



## 2. Obliczenia stechiometryczne.

Obliczeniami stechiometrycznymi nazywamy obliczenia chemiczne przeprowadzane za pomocą znajomości wzorów i równań chemicznych. Równanie chemiczne przedstawia jakościowy i ilościowy charakter zmian zachodzących podczas reakcji chemicznej, zapisany przy pomocy symboli pierwiastków i wzorów związków chemicznych.

**W obliczeniach stosujemy masy molowe substancji zaokrąglone do jedności.**

### 2. 1. Podstawowe prawa chemii.

Obliczenia stechiometryczne oparte są na wymienionych podstawowych prawach chemii:

**Prawo zachowania masy.** W każdej przemianie chemicznej suma mas substancji reagujących nie ulega zmianie.

Np. dla reakcji  $A + B = C + D$

$$m_a + m_b = m_c + m_d$$

gdzie A, B, C, D - substancje biorące udział w reakcji

$m_a, m_b, m_c, m_d$  - masy substancji odpowiednio A, B, C i D

**Prawo stosunków stałych.** (Prawo stałości składu chemicznego)

Pierwiastki tworzące związek chemiczny łączą się ze sobą w ściśle określonych, stałych stosunkach wagowych. Stosunek wagowy pierwiastków w dowolnej ilości związku jest taki sam jak w jednej cząsteczce tego związku, na przykład w dwutlenku węgla  $CO_2$  mamy:

$$\begin{aligned} m_C : m_O \\ 12 : 2 \cdot 16 \\ 12 : 32 \\ 3 : 8 \end{aligned}$$

**Prawo stosunków wielokrotnych.**

Jeżeli pierwiastki tworzą ze sobą kilka związków, to masy jednego pierwiastka przypadające na tą samą masę drugiego pierwiastka tworzą szereg liczb całkowitych. Na przykład w tlenkach azotu:

$N_2O$	28 : 16	1
$NO$	28 : 32	2
$N_2O_3$	28 : 48	3
$NO_2$	28 : 64	4
$N_2O_5$	28 : 80	5

Ilości wagowe tlenu przypadające na stałą ilość wagową azotu (28 g) tworzą szereg prostych liczb całkowitych 1 : 2 : 3 : 4 : 5.

**Prawo stosunków objętościowych Gay-Lussaca.**

Objętości reagujących ze sobą gazów oraz gazowych produktów ich reakcji, w tych samych warunkach ciśnienia i temperatury, pozostają do siebie w stosunkach niewielkich liczb całkowitych.

Np. dla reakcji  $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$

$$V[N_2] : V[H_2] : V[NH_3] = 1 : 3 : 2$$

**Prawo Avogadro.** Równe objętości różnych gazów, w tych samych warunkach ciśnienia i temperatury, zawierają jednakowe liczby cząsteczek. Jeden mol dowolnego gazu w warunkach normalnych zawiera  $6,023 \cdot 10^{23}$  cząsteczek. Objętość 1 mola dowolnego gazu, tzw. objętość molowa gazu w warunkach normalnych wynosi  $22,4 \text{ dm}^3$ .

Warunki normalne:  $p = 1 \text{ Atm} = 101325 \text{ Pa}$

$$T = 0^\circ\text{C} = 273\text{K}$$

### 2. 2. Obliczenie składu procentowego i wagowego związku chemicznego.

Każdy wzór chemiczny opisuje skład jakościowy i ilościowy związku chemicznego. Przykładowo cząsteczka siarczanu(VI) żelaza(III) o wzorze  $Fe_2(SO_4)_3$  składa się z dwóch atomów żelaza, trzech atomów siarki i dwunastu atomów tlenu. Symbole i wzory chemiczne oznaczają nie tylko atomy i cząsteczki, lecz także ilości wagowe substancji liczbowo równe ich masom atomowym lub molowym. Stąd jedna cząsteczka siarczanu(VI) żelaza(III) posiada masę równą sumie mas atomowych pierwiastków wchodzących w skład cząsteczki, czyli wynosi  $2 \cdot 56u + 3(32u + 4 \cdot 16u) = 400u$ . (u - jednostka masy atomowej). Jeden mol siarczanu(VI) żelaza(III) zawiera  $6,023 \cdot 10^{23}$  cząsteczek tej soli i posiada masę 400g. Na podstawie wzorów chemicznych można zatem obliczyć skład procentowy związku chemicznego.



Objętość gazów występujących w innych warunkach sprowadza się do warunków normalnych wykorzystując poszczególne prawa gazowe.

Z prawa Boyle'a - Mariotte'a, Charlesa i Gay Lussaca wynika następujący związek pomiędzy objętością  $V$ , ciśnieniem  $p$  i temperaturą bezwzględną  $T$  danej masy gazu:

$$\frac{p_o V_o}{T_o} = \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (m = \text{const.}) \quad [1]$$

gdzie:  $p_o, v_o, T_o$  - określają parametry gazu w warunkach normalnych  
 $p_1, v_1, T_1$  - określają parametry gazu w stanie 1  
 $p_2, v_2, T_2$  - określają parametry gazu w stanie 2.

lub  $pV/T = \text{const}$  ( $m = \text{const}$ ) [2]

Jeżeli wyrazimy masę gazu za pomocą liczby moli "n" i uwzględnimy prawo Avogadry, to otrzymamy zależność zwaną równaniem stanu gazu doskonałego lub równaniem Clapeyrona.

$$pV = nRT \quad [3]$$

gdzie:  $p$  - ciśnienie [Pa]  
 $V$  - objętość [ $\text{dm}^3$ ]  
 $n$  - ilość moli substancji gazowej  
 $R$  - stała gazowa = 8,31 [J/mol K]  
 $T$  - temperatura w skali bezwzględnej [K]

**Przykład 4.** Obliczyć objętość dwutlenku węgla powstałego podczas prażenia 1Mg skały wapiennej zawierającej 80%  $\text{CaCO}_3$  i resztę domieszek nieaktywnych. Objętość  $\text{CO}_2$  podać w warunkach normalnych i w warunkach prowadzenia procesu gdzie  $t = 1100^\circ\text{C}$ ,  $p = 980 \text{ hPa}$ .

**Rozwiązanie:**

Podczas prażenia węglanu wapnia zachodzi reakcja:  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

Z jednego mola węglanu wapnia tj.  $40\text{g} + 12\text{g} + 3 \cdot 16\text{g} = 100\text{g}$  otrzymuje się jeden mol dwutlenku węgla, który zajmuje objętość  $22,4 \text{ dm}^3$  w warunkach normalnych.

$1\text{Mg} = 10^6\text{g}$  skały wapiennej zawiera  $0,8 \cdot 10^6$  czystego  $\text{CaCO}_3$ .

Znając masę molową  $\text{CaCO}_3$ , oraz masę czystego węglanu wapnia w skale otrzymujemy zależność proporcjonalną:

$$\begin{array}{l} 100 \text{ g CaCO}_3 \quad \text{---} \quad 22,4 \text{ dm}^3 \text{ CO}_2 \\ 0,8 \cdot 10^6 \text{ g CaCO}_3 \quad \text{---} \quad x \text{ dm}^3 \text{ CO}_2 \end{array}$$

$$\frac{22,4 \text{ dm}^3 \cdot 0,8 \cdot 10^6 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 179200 \text{ dm}^3 = 179,2 \text{ m}^3 \text{ CO}_2$$

Objętość dwutlenku węgla zmierzona w warunkach normalnych wynosi  $179,2 \text{ m}^3$ . Objętość  $\text{CO}_2$  w warunkach rzeczywistych można obliczyć ze wzoru [1]

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_o V_o}{T_o}$$

$$V_1 = \frac{1013,25 \text{ hPa} \cdot 179,2 \text{ m}^3 \cdot 1373 \text{ K}}{980 \text{ hPa} \cdot 273 \text{ K}} = 931,83 \text{ m}^3$$

## 2. 5. Zadania kontrolne

- Obliczyć procentową zawartość żelaza w następujących jego związkach:
  - hematyt  $\text{Fe}_2\text{O}_3$
  - magnetyt  $\text{Fe}_3\text{O}_4$
  - wustyt  $\text{FeO}$
  - piryt  $\text{FeS}_2$
  - syderyt  $\text{FeCO}_3$
  - limonit  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
- Obliczyć procentową zawartość siarki w następujących związkach:
  - siarczek żelaza(III) -  $\text{Fe}_2\text{S}_3$
  - wodorosiarczan(IV) żelaza(II) -  $\text{Fe}(\text{HSO}_3)_2$
  - siarczan(IV) hydroksożelaza(II) -  $(\text{FeOH})_2\text{SO}_3$
  - siarczan(VI) żelaza(III) -  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$
- Obliczyć zawartość procentową wody w następujących solach uwodnionych:
  - $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
  - $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
  - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
  - $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- Obliczyć, ile gramów i ile moli Al znajduje się w:
  - 1 kg siarczanu(VI) glinu -  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
  - 200 g wodorotlenku glinu -  $\text{Al}(\text{OH})_3$
  - 0,15 kg tlenku glinu -  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- Obliczyć, ile gramów i ile moli siarki znajduje się w:
  - 2 kg siarczanu(VI) cynku -  $\text{ZnSO}_4$
  - 0,2 kg siarczku cynku -  $\text{ZnS}$
- Obliczyć ile gramów rtęci należy użyć, aby otrzymać 5 moli  $\text{HgO}$ .
- Podczas rozpuszczania magnezu w kwasie siarkowym(VI) utworzyło się 36 g siarczanu(VI) magnezu. Ile ważył użyty w reakcji magnez? ile gramów kwasu zużyto na jego rozpuszczenie?
- Obliczyć, ile moli wodoru potrzeba do całkowitej redukcji 80g tlenku żelaza(III) -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  do żelaza?
- Obliczyć, ile moli wody otrzyma się podczas redukcji 200 g tlenku miedzi(I) -  $\text{Cu}_2\text{O}$  do miedzi metalicznej.
- Spalono w tlenie 20 g metalicznego magnezu. Ile gramów i ile moli tlenku magnezu powstało w reakcji?
- Podczas rozkładu tlenku srebra otrzymano 43,2 g srebra oraz 3,2 g tlenu. Obliczyć, ile gramów i ile moli  $\text{Ag}_2\text{O}$  uległo rozkładowi.
- Obliczyć, ile gramów i ile moli magnezu potrzeba do otrzymania 52,4g ortofosforanu(V) magnezu -  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ .
- Ile gramów wodorotlenku sodu potrzeba do przeprowadzenia 100g azotanu(V) żelaza(III) -  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  w wodorotlenek żelaza(III) -  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .
- Obliczyć, ile gramów i ile moli  $\text{H}_3\text{PO}_4$  należy zużyć do zobojętnienia 50 g  $\text{KOH}$ .
- Obliczyć, ile gramów wodorotlenku potasu trzeba zużyć do przeprowadzenia 70 g kwasu siarkowego(VI) w sól kwaśną, a ile w sól obojętną.
- Obliczyć, ile gramów i ile moli chlorku srebra  $\text{AgCl}$  powstanie w wyniku reakcji 24 g  $\text{AgNO}_3$  z nadmiarem kwasu solnego.
- Obliczyć, ile gramów i ile moli wapnia znajduje się w 3 kg naturalnego wapniaku zawierającego 90%  $\text{CaCO}_3$ .
- Obliczyć, ile gramów i ile moli żelaza znajduje się w 1,5 kg rudy hematytowej ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) zawierającej 8% zanieczyszczeń.
- Jedna z rud zawiera 90% pirytu -  $\text{FeS}_2$  i 10% arsenopirytu -  $\text{FeAsS}$ . Ile kilogramów siarki zawarte jest w 1 tonie rudy?
- Obliczyć, ile gramów fosforu zawiera 1 kg 60% roztworu  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .
- Obliczyć, ile gramów 8% roztworu  $\text{HNO}_3$  trzeba zużyć do zobojętnienia 4 g  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .
- Obliczyć, ile  $\text{dm}^3$  wodoru (w warunkach normalnych) można otrzymać w reakcji wody z 1 molem atomów: a) sodu; b) wapnia.
- Spalono w tlenie 2  $\text{dm}^3$  tlenku węgla -  $\text{CO}$ . Obliczyć (w tych samych warunkach ciśnienia i temperatury) objętość:
  - $\text{CO}_2$  otrzymanego w wyniku reakcji
  - tlenu zużytego do spalenia  $\text{CO}$ .
- Podczas spalania 3 g antracytu otrzymano 5,3  $\text{dm}^3$  dwutlenku węgla (zmierzonego w warunkach normalnych). Ile procent węgla zawierał antracyt?
- Ile  $\text{dm}^3$  wodoru (w warunkach normalnych) wydzieli się w reakcji 60 g magnezu z nadmiarem kwasu solnego?

26. Ile gramów i ile moli cynku należy rozpuścić w nadmiarze kwasu siarkowego(VI), aby otrzymać 60 dm<sup>3</sup> wodoru (w warunkach normalnych)?
27. Obliczyć, ile moli i ile dm<sup>3</sup> wodoru (w warunkach normalnych) wydzielą się po rozpuszczeniu 200 g technicznego cynku zawierającego 87% Zn w nadmiarze kwasu solnego.
28. Obliczyć, ile gramów cynku, zawierającego 8% zanieczyszczeń trzeba użyć w reakcji z nadmiarem HCl aby otrzymać 50 dm<sup>3</sup> wodoru zmierzonych w warunkach normalnych.
29. Obliczyć, ile gramów magnezu i 20% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> trzeba zużyć w reakcji, aby otrzymać 100 dm<sup>3</sup> wodoru (w warunkach normalnych).
30. Obliczyć, ile dm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> (zmierzonego w warunkach normalnych) można otrzymać z rozkładu termicznego 2 kg CaCO<sub>3</sub>.
31. Obliczyć, ile gramów węglanu wapnia CaCO<sub>3</sub> oraz 20% kwasu solnego potrzebna jest do otrzymania 11,2 dm<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> zmierzonego w warunkach normalnych.
32. Przez prażenie 300 kg wapienia otrzymano 60 m<sup>3</sup> dwutlenku węgla w warunkach normalnych. Obliczyć, jaki procent masy w użytym do prażenia wapieniu stanowiły zanieczyszczenia .
33. Etylen C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> jest gazem, który reaguje z wodą bromową zgodnie z równaniem:  

$$C_2H_4 + Br_2 = C_2H_4Br_2$$
 Jaka objętość etylenu zmierzonego w warunkach normalnych przereaguje z 5g 0,1% roztworu wody bromowej?
34. Jaka objętość gazów zmierzonych w warunkach normalnych powstanie podczas wybuchu 1g trotylu? Reakcja przebiega zgodnie z równaniem:  

$$2C_6H_2CH_3(NO_2)_3 \rightarrow 3N_2 + 12CO + 5H_2 + 2C$$
35. Węglan magnezu rozkłada się na tlenek magnezu i dwutlenek węgla. Jaka objętość CO<sub>2</sub>
36. Wyrazić w kilomolach, megagramach i jednostkach objętości ilość dwutlenku siarki SO<sub>2</sub> emitowaną do atmosfery przez kotłownię spalającą 1000kg węgla zawierającego 2% siarki, przy założeniu, że cała siarka ulega przemianie do SO<sub>2</sub> . Obliczenia wykonać:  
 a) dla warunków normalnych  
 b) dla temp. 50 °C, ciśn. 1100 hPa
37. Jaka objętość powietrza, zawierającego 20% tlenu, potrzebna jest do spalenia 100 cm<sup>3</sup> gazu turystycznego o składzie: 40% obj. propanu C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> i 60% obj. butanu C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, jeżeli produktami spalania są: CO<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O. Obliczenia wykonać:  
 a) dla warunków normalnych  
 b) dla temp. 60 °C, ciśn. 980 hPa.
38. CS<sub>2</sub> jest cieczą o gęstości 1,26 g/ cm<sup>3</sup>. Jaka jest objętość produktów spalania 1 cm<sup>3</sup> dwusiarczku węgla? Obliczenia wykonać:  
 a) dla warunków normalnych  
 b) dla temp. 40 °C, ciśn. 1200 hPa