

2. fejezet

Sűrűség mérése Mohr–Westphal-féle mérleggel és piknométerrel

A sűrűség az egységnyi térfogatban lévő tömeg értékeként definiált fizikai mennyiség. Egy homogén test ρ abszolút sűrűségén tehát a

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

hányadosot értjük, ahol m a test tömege, V pedig a térfogata. A sűrűség SI-mértékegysége: $[\rho] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Inhomogén testek esetén az $\frac{m}{V}$ hányados a test átlagsűrűségének értékét adja meg.

A sűrűség az anyagok egyik legfontosabb jellemzője, mérése pedig a kémiai analízis egyik legegyszerűbb módszere. A gyakorlatban igen elterjedt bizonyos anyagok azonosítása ill. minőségének megítélése céljából; ezen kívül alkalmas lehet pl. oldatok koncentrációjának gyors meghatározására is.

A szilárd, folyékony és gáz halmazállapotú anyagok sűrűsége egyaránt függ a hőmérséklettől és a nyomástól. A sűrűség hőmérséklettől való függése általánosan a következő formulával adható meg:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \beta \cdot T}, \quad (2.2)$$

ahol ρ_0 a 273,16 K-en mért, ρ pedig az adott T hőmérséklethez tartozó sűrűség; β az ún. *térfogati hőtágulási tényező*.

Fontos még megjegyezni az ún. *barometrikus magasságformula* fogalmát is. Eszerint állandó hőmérsékletű gázban a nyomás és a sűrűség a magassággal exponenciálisan csökken:

$$p = p_0 \cdot e^{-\frac{\rho_0 g}{p_0} h} \quad (2.3)$$

$$\rho = \rho_0 \cdot e^{-\frac{\rho_0 g}{p_0} h} \quad (2.4)$$

Bár a légkör nem állandó hőmérsékletű és nem ideális gáz, nem túl nagy magasságok esetén az előbbi formulák közelítőleg jól használhatóak.

A *relatív sűrűség* fogalmán két anyag (test) abszolút sűrűségének hányadosát értjük:

$$\rho_{\text{rel}} = \frac{\rho_1}{\rho_2}. \quad (2.5)$$

2.1. Eszközök leírása, mérési eljárás

2.1.1. A Mohr–Westphal-mérleg

A Mohr–Westphal-mérleg működése Archimédész elvén alapszik: a ρ ill. ρ_0 sűrűségű folyadékba merülő testre ható felhajtóerők viszonya egyenlő a sűrűségek viszonyával:

$$\frac{F}{F_0} = \frac{\rho}{\rho_0} \quad (2.6)$$



A Mohr–Westphal-mérleg. Egy-egy egységlovas ($0,1 \text{ g/cm}^3$) van az 1 és 9 osztásokon, az összesen $10 \times 0,1 = 1,0$, a százados helyiértéket mérő lovas nincs fölrakva (a száron lóg a lovastartón) – eddig 1,00, az ezredes helyiérték pedig a 4-es osztáson van, vagyis a sűrűség $1,004 \text{ g/cm}^3$

A módszer a folyadékok – ill. közvetve akár szilárd testek – relatív sűrűségének meghatározására szolgál. A mérleg egyik karján – egymástól egyenlő távolságra – mélyedések helyezkednek el, míg a végére egy üvegtest akasztható. A test által kifejtett súlyerőt a mérleg másik karján lévő nehezék – megfelelő beállítás esetén – levegőn kiegyensúlyozza.

Az egyik mérlegkaron lévő mélyedésekbe a mérleghez tartozó, ún. *lovasokból* álló súlysorozat tagjait helyezhetjük el. Az ezekkel történő mérés a forgatónyomaték elvén alapszik. A karra elhelyezett testek forgástengelyre kifejtett összes forgatónyomatéka az egyes testek súlyának és a tengelytől mért távolságuk szorzataként adódó értékek összege lesz. Egyensúly esetén a másik karon lévő nehezék forgástengelyre vett forgatónyomatéka a másik karéval azonos nagyságú, de ellentétes forgatási irányú lesz, így **az eredő forgatónyomaték értéke nulla**. Ha az üvegtestet folyadékba merítjük, akkor a testre felhajtóerő hat, melynek iránya ellentétes a test súlyerejének irányával – ezért a tengelyre vett forgatónyomaték értéke megváltozik. Az egyensúly visszaállításához van szükség a lovasokra.

A legnagyobb (vagy egység-) lovas tömege úgy van megválasztva, hogy a tengelytől tíz egységnyi távolságba helyezve éppen kiegyensúlyozza azt a felhajtóerőt, amely a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ -os (azaz $\rho = 0,999 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ sűrűségű) vízbe merülő üvegtestre hat (a gyakorlaton használt mérleg megfelelő karján csak kilenc beosztás található, ezért két egységlovassal lehet megoldani a feladatot). A súlysorozat kisebb tagjai az egységlovas

tömegének tized ill. század részei. A Mohr–Westphal-mérleg előnye, hogy a ráhelyezett lovasok pozíciója alapján egyből leolvasható a vizsgált folyadék sűrűsége. Ha pl. egy $1254 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ sűrűségű oldatba merítjük az üvegtestet, akkor a két egységlovassal összesen $1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ sűrűséget tudunk beállítani (pl. a kilences és a hármas beosztáshoz helyezve őket), míg a tized-lovast az ötös, a század-lovast pedig a négyes beosztáshoz helyezve kapjuk meg a kívánt egyensúlyi helyzetet.

Ha a 15°C -ostól eltérő hőmérsékletű (pl. szobahőmérsékletű) víz ill. oldatok állnak rendelkezésünkre, akkor a mérleg egyensúlyi helyzete nem állítható be pontosan pusztán az egységlovas használatával. Ekkor egy korrekciót kell alkalmaznunk, és a meghatározott korrekciós faktorról **minden további mérést korrigálnunk kell!** A korrekciós faktort (K) a következőképpen határozzuk meg. Táblázatból kikeressük a víznek az adott hőmérsékletre tartozó ρ_{val} valódi sűrűségét, és ezt elosztjuk az egyensúly beállításához szükséges lovasok értékével, azaz az adott hőmérsékleten mért $\rho_{\text{mért}}$ sűrűséggel:

$$K = \frac{\rho_{\text{val}}}{\rho_{\text{mért}}}. \quad (2.7)$$

Így – a korrekciós faktor felhasználásával – az anyagok abszolút sűrűsége adott hőmérsékleten:

$$\rho_{\text{absz}} = K \cdot \rho_{\text{mért}}. \quad (2.8)$$

2.1.2. Mérések piknométerrel

Piknométerrel többnyire folyadékok ill. kis méretű szilárd testek sűrűségét határozhatjuk meg. A piknométer rendszerint egy $10\text{--}100 \text{ cm}^3$ -es üvegedény, melynek egyik szárába csiszolattal ellátott hőmérő, a másikba üveg dugó illeszkedik. A dugó furata szűk csőben folytatódik, így az ebbe karcolt jel a térfogatot igen pontosan definiálja (állandónak tekinthető hőmérsékleten). A piknométerrel való sűrűségmérés alapja az, hogy azonos térfogatú anyagok sűrűségeinek aránya egyenlő az azonos térfogatban foglalt tömegek arányával:

$$\frac{\rho}{\rho_0} = \rho_{\text{rel}} = \frac{\frac{m}{V}}{\frac{m_0}{V}} = \frac{m}{m_0}. \quad (2.9)$$

Folyadékok sűrűségének meghatározása

Az m_0 , azaz a piknométer térfogatával azonos térfogatú víz tömegének meghatározásához meg kell mérni a piknométert üresen ($m_{\text{ü}}$) és vízzel telve ($m_{\text{ü+v}}$). A két mérési adatból:

$$m_0 = m_{\text{ü+v}} - m_{\text{ü}}. \quad (2.10)$$

Hasonló megfontolással, az ismeretlen sűrűségű folyadék (f) tömegére (m) felírhatjuk:

$$m = m_{\text{ü+f}} - m_{\text{ü}}. \quad (2.11)$$

Az ismeretlen folyadék vízre vonatkozó relatív sűrűsége:

$$\rho_{\text{rel}} = \frac{m}{m_0} = \frac{m_{\text{ü+f}} - m_{\text{ü}}}{m_{\text{ü+v}} - m_{\text{ü}}}. \quad (2.12)$$

Ebből – a víz adott hőmérsékletre tartozó abszolút sűrűségének ismeretében – a folyadék abszolút sűrűsége meghatározható.

Szilárd testek sűrűségének meghatározása

Az előző pontban említettekhez hasonló módon eljárva kell megmérni a szilárd test és a vele azonos térfogatú desztillált víz tömegét. A mérést több lépésben kell elvégezni.

1. Meg kell mérni a szilárd test tömegét (m_{sz}).
2. Meg kell mérni a desztillált vízzel jelig töltött piknométer tömegét ($m_{\text{ü+v}}$).

3. A szilárd testet a piknométerbe helyezve, majd jelig töltve az üvegedényt desztillált vízzel, mérjük meg az együttes tömeget ($m_{\ddot{u}+v+sz}$).

Határozzuk meg m_0 és ρ_{rel} értékét:

$$m_0 = (m_{\ddot{u}+v} + m_{sz}) - m_{\ddot{u}+v+sz}, \quad (2.13)$$

$$\rho_{rel} = \frac{m_{sz}}{m_0} = \frac{m_{sz}}{(m_{\ddot{u}+v} + m_{sz}) - m_{\ddot{u}+v+sz}}. \quad (2.14)$$

Ebből – az előző módon – meghatározható a szilárd test abszolút sűrűsége.

2.2. Feladatok

Eszközök: 1 db Mohr–Westphal mérleg (állvány, mérlegkar, súly, két egységlovas, egy-egy tizedegység- és századegység-lovas), mérőhenger, oldatsorozat, 1 db szilárd test (parafadugó rajzszőgekkel), konyhasó.

1. Határozza meg a Mohr–Westphal-mérlegnél használt oldatokra vonatkozó korrekciós faktor értékét!
2. Határozza meg a kiadott oldatsorozat(ok) sűrűségét három méréssorozat alapján! Számolja ki az egyes oldatok sűrűségének átlagos értékét, valamint a szórását!
3. Ábrázolja a koncentráció függvényében a sűrűségek átlagos értékeit! Határozza meg az ismeretlen oldat koncentrációját!
4. Határozza meg a 2. feladatban szereplő oldatsorozat(ok) sűrűségét piknométer segítségével! Adja meg az egyes oldatokra vonatkozó relatív eltéréseket a 2. feladatban kapott átlagértékekhez képest!
5. Határozza meg a kiadott szilárd test sűrűségét víz, konyhasó és a Mohr–Westphal-mérleg segítségével!