

SV1 I V1. OSNOVE KEMIJSKOG RAČUNANJA. PRIPREMA OTOPINA

Računi koji su u vezi s masama tvari koje sudjeluju u kemijskim reakcijama nazivaju se *stehiometrijskim računima* (grč. stoikheíon = počelo, elementarni sastojak; metrêô = mjerim). Često se koriste za uravnoteživanje kemijskih jednadžbi, tj. za određivanje stehiometrijskih koeficijenata.

Relativna atomska masa, relativna molekulska masa, količina

Relativna atomska masa elementa (A_r), je broj koji kaže koliko puta je prosječna masa atoma nekog elementa veća od atomske jedinice mase. Atomska jedinica mase je 1/12 mase atoma izotopa ugljika ^{12}C i iznosi $1,660531 \cdot 10^{-27}$ kg. Relativna atomska masa navedena je uz svaki element u periodnom sustavu elemenata.

Relativna molekulska masa spoja (M_r), je broj koji kaže koliko je puta masa molekule nekog spoja veća od atomske jedinice mase. Molekulska masa dobije se zbrajanjem atomskih masa atoma elemenata koji čine molekulu tog spoja.

Mol (količina; množina), (n), je ona količina tvari definirane kemijske formule, koja sadrži isto toliko jedinki, koliko ima atoma u točno 0,012 kg izotopa ugljika ^{12}C . U 0,012 kg ima $6,022 \cdot 10^{23}$ atoma ugljika. Dakle, molarna masa, M , definirana je izrazom:

$$M = M_r \text{ g mol}^{-1} \quad \text{odnosno} \quad M = \frac{m}{n}$$

gdje je m masa tvari, n količina tvari.

Mol je, prema tome jedinica za količinu tvari. Broj molekula po molu naziva se *Avogadrova konstanta*, a označava se simbolima L ili N_A .

$$L = N_A = \text{Avogadrova konstanta} = \frac{N}{n} = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Primjer 1. Koliko ima mola vode, te kolika je masa vodika, a kolika kisika u 5,84 kg vode?

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 5,84 \text{ kg}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

$$m(\text{H}) = ?$$

$$m(\text{O}) = ?$$

Relativna molarna masa vode, $M_r(\text{H}_2\text{O}) = 18$, pa je molarna masa $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g mol}^{-1}$. Pomoću tog podatka računamo količinu H_2O prema izrazu:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{5,84 \times 10^3 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} = 324,44 \text{ mol}$$

Količina kisika jednaka je količini vode.

$$n(\text{O}) = n(\text{H}_2\text{O}) = 324,44 \text{ mol}$$

Količina vodika jednaka je dvostrukoj količini vode.

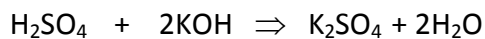
$$n(\text{H}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 324,44 \text{ mol} = 648,88 \text{ mol}$$

Preko poznatih molarnih masa kisika i vodika može se izračunati i masa kisika odnosno vodika koji su sadržani u 5,84 kg vode.

$$m(\text{O}) = n(\text{O}) \cdot M(\text{O}) = 324,44 \text{ mol} \cdot 16 \text{ g mol}^{-1} = 5191,04 \text{ g} = 5,19 \text{ kg}$$

$$m(\text{H}) = n(\text{H}) \cdot M(\text{H}) = 648,88 \text{ mol} \cdot 1 \text{ g mol}^{-1} = 648,88 \text{ g} = 0,65 \text{ kg}$$

Primjer 2. Koliko je grama kalijeva hidroksida potrebno za potpunu neutralizaciju 10 g sulfatne kiseline?



$$m = 10\text{g} \quad m = ?$$

Količina H_2SO_4 , sadržana u uzorku mase 10 g je:

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{10\text{g}}{98,08 \text{ g mol}^{-1}} = 0,102 \text{ mol}$$

Iz reakcijske jednadžbe vidljivo je da postoji omjer $\frac{n(\text{KOH})}{n(\text{H}_2\text{SO}_4)} = 2$

Ili

$$n(\text{KOH}) = 2 \cdot n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot 0,102 \text{ mol} = 0,204 \text{ mol}$$

$$m(\text{KOH}) = n(\text{KOH}) \cdot M(\text{KOH}) = 0,204 \text{ mol} \cdot 56,106 \text{ g mol}^{-1} = 11,446 \text{ g}$$

Načini izražavanja sastava otopina

Otopina je smjesa otopljene tvari (B) koja je otopljena u otapalu (A). Sastav otopine može se izraziti na više načina. Razlikujemo količinsku, masenu i molalnu koncentraciju; te maseni, volumni i molni udio. Za preračunavanje jednog načina izražavanja sastva otopine u drugi u nekim slučajevima potrebno je poznavati gustoću otopine.

Količinska koncentracija (molarna ili molaritet ili samo koncentracija) omjer je količine otopljene tvari (n) i volumena otopine (V). Za otopljenu tvar B

$$c_B = \frac{n_B}{V}$$

Znak za koncentraciju je c ili uglate zagrade [], tako da koncentraciju tvari B možemo označiti sa c_B , $c(\text{B})$ ili $[\text{B}]$. SI-jedinica koncentracije jest mol m^{-3} no mnogo češće se kao jedinica upotrebljava $\text{mol po kubnom decimetru}$, mol dm^{-3} , koja se skraćeno piše **M**.

Primjer 1. Pripremite 100 cm³ otopine CaCO₃ koncentracije $c(\text{CaCO}_3) = 0,5 \text{ mol dm}^{-3}$.

$$V(\text{CaCO}_3 \text{ otopine}) = 100 \text{ cm}^3 = 100 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3 = 0,1 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{CaCO}_3) = 0,5 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$m(\text{CaCO}_3) = ?$$

$$c(\text{CaCO}_3) = \frac{n(\text{CaCO}_3)}{V}$$

$$n(\text{CaCO}_3) = c(\text{CaCO}_3) \cdot V$$

$$n(\text{CaCO}_3) = 0,5 \text{ mol dm}^{-3} \cdot 0,1 \text{ dm}^3 = 0,05 \text{ mol}$$

$$n(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{M(\text{CaCO}_3)}$$

$$m(\text{CaCO}_3) = n(\text{CaCO}_3) \cdot M(\text{CaCO}_3)$$

$$m(\text{CaCO}_3) = 0,05 \text{ mol} \cdot 100,09 \text{ g mol}^{-1} = 5 \text{ g}$$

Dakle, treba odvagati 5 g CaCO₃, prenijeti u odmjernu tikvicu od 100 cm³ i tikvicu dopuniti do znaka baždarenja destiliranom vodom.

Masena koncentracija (γ) omjer je mase otopljene tvari (m) i volumena otopine (V)

$$\gamma_B = \frac{m_B}{V}$$

Jedinica masene koncentracije može biti kg m⁻³, g cm⁻³ i dr. Ako je masa otopljene tvari vrlo malena, primjerice kod raznih tjelesnih tekućina (krv, likvor itd.), kao jedinice za masu koriste se miligrami (mg) ili mikrogrami (μg).

Kod pripreme otopine određene masene koncentracije služimo se također odmjernom tikvicom.

Primjer 2. Priredite 1 dm³ otopine CaCO₃ masene koncentracije $\gamma(\text{CaCO}_3) = 0,04 \text{ g cm}^{-3}$.

$$V(\text{CaCO}_3) = 1 \text{ dm}^3$$

$$\gamma(\text{CaCO}_3) = 0,04 \text{ g cm}^{-3} = 0,04 \cdot 10^3 \text{ g dm}^{-3}$$

$$m(\text{CaCO}_3) = ?$$

$$\gamma(\text{CaCO}_3) = \frac{m(\text{CaCO}_3)}{V}$$

$$m(\text{CaCO}_3) = \gamma(\text{CaCO}_3) \cdot V$$

$$m(\text{CaCO}_3) = 0,04 \cdot 10^3 \text{ g dm}^{-3} \cdot 1 \text{ dm}^3 = 40 \text{ g}$$

Točnu odvagiu od 40 g CaCO₃ prenijet ćemo u odmjernu tikvicu od 1 dm³ i dopuniti do znaka destiliranom vodom.

Molalitet ili molalna koncentracija (b) je omjer količine otopljene tvari (B) i mase otapala (A)

$$b_B = \frac{n_B}{m_A}$$

SI-jedinica za molalitet je mol kg^{-1} .

Primjer 3. Priredite otopinu glukoze molaliteta $b = 1 \text{ mol kg}^{-1}$.

$$b(\text{Glc}) = 1 \text{ mol kg}^{-1}$$

$$m(\text{voda}) = 1 \text{ kg}$$

$$m(\text{Glc}) = ?$$

$$b(\text{Glc}) = \frac{n(\text{Glc})}{m(\text{voda})}$$

$$n(\text{Glc}) = b(\text{Glc}) \cdot m(\text{voda})$$

$$n(\text{Glc}) = 1 \text{ mol kg}^{-1} \cdot 1 \text{ kg} = 1 \text{ mol}$$

$$m(\text{Glc}) = n(\text{Glc}) \cdot M(\text{Glc}) = 1 \text{ mol} \cdot 180,16 \text{ g mol}^{-1}$$

$$m(\text{Glc}) = 180,16 \text{ g}$$

Odvagu od 180,16 g glukoze treba otopiti u točno 1 kg vode. Masa ukupne otopine iznosit će 1180,16 g.

Maseni udio (ω) komponente B je omjer mase komponente B i mase cijele smjese (otopine).

$$\omega_B = \frac{m_B}{m}$$

Veličina je bezdimenzijska.

Primjer 4. Priredite 100 g otopine neke soli u kojoj je maseni udio te soli $\omega = 0,04$.

$$\omega(\text{sol}) = 0,04$$

$$m_{\text{otopina}} = 100 \text{ g}$$

$$m(\text{sol}) = ?$$

$$\omega(\text{sol}) = \frac{m(\text{sol})}{m(\text{otopina})}$$

$$m(\text{sol}) = \omega(\text{sol}) \cdot m(\text{otopina})$$

$$m(\text{sol}) = 0,04 \cdot 100 \text{ g} = 4 \text{ g}$$

Treba odvagati 4 g soli i tome dodati 96 g destilirane vode da bi ukupna masa otopine bila 100 g.

Volumni udio (φ) komponente B je omjer volumena komponente B i zbroja volumena svih komponentata smjese.

$$\varphi_B = \frac{V_B}{\sum V_i}$$

Volumni udio je bezdimenzijska veličina. Često se upotrebljava za izračunavanje sastava plinskih smjesa. Zbroj volumnih udjela svih komponentata smjese jednak je 1.

Molni udio ili količinski udio (x) komponente B definira se kao količina komponente B podijeljena zbrojem količina svih komponentata smjese.

$$x_B = \frac{n_B}{\sum n_i}$$

Veličina je također bezdimenzijska. Zbroj molnih udjela (udjela općenito) svih komponentata smjese jednak je 1.

Primjer 1. Koliki je molni udio otopljene tvari u otopini čiji je molalitet 1 mol kg^{-1} ?

$$b_B = 1 \text{ mol kg}^{-1}$$

$$x_B = ?$$

$$b_B = \frac{n_B}{m_A}$$

$$1 \text{ mol kg}^{-1} = \frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ kg}}$$

$$x_B = n_B / (n_A + n_B)$$

$$n_B = 1 \text{ mol}$$

$$n_A = \frac{m_A}{M_A}$$

$$n_A = \frac{1000 \text{ g}}{18 \text{ g mol}^{-1}} = 55,5 \text{ mol}$$

$$x_B = 1 / (1 + 55,5) = 0,018$$

Primjer 2. Molalitet otopine NaCl je $0,7 \text{ mol kg}^{-1}$. Koliki je maseni udio NaCl?

$$b(\text{NaCl}) = 0,7 \text{ mol kg}^{-1}$$

$$\omega(\text{NaCl}) = ?$$

$$\omega(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{otopina})}$$

$$b(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{m(\text{voda})}$$

$$0,7 \text{ mol kg}^{-1} = \frac{0,7 \text{ mol NaCl}}{1 \text{ kg vode}}$$

$$m(\text{NaCl}) = n(\text{NaCl}) \cdot M(\text{NaCl}) = 0,7 \text{ mol} \cdot 58,45 \text{ g mol}^{-1}$$

$$m(\text{NaCl}) = 40,908 \text{ g}$$

$$m(\text{otopina}) = m(\text{voda}) + m(\text{NaCl})$$

$$m(\text{otopine}) = 1000 \text{ g} + 40,908 \text{ g} = 1040,908 \text{ g}$$

$$\omega(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{m(\text{otopine})}$$

$$\omega(\text{NaCl}) = 40,908 \text{ g} / 1040,908 \text{ g} = 0,0393 = 3,93\%$$

Gustoća tekućina. Gustoća neke tvari (ρ) je omjer njene mase i volumena kojeg ta masa zauzima:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Znatno se mijenja s temperaturom. Voda je najgušća pri $+4^\circ\text{C}$, s iznosom gustoće od 1 g cm^{-3} . Iznad i ispod temperature od $+4^\circ\text{C}$ gustoća vode je manja od 1 g cm^{-3} .

Primjer 1. Koliko mola HCl sadrži volumen od 345 ml 37%-tne HCl čija gustoća iznosi $1,184 \text{ g cm}^{-3}$?

$$\rho(\text{ot.HCl}) = 1,184 \text{ g cm}^{-3}$$

$$\omega(\text{HCl}) = 37\%$$

$$V(\text{ot.HCl}) = 345 \text{ ml} = 345 \text{ cm}^3$$

$$n(\text{HCl}) = ?$$

$$m(\text{ot.HCl}) = \rho(\text{ot.HCl}) \cdot V(\text{ot.HCl})$$

$$m(\text{ot.HCl}) = 1,184 \text{ g cm}^{-3} \cdot 345 \text{ cm}^3 = 408,48 \text{ g}$$

$$\omega(\text{ot.HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{m(\text{ot.HCl})}$$

$$m(\text{HCl}) = m(\text{ot.HCl}) \cdot \omega(\text{ot.HCl})$$

$$m(\text{HCl}) = 0,37 \cdot 408,48 \text{ g} = 151,138 \text{ g}$$

$$n(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl})}$$

$$n(\text{HCl}) = \frac{151,138 \text{ g}}{36,5 \text{ g mol}^{-1}} = 4,14 \text{ mol}$$

Primjer 2. Kolika je koncentracija otopine kalcijeva klorida čiji je molalitet jednak $0,9 \text{ mol kg}^{-1}$ a gustoća kod 20°C $1,138 \text{ g cm}^{-3}$?

$$b(\text{CaCl}_2) = 0,9 \text{ mol kg}^{-1}$$

$$\rho(\text{CaCl}_2) = 1,138 \text{ g cm}^{-3}$$

$$c(\text{CaCl}_2) = ?$$

$$b(\text{CaCl}_2) = \frac{n(\text{CaCl}_2)}{m(\text{vode})}$$

$$0,9 \text{ mol kg}^{-1} = \frac{0,9 \text{ mol (CaCl}_2)}{1 \text{ kg vode}}$$

$$c(\text{CaCl}_2) = \frac{n(\text{CaCl}_2)}{V(\text{otopine})}$$

$$n(\text{CaCl}_2) = 0,9 \text{ mol}$$

$$V(\text{otopine}) = \frac{m(\text{otopine})}{\rho(\text{otopine})}$$

$$m(\text{otopine}) = m(\text{vode}) + m(\text{CaCl}_2)$$

$$n(\text{CaCl}_2) = \frac{m(\text{CaCl}_2)}{M(\text{CaCl}_2)}$$

$$m(\text{CaCl}_2) = n(\text{CaCl}_2) \cdot M(\text{CaCl}_2)$$

$$m(\text{CaCl}_2) = 0,9 \text{ mol} \cdot 110,98 \text{ g mol}^{-1} = 99,88 \text{ g}$$

$$m(\text{otopine}) = m(\text{vode}) + m(\text{CaCl}_2)$$

$$m(\text{otopine}) = 1000 \text{ g} + 99,88 \text{ g}$$

$$m(\text{otopine}) = 1099,88 \text{ g}$$

$$c(\text{CaCl}_2) = \frac{n(\text{CaCl}_2)}{V(\text{otopine})}$$

$$V(\text{otopine}) = \frac{1099,88 \text{ g}}{1,138 \text{ g cm}^{-3}} = 965,62 \text{ cm}^3 = 0,966 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{CaCl}_2) = \frac{0,9 \text{ mol}}{0,966 \text{ dm}^3} = 0,932 \text{ mol dm}^{-3}$$

Iz primjera je vidljivo da su, **kod razrijeđenih otopina i kod male gustoće otopine, brojčane vrijednosti molaliteta** izraženog jedinicom **mol kg⁻¹** i **koncentracije** izražene jedinicom **mol dm⁻³** približno jednake.

Primjer 3. Iz koncentrirane otopine octene kiseline čiji je maseni udio $\omega = 25\%$, a gustoća $\rho = 1,21 \text{ g cm}^{-3}$ treba načiniti 1 dm^3 otopine koncentracije $0,2 \text{ mol dm}^{-3}$. Koliki volumen koncentrirane otopine treba odmjeriti?

$$\omega (\text{konc.otopine CH}_3\text{COOH}) = 0,25$$

$$\rho (\text{konc.otopine CH}_3\text{COOH}) = 1,21 \text{ g cm}^{-3}$$

$$V(\text{razrj.otopine CH}_3\text{COOH}) = 1 \text{ dm}^3$$

$$c(\text{razrj.otopine CH}_3\text{COOH}) = 0,2 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$V(\text{konc.otopine CH}_3\text{COOH}) = ?$$

$$c(\text{razr.otopine CH}_3\text{COOH}) = \frac{n(\text{CH}_3\text{COOH}(100\% \text{ čiste tvari}))}{V(\text{razr.otopine})}$$

Treba uočiti da su koncentracija i volumen otopine varijabilne veličine kod ovog primjera proračuna razrjeđenja, dok broj molova 100% čiste tvari predstavlja ovdje fiksnu, nepromjenljivu vrijednost.

$$0,2 \text{ mol dm}^{-3} = \frac{0,2 \text{ mol CH}_3\text{COOH}}{1 \text{ dm}^3 \text{ otopine}}$$

Za pripremu otopine CH_3COOH koncentracije $0,2 \text{ mol dm}^{-3}$ potrebna je sljedeća masa CH_3COOH :

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = n(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot M(\text{CH}_3\text{COOH})$$

$$m(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,2 \cdot 60,02 \text{ g mol}^{-1} = 12,004 \text{ g}$$

$$\omega (\text{konc.otopine CH}_3\text{COOH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{COOH}(100\% \text{ čiste tvari}))}{m(\text{konc.otopine CH}_3\text{COOH})}$$

Prvo treba izračunati masu koncentrirane otopine CH_3COOH u kojoj je sadržano 12,004 g 100% čiste tvari CH_3COOH :

$$m(\text{konc. otopine } \text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{COOH}(100\% \text{ čiste tvari}))}{\omega(\text{konc. otopine } \text{CH}_3\text{COOH})}$$

$$m(\text{konc. otopine } \text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{12,004 \text{ g}}{0,25} = 48,016 \text{ g}$$

Pitanje je bilo koliki volumen koncentrirane otopine treba odmjeriti?

$$V(\text{otopine}) = \frac{m(\text{otopine})}{\rho(\text{otopine})}$$

$$V(\text{otopine}) = \frac{48,016 \text{ g}}{1,21 \text{ g cm}^{-3}} = 39,683 \text{ cm}^3$$

Znači, treba odmjeriti $39,683 \text{ cm}^3$ koncentrirane otopine CH_3COOH i oprezno uliti u približno 960 cm^3 destilirane vode uz miješanje.

IZVOĐENJE V1: Dobit ćete po 6 računskih zadatake.

Primjeri zadataka

1. Koliko atoma H sadržava 5 g H_2O ?

Rješenje: $3,343 \times 10^{23}$ atoma H

2. Kolika je koncentracija, masena koncentracija i molni udio NaCl u 4,2 % NaCl čija je gustoća $\rho = 1,0284 \text{ g cm}^{-3}$?

Rješenje: $c(\text{NaCl}) = 0,739 \text{ mol dm}^{-3}$, $\gamma(\text{NaCl}) = 43,19 \text{ g dm}^{-3}$, $x(\text{NaCl}) = 0,0133$

3. Koliko grama 100%-tne čiste tvari H_2SO_4 sadrži 546 g otopine 28,5 %-tne H_2SO_4 ?

Rješenje: 155,6 g H_2SO_4

4. Koliko grama vodene otopine NH_3 kojoj je kvantitativni sastav izražen molnim udjelom, $x(\text{NH}_3) = 0,15$, treba uzeti da u njoj bude sadržano 1,3 mol NH_3 ?

Rješenje: 154,67 g otopine NH_3

5. Koliki volumen koncentrirane sulfatne kiseline, $\omega_1 = 0,96$ i $\rho = 1,836 \text{ g cm}^{-3}$, treba odmjeriti za pripremu 1 000 g razrijeđene kiseline, $\omega_2 = 0,2$? Kolika je masa vode kojom se kiselina razrjeđuje?

Rješenje : $V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 113,47 \text{ cm}^3$, $m(\text{H}_2\text{O}) = 791,67 \text{ g}$

6. Izrazite sljedeće vrijednosti:

$$1 \text{ mg/L} = \dots\dots \text{ g/L}$$

$$35 \text{ g/L} = \dots\dots \text{ kg/ m}^3$$

$$10 \text{ mmol/ml} = \dots\dots \text{ mmol/L}$$

$$1 \text{ mol/ m}^3 = \dots\dots \text{ mmol/ m}^3$$

$$1 \text{ mg} = \dots\dots \text{ kg}$$

$$1 \text{ mg} = \dots\dots \mu\text{g}$$

$$0,1 \text{ M} = \dots\dots \text{ mol/L}$$

$$0,1 \text{ M} = \dots\dots \text{ mol/ m}^3$$

$$10 \text{ mM} = \dots\dots \text{ mol/L}$$

$$1 \text{ mol/L} = \dots\dots \text{ mmol/mL}$$

$$20 \text{ ml} = \dots\dots \text{ cm}^3$$

$$3 \text{ L} = \dots\dots \text{ m}^3$$