

Folyadékok és szilárd anyagok sűrűségének meghatározása

Egy test anyagának **abszolút sűrűsége** a test tömegének (m) és térfogatának (V) hányadosával egyenlő: $\rho = \frac{m}{V}$.

SI mértékegysége: kg/m^3 . Használjuk még a kg/dm^3 , g/cm^3 , g/dm^3 mértékegységeit is.

A testek tömege független a hőmérséklettől és a nyomástól, térfogatuk viszont változik e két állapotváltozó változásával. Ennek következtében a sűrűség is függ a hőmérséklettől és a nyomástól. Meghatározott nyomáson és hőmérsékleten megadott sűrűség a legfontosabb anyagi állandók egyike.

Szilárd és cseppfolyós anyagok esetén a nyomás hatása elhanyagolható, meg kell azonban adni a meghatározás hőmérsékletét. Oldatok esetében a sűrűség függ az oldat összetételétől is. Az oldatok sűrűségének ismeretében a koncentrációja megfelelő táblázatokból kikereshető.

A **relatív sűrűség** (s) mértékegység nélküli szám: a kérdéses anyag és az összehasonlításhoz választott anyag sűrűségének hányadosa. A **relatív gázsűrűség** tökéletes gázokban - **AVOGADRO-törvényének** értelmében - **megegyezik a két gáz moláris tömegének hányadosával**.

Ha összehasonlításhoz $4,0\text{ }^\circ\text{C}$ -os vizet választunk a folyadékoknál, a relatív sűrűség gyakorlati pontossággal az abszolút sűrűség számértékével megegyezik.

A sűrűség meghatározására több módszer is rendelkezésre áll.

Szabályos alakú szilárd testek sűrűségét tömegük megméréssel és térfogatuk kiszámításával kaphatjuk meg.

Szabálytalan szilárd testek sűrűségének meghatározásánál használhatjuk a **lebegtetési**, a **piknométeres** és a **hidrosztatikai módszert**.

Folyadékok sűrűségének meghatározása történhet **areométerrel**, **MOHR–WESTPHAL-féle mérleggel** és **piknométerrel**.

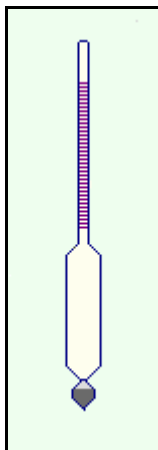
Gázok sűrűségét gáz-areométerrel mérhetjük meg, vagy az állapotváltozó és az állapotfüggvény ismeretében számolhatjuk

1. Sűrűség meghatározása hidrosztatikai módszerekkel (ARKHIMÉDÉSZ-elvén alapuló eljárások)

Mérés areométerrel

Az **areométer** alul kiszélesedő, skálabeosztással ellátott vékony üvegcső, amely a kiszélesedés után higanyval, vagy söréttel töltött gömbben végződik. Mindkét vége leforrasztott.

Az **areométereket** úgy méretezik, hogy függőleges helyzetben ússzanak a folyadékokban: az **areométer addig süllyed a folyadékba, míg az általa kiszorított folyadék tömege egyenlővé nem válik a saját tömegével**. A kiszélesedő test tehát **a folyadékba merül**, kis keresztmetszetű csőve pedig a folyadék sűrűségétől függően kisebb-nagyobb mértékben kiemelkedik a folyadékból. A **merülés mélysége** a kis keresztmetszetű cső tapasztalati skálájáról - a folyadék felszínével azonos magasságban - **sűrűség egységeiben közvetlenül leolvasható**.



Az areométer annál érzékenyebb, minél kisebb a skála keresztmetszete; viszont annál tágabb sűrűség-intervallumban használható, minél hosszabb ez a cső. Mivel a túl hosszú eszközök kényelmetlenek, olyan sorozatot készítenek, melynek minden tagja egy-egy sűrűség-intervallumban használható. Mellékelni szoktak a sorozathoz egy kevésbé érzékeny, ún. **kereső** areométert annak eldöntésére, hogy a sorozat mely tagja alkalmas a mérésre.

Az oldatok sűrűsége függ a koncentrációtól. Ezért töményebb oldatok közelítő koncentrációját gyorsan meghatározhatjuk ezzel a módszerrel. A gyakorlatban pl. **must cukorfokának, ólomakkumulátor savkoncentrációjának, szeszesitalok alkoholtartalmának, stb. közvetlen meghatározására alkalmas areométereket is készítenek.** Ezeknek a skáláján nem a sűrűség van feltüntetve, hanem a megfelelő koncentráció.

Méréskor a vizsgált folyadékot tiszta, száraz mérőhengerbe öntjük. A folyadék legyen ugyanolyan hőmérsékletű, mint amilyen hőfokon az areométert hitelesítették!

A kereső areométerrel állapítsuk meg a sűrűség közelítő értékét! Ehhez az areométert óvatosan a folyadékba helyezzük úgy, hogy az abban szabadon lebegjen. Esetleg megpörgetjük, hogy ne tapadjon a mérőhenger falához. Az areométer megállapodása után leolvassuk, hogy melyik beosztása van a folyadék meniszkuszának egyenes részével egy magasságban.

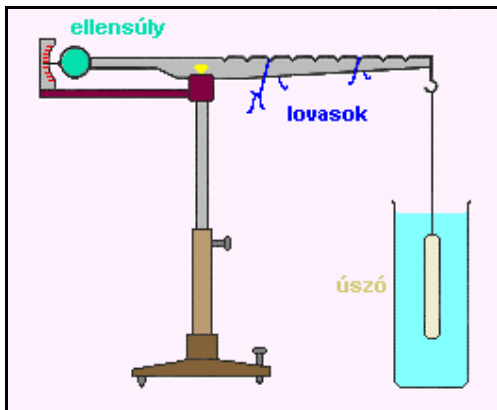
Végezzük el ezt a műveletet a sorozat megfelelő, érzékeny tagjával is!

Mérés után az areométert vízzel elmoszuk, majd szárazra töröljük, és visszahelyezzük dobozába.

Ügyeljünk arra, hogy ne tegyünk a folyadékba olyan areométert, amely a mérendő folyadék sűrűségénél nagyobb sűrűségek mérésére alkalmas, mert az, ha elengedjük, a mérőhenger aljára leesik, és esetleg összetörik!

Mohr-Westphal-mérleg

A **Mohr-Westphal-féle mérleg** olyan **hidrosztatikai mérleg**, mely a mérőkarjára felfüggesztett - és a vizsgálandó folyadékba merített - üvegtest tömegvesztését a hozzá tartozó különleges tömegsorozat segítségével **közvetlenül sűrűség egységben adja meg.**



A tömegsorozat **egysége** a mérleghez tartozó üvegtesttel egyenlő térfogatú 4,0 °C-os víz tömegével egyenlő tömegű, U alakúra hajlított, vastag sárgaréz drót. A kisebb tömegek ennek 0,1-0,01 részei ("lovasok").

Méréshez a mérleget a rajta (mérőkar végén) levegőben függő üvegtesttel **egyensúlyba kell beállítani.** Ezt részben a lábcsavarral, részben pedig az ellensúly eltolásával érhetjük el.

Amikor az üvegtestet **folyadékba merítjük** - a tömegvesztés mérésére a lovasokat ugyanarra a 9 osztásrészre beosztott karra helyezzük, amelyen az üvegtest függ - **visszaállítjuk a mérleg egyensúlyi helyzetét.**

Az egységnek megfelelő legnagyobb lovas (legalább 2 db van belőle) a kar végén lévő horogra, illetve valamelyik osztásrészre helyezhetjük. Ily módon a sűrűségnek 1-egész, illetve a tized-értékét kapjuk meg. Az osztásrészekre elhelyezett további kisebb lovasok adják a sűrűség század- és ezred-helyiértékét. (A lovas hiánya nulla számértéket jelent)

Ezáltal **a sűrűséget számítás nélkül, a lovasok elhelyezkedésének** - helyi érték és számérték - **leolvasásával állapítjuk meg.**

Pl. 1,204 g/cm³ sűrűségű folyadék esetén, amikor egyensúlyban van a mérleg: az egyik legnagyobb lovas a horgon, a másik a 2-es osztásrészen található, a 0,1-tömegű lovas hiányzik, a 0,01-tömegű a 4-es osztásrészen helyezkedik el.

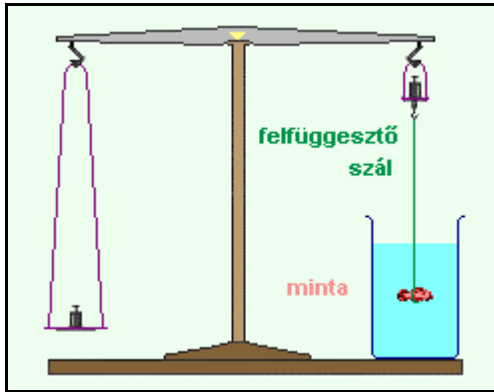
Lebegtetési módszer

A **lebegtetési módszert** akkor használjuk a sűrűség meghatározására, ha kevés szilárd anyag áll rendelkezésre (pl. drágakövek). Az eljárás során **a vizsgált anyaggal megegyező sűrűségű elegyet**

állítunk elő olyan folyadékok elegyítésével, amelyek a vizsgálandó anyaggal nem lépnek reakcióba, viszont egymással korlátlanul elegyednek. Ebben **az elegyben a vizsgált anyag lebeg**. A folyadék sűrűségének pontos meghatározása a szilárd test sűrűségét is megadja.

Hidrosztatikai mérleg

Nagyobb méretű szilárd testek sűrűségét - $0,001 \text{ g/cm}^3$ pontossággal - **hidrosztatikai mérleg** alkalmazásával határozhatjuk meg. Ez olyan kétkarú mérleg, amelynek egyik serpenyője rövidebb felfüggesztésű, mint a másik.



Méréskor a rövidebb serpenyő alján levő horogra vékony szálat (platina, műanyag, esetleg cérna) erősítünk.

Megmérjük a szál tömegét (m_o), majd a szállal a vizsgálandó mintát áthurkolva újra elvégezzük a tömegmérést (m_m). A két tömeg különbsége adja a minta tömegét. Ezt követően pontosan ismert hőmérsékletű vízzel (vagy más, de ismert sűrűségű folyadékkal) telt főzőpohárba merítjük a mintát. Meggyőződünk róla, hogy a mintán nem maradt levegőbuborék, majd a mérleg megbomlott egyensúlyi helyzetét a rövidebb felfüggesztésű serpenyőbe tett tömegetalonokkal helyreállítjuk. A kapott érték a minta

által kiszorított víz tömege (m_v).

A víz sűrűségének (ρ_v) ismeretében ebből megkapjuk a minta térfogatát, és így a minta sűrűsége:

$$\rho_{\text{szilárd}} = \frac{m_m - m_o}{m_v} \cdot \rho_{\text{viz}(t)}$$

2. Sűrűség meghatározása a tömeg és a térfogat mérése révén

A folyadékok és szilárd anyagok sűrűség-meghatározására egyaránt használhatunk a tömeg és a térfogat közvetlen mérésén alapuló eljárást. Ez kevésbé pontos, mivel a térfogat mérését legtöbbször mérőhengerrel valósítjuk meg.

Folyadékok sűrűségének mérése során először tiszta, száraz állapotban analitikai, vagy precíziós mérlegen megmérjük egy mérőhenger tömegét (m_o), majd beletöltünk adott térfogatú (V) folyadékot, és ismét megmérjük a tömegét (m_f).

Alkalmazhatunk olyan módszert is, hogy pontosan ismert térfogatú folyadék tömegét mérjük meg. Ekkor például tiszta száraz, pontosan mért tömegű lombikba (m_o) pipettával, vagy bürettával mérünk adott térfogatú (V_f) folyadékot, majd ismét megállapítjuk a tömeget (m_f).

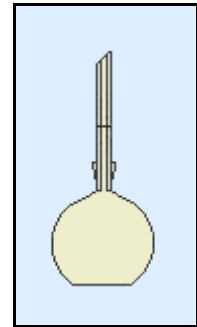
A sűrűséget ezeknél az eljárásoknál **a tömegkülönbség és térfogat hányadosával számítjuk**.

Szilárd anyagok sűrűségének meghatározását az anyag tömegének mérésére és az általa kiszorított folyadék térfogatának megállapítására vezetjük vissza. Ekkor egy mérőhengerbe adott térfogatú folyadékot (V_o) öntünk, és megmérjük a folyadék, valamint a mérőhenger együttes tömegét (m_o). Ezután behelyezünk meghatározott mennyiségű szilárd anyagot. Megállapítjuk a megnövekedett térfogatot (V_{sz}), és ismét megmérjük a szilárd anyagot is tartalmazó mérőhenger tömegét (m_x).

A sűrűséget a tömegek és a térfogatok különbségének hányadosából képezzük.

Mérés piknométerrel

A **piknométeres** sűrűség meghatározás pontosan ismert hőmérsékletű és térfogatú folyadék tömegének mérésén alapszik. Amihez adott térfogatú üvegedényt, piknométert használunk. A piknométer lombik alakú, szűk nyakú üvegedény, melynek szájába körkörös jellel ellátott csiszolatos üvekapilláris illeszthető, ezzel a folyadékszint igen pontosan beállítható.



A sűrűség meghatározásához a piknométer tömegét üresen, majd a vizsgálandó folyadékkal, illetve vízzel a körkörös jelig megtöltve kell lemérni.

A **piknométeres sűrűségmérés pontossága** - ha a mérésünket kellő körültekintéssel és helyesen végezzük - **a tömegmérés pontosságától függ**, tehát ha analitikai mérleggel végezzük a mérést: a sűrűséget $\pm 0,0002 \text{ g/cm}^3$ pontossággal határozhatjuk meg.

A **mérés** során először tiszta, száraz állapotban analitikai mérleggel megmérjük az üres piknométer tömegét (m_0).

Az edényt a kapilláris nélkül vizsgálandó folyadékkal színültig töltjük, lassan beletesszük a kapilláris csövet. *Ügyeljünk arra, hogy buborék ne maradjon a piknométerben!* Majd kb. 15 percre termosztátba helyezük, hogy pontosan ismert hőmérsékletet vegyen fel. Ekkor a fölösleges folyadékot szűrőpapír csíkkal leitatjuk, a meniszkuszt beállítjuk a kapilláris-jelre, és a piknométert kívülről szárazra töröljük. Megmérjük a folyadékkal teli piknométer tömegét (m_f).

A piknométert alaposan kimossuk, deszt.vízzel kiöblítjük, majd deszt.vízzel megtöltjük és az előbbivel azonosan járunk el. A vízzel teli piknométer tömege: m_v .



A folyadékszint beállítását mindig termosztátban, állandó és ismert hőfokon kell végezni, mivel a folyadékok térfogata jelentősen függ a hőmérséklettől!

A folyadék sűrűség kiszámítása a következő képlet segítségével történik:

$$\rho_{\text{foly}} = \frac{m_f - m_0}{m_v - m_0} \cdot \rho_{\text{viz}(t)}$$

A számításhoz szükséges, termosztálási hőmérsékletéhez tartozó, víz-sűrűség értéket fizikai-kémiai táblázatokban találjuk meg.

A piknométeres mérés **szilárd anyagok** sűrűségének megállapítására is alkalmas. Ekkor a szilárd anyag tömegét megmérjük, majd a térfogatát az általa kiszorított folyadék térfogatának meghatározásával állapítjuk meg. **A méréshez csak olyan folyadék használható, amelyben a vizsgált szilárd anyag nem oldódik!** Illetve olyan folyadékot kell választani, amelynek sűrűsége jelentősen kisebb, mint a szilárd anyagé.

Ekkor **négy tömegmérést kell végezni**. Először a száraz, tiszta piknométer tömegét (m_0) mérjük meg, majd a piknométer és a benne levő szilárd anyag együttes tömegét (m_{sz}). Ezután megmérjük az alkalmas folyadékkal jellel töltött - a szilárd anyagot is tartalmazó - piknométer tömegét (m_f) és az üres piknométert a folyadékkal megtöltve (m_v).



A sűrűségét a szilárd anyag tömegének ($m_{sz} - m_0$), valamint térfogatának hányadosaként számítjuk, amit úgy kapunk, hogy a piknométer térfogatából $[(m_v - m_0)/\rho_f]$ levonjuk a szilárd anyagot kiegészítő folyadék térfogatát $[(m_f - m_{sz})/\rho_f]$.