

# 2.

## WYRAŻANIE STĘŻEŃ

Iwona Żak

**Stężeniem roztworu** określa się ilość substancji (wyrażoną w jednostkach masy lub objętości) zawartą w określonej jednostce objętości lub masy roztworu, czasami rozpuszczalnika. Zgodnie z Międzynarodowym Układem Jednostek Miar (*Systeme International*), zwanym skrótowo SI:

**jednostką objętości** jest metr sześcienny ( $m^3$ ), **jednostką masy** jest kilogram (kg).

Podwielokrotnościami jednostki objętości są:  $dm^3$ ,  $cm^3$ ,  $mm^3$ . W wykazie legalnych jednostek miar, nie należących do układu SI, znajduje się litr (l) jako równocenna jednostka objętości równa  $dm^3$ , czyli  $10^{-3} m^3$ . Podwielokrotnościami litra są: mililitr (ml) równy  $cm^3$ , mikrolitr ( $\mu l$ ) równy  $mm^3$ . Podwielokrotnościami jednostki masy są: gram (g), miligram (mg), mikrogram ( $\mu g$ ). Podstawową jednostką ilości (liczności) materii jest mol. **Mol** to ilość materii, zawierająca taką liczbę cząstek (atomów, cząsteczek, rodników, jonów), która jest zawarta w masie 0,012 kg izotopu węgla  $^{12}C$ . W masie 0,012 kg izotopu węgla  $^{12}C$  (czyli w 12 g) zawarta jest ilość atomów węgla równa liczbie Avogadra ( $6,023 \cdot 10^{23}$ ). Choć każdy mol zawiera taką samą liczbę cząstek, która odpowiada liczbie Avogadra, to jednak nie jest jej równy, ponieważ poszczególne cząstki materii mają określoną masę i objętość, natomiast liczba jest pojęciem nie związanym z masą i objętością. Niepoprawne jest określenie, że mol jest równy liczbie Avogadra.

**Masa molowa** jest masą jednego mola cząstek (atomów, cząsteczek, rodników, jonów). Jednostką masy molowej jest kilogram na mol (kg/mol), praktycznie g/mol, a symbolem masy molowej jest M. Masa molowa zastępuje stosowane wcześniej pojęcia gramocząsteczka, gramoatom, gramojon.

Do wyrażania stężeń roztworów najczęściej używa się stężenia molowego (molarnego), rzadziej molalnego. Powszechnie też stężenia wyraża się w procentach. Stężenia procentowe i ich zapisy (% m/m, % m/V, % V/V) nie są zalecane w normach międzynarodowych ISO (*International Organization Standardization*) oraz w normach polskich. Są traktowane jako niewłaściwe, ponieważ procent nie jest jednostką miary. Powszechność stosowania stężeń procentowych zobowiązuje do ich poznania, omówienia i zdobycia umiejętności przeliczenia ich na inne jednostki stężenia.

## Stężenie molowe

Stężenie molowe ( $c_m$ ) wyraża liczbę moli składnika A w jednym litrze roztworu. Podstawową jednostką stężenia roztworu jest **mol/l**, która określa liczbę moli ( $n_A$ ) składnika A zawartą w objętości ( $V$ ) 1 litra, czyli  $1 \text{ dm}^3$  roztworu i w ten sposób powinno być zawsze wyrażane.

$$C_{m(\text{mol/l})} = \frac{n_A (\text{mol})}{V (\text{litr})}$$

W literaturze chemicznej, szczególnie w biochemicznej, stężenie molowe powszechnie wyraża się za pomocą symbolu M. Przykładowo – zapis 2 M oznacza stężenie 2 mol/l. Sposób ten jest wygodny i powszechnie stosowany, ale należy pamiętać, że M w układzie SI jest symbolem masy molowej. Stężenie molowe zależy od temperatury.

W przypadku roztworów rozcieńczonych stosuje się podwielokrotności stężenia molowego, mianowicie: stężenie milimolowe (mmol/l), mikromolowe ( $\mu\text{mol/l}$ ), nanomolowe (nmol/l). Sporządzając roztwór o określonym stężeniu molowym należy rozpuścić określoną liczbę moli substancji w mniejszej ilości rozpuszczalnika niż oczekiwana objętość końcowa, po czym uzupełnić w kolbie miarowej rozpuszczalnikiem do ostatecznej objętości 1 litra.

Stężenie molowe (mol/l) składnika A w dowolnej objętości można łatwo obliczyć znając:

masę substancji rozpuszczonej  $m_A$  w gramach,

masę molową  $M_A$  składnika A w g/mol,

objętość roztworu  $V$  w mililitrach,

wówczas można wykorzystać poniższą zależność:

$$C_A = \frac{m_A \cdot 1000}{M_A V}$$

gdzie:

$m_A/M_A$  – liczba moli substancji A w  $V$  ml roztworu,

$m_A/M_A V$  lub  $C_A/1000$  – liczba moli substancji A w 1 ml roztworu,

$C_A V/1000$  – liczba moli substancji A w  $V$  ml roztworu.

## Stężenie molalne

Molalność ( $C_L$ ) określa liczbę moli ( $n_A$ ) substancji A, przypadającą na jeden kilogram rozpuszczalnika. Jednostką jest mol/kg. Stężenie to nie zależy od temperatury.

$$C_L = \frac{n_A}{m_{\text{rozp.}}}$$

## Ułamek molowy

Ułamek molowy określa stosunek liczby moli ( $n$ ) jednego składnika, np. A do sumy liczby moli wszystkich składników, np. A i B obecnych w roztworze. Jego jednostką jest mol/mol. Suma ułamków molowych wszystkich składników roztworu jest zawsze równa jedności.

$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B + \dots} \qquad x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B + \dots}$$

$$x_A + x_B + \dots = 1$$

## Stężenia procentowe

Stężenia procentowe wyrażane są w trojaki sposób: jako stężenia masowo-masowe, masowo-objętościowe i objętościowo-objętościowe.

**1. Stężenie procentowe masowe** (%; %m/m) – dawniej procent wagowy wyraża liczbę części masowych substancji rozpuszczonej ( $m_s$ ) w 100 tych samych częściach masowych roztworu ( $m_r$ ). Istotną cechą stężenia procentowego masowego jest niezależność od temperatury.

$$C_p = \frac{m_s}{m_r} \times 100\%$$

Stężenie procentowe masowe wyraża liczbę gramów substancji w 100 g roztworu. Przykładowo, 18% HCl oznacza, że w 100 g roztworu kwasu znajduje się 18 g HCl. Za stężenie procentowe wagowe przyjmuje się wszystkie stężenia, których symbol % nie ma specjalnego oznaczenia.

**2. Stężenie procentowe objętościowe** (% v/v) wyraża stosunek części objętościowych substancji ( $V_s$ ) do 100 tych samych części objętościowych roztworu ( $V_r$ ).

$$C_p = \frac{V_s}{V_r} \times 100\%$$

Ten rodzaj stężenia procentowego odnosi się do roztworów substancji ciekłych. Przykładowo, 10% (v/v) wodny roztwór etanolu oznacza, że 10 ml czystego etanolu rozcieńczono wodą do objętości 100 ml.

**3. Stężenie procentowe masowo-objętościowe** (% m/V; g/dl) wyraża liczbę części masowych substancji rozpuszczonej w 100 częściach objętościowych roztworu. Przykładowo, 0,01% (m/V) roztwór  $\text{CuSO}_4$  oznacza, że w 100 ml roztworu znajduje się 0,01 g  $\text{CuSO}_4$ . Chociaż masa i objętość są wyrażone w różnych jednostkach, dopuszcza się traktowanie % (m/V) jako specjalną formę stężenia masowego. Stężenie masowe wyraża stosunek masy danego składnika do objętości roztworu zawierającego tę masę ( $m_A/V$ ). W przypadku rozcieńczonych roztworów wodnych można przyjąć, że gęstość ( $d$ ) równa się jedności ( $d=1$ ), wówczas  $m/V=m/m$ . W innych rozpuszczalnikach zależność ta nie występuje, wówczas zamiast zapisu np. roztwór 0,01% (m/V), należy podawać 0,1 mg/ml. Dla bardziej rozcieńczonych roztworów jednostką masy na jednostkę objętości, poza mg/ml, jest  $\mu\text{g/ml}$ , lub  $\text{ng}/\mu\text{l}$ .

Jednostka mg% stosowana często w diagnostyce klinicznej nie jest zalecana, odpowiednikiem jest jednostka mg/dl, oznaczająca liczbę miligramów substancji zawartą w 100 ml roztworu.

**Promile** ( $\text{‰}$ ; g/l) to stężenie masowe, wyrażające liczbę gramów substancji rozpuszczonej w litrze roztworu.

W analizie śladowej są stosowane specjalne jednostki do wyrażania stężeń składników, tj.: ppm, ppb lub ppt.

- ⇒ **ppm [parts per million ( $10^6$ )]**, to część na milion, (czyli  $10^{-6}\text{g/g}$ ), może wyrażać np. liczbę mikrogramów substancji zawartą w 1 gramie roztworu ( $1\ \mu\text{g/g}$ ) lub w 1 mililitrze roztworu ( $\mu\text{g/ml}$ ). Może też wyrażać liczbę miligramów substancji zawartą w 1 kilogramie (lub 1 litrze) roztworu, bądź liczbę gramów substancji zawartą w 1 tonie (lub w 1 000 000 ml) roztworu. 1 ppm stanowi stężenie  $10^{-4}\%$ .
- ⇒ **ppb [parts per billion ( $10^9$ , miliard)]** to część na miliard, (czyli  $10^{-9}\text{g/g}$ ), może wyrażać liczbę nanogramów substancji zawartą w 1 gramie roztworu ( $1\ \text{ng/g}$ ) lub w 1 mililitrze roztworu ( $\text{ng/ml}$ ). Może też wyrażać liczbę mikrogramów substancji zawartą w 1 kilogramie (lub 1 litrze) roztworu. 1 ppb stanowi stężenie  $10^{-7}\%$ .
- ⇒ **ppt [parts per trillion ( $10^{12}$ , bilion)]** to część na bilion, (czyli  $10^{-12}\text{g/g}$ ), może wyrażać liczbę pikogramów substancji zawartą w 1 gramie roztworu ( $\text{pg/g}$ ) lub w 1 mililitrze roztworu ( $\text{pg/ml}$ ). 1 ppt stanowi stężenie  $10^{-10}\%$ .

## PRZYKŁADY OBLICZANIA STĘŻEŃ

### PRZYKŁAD 1.

Ile należy zważyć kwasu askorbinowego, aby przygotować 250 ml wodnego roztworu tego kwasu o stężeniu 0,05 mol/l.

#### *Rozwiązanie:*

Masa cząsteczkowa kwasu askorbinowego = 176, czyli 1 mol = 176 g

1M	–	176 g	
0,05M	–	x	x = 8,8 g
1000 ml roztworu	–	8,8 g kwasu askorbinowego	
250 ml roztworu	–	x g kwasu askorbinowego	

$$x = \frac{250 \text{ ml} \cdot 8,8 \text{ g}}{1000 \text{ ml}} = 2,2 \text{ g}$$

**Odp.** Należy zważyć 2,2 g kwasu askorbinowego, wsypać ilościowo do kolby miarowej na 250 ml, rozpuścić w wodzie, po czym uzupełnić wodą do poziomu kreski (250 ml).

### PRZYKŁAD 2.

Oblicz stężenie molowe roztworu, wiedząc że w 100 ml roztworu znajduje się 176 mg kwasu askorbinowego.

#### *Rozwiązanie:*

176 mg kwasu askorbinowego = 0,176 g kwasu

#### **Sposób 1:**

100 ml roztworu zawiera	–	0,176 g kwasu askorbinowego	to
1000 ml roztworu zawiera	–	1,76 g kwasu askorbinowego	
176 g	–	1 mol/l	
1,76 g	–	x	x = 0,01 mol/l

**Sposób 2:**

100 ml roztworu = 0,1 l  
176 g – 1 mol kwasu askorbinowego  
0,176 g – 0,001 mola kwasu askorbinowego

$$C_m = \frac{n}{V} = \frac{0,001 \text{ mol}}{0,11} = 0,01 \text{ mol/l}$$

**Odp.** Roztwór kwasu askorbinowego ma stężenie 0,01 mol/l, czyli 10 mmol/l.

**PRZYKŁAD 3.**

Ile milimoli kwasu askorbinowego znajduje się w 250 ml roztworu o stężeniu 0,05 mol/l.

**Rozwiązanie:**

Stężenie 0,05 mol/l oznacza 50 mmol w 1000 ml, czyli:

1000 ml – 50 mmol  
250 ml – x mmol

$$x = \frac{250 \text{ ml} \cdot 50 \text{ mmol}}{1000 \text{ ml}} = 12,5 \text{ mmol}$$

**Odp.** W 250 ml roztworu o stężeniu 0,05 mol/l znajduje się 12,5 mmol kwasu askorbinowego.

**PRZYKŁAD 4.**

W ilu ml roztworu kwasu askorbinowego o stężeniu 0,05 mol/l znajduje się 200 μmoli kwasu.

**Rozwiązanie:**

Stężenie 0,05 mol/l = 50 mmol/1000 ml = 50 000 μmol/1000 ml,

50 000 μmol – 1000 ml  
200 μmol – x

$$x = \frac{200 \mu\text{mol} \cdot 1000 \text{ ml}}{50000 \mu\text{mol}} = 4 \text{ ml}$$

**Odp.** 200 μmoli kwasu askorbinowego znajduje się w 4 ml 0,05 mol/l roztworu.

### PRZYKŁAD 5.

Jaka jest liczba moli kwasu askorbinowego w 60 ml roztworu o stężeniu 0,1 mol/l.

#### *Rozwiązanie:*

Przekształcając wzór na stężenie molowe, liczbę moli (n) kwasu askorbinowego można obliczyć:

$$n = C_{m(\text{mol/l})} \cdot V_{(l)} = 0,1 \text{ mol/l} \cdot 0,06 \text{ l} = 0,006 \text{ mol}$$

**Odp.** W 60 ml roztworu o stężeniu 0,1 mol/l znajduje się 0,006 moli kwasu askorbinowego.

### PRZYKŁAD 6.

Do 60 ml roztworu kwasu askorbinowego o stężeniu 0,1 mol/l dodano wody do objętości 100 ml, oblicz jakie jest stężenie molowe otrzymanego roztworu.

#### *Rozwiązanie:*

Obliczamy, ile moli substancji wprowadzono do roztworu. W 60 ml roztworu o stężeniu 0,1 mol/l znajduje się 0,006 moli kwasu askorbinowego (co obliczono w przykładzie 5).

$$C_{m(\text{mol/l})} = \frac{n_{(\text{mol})}}{V_{(l)}} = \frac{0,006 \text{ mol}}{0,1 \text{ l}} = 0,06 \text{ mol / l}$$

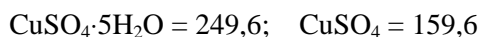
**Odp.** Stężenie molowe otrzymanego roztworu wynosi 0,06 mol/l.

### PRZYKŁAD 7.

Ile gramów  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  potrzeba do sporządzenia 300 g 0,8% roztworu siarczanu miedzi.

#### *Rozwiązanie:*

Masy cząsteczkowe:



0,8% roztwór zawiera 0,8 g  $\text{CuSO}_4$ ,

czyli:

100 g roztworu	–	0,8 g CuSO <sub>4</sub>	
300 g roztworu	–	x	x = 2,4 g CuSO <sub>4</sub>
249,6 g CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	–	159,6 g CuSO <sub>4</sub>	
x g CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	–	2,4 g CuSO <sub>4</sub>	

$$x = \frac{249,6 \text{ g} \cdot 2,4 \text{ g}}{159,6 \text{ g}} = 3,75 \text{ g}$$

**Odp.** Aby sporządzić 300 g 0,8% roztworu CuSO<sub>4</sub> potrzeba 3,75 g CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O.

### **PRZYKŁAD 8.**

Ile otrzyma się gramów roztworu 0,2% z 5 g czystej substancji.

**Rozwiązanie:**

100 g roztworu	–	0,2 g substancji
x g roztworu	–	5 g substancji

$$x = \frac{100 \text{ g} \cdot 5 \text{ g}}{0,2 \text{ g}} = 2500 \text{ g}$$

**Odp.** Z 5 g czystej substancji otrzyma się 2500 g roztworu 0,2%.

### **PRZYKŁAD 9.**

Jakie jest stężenie procentowe roztworu otrzymanego ze zmieszania 30 g sacharozy z 570 g wody.

**Rozwiązanie:**

**Sposób 1:**

masa roztworu $m_r = m_s + m_{\text{rozp.}}$	=	30 g + 570 g = 600 g
600 g roztworu	–	30 g sacharozy
100 g roztworu	–	x g sacharozy

$$x = \frac{100 \text{ g} \cdot 30 \text{ g}}{600 \text{ g}} = 5 \text{ g}$$

**Odp.** Skoro w 100 g roztworu znajduje się 5 g sacharozy, roztwór jest 5%.



**Sposób 2:** opiera się na wzorze:

$$C_p = \frac{m_s}{m_r} \times 100\% \qquad C_p = \frac{30 \text{ g}}{570 \text{ g} + 30 \text{ g}} \times 100\% = 5\%$$

**Odp.** Stężenie procentowe otrzymanego roztworu wynosi 5%.

### PRZYKŁAD 10.

Jeśli z 250 g wodnego roztworu 0,9% NaCl odparuje 100 g rozpuszczalnika, oblicz jakie będzie stężenie procentowe roztworu.

**Rozwiązanie:**

Masa rozpuszczonego NaCl w roztworze wynosi:

100 g roztworu      –    0,9 g NaCl  
250 g roztworu      –    x g NaCl

$$x = \frac{250 \text{ g} \cdot 0,9 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 2,25 \text{ g NaCl}$$

Po odparowaniu rozpuszczalnika masa substancji rozpuszczonej nie zmienia się, maleje masa roztworu, wynosi: 250 g – 100 g = 150 g i stężenie roztworu wzrasta:

150 g roztworu      –    2,25 g NaCl  
100 g roztworu      –    x g NaCl

$$x = \frac{100 \text{ g} \cdot 2,25 \text{ g}}{150 \text{ g}} = 1,5 \text{ g NaCl}$$

**Odp.** Otrzymany po odparowaniu rozpuszczalnika roztwór ma stężenie 1,5%.

## PRZYKŁADY PRZELICZANIA STĘŻEŃ

Znając stężenie  $C_p$  wyrażone w %, gęstość roztworu ( $d$ ) w g/ml i masę molową substancji ( $M_s$ ) w g/mol, stężenie roztworu można wyrażać stężeniem molowym, wykorzystując do przeliczeń poniżej przedstawiony wzór:

$$\text{stężenie molowe } C_m = \frac{C_p \cdot 1000 \cdot d}{M_s \cdot 100\%}$$

Znając stężenie  $C_m$  wyrażone w mol/l, gęstość roztworu ( $d$ ) w g/ml i masę molową substancji ( $M_s$ ) w g/mol, stężenie roztworu można wyrażać stężeniem procentowym (% m/m), wykorzystując do przeliczeń poniżej przedstawiony wzór:

$$\text{stężenie procentowe } C_p = \frac{C_m \cdot M_s \cdot 100\%}{1000 \cdot d}$$

### PRZYKŁAD 11.

Jakie jest stężenie molowe 25% wodnego roztworu NaCl, którego gęstość wynosi  $d = 1,2$  g/ml i masa molowa 58,45 g/mol.

**Rozwiązanie:**

**Sposób 1:**

Wykorzystując powyższy wzór, obliczamy stężenie molowe:

$$C_m = \frac{25\% \cdot 1000 \text{ ml} \cdot 1,2 \text{ g / ml}}{58,45 \text{ g / mol} \cdot 100\%} = 5,13 \text{ mol / l}$$

**Sposób 2:**

Z wartości  $d=1,2$ g/ml wynika, że 1000 ml tego roztworu waży 1200 g. Należy obliczyć, ile gramów NaCl znajduje się w 1 litrze tego roztworu:

$$\begin{array}{l} \text{w 100 g roztworu} \quad - \quad 25 \text{ g NaCl} \\ \text{w 1200 g} \quad \quad \quad - \quad x \end{array} \quad \quad \quad x = 300 \text{ g NaCl}$$

Należy obliczyć, ile moli stanowi obliczona masa NaCl:

$$\begin{array}{l} 1M \quad - \quad 58,45 \text{ g} \\ x \quad \quad - \quad 300 \text{ g} \end{array} \quad \quad \quad x = 5,13 \text{ mol NaCl}$$

Skoro 5,13 mol NaCl jest w 1 litrze roztworu, to stężenie wynosi 5,13 mol/l.

**Odp.** 25% roztwór NaCl ma stężenie 5,13 mol/l.

### PRZYKŁAD 12.

Jakie jest stężenie procentowe (% m/m) stężonego kwasu siarkowego o stężeniu 18,4 mol/l, którego gęstość wynosi  $d = 1,84$  g/ml i masa molowa 98 g/mol.

**Rozwiązanie:**

$$C_{p(\% \text{ m/m})} = \frac{18,4 \text{ mol} / \text{l} \cdot 98 \text{ g} / \text{mol} \cdot 100\%}{1000 \text{ ml} \cdot 1,84 \text{ g} / \text{ml}} = 98\%$$

**Odp.** Kwas siarkowy o stężeniu 18,4 mol/l jest 98%.

### **PRZYKŁAD 13.**

Stężony amoniak jest 30% (m/m). Jakie jest stężenie molowe tego roztworu, jeśli jego gęstość wynosi  $d = 0,89 \text{ g/ml}$ , a masa molowa 17 g/mol.

**Rozwiązanie:**

$$C_m = \frac{30\% \cdot 1000 \text{ ml} \cdot 0,89 \text{ g} / \text{ml}}{17 \text{ g} / \text{mol} \cdot 100\%} = 15,7 \text{ mol} / \text{l}$$

**Odp.** Stężenie molowe 30% amoniaku wynosi 15,7 mol/l.

### **PRZYKŁAD 14.**

Ilu procentowy jest kwas solny o stężeniu 12,4 mol/l, gęstości  $d = 1,19 \text{ g/ml}$ , którego masa molowa wynosi 36,45 g/mol.

**Rozwiązanie:**

$$C_{p(\% \text{ m/m})} = \frac{12,4 \text{ mol} / \text{l} \cdot 36,45 \text{ g} / \text{mol} \cdot 100\%}{1000 \text{ ml} \cdot 1,19 \text{ g} / \text{ml}} = 37,98\%$$

**Odp.** Kwas solny o stężeniu 12,4 mol/l jest 37,98%.

### **PRZYKŁAD 15.**

Jaką masę molową w g/mol ma substancja występująca w wodnym roztworze 95%, którego stężenie molowe wynosi 16,5 mol/l i  $d = 0,8 \text{ g/ml}$ .

**Rozwiązanie:**

Przekształcając powyższy wzór, można obliczyć masę molową:

$$M_s = \frac{C_p \cdot 1000 \text{ ml} \cdot d}{C_m \cdot 100\%} = \frac{95\% \cdot 1000 \text{ ml} \cdot 0,8 \text{ g / ml}}{16,5 \text{ mol / l} \cdot 100\%} = 45 \text{ g / mol}$$

**Odp.** Nieznana substancja, stanowiąca 95% w roztworze o stężeniu 16,5 mol/l, posiada masę molową 45 g/mol.

**PRZYKŁAD 16.**

Zawartość srebra w stopie wynosi 4 ppm. Ile miligramów srebra znajduje się w 250 g stopu.

**Rozwiązanie:**

w 1 000 000 mg stopu (czyli w 1 kg) są 4 mg srebra, to  
w 0,25 kg stopu jest 1 mg srebra.

**Odp.** W 250 g stopu znajduje się 1 mg srebra.

**PRZYKŁAD 17.**

W 30 g stopu znajdują się 3 mg srebra. Jaka jest zawartość srebra w stopie wyrażona w procentach i ppm.

**Rozwiązanie:**

30 g – 3 mg	30 000 mg – 3 mg
100 g – x	1 000 000 mg – x
x = 10 mg tj. 0,01 g; tj. 0,01%	x = 100 mg; tj. 100 ppm

**Odp.** Zawartość srebra w stopie stanowi 0,01% lub 100 ppm.

## ROZCIĘNCZANIE I MIESZANIE ROZTWORÓW

Podczas mieszania roztworów wodnych o różnych stężeniach lub ich rozcieńczaniu wodą zachodzi zjawisko kontrakcji. Polega ono na tym, że objętość mieszaniny powstałej ze zmieszania lub rozcieńczania roztworów wyjściowych jest mniejsza od sumy objętości zmieszanych cieczy.

Przykładowo, zmieszanie 50 ml 0,5 M roztworu NaCl z 50 ml H<sub>2</sub>O daje łączną objętość 96,84 ml, lub zmieszanie 50 ml etanolu z 50 ml H<sub>2</sub>O daje łączną objętość 97,79 ml.

Praktycznie zjawisko kontrakcji nie występuje przy mieszaniu roztworów silnie rozcieńczonych. Przykładowo, błąd wynikający z kontrakcji podczas rozcieńczania 0,2 M roztworu HCl do 0,1 M roztworu HCl jest mniejszy od błędu pomiaru objętości.

Rozcieńczając wodą roztwory stężone wychodzi się z zależności, że iloczyn stężenia roztworu (wyrażonego w procentach lub mol/l lub innych) i jego ilości (wyrażonej w gramach, mililitrach lub litrach) jest wielkością stałą:

$$c_x V(\text{ml})_x = c_y V(\text{ml})_y$$
$$\text{stężenie}_x \cdot \text{ilość}_x = \text{stężenie}_y \cdot \text{ilość}_y$$

W wyniku mieszania ze sobą roztworów tej samej substancji o różnych stężeniach otrzymuje się nowy roztwór tej substancji o stężeniu odmiennym od stężeń wyjściowych. Stężenie otrzymanego roztworu można obliczyć, znając stężenia roztworów wyjściowych oraz wartości jednostek objętościowych lub masowych, w których roztwory zmieszano.

Często miesza się ze sobą roztwory wyjściowe w celu otrzymania roztworu o żądanym stężeniu. W takiej sytuacji należy obliczyć stosunek objętościowy lub masowy, w którym należy zmieszać ze sobą oba roztwory wyjściowe.

Wykonanie takich obliczeń jest możliwe wówczas, gdy stężenia mieszanych ze sobą roztworów są wyrażone w tych samych jednostkach, natomiast jeśli są podane w różnych jednostkach, to należy stężenia przeliczyć na te same jednostki przed przystąpieniem do obliczeń.

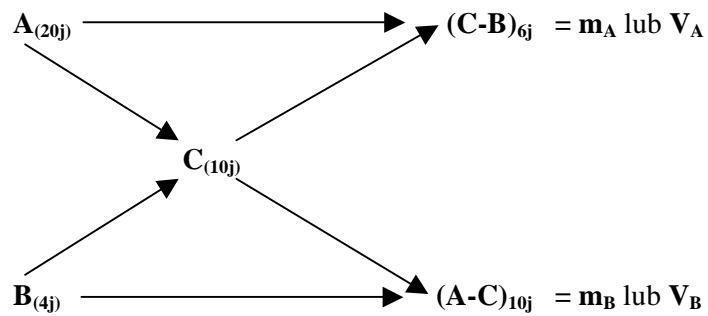
Podczas obliczania stężenia otrzymanego roztworu ( $c$ ) w wyniku zmieszania dwóch roztworów wyjściowych ( $c_1, c_2$ ) można korzystać z poniższych zależności:

$$V_1 c_1 + V_2 c_2 = (V_1 + V_2) \cdot c, \quad \text{– dotyczy stężeń objętościowych;}$$
$$m_1 c + m_2 c_2 = (m_1 + m_2) \cdot c \quad \text{– dotyczy stężeń masowych.}$$

Podczas ustalania stosunku objętościowego lub masowego, w którym należy zmieszać roztwory wyjściowe, w celu otrzymania roztworu o żądanym stężeniu, można korzystać z tzw. **schematu krzyżowego**.

Według tego schematu wartości liczbowe stężeń roztworów układa się w kwadracie, przy czym po lewej stronie pisze się liczby wyrażające stężenia roztworów wyjściowych (w narożach kwadratu), np. roztwór A o stężeniu 20 jednostek i roztwór B o stężeniu 4 jednostek, a na przecięciu przekątnych wpisuje się żądane stężenie sporządzanego roztworu C, np. 10 jednostek.

Następnie po przekątnej odejmuje się od większej liczby mniejszą, a wynik wpisuje się w przeciwległym kącie kwadratu z prawej strony.



Stosunek otrzymanych różnic (w narożach z prawej strony kwadratu) wskazuje, w jakim stosunku masowym lub objętościowym należy zmieszać roztwory wyjściowe, np. 3 jednostki roztworu A z 5 jednostkami roztworu B.