak uhlík o dva elektrony přijde a získá náboj 2^+ , neboli jeho oxidační číslo bude II . Výsledná sloučenina $C^{II}O^{-II}$ bude elektroneutrální, součet oxidačních čísel všech prvků v ní bude 0:



Počty elektronů přitahovaných a uvolňovaných jednotlivými prvky při jejich reakcích nejsou náhodné; každý prvek má zpravidla jedno nebo několik málo oxidačních čísel, v nichž se vyskytuje ve sloučeninách. Tato „obvyklá“ oxidační čísla jsou dána elektronovou strukturou daného prvku. Každý prvek se snaží zaujmout tzv. „elektronovou konfiguraci vzácného plynu“. Proto např. halogeny (prvky VII.A skupiny PTP) obvykle tvoří aniony s oxidačním číslem $-I$; přijetí jednoho elektronu jim dává elektronovou konfiguraci následujícího vzácného plynu ležícího v tabulce hned vedle. Stejně tak alkalické kovy ztrátou jednoho elektronu (tvoří kation $+I$) zaujmou konfiguraci vzácného plynu ležícího v tabulce na předešlé pozici.

1.2 Systém a názvosloví anorganických látek

Ačkoliv v PTP najdeme české názvy prvků, nomenklatura chemie vychází z počátečních písmen latinských názvů prvků, Tab. 1.

Tab. 1 Příklady názvu prvků a jejich symbolů



Český název	Anglický název	Latinský název	Symbol prvku
vodík	hydrogen	hydrogenium	H
kyslík	oxygen	oxygenium	O
křemík	silicon	silicium	Si

Jak jsme si řekli výše, základem českého názvosloví anorganických látek jsou oxidační čísla. Kladné oxidační číslo prvku (I až VIII) se v názvu jeho sloučeniny vyjadřuje pomocí koncovky, Tab. 2.

Tab. 2 Koncovky oxidačních čísel

Oxidační číslo	Koncovka základní	Koncovka kyseliny	Koncovka soli
I	-ný	-ná	-nan
II	-natý	-natá	-natan
III	-itý	-itá	-itan
IV	-ičitý	-ičitá	-ičitan
V	-ečný, -ičný	-ečná, -ičná	-ečnan, ičnan
VI	-ový	-ová	-an
VII	-istý	-istá	-istan
VIII	-ičelý	-ičelá	-ičelan

👉 *Stačí naučit se základní tvary koncovek, kyseliny a soli pak už snadno odvodíme.*

Obecně platí, že ve vzorci se na prvním místě uvádí kation na druhém anion, $\mathbf{K^+ A^-}$.

👉 *Existují výjimky potvrzující toto pravidlo, např. amoniak NH_3 , kde je na prvním místě aniont a kationt až na druhém.*

Koncovka kationtu se odvodí dle oxidačního čísla, Tab. 2, koncovka– **an** pro anionty odvozené od kyslíkatých kyselin, přičemž v názvu se odrazí koncovka dle oxidačního čísla středového prvku (dusičnan, dusitan, síran, chlornan atd.), Tab. 2, a – **id** pro anionty odvozené od bezkyslíkatých kyselin a všechny ostatní anionty (chlorid, fluorid, tellurid, selenid atd.).

👉 *Záporná oxidační čísla (–I až –III) podle koncovky nepoznáme, tudíž si prvky se záporným oxidačním číslem musíme pamatovat.*



- ☞ *Dále nepoznáme z názvu oxidační číslo vodíku; to je v běžných sloučeninách I a musíme si ho zapamatovat. Celá molekula pak musí být elektroneutrální, součet oxidačních čísel musí být 0.*

1.2.1 Oxidy

Oxidy jsou binární (dvouprvkové) sloučeniny kyslíku s jinými prvky. Kyslík má vysokou elektronegativitu a v oxidech má většinou oxidační číslo $-II$. Oxidační číslo druhého prvku poznáme podle koncovky. Poměr kyslíku a druhého prvku musíme volit tak, aby celá molekula byla elektroneutrální (součet oxidačních čísel roven 0).

Př. Odvození názvu molekuly CO_2 :

- O^{-II} ,
- elektroneutrální molekula \rightarrow máme $2 * (-II) = -4 \rightarrow$ uhlík tedy musí mít $+IV$,
- koncovka pro oxidační číslo $+IV$ je $-ičitý$,
- název molekuly - oxid uhličitý.

- ☞ *Jedinou (pro náš kurs) sloučeninou, ve které má kyslík jiné oxidační číslo než $-II$ je peroxid vodíku H_2O_2 . Jelikož vodík má I , tak kyslík má v peroxidu $-I$.*

1.2.2 Hydroxidy

Hydroxidy jsou sloučeniny obsahující kovový kation a skupinu $(OH)^{-1}$, tzv. hydroxidový anion. Ten má náboj -1 , neboť obsahuje jeden O^{-II} a jeden H^+ . Elektrický náboj získáme jako součet oxidačních čísel v iontu. Jinak se pojmenování hydroxidů řídí stejnými pravidly jako oxidů.

Př. Odvození názvu molekuly $NaOH$:

- $(OH)^{-1}$,
- elektroneutrální molekula \rightarrow máme $1 * (-1) = -1 \rightarrow$ sodík tedy musí mít $+I$,
- koncovka pro oxidační číslo $+I$ je $-ný$,



d) název molekuly – hydroxid sodný.

- Hydroxidy se po smíchání s vodou více nebo méně (např. $\text{Ca}(\text{OH})_2$) rozpouštějí, přičemž disociují, tzn. rozpadají se na aniony a kovové kationy (např. Ca^{2+}). Rozpuštěné hydroxidy způsobují alkalickou reakci roztoku ($\text{pH} > 7$).

1.2.3 Bezokysličené kyseliny

Kyselina je látka (anorganická nebo organická), která při rozpouštění ve vodě uvolňuje H^+ , vodíkový kation (proton H^+). Roztoky kyselin mají kyselou reakci ($\text{pH} < 7$).

- Vzorec každé anorganické kyseliny (bezokysličené stejně jako okysličené) vždy začíná vodíkem. Podle toho také poznáme ze vzorce, že se jedná o kyselinu.

Jako bezokysličené kyseliny jsou označovány sloučeniny vodíku s několika málo elektronegativnějšími prvky. První skupinou bezokysličených kyselin jsou binární sloučeniny vodíku s halogeny (oxidační číslo **-I**), např. kyselina fluorovodíková HF a analogicky HCl, HBr a HI.

Do této skupiny dále patří sulfanová kyselina H_2S (sirovodíková kyselina, síra zde má oxidační číslo **-II**). A nakonec jedna tříprvková sloučenina: kyselina kyanovodíková HCN.

- Látky označené v této kapitole jako bezokysličené kyseliny se někdy také označují jednoslovným názvem, např. chlorovodík místo kyselina chlorovodíková. Pokud použijeme tento jednoslovný název, máme na mysli danou sloučeninu v plynné formě. Pokud je řeč o kyselině, míní se tento plyn rozpuštěný ve vodě, přičemž s touto „kapalnou“ formou se v laboratoři setkáme častěji.

1.2.4 Okysličené kyseliny

Okysličené kyseliny kromě vodíku obsahují i kyslík a jeden další prvek. Vzorce těchto kyselin se píše v pořadí vodík, prvek X, kyslík ($\text{H}_x\text{X}_y\text{O}_z$). Stále platí, že vodík má oxidační číslo +I, kyslík -II a oxidační číslo prvku poznáme podle koncovky. Většina kyselin obsahuje pouze jeden „jádrový prvek“, ale jsou i výjimky (např. kyselina tetra-hydrogen-di-fosforečná $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$).

Př. Odvození názvu kyseliny HBrO_3 :



- a) O^{-II} ,
- b) H má oxidační číslo +I,
- c) elektroneutrální molekula \rightarrow máme $3 * (-II) + (I) = -5 \rightarrow$ brom tedy musí mít oxidační číslo +V,
- d) koncovka pro oxidační číslo +V je – ičný, -ečný,
- d) název kyseliny – kyselina bromičná.

1.2.5 Soli

Soli jsou látky formálně vzniklé při reakce kyseliny a hydroxidu (neutralizace). I jejich názvosloví se odvozuje od výchozí kyseliny.

Př. Vznik síranu sodného K_2SO_4 :

- a) neutralizace - reakce kyseliny sírové H_2SO_4 s hydroxidem draselným KOH,
- b) odtržením dvou protonů H^+ v kyselině vzniká síranový anion $(SO_4)^{2-}$,
- c) odtržením $(OH)^{-1}$ vzniká kation K^+ \rightarrow oxidační číslo +I, koncovka –ný,
- d) reakcí vzniká voda a sůl kyseliny – název bude tvořen dvěma slovy, jménem anionu a kationu. Jméno anionu se odvozuje od kyseliny – zde sírová \rightarrow anion je síran. Druhá část názvu specifikuje kation, jeho oxidační číslo poznáme podle koncovky (resp. naopak).
- e) Vzniká K_2SO_4 – síran draselný.

☞ *Poněkud specifickým kationem je amonný. Vzniká při reakcích amoniaku NH_3 (ten je alkalický, ale není to klasický hydroxid – neobsahuje skupinu OH) s kyselinami tak, že amoniak přijme jeden H^+ kation. S kyselinou dusičnou dává amoniak dusičnan amonný.*

☞ *U vícesytných kyselin – kyselin obsahujících 2 nebo více protony H^+ , se setkáváme s existencí několika typů solí, podle počtu uvolněných vodíků. Kyselina sírová H_2SO_4 má dva vodíky, může tedy tvořit dva typy solí. Úplnou neutralizací všech H^+ vznikají*



sírany (např. K_2SO_4). Pokud proběhne je částečná neutralizace (do prvního stupně), vznikají hydrogensírany (např. $KHSO_4$).

Řada solí krystalizuje ve formě hydrátů, to znamená, že jejich krystaly obsahují v mřížce zabudované molekuly vody, krystalovou vodu, $CaSO_4 \cdot 2 H_2O$ je dihydrát síranu vápenatého, Tab. 3.

Tab. 3 Předpony označující násobek

Počet krystalových vod	Předpona
$\frac{1}{2}$	hemi-
1	mono-
2 – 9	di-, tri-, tetra-, penta-, hexa-, hepta-, nona-
10	deka-
11	undeka-
12	dodeka-

**Úlohy ukázkové I.****1. Názvy a vzorce oxidů:**

BaO.....oxid barnatý	oxid fosforečný.....P ₂ O ₅
SO ₂oxid siřičitý	oxid cíničitý.....SnO ₂
Ce ₂ O ₃oxid ceritý	oxid cesný.....Cs ₂ O
UO ₃oxid uranový	oxid křemičitý.....SiO ₂
Mn ₂ O ₇oxid manganistý	oxid železnatý.....FeO

2. Názvy a vzorce:

KOH.....hydroxid draselný	hydroxid vápenatý.....Ca(OH) ₂
Fe(OH) ₃hydroxid železitý	hydroxid rubidný.....RbOH
Zn(OH) ₂hydroxid zinečnatý	hydroxid hlinitý.....Al(OH) ₃

3. Názvy a vzorce kyselin:

H ₂ SO ₃kyselina siřičitá	kyselina dusičná.....HNO ₃
H ₂ Cr ₂ O ₇kyselina dichromová	kyselina chlorečná.....HClO ₃
H ₂ SeO ₄kyselina selenová	kyselina křemičitá.....H ₂ SiO ₃



Úlohy k procvičení I.

1. HNO_2
2. HClO_4
3. $\text{Zn}(\text{OH})_2$
4. CsNO_3
5. $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$
6. $(\text{NH}_4)_2\text{S}$
7. $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$
8. H_3BO_3
9. PBr_5
10. $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$
11. $\text{Ni}(\text{CN})_2$
12. CaSiO_3
13. $\text{MgCl}(\text{OH})$
14. CaF_2
15. Si_2H_6
16. dodekahydrát síranu hlinitého
17. uhličitan hořečnatý
18. hydrogensířičitan sodný
19. sulfid kademnatý
20. kyselina hexahydrogen telurová
21. uhličitan amonnohořečnatý
22. oxid chloričitý
23. kyselina trihydrogenarseničná
24. chlornan vápenatý
25. chlorid lanthanitý
26. chlorečnan amonný
27. manganistan sodný
28. dichroman draselný
29. kyanid zlatitý
30. sulfid arsenitý



Příloha I

Vzorec	Český název	Anglický název	Ruský název
GeI ₄	jodid germaničitý	germanium(IV) iodide	иодид германия
Cu ₃ N	nitrid měďný	copper(I) nitride	нитрид меди
BaH ₂	hydrid barnatý	barium hydride	гидрид бария
Bi ₂ Te ₃	tellurid bismutitý	bismuth telluride	теллурид висмута
Ca(HS) ₂	hydrogensulfid vápenatý	calcium hydrogensulfide	сероводород кальция
ClO ₂	oxid chloričitý	chlorine dioxide	диоксид хлора
FeSO ₄ ·7H ₂ O	heptahydrát síranu železnatého	ferrous sulfate heptahydrate	гептагидрат сульфата железа
HIO ₄	kyselina jodistá	periodic acid	периодическая кислота
Mg(ClO ₄) ₂	chloristan hořečnatý	magnesium perchlorate	перхлорат магния
FePO ₄	fosforečnan železitý	ferric phosphate	фосфат железа
BaO ₂	peroxid barnatý	barium peroxide	перекись бария
Mn(NO ₃) ₂	dusičnan manganatý	manganise(II) nitrate	нитрат марганца
Ni(CN) ₂	kyanid nikelnatý	nickel(II) cyanide	цианистый никель
NH ₄ H ₂ PO ₄	dihydrogenfosforečnan amonný	ammonium dihydrogenphosphate	дигидрофосфат аммония
SbCl ₅	chlorid antimoničný	antimony chloride	хлорид сурьмы
CaC ₂	karbid vápníku	calcium carbide	карбид кальция
CaSO ₃	siřičitan vápenatý	calcium sulphite	сульфит кальция
NaClO ₂	chloritan sodný	sodium chlorite	хлорит натрия
Sn(SO ₄) ₂ ·2H ₂ O	dihydrát síranu cíničitého	dihydrate of stannic sulphate	дигидрат тинникового сульфата
Na ₂ MnO ₄	manganan sodný	sodium manganate	манганат натрия
NaMnO ₄	manganistan sodný	sodium permanganate	перманганат натрия
CuH	hydrid měďný	cuprous hydride	гидрид меди
Cs ₂ SeO ₄	selenan cesný	caesium selenate	селенат цезия
HClO ₂	kyselina chloritá	chlorous acid	хлористая кислота
Ag ₂ Te	telurid stříbrný	silver telluride	серебряный теллурид
H ₄ P ₂ O ₆	kyselina tetrahydrogen difosforičitá	Hypophosphoric acid	гипофосфорная кислота
PdS	sulfid paladnatý	palladium sulfide	сульфид палладия
BBr ₃	bromid boritý	boron bromide	бромид бора
Pt(OH) ₂	hydroxid platnatý	platinum hydroxide	гидроксид платины
H ₄ SiO ₄	kyselina tetrahydrogenkřemičitá	tetrahydrogen silicic acid (orthosilicic acid)	ортокремниевая кислота
I ₂ O ₅	oxid jodičný	iodine pentoxide	пятиокись йода
Cu(SCN) ₂	rhodanid měďnatý	copper(I) thiocyanide	тиоцианид меди
Na ₂ S	sulfid sodný	sodium sulfide	сульфид натрия
AgI	jodid stříbrný	silver iodide	йодид серебра
KBr	bromid draselný	potassium bromide	бромид калия
N ₂ O	oxid dusný	dinitrogen oxide	оксид азота(I)
NO	oxid dusnatý	nitrogen oxide	оксид азота(II)
NO ₂	oxid dusičitý	nitrogen dioxide	оксид азота(IV)
N ₂ O ₅	oxid dusičný	dinitrogen pentoxide	пятиокись азота
CaO	oxid vápenatý	calcium oxide	оксид кальция
OsO ₄	oxid osmičelý	osmium oxide	
P ₂ O ₅	oxid fosforečný	diphosphorus pentoxide	оксид осмия
P ₂ O ₃	oxid fosforitý	diphosphorus trioxide	триоксид дифосфора



H ₂ O ₂	peroxid vodíku	peroxide	перекись
B ₂ O ₃	oxid boritý	boron oxide	оксид бора
HCl	kyselina chlorovodíková	hydrochloric acid	соляная кислота
HF	kyselina fluorovodíková	hydrofluoric acid	плавиковая кислота
H ₂ SO ₄	kyselina sírová	sulfuric acid	серная кислота
HNO ₃	kyselina dusičná	nitric acid	азотная кислота
H ₂ SO ₃	kyselina siřičitá	sulfurous acid	сернистая кислота
HClO ₄	kyselina chloristá	perchloric acid	хлорная кислота
NaOH	hydroxid sodný	sodium hydroxide	едкий натр, гидроксид натрия
Ca(OH) ₂	hydroxid vápenatý	calcium hydroxide	гидроксид кальция
Al(OH) ₃	hydroxid hlinitý	aluminium hydroxide	гидроксид алюминия
NH ₃	amoniak	ammonia	аммиак
Na ₂ HPO ₄	hydrogenfosforečnan sodný	sodium hydrogenphosphate	гидрофосфат натрия
CaSO ₄	síran vápenatý	calcium sulphate	сульфат кальция
Na ₂ SO ₃	siřičitan sodný	sodium sulphite	сульфит натрия
KMnO ₄	manganistan draselný	potassium permanganate	перманганат калия
KClO ₄	chloristan draselný	potassium perchlorate	перхлорат калия
K ₂ MnO ₃	manganičitan draselný	potassium manganite	манганит калия
(NH ₄) ₂ Cr ₂ O ₇	dichroman amonný	ammonium dichromate	дихромат аммония
CaSi ₂ O ₅	dikřemičitan vápenatý	calcium disilicate	дисиликат кальция
CuS	sulfid mědnatý	cupric sulfide	сульфид меди
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	dihydrogenfosforečnan vápenatý	calcium dihydrogenphosphate	дигидрофосфат кальция
Ca(HCO ₃) ₂	hydrogenuhlíčitan vápenatý	calcium hydrogencarbonate	гидрокарбонат кальция
KHSO ₄	hydrogensíran draselný	potassium hydrogensulfate	гидросульфат калия
CaMg(CO ₃) ₂	uhlíčitan vápenato- hořečnatý	calcium-magnesium carbonate	карбонат кальция и магния
K ₂ CrO ₄	chroman draselný	potassium chromate	хромат калия
H ₂ O	voda	water	воды
HI	jodovodík	hydrogen iodide	иодистый водород
PH ₃	fosfan	phosphane	фосфаном
SiH ₄	silan	silane	силан
As ₂ S ₃	sulfid arsenitý	arsenic sulfide	сульфид мышьяка
CaCl ₂	chlorid vápenatý	calcium chloride	хлорид кальция
Cl ₂ O ₇	oxid chloristý	chlorine heptoxide	гектоксид хлора
CO ₂	oxid uhličitý	carbon dioxide	диоксид углерода
KCN	kyanid draselný	potassium cyanide	цианид калия
Mg ₃ N ₂	nitrid hořečnatý	magnesium nitride	цианид калия
H ₂ S	kyselina sulfanová	hydrogen sulfide acid	сероводородная кислота
HMnO ₄	kyselina manganistá	permanganate acid	перманганата кислота
HPO ₂	kyselina fosforitá	phosphorous acid	фосфористая кислота
HNO ₂	kyselina dusitá	nitrous acid	азотистая кислота
HCN	kyselina kyanovodíková	hydrogen cyanide acid	Синильная (цианистоводородная) кислота
H ₂ CO ₃	kyselina uhličitá	carbonic acid	угольная кислота
Na ₂ CO ₃	uhlíčitan sodný	sodium carbonate	карбонат натрия
PbSO ₄	síran olovnatý	plumbous sulphate	сульфат свинца(II)
Cd(NO ₃) ₂	dusičnan kademnatý	cadmium nitrate	нитрат кадмия



CuSO ₄ ·5H ₂ O	pentahydrát síranu mědnatého	pentahydrate of cupric sulphate	пентагидрат сульфата меди(II)
Ba(OH) ₂	hydroxid barnatý	baryum hydroxide	гидроксид бария
KOH	hydroxid draselný	potassium hydroxide	гидроксид калия
NH ₄ OH	hydroxid amonný	ammonium hydroxide	гидроксид аммония
H ₂ SiO ₃	kyselina křemičitá	silicic acid	кремниевая кислота
KAl(SO ₄) ₂	síran draselnno-hlinitý	potassium-aluminium sulphate	сульфат калий-алюминий
H ₂ CrO ₄	kyselina chromová	chromic acid	хромовая кислота
NaClO	chlornan sodný	sodium hypochlorite	гипохлорит натрия

Příloha II

Atom, skupina	Neutrální	Kation	Anion	Ligand	Organika
H	vodík	H ⁺ hydrogen	H ⁻ hydrid	H ⁻ hydrido	
F	fluor		F ⁻ fluorid	F ⁻ fluoro	-F fluor
Cl	chlor		Cl ⁻ chlorid	Cl ⁻ chloro	-Cl chlor
ClO			ClO ⁻ chlornan (Cl ^I)		
ClO ₂	oxid chloričitý (Cl ^{IV})		ClO ₂ ⁻ chloritan (Cl ^{III})		
ClO ₃			ClO ₃ ⁻ chlorečnan (Cl ^V)		
ClO ₄			ClO ₄ ⁻ chloristan (Cl ^{VI})		
Br	brom		Br ⁻ bromid	Br ⁻ bromo	-Br brom
I	jod		I ⁻ jodid	I ⁻ jodo	-I jod
O	atom kyslíku		O ²⁻ oxid (O ^{II})	O ²⁻ oxo	=O oxo
O ₂	molekula kyslíku		O ₂ ²⁻ peroxid (O ^I)		-O-O- peroxy
O ₃	ozon				
H ₂ O	voda			H ₂ O aqua	
H ₃ O		H ₃ O ⁺ hydroxonium			
OH			OH ⁻ hydroxid	OH ⁻ hydroxo	-OH hydroxyl
S	atom síry		S ²⁻ sulfid (S ^{II})	S ²⁻ sulfido, thio	-S- thio
S ₂	molekula síry		S ₂ ²⁻ disulfid		-S-S- dithio
HS			HS ⁻ hydrogensulfid (S ^{II})		-SH merkaptó
S ₂ O ₃			S ₂ O ₃ ²⁻ thiosíran (S ^{VI} a S ^{II})		
SO ₂	oxid siřičitý (S ^{IV})				
SO ₃	oxid sírový (S ^{VI})		SO ₃ ²⁻ siřičitan (S ^{IV})		
HSO ₃			HSO ₃ ⁻ hydrogensiřičitan (S ^{IV})		-SO ₃ H kys.sulfonová
SO ₄			SO ₄ ²⁻ síran (S ^{VI})	SO ₄ ²⁻ sulfato	
N	atom dusíku		N ³⁻ nitrid (N ^{III})		
N ₂	molekula dusíku				-N=N- azo
N ₃			N ₃ ⁻ azid		
NH			NH ²⁻ imid (N ^{III})		
NH ₂			NH ₂ ⁻ amid (N ^{III})		-NH ₂ amino
NH ₃	amoniak (N ^{III})			NH ₃ ammin	-NH ₃ ⁺ amonio
NH ₄		NH ₄ ⁺ amonium			
NO	oxid dusnatý (N ^{II})			NO nitrosyl	-NO nitroso



2. Chemické rovnice

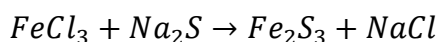
Chemická rovnice je schématický zápis chemického děje (reakce), který nás informuje o reaktantech (výchozích látkách), produktech, dále o stechiometrii reakce – tzn. o vzájemném poměru jednotlivých reaktantů a produktů, popř. o dalších okolnostech popisované reakce. Aby chemická rovnice měla smysl, musí být správně vyčíslená, tedy počet atomů na levé straně (reaktanty) se musí rovnat počtu atomů na pravé straně (produkty). Této rovnosti dosáhneme volbou správných stechiometrických koeficientů (čísel před vzorci, které udávají vzájemný poměr látek zúčastněných v reakci). Chemické rovnice se zapisují buď ve formě molekulové (obvykle), nebo iontové, např. pokud se bavíme o procesech probíhajících v roztocích.

☞ Často se ke vzorcům látek v rovnicích připisují indexy, vyjadřující skupenství jednotlivých látek: *s* - pevné (solid), *l* - kapalné (liquid), *g* - plynné (gas), *aq* - látka rozpuštěná ve vodě, vodný roztok (aqua).

2.1 Vyčíslování chemických rovnic beze změny oxidačních čísel

Chemická rovnice má smysl pouze tehdy, pokud je správně vyčíslena, tzn. počet všech atomů reaktantů a produktů je stejný. Vyčíslování chemických rovnic, ve kterých nedochází ke změně oxidačního čísla žádného z atomů, je snadné.

Př. Vyčíslení rovnice popisující srážení nerozpustného sulfidu železitého z roztoku FeCl_3 :



a) Řešení rovnice spočívá v nalezení správných stechiometrických koeficientů všech látek. Možných postupů je obvykle více, můžeme např. začít od železa. Vpravo jsou dva Fe^{III} → vlevo tedy musíme před FeCl_3 napsat koeficient 2.

b) Tím pádem bude vlevo šest Cl^- → vpravo tedy musí být 6 NaCl .

c) Vpravo jsou tři $\text{S}^{-\text{II}}$ → vlevo napíšeme 3 před Na_2S .

d) Nakonec můžeme zkontrolovat počet atomů Na^+ . Vlevo $3 \cdot 2$, vpravo 6.

e) Výsledná rovnice: $2\text{FeCl}_3 + 3\text{Na}_2\text{S} \rightarrow \text{Fe}_2\text{S}_3 + 6\text{NaCl}$



2.2 Vyčíslování redukčně oxidačních rovnic

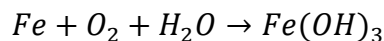
Redukčně oxidační (zkráceně redox) rovnice mají v technické praxi velký význam, např. v oblasti koroze kovů nebo chemických výrob. Redox rovnici poznáme tak, že (nejméně) dva prvky mění svoje oxidační číslo – oxidační stupeň. Změna oxidačního čísla je ale až pozorovaný důsledek, neboť skutečnou podstatou redox procesů je redukce a oxidace některých prvků v reaktantech.

Redukce je proces, při němž atom přijímá elektrony, oxidační číslo tohoto atomu klesá (redukuje se).

Oxidace je proces, kdy atom uvolňuje elektrony, jeho oxidační číslo roste.

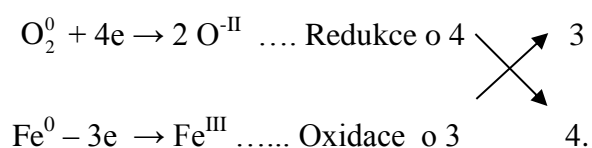
Řešením redox rovnice je tedy, kromě vyrovnaní počtu atomů na levé a pravé straně, také vyrovnaní počtu elektronů uvolněných při oxidaci a spotřebovaných při redukci. Postup si ukážeme na příkladech.

Př. Vyčíslení rovnice vyjadřující korozi oceli kyslíkem rozpuštěným ve vodě:




a) Do rovnice doplníme oxidační čísla $Fe^0 + O_2^0 + H_2O^{-II} \rightarrow Fe^{III}(O^{-II}H^I)_3$.

b) Napíšeme poloreakce redukce a oxidace:



c) Výsledné stechiometrické koeficienty jsou 4 pro železo a 3 pro molekulu O_2 .

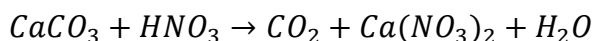
d) Rovnici upravíme do finální podoby $4Fe + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3$.

 *Zvláštním případem jsou disproportionační rovnice, kdy jeden prvek podstupuje zároveň oxidaci i redukci, např. $3Cl_2 + 6KOH \rightarrow 5KCl + KClO_3 + 3H_2O$.*

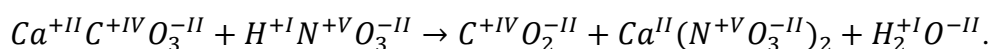
**Úlohy ukázkové II.**

 V dalším textu budeme řešení vyčíslování rovnic uvádět takto: [2-3-1-6].

1. Vhodíme - li kousek vápence do kyseliny dusičné, budeme pozorovat bublinky (vývoj plynu) a vápenec se za chvíli rozpustí. Tento chemický děj popisuje chemická rovnice:



a) Nejprve zapíšeme oxidační čísla k prvkům:



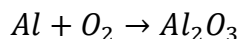
b) Nedochozí ke změně oxidačních čísel, můžeme tedy rovnici vyčíslit. Vpravo je 2 krát atom dusíku → napíšeme 2 před molekulu kyseliny dusičné.

c) Spočítáme počet atomů kyslíku vpravo a vlevo.

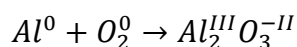
d) Provedeme kontrolu → spočítáme počet atomů vodíku vlevo a vpravo.

e) Vyčíslená rovnice: $\text{CaCO}_{3(s)} + 2\text{HNO}_{3(aq)} \rightarrow \text{CO}_{2(g)} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_{2(aq)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)}$

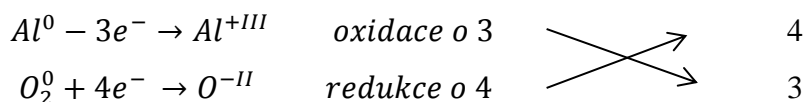
2. Následující rovnice popisuje zjednodušeně pasivaci mědi kyslíkem rozpuštěným ve vodě:



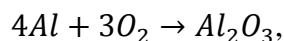
a) Zapíšeme oxidační čísla k prvkům:



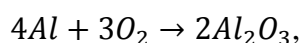
b) Mění se oxidační číslo železa a kyslíku → napíšeme poloreakce oxidace a redukce:



c) výsledné stechiometrické koeficienty zapíšeme vlevo do rovnice:

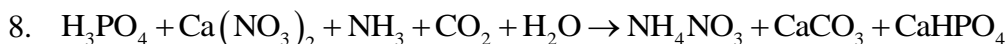
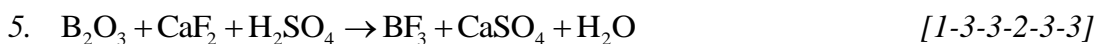
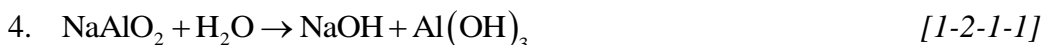


d) dopočítáme atomy hliníku, tak aby byl shodný počet vlevo i vpravo:

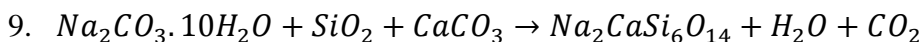


e) pro kontrolu spočítáme atomy kyslíku vlevo a vpravo – 6 ~ 6

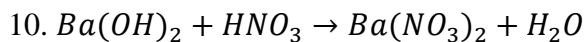
f) rovnice ve finální podobě: $4\text{Al} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3.$

**Úlohy k procvičení II.****a) Vyčíslete rovnice:**

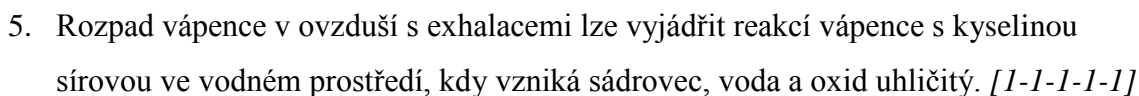
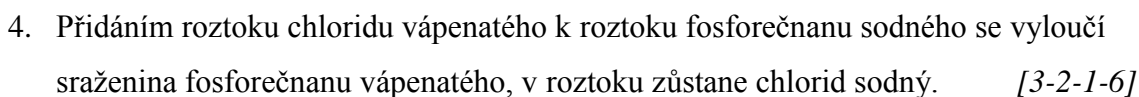
[3-5-10-2-2-10-2-3]



[1-6-1-1-10-2]



[1-2-1-2]

b) Sestavte a vyčíslete chemické rovnice:



c) Vyčíslete oxidačně-redukční rovnice:

1. $\text{Al} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3$ [4-3-2]
2. $\text{Fe} + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{FeO}(\text{OH})$ [4-3-2-4]
3. $\text{Cu} + \text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ [2-1-1-1-1]
4. $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$ [2-1-2-1]
5. $\text{CuS} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Cu} + \text{SO}_2$ [1-1-1-1]
6. $\text{Al} + \text{HCl} \rightarrow \text{AlCl}_3 + \text{H}_2$ [2-6-2-3]
7. $\text{CaSO}_4 + \text{C} \rightarrow \text{CaS} + \text{CO}$ [1-4-1-4]
8. $\text{Cu} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ [3-8-3-2-4]
9. $\text{H}_2\text{S} + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$ [1-4-4-1-8]
10. $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2 \rightarrow \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}$ [1-3-2-3]
11. $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{KNO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ [1-3-4-2-3-2]
12. $\text{KMnO}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{MnCl}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ [2-16-5-2-2-8]
13. $\text{FeSO}_4 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ [3-10-3-3-1-2]
14. $\text{FeSO}_4 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
[10-2-8-5-2-1-8]
15. $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{O}_2 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ [5-2-3-5-2-1-8]
16. $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Ca}(\text{ClO})_2 \rightarrow \text{O}_2 + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ [2-1-2-1-2]
17. $\text{FeSO}_4 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
[6-1-7-3-1-1-7]
18. $\text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{KMnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{KOH}$ [3-2-2-1-4]
19. $\text{PbO}_2 + \text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{HMnO}_4 + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$ [5-2-6-2-5-2]
20. $\text{P} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NO}$ [3-5-2-3-5]



3. Základní chemické výpočty

3.1 Přístup k řešení chemických úloh

Abychom mohli popsat chemický děj rovnicí, je nutné nejprve se zorientovat v zadané fyzikálně-chemické situaci. Důležité je rozpoznat podstatu děje, zda jde o prosté slučování, či rozklad, o směšování roztoků, rozpouštění atd.

V řadě případů napomáhá také orientační odhad výsledku, který umožní vyvarovat se hrubých chyb ve výpočtu (např. směšuji-li 20% a 40% roztok, výsledné složení leží v tomto rozmezí).

Dalším krokem je převedení slovního zadání na matematickou formu. K tomu využíváme specifikaci pomocí veličin a vhodné vztahy mezi veličinami, nezbytný je správný převod jednotek a někdy napomůže i grafické schéma.

Jako jediná soustava veličin a jednotek byla u nás uzákoněna v roce 1962 mezinárodní soustava fyzikálních a technických veličin SI (Système International d'Unités, 1960). V této soustavě rozlišujeme dva druhy veličin, základní a odvozené, Tab. 4 a 5.

Tab. 4 Základní veličiny

Základní veličina	Délka	Hmotnost	Čas	Elektrický proud	Teplota	Svítivost	Látkové množství
Značka	l	m	t	I	T	I	n
Jednotka	m	kg	s	A	K	cd	mol

Tab. 5 Odvozené veličiny


Odvozená veličina	Definiční vztah	Jednotka
rychlost	$v = \frac{S}{t}$	m.s ⁻¹
zrychlení	$a = \frac{v}{t}$	m.s ⁻²
síla	$F = m * a$	N
práce	$A = F * s$	J
plocha	$S = l_1 * l_2$	m ²
tlak	$p = \frac{F}{S}$	Pa



Násobné a dílčí jednotky vznikají násobením a dělením základních jednotek, Tab. 6.

Tab. 6 Předpony pro násobné jednotky

Předpona	Značka	Význam	Předpona	Značka	Význam
tera	T	10^{12}	centi	c	10^{-2}
giga	G	10^9	mili	m	10^{-3}
mega	M	10^6	mikro	μ	10^{-6}
kilo	k	10^3	nano	n	10^{-9}
hekto	h	10^2	piko	p	10^{-12}
deka	da	10^1	emto	f	10^{-15}
deci	d	10^{-1}	atto	a	10^{-18}

 *Ve výjimečných případech se násobné jednotky tvoří z dílčích jednotek. Např. kilogram je základní jednotka, ale název se tvoří z gramu předponou kilo-.*

Většina čísel, se kterými se počítá v chemii (ale i fyzice a dalších vědách), jsou čísla nepřesná (kromě koeficientů), která jsou zatížena určitou chybou (pocházející z měření, nebo z nepřesných výpočtů). Neurčitost čísla se vyjadřuje buď explicitně, např. $3,14 \pm 0,02$, nebo implicitně, správným počtem platných číslic, přičemž poslední místo je neurčité. V tomto případě hodnota 3,14 obsahuje tři platné číslice: první číslice (zde dvě) jsou jisté, poslední číslice je s nejistotou, číslo je tedy neurčité na druhém desetinném místě, oproti 3,1400, které je neurčité na čtvrtém desetinném místě. Za absolutně přesné obvykle považujeme jen čísla zadání; např. připravte 2 litry roztoku.

Správný výsledek je proto nezbytné zaokrouhlit na správný počet platných číslic. Při zaokrouhlování platí následující pravidla:

1. vypustit všechny číslice nižších řádů,
2. je-li číslice na dalším řádovém místě 5 a vyšší, přičíst k číslici požadovaného řádu jednotku,
3. je-li číslice na dalším řádovém místě menší než 5, ponechat číslice požadovaného řádu nezměněné.

Pokud do výpočtu vstupují číslice s různým počtem míst, pak platí následující:



1. sčítání a odečítání - rozhodující číslo s nejvyšším řádem své poslední platné číslice,
2. násobení a dělení – rozhodující je číslo s nejmenším počtem platných číslic.

Př. Zaokrouhlete číslo 5,214510 na tři desetinná místa:

- a) vypustíme číslice na nižších řádech (dostaneme 5,214),
- b) číslice na prvním vypuštěném místě je 5, proto přičteme k číslici řádu, na nějž zaokrouhlujeme, jednotku.
- c) Výsledkem je 5,215.

Př. Stanovte správnou hmotnost vzorku váženého na vahách s rozdílnou přesností. Hmotnosti vzorku: 12,2; 12,1483; 12,136; 12,15; 12,14827 g.

- a) vypočítáme aritmetický průměr obvyklým způsobem - $\bar{m} = \frac{\sum m}{n} = \frac{60,78257}{5} = 12,156514$,
- b) nejméně přesný údaj bude rozhodovat o počtu platných míst – $m = 12,2$ g,
- c) odpověď: Správná hmotnost vzorku je 12,2 g.

👉 Sčítat a odčítat lze pouze hodnoty stejných veličin vyjádřené ve stejných jednotkách. Násobit a dělit lze hodnoty různých veličin vyjádřené v jednotkách v rámci jednoho systému.

👉 Při sčítání (odčítání) čísel s různým počtem platných číslic se řád výsledku bude řídit řádem toho sčítance, který má nejvyšší poslední platný řád. Při násobení (dělení) nepřesných čísel je rozhodující to, které má nejmenší počet platných číslic.

3.2 Látkové množství

Při řešení chemických úloh nebereme v úvahu jednotlivé atomy či molekuly, ale látkové množství dané určitým počtem specifikovaných částic, tedy atomů, molekul, iontů apod. Látkové množství látky i , n_i (*mol*), je takové množství částic, kolik atomů uhlíku obsahuje 0,012 kg čistého nuklidu ^{12}C , a je definováno jako:

$$n_i = \frac{N_i}{N_A} \text{ [mol]},$$

N_i je počet částic (atomů, molekul atd.) látky (-) a N_A Avogadrova konstanta (mol^{-1}) a

$$N_A = 6,022\ 140\ 76 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$$



Jinými slovy: $1 \text{ mol} = 6,022 \cdot 10^{23}$ částic. Látkové množství se zavádí proto, abychom se vyhnuli výpočtům, kdy by figurovaly přímo počty atomů a molekul, neboť by to byla obrovská čísla, nepříjemná pro počítání.

Př. Výpočet látkového množství $3,0115 \cdot 10^{23}$ atomů uhlíku:

a) $N = 3,0115 \cdot 10^{23}$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$n_a = ?$$

b) Napíšeme rovnici, doplníme známé hodnoty a vypočítáme:

$$n_a = \frac{N}{N_A} = \frac{3,0115 \cdot 10^{23}}{6,022 \cdot 10^{23}} = 0,5 \text{ mol.}$$

c) odpověď: Dané množství představuje 0,5 molu atomů uhlíku.

3.3 Hmotnost látek

V chemii určujeme hmotnost látek, m_i (kg), vážením, zpravidla na analytických vahách s různým rozsahem a přesností měření. Atomová hmotnost prvků má však velice malé hodnoty, proto byla k určení hmotnosti atomů zavedena atomová hmotnostní jednotka a atomová hmotnostní konstanta:

$$1u \approx m_u \approx 1,66044 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

☞ Při praktických výpočtech se většinou nepracuje s hmotnostní jednotkou, ale používá se její číselná hodnota. Ta se rovná číselné hodnotě molární hmotnosti atomů příslušného prvku vyjádřené v jednotkách g mol^{-1} či kg mol^{-1} .

☞ Dále je možné definovat relativní (poměrnou) atomovou hmotnost prvku A_r :

$$A_r = \frac{\bar{m}_i}{m_u},$$

což je číselná hodnota hmotnosti atomu prvku vyjádřená v jednotkách u , nebo číselná hodnota molární hmotnosti vyjádřená v g mol^{-1} .

Pracovat s látkovým množstvím v molech nebývá vždy výhodné, proto byla zavedena veličina molární hmotnost M_i (kg mol^{-1}). Pro látkové množství pak platí vztah:

$$n_i = \frac{m_i}{M_i} \text{ mol}$$



Molární hmotnost látky i určíme pomocí periodické tabulky prvků, jako součet atomových hmotností jednotlivých prvků. V tabulce jsou zpravidla uvedeny v ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$).

✎ Molární hmotnost atomu vodíku $M_H = 1,00797 \text{ kg mol}^{-1} \sim$ hmotnosti atomu vodíku $m_H = 1,00797 \text{ u} \sim$ relativní atomové hmotnosti vodíku $A_r(\text{H}) = 1,00797$.

Obecně: $M_i = \{A_r\} \cdot \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

$$M_i = \{A_r\} \cdot u$$

Př. Vypočítejte molární hmotnost chlorovodíku.

a) v PTP vyhledáme relativní atomové hmotnosti jednotlivých prvků – $A_r(\text{H}) = 1,00797$,
 $A_r(\text{Cl}) = 35,453$,

b) $M_r = 36,461$

c) $M(\text{HCl}) = \{A_r(\text{Cl})\} \cdot \text{g}\cdot\text{mol}^{-1} = 36,461 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

d) Odpověď: Molární hmotnost chlorovodíku je $36,461 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Molární objem V_m ($\text{m}^3 \text{ mol}^{-1}$) látek je definovaný jako:

$$V_m = \frac{V}{n} \text{ m}^3.$$

✎ Podle Avogadrova zákona stejné látkové množství libovolné plynné látky zaujímá za normálních podmínek ($p_n = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, $t_n = 0 \text{ °C}$) stejný objem. Z toho vyplývá hodnota pro normální molární objem $V_{mn} = 0,002241 \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$.

Př. Vypočítejte, kolikrát je acetylen lehčí než vzduch, pokud je hmotnost 1 l vzduchu 1,293 g a molární hmotnost acetylenu je 26 g mol^{-1} .

a) známé údaje pro acetylen – $M_1 = 26 \text{ g mol}^{-1}$

$$V_{mn} = 22,4 \text{ l mol}^{-1}$$

$$V_1 = 1,0 \text{ l}$$

b) známé údaje pro vzduch – $V_2 = 1,0 \text{ l}$



$$m_2 = 1,293 \text{ g}$$

c) vypočítáme molární množství acetyleny - $n = \frac{V_1}{V_{mn}} = \frac{1,0}{22,4} = 0,045 \text{ mol}$,


d) vypočítáme hmotnost acetyleny - $m_1 = n * M_1 = 1,161 \text{ g}$,

e) hmotnosti dáme do poměru - $\frac{m_2}{m_1} = \frac{1,293}{1,161} = 1,114$,

f) odpověď: Acetylen je 1,114 lehčí než vzduch.

Veličina, která vyjadřuje poměr mezi hmotností a objemem dané látky, je definována jako hustota ρ_i (kg m^{-3}):

$$\rho_i = \frac{m_i}{V_i} \text{ kg m}^{-3}.$$

 *Hustotu je možné vypočítat i z molární hmotnosti a normálního molárního objemu.*

Př. Vypočítejte molární hmotnost plynu, jehož hustota je $1,43 \text{ g dm}^{-3}$.

a) $\rho = 1,43 \text{ g dm}^{-3}$

$$V_{mn} = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

b) $M = \rho * V_{mn} = 1,43 * 22,4 = 32 \text{ g mol}^{-1}$,

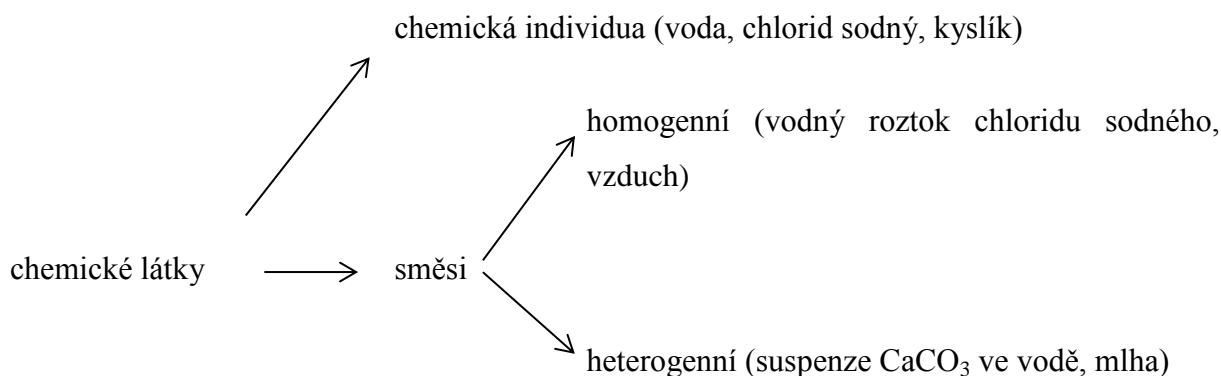
c) odpověď: Molární hmotnost plynu je 32 g mol^{-1} .

3.4 Složení směsí

V praxi se málokdy setkáváme s čistými látkami; prakticky vše, co nás obklopuje, jsou směsi, systémy obsahující více chemických látek. Množství jednotlivých složek ve směsi vyjadřujeme různými způsoby, podle praktičnosti.



Chemické látky klasifikujeme následovně:



3.4.1 Hmotnostní zlomek

Hmotnostní zlomek složky i se označuje w_i (weight) a určuje podíl hmotnosti složky i na hmotnosti celé směsi m (kg):

$$w_i = \frac{m_i}{m} [-, \%].$$

Př. 0,2 molu NaCl bylo rozpuštěno v 3 l destilované vody. Určete hmotnostní zlomek soli ve vzniklém roztoku. $M_{\text{NaCl}} = 58,44 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

a) $n_{\text{NaCl}} = 0,2 \text{ mol}$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = V_{\text{H}_2\text{O}} = 3 \text{ 000 g}$$

$$M_{\text{NaCl}} = 58,44 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

b) hmotnost NaCl - $m_{\text{NaCl}} = n_{\text{NaCl}} \cdot M_{\text{NaCl}} = 0,2 * 58,98 = 11,80 \text{ g}$,

c) hmotnostní zlomek - $w_{\text{NaCl}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{m_{\text{NaCl}} + m_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{11,80}{3011,80} = 0,00392 = 0,392\%$,

d) odpověď: Hmotnostní zlomek soli v roztoku je 0,392%.

3.4.2 Molární a objemový zlomek

Analogicky k hmotnostnímu zlomku můžeme definovat i zlomky molární x_i a objemový φ_i . Jejich využití je však méně časté, než v případě hmotnostního zlomku.




$$wx_i = \frac{n_i}{n} [-, \%],$$

$$\varphi_i = \frac{V_i}{V} [-, \%].$$

3.4.3 Molární koncentrace

Pro popis roztoků se velmi často používá molární koncentrace c_i (mol m^{-3}), která udává látkové množství složky i na jednotku objemu roztoku.

$$c_i = \frac{n_i}{V} [\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}, \text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}, \text{mol} \cdot \text{l}^{-1}].$$

 Můžeme se také setkat s vyjádřením „0,2 M roztok“ (slovně 0,2 molární roztok), což bude roztok o koncentraci $0,2 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$.

Př. Kolik gramů chloridu vápenatého potřebujeme pro přípravu 500 ml roztoku o koncentraci $0,3 \text{ mol dm}^{-3}$?

a) $V = 500 \text{ ml} = 0,5 \text{ dm}^3$

$$c = 0,3 \text{ mol dm}^{-3}$$

b) z PTP zjistíme atomové hmotnosti prvků a vypočítáme molární hmotnost –

$$M_{\text{CaCl}_2} = A_{\text{Ca}} + 2A_{\text{Cl}} = 110,986 \text{ g mol}^{-1},$$

c) vypočteme látkové množství CaCl_2 v připravovaném roztoku -

$$n_{\text{CaCl}_2} = c_{\text{CaCl}_2} \cdot V = 0,3 \cdot 0,5 = 0,15 \text{ mol},$$

d) toto látkové množství přepočteme pomocí molární hmotnosti na hmotnost -

$$m_{\text{CaCl}_2} = n_{\text{CaCl}_2} \cdot M_{\text{CaCl}_2} = 0,15 \cdot 110,986 = \underline{16,648 \text{ g}},$$

e) odpověď: Potřebujeme 16,648 g chloridu vápenatého.



3.4.4 Hmotnostní koncentrace

Pro vyjádření koncentrace roztoků, zejména v hydrochemii, se často používá hmotnostní koncentrace, značená ρ_i (pozor na záměnu s hustotou ρ). Obvyklou jednotkou je $mg.l^{-1}$.

$$\rho_i = \frac{m_i}{V} [kg.m^{-3}, mg.l^{-1}].$$

Př. Známa minerální voda z Kyselky u Karlových Varů obsahuje $74,0 mg.l^{-1}$ vápníku. Převed'te tuto hmotnostní koncentraci na molární koncentraci a hmotnostní zlomek vápníku v této minerálce. Uvažujte hustotu minerálky $\rho = 1001,4 kg.m^{-3}$.

a) $\rho_{Ca} = 74,0 mg.l^{-1}$

$$\rho = 1001,4 kg.m^{-3}$$

b) vypočítáme koncentraci vápníku - $c_{Ca} = \frac{n_{Ca}}{V} = \frac{\frac{\rho_{Ca} \cdot V}{M_{Ca}}}{V} = \frac{\rho_{Ca}}{M_{Ca}} = \frac{0,074}{40,078} = \underline{1,8 \cdot 10^{-3} mol.l^{-1}}$,

c) vypočítáme hmotnostní zlomek - $w_{Ca} = \frac{m_{Ca}}{m} = \frac{0,074}{1001,4} = \underline{0,0074 \%}$,

d) odpověď: molární koncentrace vápníku v Kyselce je $1,8 \cdot 10^{-3} mol.l^{-1}$ a hmotnostní zlomek $0,0074\%$.

3.4.5 Vzájemné vztahy veličin pro vyjadřování složení směsí

$$m(směs) = m(A) + m(B) + m(C) + \dots$$

Hmotnostní zlomek složky B v uvedené směsi se rovná:

$$w(B) = \frac{m(B)}{m(směs)} = \frac{m(B)}{m(A)+m(B)+m(C)+\dots}$$

Dále víme, že:

$$m(B) = n(B) \cdot M(B) \qquad n(B) = x(B) \cdot n,$$



Po zkrácení n dostáváme vztah pro výpočet hmotnostního zlomku ze složení udaného v molárních zlomcích:

$$w(B) = \frac{m(B)}{m(\text{směs})} = \frac{x(B) \cdot M(B)}{x(A) \cdot M(A) + x(B) \cdot M(B) + x(C) \cdot M(C) + \dots}$$

Podobně odvodíme pro výpočet molárního zlomku složky B ze zlomku hmotnostního:

$$x(B) = \frac{n(B)}{n(A) + n(B) + n(C) + \dots}$$

platí:

$$m(B) = w(B) \cdot m(\text{Bsměs}),$$

po zkrácení $m(\text{směs})$ dostaneme vztah pro výpočet molárního zlomku ze složení udaného v hmotnostních zlomcích:

$$x(B) = \frac{\frac{w(B)}{M(B)}}{\frac{w(A)}{M(A)} + \frac{w(B)}{M(B)} + \frac{w(C)}{M(C)} + \dots}$$

Podobně lze odvodit vztahy mezi $w(B)$ a $c(B)$ v roztoku látky B:

$$c(B) = \frac{n(B)}{V(\text{roztok})} = \frac{m(B)}{M(B) \cdot V(\text{roztok})} = \frac{w(B) \cdot m(\text{roztok})}{M(B) \cdot V(\text{roztok})}$$

$$c(B) = \frac{w(B)}{M(B)} \cdot \rho,$$

$$w(B) = \frac{c(B) \cdot M(B)}{\rho}$$

 Při dosazování do těchto vzorců je nutné dávat pozor na jednotky!

3.4.6 Stavová rovnice ideálního plynu

Při výpočtech týkajících se plynů uvažujeme ideální plyn, pro který byla definována stavová rovnice. Spojení ideální plyn v názvu znamená, že chování skutečných plynů je daleko komplikovanější. Nicméně, pro jednoduchý odhad za běžných podmínek je tato rovnice dostačující:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T.$$



Význam symbolů: p tlak (Pa), V objem (m^3), n látkové množství (mol), T termodynamická teplota (K) a plynová konstanta $R = 8,3145 J.K^{-1}.mol^{-1}$. Vztah mezi teplotou t ($^{\circ}C$) a T je dán rovnicí:

$$T = t + 273,15 [K]$$

Při výpočtech s plynnými látkami se často setkáme s pojmem standardní (normální) podmínky: teplota $293,15 K$ a tlak $101\,325 Pa$ (atmosférický). Jednotkou tlaku podle SI je Pascal Pa ($N.m^{-2}$), nicméně při měření tlaku se v technické praxi často užívají i další jednotky, Tab. 7.

Tab. 7 Jednotky tlaku

Označení jednotky	Přepočítání na Pa
1 b (bar)	100 000 Pa
1 atm (atmosféra)	101 325 Pa
1 Torr (1 mm rtuťového sloupce)	133,3 Pa
1 psi (pound per square inch)	6895 Pa

Př. Spočítejte hmotnost $2 m^3$ vzduchu za standardních podmínek. Molární hmotnost vzduchu uvažujte $28,96 g.mol^{-1}$.

a) $V = 2 m^3$

$$M_{\text{vzduch}} = 28,96 g.mol^{-1}$$

$$T = 293,15 K$$

$$p = 101\,325 Pa$$

b) ze stavové rovnice vypočítáme látkové množství – $n = \frac{p.V}{R.T} = \frac{101325 \cdot 2}{8,3145 \cdot 293,15} = 83,142 mol$,

c) vypočítáme hmotnost - $m = n.M = 83,142 * 28,96 = 2,408 kg$.

d) odpověď: Za standardních podmínek váží $2 m^3$ vzduchu $2,408 kg$.



Př. Při reakci 4 g vápence s přebytkem kyseliny chlorovodíkové vzniklo 0,86 dm³ oxidu uhličitého (21 °C, 101,9 kPa). Vypočítejte hmotnostní zlomek CaCO₃ ve vápenci.

Reakční schéma: $CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2 + H_2O$

a) Zapišeme známé údaje: $m_{CaCO_3} = 4 \text{ g}$

$$V_{CO_2} = 0,00086 \text{ dm}^3$$

$$T = 273,15 + 21 = 294,15 \text{ K}$$

$$p = 101\,900 \text{ Pa}$$

b) Ze zadaných údajů můžeme pomocí stavové rovnice vypočítat látkové množství vzniklého

$$CO_2: n(CO_2) = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{101\,900 \cdot 0,00086}{8,314 \cdot 294,15} = 0,0358.$$

c) Látkové množství oxidu uhličitého dle rovnice odpovídá látkovému množství oxidu uhličitého. Můžeme tedy vypočítat hmotnost oxidu uhličitého:

$$m(CaCO_3) = n(CaCO_3) \cdot M(CaCO_3) = 0,0358 \cdot 100,1 = 3,587.$$

d) Hmotnostní zlomek uhličitanu ve vápenci je:

$$w(CaCO_3) = \frac{m(CaCO_3)}{m} = \frac{3,587}{4} = 0,8967 = 89,7\%.$$

d) Vápenec obsahoval 89,7 % uhličitanu vápenatého.

**Úlohy ukázkové III.**

1. Za tzv. normálních podmínek obsahuje 1 cm³ vzduchu 2,0981.10¹⁹ molekul dusíku, 5,6287.10¹⁸ molekul kyslíku, 8,0602.10¹⁵ molekul CO₂, 2,4987.10¹⁷ atomů argonu a méně než 1.10¹⁵ atomů a molekul jiných složek. Kolik částic obsahuje celkem 1 cm³ vzduchu?

a) Zadané hodnoty je třeba vyjádřit ve stejném řádu a sečíst - použijeme nejvyšší řád 10¹⁹

2,0981.10¹⁹, 0,56287.10¹⁹, 0,00080602.10¹⁹, 0,024987.10¹⁹,

b) sečteme a uvedeme se správným počtem platných míst - 2,6868.10¹⁹ částic,

c) odpověď: 1 cm³ vzduchu obsahuje 2,6868.10¹⁹ částic.

2. Vypočítejte, jaké látkové množství představuje 36,138.10²⁶ atomů vodíku.

a) $N = 36,138.10^{26}$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$\underline{n_H = ?}$$

b) $n_H = \frac{N}{N_A} = \frac{36,138.10^{26}}{6,022.10^{23}} = 6.10^3 \text{ mol} = 6 \text{ kmol}$

c) Dané množství představuje 6 000 molů atomů vodíku.

3. Vypočítejte, jaké látkové množství představuje 3,02391 g atomového vodíku.

a) $m_H = 3,02391 \text{ g}$

$$M_H = 1,00797 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\underline{n_H = ?}$$

b) $n_H = \frac{m_H}{M_H} = \frac{3,02391}{1,00797} = 3 \text{ mol}$

c) Dané množství představuje 3 moly atomového vodíku.



4. Kolik atomů zinku je obsaženo v 10 g čistého kovu?

a) $m_{Zn} = 10\text{g}$

$$M_{Zn} = 65,37 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

b) $n_{Zn} = \frac{m_{Zn}}{M_{Zn}} = \frac{10}{65,37} = 0,1530 \text{ mol}$

c) $N_{Zn} = n_{Zn} * N_A = 0,1530 * 6,022 \cdot 10^{23} = 9,214 \cdot 10^{22} \text{ atomů}$

d) 10 g čistého zinku obsahuje $9,214 \cdot 10^{22}$ atomů.

5. Kolik gramů čistého NaCl musíme navážit, potřebujeme-li pro reakci 0,425 mol této látky?

a) $M_{Na} = 22,99 \text{ g mol}^{-1}$

$$M_{Cl} = 35,45 \text{ g mol}^{-1}.$$

b) $M_{NaCl} = M_{Na} + M_{Cl} = 22,99 + 35,45 = 58,44 \text{ g mol}^{-1}.$

c) $m = n \cdot M = 0,425 * 58,44 = 24,84 \text{ g}.$

d) Musíme navážit 24,84 g čistého NaCl.

6. Vypočítejte objem 0,005 kilomolů ideálního plynu při teplotě 22 °C a tlaku 101,3 kPa.

a) $T = 22 \text{ °C} = 22 + 273,15 = 295,15 \text{ K}$

$$p = 101,3 \text{ kPa} = 101\,300 \text{ Pa}$$

$$n = 0,005 \text{ kilomolů} = 5 \text{ molů}$$

b) $V = \frac{nRT}{p} = \frac{5 * 8,314 * 295,15}{101300} = 0,121 \text{ m}^3,$

c) Za daných podmínek je objem 0,005 kilomolů ideálního plynu $0,121 \text{ m}^3$.

**Úlohy k procvičení III.****Převeďte do požadovaných jednotek:**

1. 52 nm = μm
2. 0,025 mg = μg
3. 255 nm = mm
4. 5 m^3 = mm^3
5. 895 N.m^{-2} = Pa
6. 55 tun = dkg
7. 286 K = $^{\circ}\text{C}$
8. 1 123 021 Pa = MPa
9. 1250 kg.m^{-3} = g.l^{-1}
10. $0,348\text{ g.g}^{-1}$ = %
11. 1235 mS.m^{-1} = $\mu\text{S.cm}^{-1}$
12. $0,1257\text{ g.cm}^{-3}$ = kg.m^{-3}
13. 215 ng.kg^{-1} = ppm
14. 25 mg.kg^{-1} = ppb
15. $14,2\text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$ = mS.m^{-1}
16. $1,75.10^{-10}\text{ m}$ = Å
17. $45,8\text{ kg.m}^{-3}$ = g.dm^{-3}
18. $15,6\text{ mol.l}^{-1}$ = mol.cm^{-3}
19. $33,33\text{ g.cm}^{-3}$ = kg.dm^{-3}
20. $5,4\text{ g.mol}^{-1}$ = kg.mol^{-1}

**Vypočítejte příklady:**

1. Vypočítejte, jaký počet molekul představuje 10 molů CO_2 . [6,022. 10^{24} molekul]
2. Vypočítejte, jaké látkové množství představuje 18,069. 10^{23} molekul kyslíku. [3 moly]
3. Určete, kde je víc atomů – v 1g atomového kyslíku, nebo v 1 g atomového vodíku?
[1g H obsahuje více atomů než 1g O]
4. Jaké látkové množství odpovídá 32 g mědi? [0,5 mol]
5. Určete látkové množství KCN, jež je obsaženo v navážce 0,0123 g této látky.
[1,89. 10^{-4} mol]
6. Jakou hmotnost v g má tolik atomů železa, kolik jich je ve 4 g síry? [6,98 g]
7. Vypočítejte hodnotu jednotky hmotnosti atomů z molární hmotnosti nuklidu uhlíku $^{12}_6\text{C}$. [1,6604. 10^{-27}]
8. Vypočítejte molární hmotnost uhličitanu vápenatého v $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$, když víte, že 10 kmol má hmotnost 1000,9 kg. [100,09 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$]
9. Vypočítejte spotřebu vzduchu za den při výrobě amoniaku, jestliže denní spotřeba vzdušného dusíku je 1250 tun. [1 250 000 m^3]
10. Kolik vody odměříme za normální teploty v kalibrovaném válci, aby tento objem představoval 6 molů vody? [108 cm^3]
11. Chleba s řízkem je zabalen do alobalu (hliníková folie) o tloušťce 25 μm , plocha alobalu je 600 cm^2 . Určete počet atomů hliníku v tomto kusu alobalu. Hustota hliníku je 2700 kg/m^3 . [9,0345. 10^{22} atomů Al]
12. Nad Prahou se strhla prudká bouřka a napršel 1 mmol dešťových kapek. Do jaké výšky vystoupá hladina Vltavy za předpokladu, že je na ní postavena dostatečně vysoká hráz, aby žádná voda neodtekla mimo město. Průměr dešťové kapky je 0,5 mm (uvažujte, že kapka je kulová), rozloha Prahy je 496 km^2 . [79 m]
13. Pomocí stavové rovnice ideální plynu vypočítejte hmotnost vzduchu ($M_{\text{vzduch}}=28,96 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$) v místnosti o rozměrech 6*6*3 m. [128 kg]
14. Solný roztok pro vyplachování nosu při rýmě se připravuje smícháním 200 ml vody a 3 g chloridu sodného. Určete hmotnostní zlomek NaCl v této směsi. [1,48 %]
15. Při odstraňování námrazy z letadel před startem se používá směs vody a glykolu (1,2-ethandiol, „Fridex“) obsahující 55 hm. % glykolu. Nádrž odmrazovacího automobilu pojme 5 t směsi. Určete množství vody a glykolu, které je třeba načerpat do nádrže.
[2 250 kg vody a 2 750 kg glykolu]



16. Sklářský písek (křemen) se vyrábí separací kaolinitického pískovce, složeného z 94 hm. % křemene a zbývajících 6 % je kaolinit a řada dalších minerálů, ve sklářském písku nežádoucích. Jaké množství pískovce je třeba zpracovat na 1 tunu sklářského písku? [1,064t]
17. Při analýze vody se využívá roztok manganistanu draselného o koncentraci 0,002 mol/dm³. Určete navážku KMnO₄ potřebného pro přípravu 2 litrů tohoto roztoku. [0,63 g]
18. Určete molární koncentraci, hmotnostní koncentraci a hmotnostní zlomek chloridu vápenatého v roztoku, jež byl připraven rozpuštěním 3 gramů chloridu vápenatého ve vodě. Celkový objem získaného roztoku byl 2 dm³. Předpokládejte, že hustota tohoto roztoku je rovna hustotě vody. [ρ=1,5 g.l⁻¹, c=0,0135 mol. l⁻¹, w=0,15 %]
19. Vypočítejte molární koncentraci železitých a síranových iontů v roztoku, vzniklém rozpuštěním 15 g Fe₂(SO₄)₃·7H₂O ve vodném roztoku o celkovém objemu 5 l. Tato sůl se rozpouští následujícím způsobem:
- $$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Fe}^{3+} + 3 \text{SO}_4^{2-} + 7\text{H}_2\text{O}$$
- [Fe³⁺ 0,0114 mol. l⁻¹ a SO₄²⁻ 0,0172 mol. l⁻¹]
20. Včely se v zimě přikrmují roztokem cukru a vody (hmotnostně 1:1), který má mít hustotu 1,23 g/cm³. Určete kolik cukru a vody potřebuje včelař, má-li připravit 25 l tohoto roztoku. [15,375 kg]
21. Argon je vzácný plyn, používá se jako ochranná atmosféra při svařování nebo pro umělé dozrávání banánů. Získává se izolováním ze vzduchu; v něm je obsah argonu 0,93 mol. %. Určete objem vzduchu, který je třeba zpracovat, abychom získali 1 tunu argonu. Předpokládejte, že vzduch má normální tlak a teplotu. [65 119 m³]
22. Při spotřebitelském testu instantní kávy bylo zjištěno, že nápoj (200 ml) připravený z 2 g kávy vykazuje koncentraci kofeinu 328 mg/l. Určete hmotnostní zlomek kofeinu v instantní kávě. [3,28 %]
23. Výrobna metylesteru řepkového oleje (MEŘO, „bionafta“) v Lovosicích ročně vyprodukuje 120000 tun MEŘO. Běžné diesellové automobilové palivo se označuje B6, to znamená, že obsahuje 6 hm. % MEŘO a 94 hm. % ropného podílu. Vypočítejte, kolik tun paliva B6 umožňuje vyrobit výše uvedené množství MEŘO. [2.10⁶ t]
24. Doporučená denní dávka hořčíku pro dospělého je 0,4 g. Nejmenovaná minerální voda, vyznačující se vysokým obsahem hořčíku, ho obsahuje 170 mg/dm³. Kolik minerálky bychom museli denně vypít, pokud bychom hořčík nezískávali i z jiných potravin? [2,35 l]



25. Vypočítejte, kolik atomů uhlíku je obsaženo ve 32 g acetylidu vápenatého (CaC_2).

[$6,022 \cdot 10^{23}$ atomů C]



4. Látkové bilance ve směsích

Látkové bilance vyjadřují děje, které nastávají při přípravě, úpravě složení a směšování roztoků, či při chemických dějích. Vždy uvažujeme zákon zachování hmotnosti, tudíž lze jednoduše bilanci vyjádřit jako:

hmotnost látky na vstupu = hmotnost látky na výstupu

Kromě hmotnosti jedné složky systému můžeme bilancovat hmotnost celého systému (všech složek), nebo látkové množství složky, ale nikdy nelze bilancovat (sčítat) objemy, protože hustota roztoků se mění v závislosti na koncentraci (aneb smícháním 1 litru vody a 1 litru koncentrované kyseliny sírové nevzniknou 2 litry roztoku).

4.1 Látkové bilance v roztocích

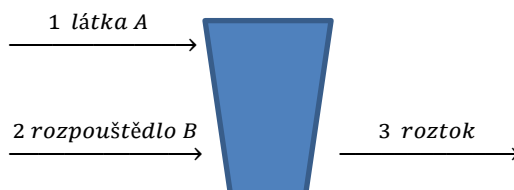
Pro snadnější orientaci v konkrétním problému je výhodné děje, např. rozpouštění, směšování, ředění, zahušťování atd., znázornit pomocí schémat.

Pro kvantitativní vyjádření obsahu složky A v roztoku platí následující vztahy:

$$w(A) = \frac{m(A)}{m} = \frac{m(A)}{V \cdot \rho} = \frac{n(A) \cdot M(A)}{V \cdot \rho} = \frac{c(A) \cdot M(A)}{\rho}$$

Při úpravě složení roztoků mohou nastat nejčastěji následující případy:

4.1.1 Rozpouštění



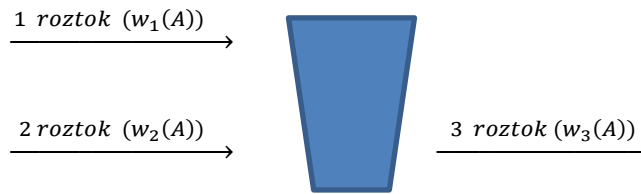
Bilanční rovnice pro složku A: $m_1 = m_3 w_3(A)$

Bilanční rovnice pro rozpouštědlo B: $m_2 = m_3 w_3(B)$

Celková hmotnostní bilance: $m_1 + m_2 = m_3$



4.1.2 Směšování

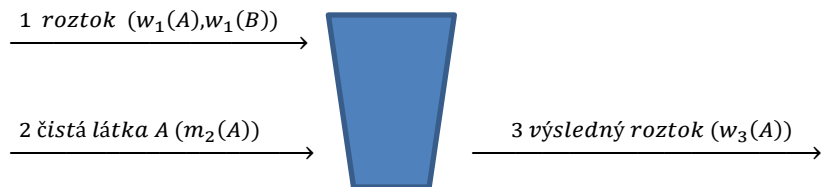


Bilanční rovnice pro složku A: $m_1 w_1(A) + m_2 w_2(A) = m_3 w_3(A)$

Bilanční rovnice pro rozpouštědlo B: $m_1 w_1(B) + m_2 w_2(B) = m_3 w_3(B) = (m_1 + m_2) w_3(B)$

Celková hmotnostní bilance: $m_1 + m_2 = m_3$

4.1.3 Úprava složení roztoku rozpuštěním další látky

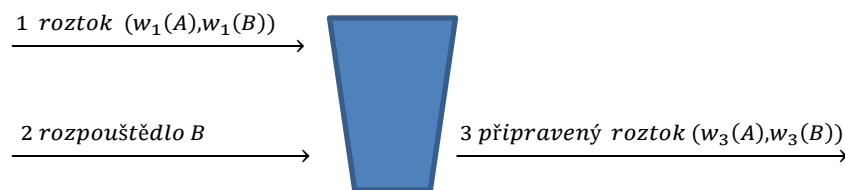


Bilanční rovnice pro složku A: $m_1 w_1(A) + m_2 = m_3 w_3(A)$, $w_2(B) = 0$

Bilanční rovnice pro rozpouštědlo B: $m_1 w_1(B) = m_3 w_3(B)$

Celková hmotnostní bilance: $m_1 + m_2 = m_3$

4.1.4 Úprava složení roztoku přidáním rozpouštědla



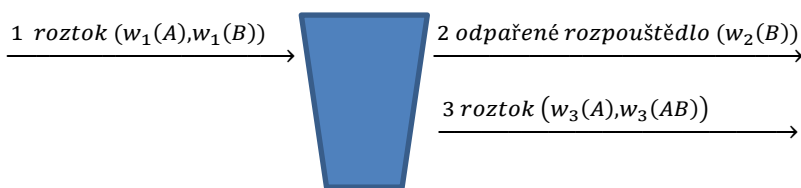
Bilanční rovnice pro složku A: $m_1 w_1(A) = m_3 w_3(A)$, $w_2(A) = 0$

Bilanční rovnice pro rozpouštědlo B: $m_1 w_1(B) + m_2 = m_3 w_3(B)$

Celková hmotnostní bilance: $m_1 + m_2 = m_3$



4.1.5 Úprava složení roztoku odpařováním

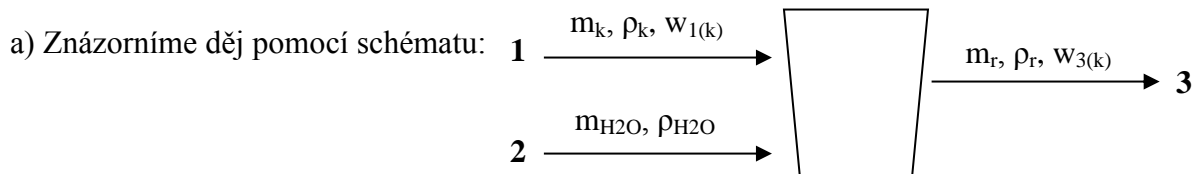


Bilanční rovnice pro složku A: $m_1 w_1(A) = m_3 w_3(A)$, $w_2(A) = 0$

Bilanční rovnice pro rozpouštědlo B: $m_1 w_1(B) = m_2 + m_3 w_3(B)$

Celková hmotnostní bilance: $m_1 = m_2 + m_3$

Př. Vypočítejte objem koncentrovaného roztoku kyseliny fosforečné (koncentrace 70 %, hustota $1,526 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) a vody, které budete potřebovat pro přípravu 2 litrů roztoku o koncentraci 5 % (hustota $1,035 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$).



b) Znamé hodnoty: $w_{1(k)} = 0,7$, $\rho_k = 1,526 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

$w_{3(k)} = 0,05$, $V_r = 2 \text{ l}$, $\rho_r = 1,035 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

$w_{2(k)} = 0$, $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, $V_{\text{H}_2\text{O}} \approx m_{\text{H}_2\text{O}}$

Hledáme V_k a $V_{\text{H}_2\text{O}}$, tedy m_{kyseliny} a m_{vody} .

c) Vzhledem k tomu, že objemy nelze bilancovat, budeme pracovat s hmotnostmi.

d) Bilanční rovnice pro kyselinu: $m_{1(k)} w_{1(k)} = m_r w_{3(k)}$

Bilanční rovnice pro vodu: $m_{1(k)} w_{1(\text{H}_2\text{O})} + m_2 = m_r w_{3(\text{H}_2\text{O})}$

Celková hmotnostní bilance: $m_{(k)} + m_{(\text{H}_2\text{O})} = m_r$

e) Dosadíme zadané hodnoty, požadovaný objem kyseliny určíme pomocí hustoty a objemu:

$$m_{1(k)} w_{1(k)} = m_r w_{3(k)} = V_{1(k)} \cdot \rho_k \cdot w_{1(k)} = V_r \cdot \rho_r \cdot w_{3(k)}$$



$$V_{1(k)} = \frac{V_r \cdot \rho_r \cdot w_3(k)}{\rho_k \cdot w_1(k)} = \frac{1\,035 \cdot 0,002 \cdot 0,05}{1526 \cdot 0,7} = 9,7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3.$$

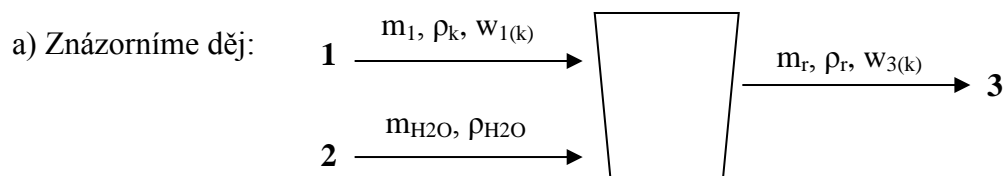
$$m_{1(k)} = V_{1(k)} \cdot \rho_k = 9,7 \cdot 10^{-5} \cdot 1526 = 0,148 \text{ kg}.$$

f) Hmotnost roztoku vypočítáme jako: $m_r = \frac{V_{1(k)} \cdot \rho_k \cdot w_1(k)}{w_3(k)} = \frac{9,7 \cdot 10^{-5} \cdot 1526 \cdot 0,7}{0,05} = 2,071 \text{ kg}.$

g) Hmotnost vody: $m_{(H_2O)} = m_r - m_{(k)} = 2,071 - 0,148 = 1,923 \text{ kg}$

f) Odpověď: Pro přípravu roztoku budeme potřebovat 97 ml koncentrovaného roztoku kyseliny fosforečné a 1923 ml vody.

Př. Vypočítejte, v jakém objemovém poměru se musí smíchat kyselina ($\rho = 1,836 \text{ g.cm}^{-3}$, $w_k = 0,960$) a voda při přípravě 10% roztoku.



b) Známé hodnoty: $w_{1(k)} = 0,960$, $\rho = 1,836 \text{ g.cm}^{-3}$

$$\rho_{H_2O} = 1,000 \text{ g.cm}^{-3}, w_{2(H_2O)} = 1$$

$$w_{3(k)} = 0,100$$

c) Budeme bilancovat objemy: $m = \rho \cdot V$

d) Bilanční rovnice pro kyselinu: $m_1 w_{1(k)} = m_r w_{3(k)}$

$$\text{Bilanční rovnice pro vodu: } m_1 w_{1(H_2O)} + m_2 = m_r w_{3(H_2O)}$$

$$\text{Celková hmotnostní bilance: } m_{(k)} + m_{(H_2O)} = m_r$$

e) Do bilanční rovnice pro kyselinu dosadíme za m_r z celkové bilanční rovnice a hmotnost vyjádříme pomocí hustoty a objemu: $V_1 \rho_1 w_{1(k)} = (V_1 \rho_1 + V_2 \rho_2) w_{3(k)}$



f) Rovnici upravíme: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \left(\frac{w_{1(k)}}{w_{3(k)}} - 1 \right) = \frac{1,836}{1,00} \left(\frac{0,960}{0,100} - 1 \right) = 15,8.$

g) Odpověď: Kyselinu ředíme vodou v objemovém poměru 1: 15,8.



4.2 Látkové bilance při chemických dějích

Zastoupení jednotlivých prvků ve sloučeninách i chemických reakcích lze vyjádřit matematicky pomocí stechiometrických výpočtů. Základem stechiometrie je zákon zachování hmotnosti a zákon stálých a násobných slučovacích poměrů. Pomocí chemické analýzy a stechiometrického výpočtu můžeme určit vzorec neznámé látky a ze známého empirického vzorce chemické látky jsme schopni vypočítat látkový či hmotnostní zlomek prvků, z nichž se látka skládá.

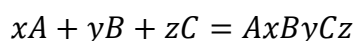
- ✎ *Zákon zachování hmotnosti – hmotnost sloučeniny se rovná součtu hmotnostních prvků, z nichž se skládá.*
- ✎ *Zákon stálých a násobných slučovacích poměrů – složení chemické sloučeniny, vyjádřené např. hmotnostními zlomky zastoupených prvků, je neměnné. Tvoří – li spolu dva prvky více sloučenin, jsou hmotnosti jednoho prvku, připadající na určitou neměnnou hmotnost druhého prvku v těchto sloučeninách k sobě v poměru malých, celých čísel, např. N_2O , NO , NO_2 , N_2O_3 , N_2O_5 .*

Obecná rovnice: $aA + bB = cC + dD$, kde a, b, c, d jsou stechiometrické koeficienty, A a B jsou výchozí látky, C a D jsou produkty reakce.

Platí: $a : b : c : d = n(A) : n(B) : n(C) : n(D)$

- ✎ *Podíl látkového množství a příslušného stechiometrického koeficientu, **rozsah reakce**, je ve vyčíslené rovnici stejný pro všechny látky, které se účastní chemické reakce.*

Pro určení stechiometrického vzorce, pokud se látka skládá z prvků A, B, C, jejichž hmotnostní zlomky známe, platí:



$$n_A : n_{AxByCz} = x$$

$$n_B : n_{AxByCz} = y$$



$$n_C : n_{AxByCz} = z$$

$$n_A : n_B : n_C = x : y : z$$

$$w(A) = \frac{n_A M(A)}{m}$$

$$w(B) = \frac{n_B M(B)}{m}$$

$$w(C) = \frac{n_C M(C)}{m}$$

$$x : y : z = n_A : n_B : n_C = \frac{w(A)}{M(A)} : \frac{w(B)}{M(B)} : \frac{w(C)}{M(C)}$$

Výsledek upravíme na poměr celých čísel. Prvním typem příkladu je určení hmotnostního zlomku prvku ve sloučenině nebo směsi.

Př. Analýzou bylo nalezeno, že anorganická látka obsahuje 32,80% Na, 13% Al a 54,20% F, odvodte stechiometrický vzorec sloučeniny.

a) Zapišeme stechiometricky: $xNa + yAl + zF = Na_xAl_yF_z$

b) Platí: $x:y:z = n_{Na}:n_{Al}:n_F = \frac{w(Na)}{M(Na)} : \frac{w(Al)}{M(Al)} : \frac{w(F)}{M(F)}$.

c) Dosadíme: $x:y:z = \frac{32,80}{22,99} : \frac{13,00}{26,98} : \frac{54,20}{19,00} = 1,43 : 0,48 : 2,85$.

d) Vydělíme nejmenší hodnotou, tedy 0,48: dostaneme poměr $2,97:1:5,92 \approx 3:1:6$

e) Odpověď: Analyzovanou sloučeninou je Na_3AlF_6 .

Př. Fosfátová ruda z Floridy obsahuje 28 % P_2O_5 . Jaký je hmotnostní zlomek fosforu v této rudě?

a) Zapišeme stechiometricky vzorec: $P_xO_y \approx P_2O_5$, v rudě $w(\text{oxid}) = 0,28$.

b) Pro obsah fosforu v oxidu platí: $\frac{w(P)}{M(P)} = \frac{w(\text{oxid})}{M(\text{oxid})} \approx \frac{w(P)}{w(\text{oxid})} = \frac{2M(P)}{M(\text{oxid})} = \frac{2 \cdot 30,97}{141,945} = 0,4364 = 43,64 \%$.



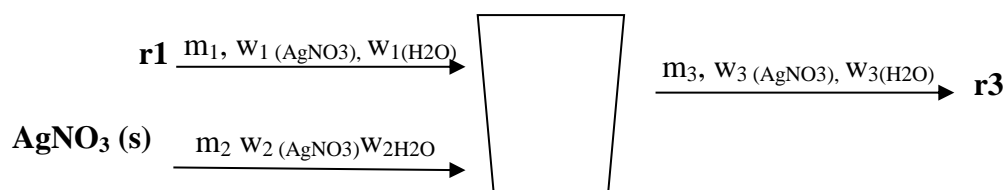
c) Obsah fosforu v rudě: $w(ruda) = 0,28 * 0,4364 = 0,1222 = 12,22 \%$.

d) Odpověď: V rudě je 12,22 % fosforu.

**Úlohy ukázkové IV.**

1. K 450 ml roztoku AgNO_3 o koncentraci $0,108 \text{ mol.dm}^{-3}$ bylo přidáno 35,0 g pevného AgNO_3 , který ovšem obsahoval 3,5 % vlhkosti. K této směsi bylo přidáno tolik vody, že výsledný objem roztoku byl 1 dm^3 . Vypočítejte koncentraci AgNO_3 v připraveném roztoku. M_{AgNO_3} je $169,9 \text{ g.mol}^{-1}$.

a) Znázorníme děj pomocí schématu:



b) Znamé hodnoty: $c_1 = 0,108 \text{ mol.dm}^{-3}$, $V_1 = 0,450 \text{ dm}^3$

$$m_2 = 35 \text{ g}, w_{\text{H}_2\text{O}} = 0,035, M_{\text{AgNO}_3} \text{ je } 169,9 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$V_3 = 1 \text{ dm}^3$$

Hledáme $c_3 (\text{AgNO}_3)$.

c) Pro výpočet využijeme vztahy: $w(A) = \frac{m(A)}{m} = \frac{m(A)}{V \cdot \rho} = \frac{n(A) \cdot M(A)}{V \cdot \rho} = \frac{c(A) \cdot M(A)}{\rho} \rightarrow n = c \cdot V$

d) Bilanční rovnice pro AgNO_3 : $m_1 w_{1(\text{AgNO}_3)} + m_2 (1 - w_{2(\text{H}_2\text{O})}) = m_3 w_{3(\text{AgNO}_3)}$

Bilanční rovnice pro vodu: $m_1 w_{1(\text{H}_2\text{O})} + m_2 w_{2(\text{H}_2\text{O})} = m_3 w_{3(\text{H}_2\text{O})}$

Celková hmotnostní bilance: $m_1 + m_2 = m_3$, ale budeme bilancovat látkové množství AgNO_3 : $n_1 + n_2 = n_3$.

$$e) c_1 \cdot V_1 + \frac{m_2 \cdot (1 - w_{\text{H}_2\text{O}})}{M_{\text{AgNO}_3}} = c_3 \cdot V_3 \rightarrow c_3 = \frac{c_1 \cdot V_1 + (m_2 \cdot (1 - w_{\text{H}_2\text{O}}) / M)}{V_3} = \frac{0,108 \cdot 0,450 + (35 \cdot \frac{1 - 0,035}{169,9})}{1} =$$

$$0,247 \text{ mol.dm}^{-3}.$$



2. Neznámá sloučenina železa, titanu a kyslíku obsahuje 31 hm. % titanu, 37 hm. % železa a 32 hm. % kyslíku. Určete stechiometrické koeficienty ve vzorci $\text{Fe}_x\text{Ti}_y\text{O}_z$.

$$x : y : z = \frac{w_{\text{Fe}}}{M_{\text{Fe}}} : \frac{w_{\text{Ti}}}{M_{\text{Ti}}} : \frac{w_{\text{O}}}{M_{\text{O}}} = \frac{37}{55,8} : \frac{31}{47,9} : \frac{32}{16} \approx 0,66 : 0,65 : 2 \approx 1 : 1 : 3$$

Vzorec látky je FeTiO_3 , titaničitan železnatý.

3. Železo se vyrábí ve vysoké peci redukcí železné rudy (Fe_2O_3) koksem (C) za vzniku elementárního železa a CO_2 . Kolik tun koksu je potřeba pro výrobu 10 tun železa?

a) Sestavíme a vyčíslíme rovnici: $2 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{C} \rightarrow 4 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$

b) Tato rovnice říká, že molární poměr C a Fe je: $\frac{n_{\text{C}}}{n_{\text{Fe}}} = \frac{3}{4}$

c) Potřebné látkové množství a hmotnost koksu určíme pomocí zadaného množství železa:

$$n_{\text{C}} = \frac{3}{4} \cdot n_{\text{Fe}} = \frac{3}{4} \cdot \frac{m_{\text{Fe}}}{M_{\text{Fe}}} = \frac{3}{4} * \frac{10000000}{55,846} = 134288,272 \text{ g}$$

$$m_{\text{C}} = n_{\text{C}} \cdot M_{\text{C}} = 134288,272 * 12,01 = 1612802,149 \text{ kg} = 1,613 \text{ tun.}$$

d) Pro výrobu 10 tun železa je potřeba 1,613 tun koksu.

4. Zjistěte, jaké hmotnosti CaO a H_2O musí zreagovat, aby vzniklo 1 kg Ca(OH)_2 .

a) Sestavíme rovnici: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$.

b) Známé hodnoty: $m_{\text{Ca(OH)}_2} = 1 \text{ kg}$

$$M_{\text{CaO}} = 56 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$M_{\text{Ca(OH)}_2} = 74 \text{ g.mol}^{-1}$$



$$M_{H_2O} = 18 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

c) Pro výpočet využijeme vztahy: $n(A) = \frac{m(A)}{M(A)}$.

d) Z rovnice je zřejmé, že látkové množství CaO odpovídá látkovému množství vzniklého Ca(OH)₂. Proto platí: $n_{CaO} : n_{Ca(OH)_2} = 1 : 1$ a $n_{H_2O} : n_{Ca(OH)_2} = 1 : 1$

$$\frac{m(CaO)}{M(CaO)} = \frac{m(Ca(OH)_2)}{M(Ca(OH)_2)} = \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)}$$

$$m(CaO) = \frac{m(Ca(OH)_2)}{M(Ca(OH)_2)} \cdot M(CaO).$$

e) Dosadíme hodnoty: $m(CaO) = \frac{1000}{74} * 56 = 757 \text{ g}$.

$$m(H_2O) = \frac{1000}{74} * 18 = 243 \text{ g}.$$

f) Aby vzniklo 1 kg hašeného vápna, musí zreagovat 757 g páleného vápna s 243 g vody.

**Úlohy k procvičení IV.**

1. Určete objem 50 % roztoku NaOH (hustota $1,5253 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) potřebného k přípravě 1000 ml 2M roztoku. [104,9 ml]
2. Kolik gramů hydroxidu draselného musíme navážít pro přípravu 1 litru 0,5 molárního roztoku? Hydroxid draselný, který máme k dispozici, obsahuje 2% vlhkosti. [28,62 g]
3. Vypočítejte objem koncentrované kyseliny dusičné ($w=0,67$, $\rho=1,4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) a objem vody, potřebných k přípravě půl litru roztoku ($w=0,25$, $\rho=1,19 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$).
[373 ml vody, 158 ml kyseliny]
4. Při havárii kamionu převážejícího 10% roztok kyseliny chlorovodíkové se na silnici vylilo 100 l kyseliny. Kolik kilogramů hydroxidu vápenatého musí hasiči použít pro její neutralizaci? Hustota 10% kyseliny chlorovodíkové je $1,048 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. [10,65 kg]
5. Vypočítejte objem roztoku kyseliny sírové o koncentraci $c = 0,5 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ potřebného k neutralizaci 50 cm³ roztoku hydroxidu sodného o koncentraci $c = 0,2 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$. [10 ml]
6. Sýr „Eidam 45“ obsahuje 45 hm. % tuku v sušině. Obsah sušiny v sýru je 53 %, zbytek je voda. Určete obsah tuku v tomto sýru. [23,85 %]
7. Při výrobě porcelánových izolátorů se používá směs obsahující 45 % kaolínu, 25 % křemene, 20 % živce a 10 % vody. Při sušení a výpalu dojde k celkové ztrátě hmotnosti 14 %. Vypočítejte, kolik kaolínu je potřeba pro výrobu izolátoru o hmotnosti 4500 g. [2 354,65 g]
8. Nejlepší nálev na znojemské okurky má následující složení: 750 ml vody, 250 ml octa (8% roztok kyseliny octové ve vodě), 30 g soli a 70 g cukru. Určete hmotnostní zlomek kyseliny octové ve výsledném produktu (obsahu láhve sterilovaných okurek). Složení tohoto produktu je 500 g okurek a 150 g nálevu. [0,42 %]
9. Surovinová směs pro výrobu cementu by měla obsahovat 70 hm. % uhličitanu vápenatého a 30 % jílových minerálů křemene. V lomu se ovšem aktuálně těží vápenc, který obsahuje pouze 67 % CaCO₃. Jeho složení je proto třeba upravit tzv. vysokoprocentní korekcí, což je čistý (100 %) CaCO₃. Určete, jaké množství aktuálně těženého vápence a vysokoprocentní korekce je třeba smíchat, abychom získali 1 tunu surovinové směsi optimálního složení.
[0,91 t vápence a 0,09 t korekce]
10. Při odstraňování kotelního (vodního) kamene z kotlů v teplárně se používá 3% (hmotnostně) roztok kyseliny chlorovodíkové (HCl). Do teplárny přichází HCl v cisterně ve formě koncentrovaného roztoku (40 hm. %). Máte za úkol připravit 5 t 3% roztoku; spočítejte, kolik kg koncentrovaného (40%) roztoku a kolik kg vody budete potřebovat.



Hustota koncentrovaného roztoku je $1,198 \text{ g/cm}^3$, hustota zředěného roztoku pak $1,013 \text{ g/cm}^3$.

[375 kg HCl a 4 625 kg vody]

11. Zákazník dodal do pěstitecké pálenice 40 litrů meruňkového kvasu, ze kterého bylo vydestilováno 3,8 litru destilátu o obsahu ethanolu 62 obj. %. Zákazník však požadoval destilát o koncentraci 45 obj. %, proto ho musela obsluha pálenice naředit vodou na požadovanou koncentraci. Spočítejte, kolik vody musela obsluha použít a kolik nápoje si zákazník odnesl. Hustota 45% nápoje je $0,939 \text{ g/cm}^3$, hustota výchozího destilátu je $0,9 \text{ g/cm}^3$. (Objemy v tomto systému nelze prostě sčítat, protože dochází ke změně hustoty.)

[použito 1,436 l vody, zákazník odnesl 5,17 l nápoje]

12. Určete obsah tuku v gothajském salámu vyrobeném podle následující receptury na 100 kg směsi (číslo v závorce udává hmotností % tuku v ingredienci): 29 kg hovězí zadní (12 % tuku), 29 kg vepřové libové (18 %), 5,5 kg vepřové tučné (48 %), 35 kg sádla (85 %), 1,5 kg sůl a koření (0 %).

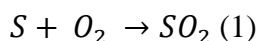
[41,09 %]

13. Při výrobě vápna pálením uhličitanu vápenatého (1) se uvolňuje oxid uhličitý. Jako zdroj tepla pro rozklad (1) se používá současné spalování černého uhlí; předpokládejte, že uhlí obsahuje 90 hm. % uhlíku, který hoří dle (2). Uhlí se dávkuje v množství 10 % uhličitanu vápenatého. Spočítejte, kolik kilogramů CO_2 se celkem uvolní při výrobě 1 t oxidu vápenatého. $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ (1) $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ (2)

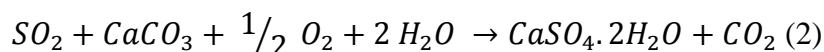
[1,37 t]

15. Zinek se vyrábí z minerálu jménem sfalerit – chemicky je to sulfid zinečnatý. Ruda těžená v dole obsahuje 62 hm. % sfaleritu (zbytek je křemen). Určete obsah zinku v rudě. [41,63 %]

16. Ve chvaletické elektrárně se denně spálí 7500 tun (5 vlaků) hnědého uhlí. Toto uhlí obsahuje 1.5 hm. % síry, která při spalování uhlí také shoří podle rovnice (1):



Aby vznikající oxid siřičitý nezpůsobil kyselou dešť, je třeba ho ze spalin odstranit vypírkou spalin vápencovou suspenzí (2), kdy oxid siřičitý přejde reakcí s uhličitanem vápenatým na sádrovec a ten je buď skládkován, nebo použit k výrobě sádrových pojiv.



Spočítejte, kolik CaCO_3 denně spotřebuje chvaletická elektrárna?

[351 t]

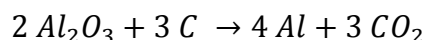
17. Při tuhnutí sádry probíhá rekrystalizace hemihydrátu síranu vápenatého na dihydrát (sádrovec) dle rovnice: $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O} + \frac{3}{2} \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Určete minimální potřebný „vodní součinitel“ – hmotnostní poměr vody a hemihydrátu – pro ztuhnutí sádry. V praxi se používá poměr vyšší – proč?

[0,186]

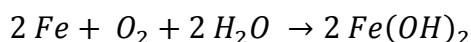


18. Hliník se vyrábí elektrolýzou oxidu hlinitého, rozpuštěného v solné tavenině. Používají se uhlíkové elektrody, které se během výroby opalují, a celková reakce procesu je:



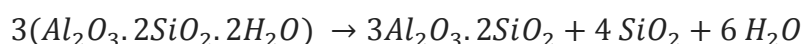
Spočítejte spotřebu oxidu hlinitého a uhlíkových elektrod na vyrobení 1 t hliníku. [1 888,9 kg oxidu hlinitého a 333,3 kg C]

19. Rychlost koroze kovových materiálů se udává ve formě korozních úbytků v gramech zkorodovaného kovu na plochu a čas ($g \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$). Mějme starou loď s ocelovým trupem, s poškozeným nátěrem, zakotvenou v mořském přístavu. Za těchto podmínek je korozní rychlost oceli $210 g \cdot m^{-2} \cdot rok^{-1}$ (nebo-li 0,028 mm/rok). Koroze probíhá dle rovnice:



Vypočítejte, jaké množství hydroxidu železnatého se vytvoří za těchto podmínek na $1 m^2$ trupu lodi za rok. [337,5 g]

20. Při výrobě některých druhů keramických výrobků (porcelán, žárovzdorné výrobky) dochází při výpalu (až do $1400 \text{ }^\circ\text{C}$) k transformaci kaolinitu (jílový minerál, surovina) na mullit (minerál přinášející keramice pevnost a odolnost proti změnám teploty) a kristobalit (modifikace SiO_2):



Vypočítejte % hmotnostního úbytku keramického výrobku, jestliže na počátku sušení a výpalu obsahoval 40 % kaolinitu, 10 % vody (při sušení a výpalu se vypařuje) a 50 % dalších minerálů, jejichž hmotnost se při sušení a výpalu nemění. [15,6 %]



Literatura:

Marko M., Horváth S., Kandráč J., Příklady a úlohy z chemie. Státní pedagogické nakladatelství v Praze, 1978. 14-695-78

Flegr V., Holečková E., Úlohy z názvosloví a chemických výpočtů v anorganické chemii, 2017. VŠCHT Praha. ISBN 978-7080-435-3

Veselý M., Željazková O. 1955, Analytická chemie odměrná. SNTL Praha