

TARTU ÜLIKOOL
TEADUSKOOL

ETTEVALMISTUS KEEMIAOLÜMPIAADIKS

PROTSENTARVUTUSED

Natalia Nekrassova

Õppevahend TK õpilastele
Tartu 2007

PROTSENTARVUTUSED

Protsendiks (ladina keeles *pro centum* tähendab "sajast", "saja kohta") nimetatakse ühte sajandikku hulgast, kogumist, tervikust.

Keemias kasutatakse protsendi mõistet segude, sulamite, lahuste, liitainete jms. kvantitatiivse koostise iseloomustamiseks. Protsentides võrreldakse masse, ruumalasisid, moolide arve. Vastavalt sellele kasutatakse massi-, mahu- või mooliprotsendi mõistet.

Keemias kasutatava protsentarvutuse selgitamiseks vaatleme lahust, mis koosneb lahustist ja ainult ühest lahustunud ainest. Lahustunud aine massiprotsent näitab selle aine sisaldust grammides 100 grammis lahuses.

Tähistame lahustunud aine massi $m(\text{aine})$ grammi ja lahuse massi $m(\text{lahus})$ grammi. Suhe $m(\text{aine})/m(\text{lahus})$ annab lahustunud aine massimurru - lahustunud aine massi suhtelise sisalduse, s. t. lahustunud aine hulga grammides ühes grammis lahuses. Massimurru korrutamisel sajaga saame lahustunud aine hulga grammides 100 grammis lahuses, mis ongi lahustunud aine massiprotsent

Massiprotsent on võrdne:

$$\%(\text{aine}) = \frac{m(\text{aine})}{m(\text{lahus})} \cdot 100$$

$$\%(\text{aine}) = \frac{m(\text{aine})}{m(\text{aine}) + m(\text{lahusti})} \cdot 100$$

Antud avaldis seob omavahel massiprotsenti, lahustunud aine massi ja lahuse (lahustunud aine pluss lahusti) massi ning on protsentarvutusülesannete kõikide tüüpide lahendusvalemiiks.

Alljärgnevalt vaatleme erinevaid juhtumeid lahuste protsentarvutuste juures.

1. On antud lahustunud aine ja lahuse mass.

Leida lahustunud aine protsendiline sisaldus lahuses.

Näide. 30,0 grammist ainest valmistati 150^{*} grammi lahust. Milline on aine protsendiline sisaldus lahuses?

30,0/150 - massimurd ehk lahustunud aine mass grammides ühe grammi lahuse kohta;

* Kriips nulli all teeb nullist tüvenumbri.

$\%(aine) = \frac{30,0}{150} \cdot 100 = 20,0$ massiprotsent ehk lahustunud aine mass grammides
100 grammis lahuses

Vastus: lahus on 20,0 %.

2. On antud lahustunud aine ja lahusti mass.

Leida lahustunud aine protsendiline sisaldus lahuses.

Näide: 25,0 grammi ainet lahustati 100 grammis vees. Milline on aine protsendiline sisaldus lahuses?

$25,0 + 100 = 125$ - lahuse mass grammides;

$$\%(aine) = \frac{25,0}{125} \cdot 100 = 20,0$$

Vastus: lahus on 20,0%-line.

3. On antud lahusti ja lahuse mass.

Leida lahustunud aine protsendiline sisaldus lahuses.

Näide: 120 grammi lahust sisaldab 80,0 grammi lahustit. Milline on lahustunud aine protsendiline sisaldus selles lahuses?

$120 - 80,0 = 40,0$ - lahustunud aine mass grammides;

$$\%(aine) = \frac{40,0}{120} \cdot 100 = 33,3$$

Vastus: lahus on 33,3%-line.

4. On antud lahuse mass ja lahustunud aine protsendiline sisaldus.

Leida lahustunud aine mass.

Näide: 8,0%-list lahust on 120 grammi. Mitu grammi lahustunud ainet on selles lahuses?

Kasutame protsentarvutuste põhivalemit, millesse asetame teadaolevad suurused

$$8,0\% = \frac{m(aine)}{120} \cdot 100; \quad \text{siit } m(aine) = 8 \cdot \frac{120}{100} = 9,6 \text{ g}$$

Vastus: lahustunud ainet on 9,6 grammi.

5. On antud lahustunud aine mass ja protsendiline sisaldus.

Leida lahuse mass.

Näide: Mitu grammi 3%-list lahust saab valmistada 15,0 grammist keedusoolast?

$$3,00\% = \frac{15,0}{m(lahus)} \cdot 100;$$

$$\text{siit } m(lahus) = \frac{15,0}{3,00} \cdot 100 = 500 \text{ g.} \quad \text{Vastus: saab valmistada } 500 \text{ g lahust.}$$

6. On antud lahustunud aine mass ja protsendiline sisaldus. Leida lahusti mass.

Näide: 15,0 grammist keedusoolast valmistati 3,00% lahus. Mitu grammi vett on tarvis võtta selle lahuse valmistamiseks?

Kasutame lahendusvalemit:

$$3,00 = \frac{15,0}{15,0 + m(\text{lahusti})} \cdot 100; \quad \frac{3,00}{100} = \frac{15,0}{15,0 + m(\text{lahusti})}$$

$$0,0300[15,0 + m(\text{lahusti})] = 15,0$$

$$m_2 = \frac{15,0}{0,0300} - 15,0 = 500 - 15 = 485 \text{ g} \quad \textbf{Vastus:}$$
 vett on tarvis võtta 485 g.

Need olid lihtsamad protsentarvutuste ülesanded.

Alljärgnevalt vaatleme keerulisemaid protsendilise sisalduse leidmise ja kasutamise erijuhte.

7. On antud kindlaprotsendilise lahuse mass. Leida lahustunud aine protsendiline sisaldus lahuses, mis on saadud esialgse lahuse lahjendamisel kindla koguse lahustiga.

Näide: 40,0 grammile 20,0% lahusele lisati 120 g vett. Leida lahustunud aine protsendiline sisaldus saadud lahuses.

Lähtume põhivalemist:

$$\text{esialgse lahuse jaoks} \quad \frac{\%(aine)}{100} = \frac{m(aine)}{m(lahus)}; \quad \frac{20,0}{100} = \frac{m(aine)}{40,0};$$

$$m_1 = \frac{40,0 \cdot 20,0}{100} = 8,00 \quad \text{- lahustunud aine mass nii esialgses, kui ka saadud}$$

lahuses.

40,0 + 120 - saadud lahuse mass.

$$\text{Saadud lahuse jaoks: } \frac{\%(aine)}{100} = \frac{8,00}{40,0 + 120} = \frac{8,00}{160}; \quad \%(aine) = \frac{8,00 \cdot 100}{160} = 5,00$$

Vastus: lahus on 5,00%.

8. Lahustunud aine protsendilise sisalduse leidmine kindlaprotsendilise lahuse kontsentreerimisel saadud lahuses.

Lahust on võimalik kontsentreerida kahel teel:

- lahusti väljaaurutamisega;
- lahustatava aine lisamisega.

Näide a) 100 grammist 10,0% lahusest aurutatakse välja 20,0 grammi lahustit.

Mitmeprotsendiline lahus saadakse?

100 - 20,0 - lahustunud aine mass alglahuses (kokkuaurutamisel see ei muutu).

100 - 20,0 - saadud lahuse mass.

$$\frac{\%(aine)}{100} = \frac{100 \cdot 0,10}{100 - 20,0}; \quad \%(aine) = \frac{100 \cdot 0,10}{100 - 20,0} \cdot 100 = \frac{1000}{80,0} = 12,5\%$$

Vastus: saadi 12,5% lahus.

Näide b) 20,0 grammi suhkrut lahustatakse 180 grammis 5,00% suhkrulahuses. Mitmeprotsendiline lahus saadakse?

$180 \cdot 0,0500 = 9,00$ g - suhkru mass esialgses lahuses.

Sellele lisati veel 20,0 g suhkrut. Seega lõpplahuses oli (9,00+20,0) g suhkrut.

Lõpplahuse mass oli (180+20,0) g.

Kirjutame põhivalemi:
$$\frac{\%(aine)}{100} = \frac{9,00 + 20,0}{180 + 20,0} = \frac{29,0}{200}$$

Siit $\%(aine) = 14,5$

Vastus: saadi 14,5% lahus.

Kontsentreerimisel peab lahustunud aine protsendiline sisaldus kasvama. Seda tuleb silmas pidada ülesande vastuse kontrollimisel.

9. Lahuse massi leidmine lahuse esialgse massi ja lahustunud aine sisalduse järgi enne ja pärast kontsentreerimist.

Näide. 60,0 grammi 5,00% lahuse kokkuaurutamisel saadi 10,0% lahus.

Milline on saadud lahuse mass?

$60,0 \cdot 0,0500$ - lahustunud aine mass alglahuses;

$m(\text{lahus}) \cdot 0,100$ - lahustunud aine mass saadud lahuses.

Lahustunud aine mass kokkuaurutamisel ei muutu. Seega

$60,0 \cdot 0,0500 = m(\text{lahus}) \cdot 0,100$

$m(\text{lahus}) = 60,0 \frac{0,0500}{0,100}; \quad m(\text{lahus}) = 30,0$ g

Vastus: saadava lahuse mass on 30,0 g.

10. Kindlaprotsendiliste lahuste segamisel saadud lahuses oleva lahustunud aine protsendilise sisalduse leidmine.

Näide. Segati 40,0 grammi 4,00% ja 10,0 grammi 10,0% lahust.

Mitmeprotsendiline lahus saadi?

$40,0 \cdot 0,0400$ - lahustunud aine mass esimeses lahuses;

$10,0 \cdot 0,100$ - lahustunud aine mass teises lahuses;

$40,0 + 10,0$ - saadud lahuse mass.

$$\frac{\%(aine)}{100} = \frac{40,0 \cdot 0,0400 + 10,0 \cdot 0,100}{40,0 + 10,0} = \frac{1,60 + 1,00}{50,0} = \frac{2,60}{50,0}$$

$\%(aine) = 5,20$

Vastus: saadi 5,20% lahus.

11. Lahjendatavas lahuses lahustunud aine protsendilise sisalduse leidmine lahjendatud lahuses oleva lahustunud aine protsendilise sisalduse järgi.

Näide. 12,0 grammi lahuse lahjendamisel 48,0 grammi lahustiga saadi 8,00% lahus. Milline oli lahustunud aine protsendiline sisaldus esialgses lahuses?
 $\%(aine) \cdot 12,0/100$ - lahustunud aine mass nii esialgses kui ka saadud lahuses;

$(12,0+48,0)$ - saadud lahuse mass.

$$\frac{8,00}{100} = \frac{12,0 \cdot \frac{\%(aine)}{100}}{12,0 + 48,0}; \quad \frac{8,00}{100} = \frac{12,0 \cdot \%(aine)}{60,0 \cdot 100}; \quad \%(aine) = \frac{8,00 \cdot 60,0}{12,0} = 40,0$$

Vastus: esialgne lahus oli 40,0%.

12. Vajaliku koguse kindlaprotsendilise lahuse valmistamine etteantud protsendilise sisaldusega lahustest.

Näide. On antud teatud aine 20,0% ja 5,00% lahus. Mitu grammi esimest ja teist lahust tuleks võtta 50,0 grammi 8,00%-lise lahuse valmistamiseks? Antud juhul nii 20,0% kui 5,00% lahuse mass on tundmatu. Nende masside summa on 50,0 grammi. See võimaldab meil koostada võrrandi.

Olgu vajalik 20,0% lahuse mass $x(g)$;

siis 5,00% lahuse mass y on $(50,0-x)$ grammi.

$$\frac{8,00}{100} = \frac{x \cdot 0,200 + (50,0 - x) \cdot 0,050}{50,0};$$

$$4,00 = 0,200x + 2,50 - 0,05x$$

$$x = 10,0 \text{ g}; \quad y = 50,0 - 10,0 = 40,0 \text{ g}$$

Vastus: tuleb võtta 10,0 grammi 20,0% ja 40,0 grammi 5,00% lahust.

13. Isotoopide protsendilise sisalduse leidmine keskmise aatommassi järgi.

Näide. Isotoopide $^{35}_{17}\text{Cl}$ ja $^{37}_{17}\text{Cl}$ segu keskmine aatommass on 35,453. Milline on nende isotoopide protsendiline sisaldus antud segus?

Lähtume ühest moolist. Isotoobi $^{35}_{17}\text{Cl}$ molaarmass on 35,000 g/mol; Isotoobi $^{37}_{17}\text{Cl}$ molaarmass on 37,000 g/mol; keskmine molaarmass on 35,453 g/mol.

Olgu segus isotoobi $^{35}_{17}\text{Cl}$ sisaldus $x\%$,

siis isotoobi $^{37}_{17}\text{Cl}$ sisaldus on $(100-x)\%$.

Ühes moolis aatomite segus on isotoobi $^{35}_{17}\text{Cl}$ ja isotoobi $^{37}_{17}\text{Cl}$ aatomite masside summa võrdne aatomite keskmise molaarmassiga:

$$35,000 \frac{x}{100} + 37,000 \frac{100-x}{100} = 35,453$$

$$35,000 + 37,000(100 - x) = 3545,3$$

$$2x = 154,7 \Rightarrow x = 77,35$$

$$\%(^{35}_{17}\text{Cl}) = 77,35$$

$$\%(^{37}_{17}\text{Cl}) = 100 - 77,35 = 22,65$$

Vastus: isotoope on vastavalt 77,35% ja 22,65%.

Selle ülesande lahendamisel leidsime vastuse küsimusele, miks omavad elementide aatommassid murdarvulisi väärtusi. Aga samas ei ole see ainus põhjus, miks aatommassid murdarvulised on – üheks põhjuseks on ka elektronide massi arvestamine aatommassi arvutamisel.

Alljärgnevalt vaatleme mõningaid ülesandeid lahuste massiprotsendi kohta, kus tuleb kasutada lahuste ruumalat ja tihedust.

Mass (m), ruumala (V) ja tihedus (ρ) on omavahel seotud valemiga:

$$m = \rho \cdot V,$$

Keemiaülesannetes kasutatakse ruumalaühikuna tavaliselt kuupdetsimeetrit (dm^3) või kuupsentimeetrit (cm^3). Seega, näiteks vee tihedus on $\rho(\text{H}_2\text{O}) = 1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3 = 1 \text{ g/cm}^3$, etanooli korral $\rho(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 800 \text{ kg/m}^3 = 0,8 \text{ kg/dm}^3 = 0,8 \text{ g/cm}^3$, konts.väävelhape(98%) $\rho(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1837 \text{ kg/m}^3 = 1,837 \text{ kg/dm}^3 = 1,837 \text{ g/cm}^3$.

NB! Enne arvutamist tuleb kontrollida, kas massi, ruumala ja tiheduse ühikud on omavahel vastavuses, vastasel juhul võib eksida suurusjärguga.

14. Lahustunud aine massi leidmine lahuse ruumala, tiheduse ja lahustunud aine protsendilise sisalduse järgi.

Näide. Miti grammi H_2SO_4 sisaldub $80,0 \text{ cm}^3$ 40,0% lahuses, kui lahuse tihedus on $1,30 \text{ g/cm}^3$?

$80,0 \cdot 1,30$ - väävelhappelahuse mass grammides,

$$\frac{40,0}{100} = \frac{m(\text{aine})}{80,0 \cdot 1,30}; \quad m(\text{aine}) = 41,6 \text{ g}$$

Vastus: lahus sisaldab 41,6 grammi H_2SO_4 .

15. Lahustunud aine ruumala leidmine selle aine tiheduse, protsendilise sisalduse ja lahuse massi järgi.

Näide. Glütseriinist, mille tihedus on $1,26 \text{ g/cm}^3$, valmistatakse 500 grammi 20,0% lahust. Mitu cm^3 glütseriini tuleb selleks võtta?

$V(\text{glütseriin}) \cdot 1,26$ - lahustunud aine mass grammides;

$$\frac{20,0}{100} = \frac{V(\text{glütseriin}) \cdot 1,26}{500}; \quad V(\text{glütseriin}) = 79,4 \text{ cm}^3.$$

Vastus: glütseriini tuleb võtta $79,4 \text{ cm}^3$

16. Lahustunud aine protsendilise sisalduse leidmine lahjendatud lahuses lahjendatava lahuse protsendilise koostise, ruumala ja tiheduse järgi.

Näide. 100 cm^3 40,0% NaOH-lahust ($\rho = 1,43 \text{ g/cm}^3$) lahjendatakse 57,0 cm^3 veega. Milline on NaOH protsendiline sisaldus saadud lahuses?

Lahustunud aineks on NaOH.

1,43·100 - alglahuse mass;
1,43·100·0,400 - selles lahustunud NaOH mass.
Vee tihedus on 1,00 g/cm³; seega lisati 57,0 g vett;
1,43·100 + 57,0 - lõpplahuse mass.

$$\frac{\%(aine)}{100} = \frac{1,43 \cdot 100 \cdot 0,400}{1,43 \cdot 100 + 57,0}; \quad \%(aine) = 28,6$$

Vastus: NaOH on saadud lahuses 28,6%

17. Lahuse ruumala leidmine lahustunud aine massi, protsendilise sisalduse ja lahuse tiheduse järgi.

Näide. 60,0 grammist NaOH valmistatakse 30,0% lahus, mille tihedus on 1,33 g/cm³. Milline on saadus lahuse ruumala?

1,33·V(lahus) - lahuse mass grammides;

$$\frac{30,0}{100} = \frac{60,0}{1,33 \cdot V(lahus)}; \quad V(lahus) = 150 \text{ cm}^3. \quad \textbf{Vastus:} \text{ lahuse ruumala on } 150 \text{ cm}^3.$$

Kirjandus:

Rein Pullerits, Maila Mölder, Keemiaülesannete lahendamine, Tln, Avita, 2000, 2001.