

# Folyadékok belső súrlódásának mérése

Asztalos Bogdán (7. mérőpár)

mérés időpontja: 2017. 03. 14.

jegyzőkönyv leadásának időpontja: 2017. 03. 21.

## A mérés célja

A glicerín viszkozitásának vizsgálata, és megmérése a Höppler-készülékkel, valamint a Stokes-féle súrlódási törvény felhasználásával. Ezen kívül, a mérések során a Reynolds-számát is kiszámítjuk, hogy megvizsgálhassuk, a számolási módszer pontosságát.

## A mérés eszközei

- Stopper
- Előre beállított Höppler-féle viszkoziméter
- Hőmérőt is tartalmazó aerométer
- Piknométer
- Kétkarú mérleg súlyokkal
- Műanyag golyók kétféle méretben
- Mérőhenger, glicerinnel megtöltve
- Vonalzó
- Csavarmikrométer

## A mérés menete

A mérés két különböző elven alapuló mérést foglal magában.

Az első, a glicerín viszkozitásának megmérése a Höppler-féle viszkoziméterrel. A viszkoziméter egy glicerinnel megtöltött üvegcső, amiben egy, a cső átmérőjénél csak kicsit kisebb átmérőjű golyó süllyed. Ismerve a viszkoziméterre jellemző adatokat, valamint a golyó és a glicerín sűrűségét, kiszámolható a viszkozitás. A golyó és a viszkoziméter adatai adottak, a glicerín sűrűségét, és hőmérsékletét pedig az aerométerrel határozzuk meg.

A mérés második részében a glicerinnel feltöltött mérőhengerbe ejtett műanyag golyók süllyedését vizsgáljuk. Mivel a süllyedő golyókra a Stokes-féle súrlódási törvény miatt a sebességgel arányos erő hat, a süllyedés megkezdése után rövid idővel, egyenletesen fognak süllyedni, és a süllyedés sebességének megméréseiből ki lehet számolni a glicerín viszkozitását. A sebességet úgy mérjük, hogy megmérjük, mennyi idő alatt süllyedt le a golyó két megadott jel között.

A második módszerhez hozzátartozik, hogy a Stokes-féle súrlódási törvény csak akkor érvényes, ha a súrlódás következtében a folyadékban fellépő áramlások laminárisak, ezt azonban nem feltételezhetjük. A lamináris áramlás vizsgálatára jó módszer a Reynolds-szám kiszámítása, amit a mért adatok ismeretében ki tudunk számolni, és meglátni, hogy mely méréseket vehetjük ténylegesen figyelembe, és melyeket nem.

Továbbá, a számolások során fel kell használnunk a süllyedő golyók méretét és sűrűségét is, így azokat is meg kell mérni. A golyók méretét csavarmikrométerrel állapítottuk meg, minden golyó esetén három, különböző állás esetén mértük meg az átmérőt. A sűrűséget pedig a piknométer segítségével mérhetjük meg. Megmérjük a tömegét üresen, illetve úgy, hogy golyók vannak benne, úgy, hogy a golyók mellé vizet is töltünk, valamint teljesen vízzel telve. Ezen értékekből már kiszámítható a golyók anyagának sűrűsége.

## Hibák

- A mérőhenger magasságának megmérése közben a vonalzó pontatlansága miatt lehet  $\Delta h = 0,1 \text{ cm}$  hiba
- A golyók átmérőjének megmérésekor a csavarmikrométer pontatlansága miatt lehet  $\Delta d = 0,01 \text{ mm}$  hiba
- Minden időmérésnél hibaforrás a reakcióidő, ami nagyjából  $\Delta t = 0,3 \text{ s}$  körül lehet
- Előfordulhatnak olyan hibák is, amelyek a mérési berendezés miatt lehetnek jelen, (pl. a golyókon levegőbuborék, vagy vízcseppek vannak, vagy nem teljesen gömb alakúak stb...), de ezeket számszerűen mérni nem lehet, így mivel elég kicsik, elhanyagoljuk, de mint hibaforrás, megemlítjük

## Kiértékelés

### Mérés Höppler-féle viszkoziméterrel

A Höppler-féle viszkoziméterrel a golyó lesüllyedésének idejét mértük:  $t_{mert} = 103,28 \text{ s}$ . Az empirikus képlet alapján a viszkoziméterben lévő folyadék viszkozitása:

$$\eta = K (\rho_g - \rho_f) t$$

ahol  $K$  az összeállításra jellemző érték ismert:  $K = 0,13 \frac{\text{mPa} \cdot \text{cm}^3}{\text{g}}$ ,  $\rho_g$  a golyó sűrűsége, ami szintén ismert:  $\rho_g = 8,10 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ ,  $\rho_f$  pedig a folyadék (azaz a glicerin) sűrűsége, ami az aerométerrel való mérés alapján:  $\rho_f = 1,225 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ . Ezen adatok alapján, kiszámítható a glicerin viszkozitása ami:  $\eta = 92,3 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ .

### Műanyag golyók süllyedésének mérése

Először, nézzük a golyók sűrűségét. A piknométerrel végzett mérések eredményeit az 1. táblázat tartalmazza. A műanyag golyók sűrűsége ezekből az adatokból kiszámolható:

$$\rho_g = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_2 + \mu_4 - \mu_1 - \mu_3} \rho_v = 2,556 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Piknométer		
Konfiguráció		m [g]
$\mu_1$	Üresen	36,3
$\mu_2$	Golyókkal	81,8
$\mu_3$	Golyókkal és vízzel	125,1
$\mu_4$	Vízzel	97,4
$\rho_{\text{viz}} [\text{g}/\text{cm}^3]$		1,0

1. táblázat. A piknométerrel végzett mérések eredményei

Most pedig vizsgáljuk meg részletesebben is a mérőhengerben süllyedő golyók sebességét! A golyókra hat  $mg$  nehézségi erő,  $F_{felh} = V\rho_g g$  felhajtó erő és  $F_k$  közegellenállás, ami a Stokes-féle súrlódási törvény szerint  $F_k = 6\pi\eta r v$ . Ha a süllyedés sebessége egyenletes, akkor

$$mg = V\rho_g g + 6\pi\eta r v$$

Mivel  $m = \rho_g V$  és  $V = \frac{4}{3}r^3\pi$  valamint  $v = \frac{h}{t}$  ezért az előbbi egyenletből könnyen kifejezhető  $\eta$ :

$$\eta = \frac{2(\rho_g - \rho_f)r^2gt}{9h}$$

A képletben szereplő  $\rho_g$  az előbb kiszámolt golyó sűrűsége, a  $\rho_f$  a folyadék, vagyis a glicerin sűrűsége, amit már lemértünk,  $\rho_f = 1,225 \frac{g}{cm^3}$ ,  $g$  a nehézségi gyorsulás, aminek értékét  $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ -nek vettük,  $h$  az a magasság, amennyit a golyó süllyed, ennek nagysága a mérés alapján  $h = 25,9 \text{ cm}$ ,  $r$  a süllyedő golyó sugara és  $t$  pedig a süllyedés ideje. Az utóbbi kettőt mérjük le golyóról golyóra. A mért értékeket a 2. táblázat tartalmazza. Ezek alapján az adatok alapján, és a fent kiszámolt képlettel már minden golyó süllyedése

t [s]	Nagy golyók átmérői [mm]		
	1	2	3
3,27	3,86	3,87	3,89
3,22	3,98	3,83	3,84
3,28	3,91	3,91	3,90

(a)

t [s]	Kis golyók átmérői [mm]		
	1	2	3
25,69	1,25	1,22	1,19
24,56	1,30	1,28	1,29
31,64	1,15	1,21	1,14

(b)

2. táblázat. A nagyobb (a) és a kisebb (b) méretű golyóval végzett mérések adatai

alapján számolható egy viszkozitás érték, ezeket a 3. táblázat tartalmazza. A viszkozitás hibája a hibaöröklés szabályai szerint:  $\delta\eta = 2\delta r + \delta t + \delta h$ .

A méréshez hozzátartozik, hogy megvizsgáljuk a Stokes-féle súrlódási törvény érvényességét is. A közegellenállás csak akkor lesz arányos a sebességgel, ha a folyadék áramlása lamináris, egyébként más jelenségek is szerepet kapnak. Ennek eldöntésére legalkalmasabb a Reynolds-szám kiszámolása. A Reynolds-szám képlete:

$$Re = \frac{\rho_f r v}{\eta}$$

t [s]	$r_{\text{átlag}}$ [mm]	v [cm/s]	$\eta$ [mPa-s]	$\Delta\eta$ [mPa-s]	Re [1]
3,27	1,94	7,92	137,45	14,56	1,37
3,22	1,94	8,04	136,05	14,60	1,41
3,28	1,95	7,90	140,16	14,80	1,35
25,69	0,61	1,01	107,09	5,18	0,07
24,56	0,65	1,05	114,47	5,39	0,07
31,64	0,58	0,82	120,48	5,74	0,05

3. táblázat. A kapott viszkozitások értékei a különböző méréseknél

Akkor használhatjuk jogosan a Stokes-féle sűrűdési törvényt, ha ez a szám kisebb, mint 0,1. A kiszámolt Reynold-számértékeket szintén a 3. táblázat tartalmazza. Ebből látszik, hogy a nagyobb golyók esetében nem, de a kisebbeknél teljesül a feltétel, így az ott kapott viszkozitás értékeket kell elfogadni. Ezek átlaga alapján a glicerin viszkozitása  $\eta = 114 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ .

## Diszkusszió

A Höppler-féle viszkoziméterrel mért eredmény  $92,3 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ , míg a golyók süllyedési sebességének méréséből számolt érték  $114 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ , ami eléggé különbözik, de figyelembe véve, hogy a glicerin viszkozitása nagyon érzékeny a körülményekre (hőmérséklet, víztartalom), és a két mérés két teljesen független kísérleti berendezéssel készült, ez a különbség betudható ennek.

Természetesen a glicerin viszkozitásának hivatalos értéke is függ attól, hogy milyen körülmények között nézzük. A kapott  $114 \text{ mPa} \cdot \text{s}$  értéket szobahőmérsékleten a 85 % és 90 % töménység közötti glicerin oldatokra jellemző<sup>1</sup>, ami könnyen lehetett a mérésben vizsgált glicerin. Viszont emellett is meg kell említeni, hogy a glicerin viszkozitása jelentős mértékben érzékeny mind a hőmérsékletre, mind a nedvességre, így a mérés bármely kicsiny részlete is nagyban befolyásolhatta a kapott eredményt.

Végeredményben, a kapott eredmények nagyságrendileg egyeznek mind egymással, mind az irodalmi adattal, az egyezés ennél pontosabb kimutatása már összetettebb mérést igényel, így a körülményeket figyelembe véve, a mérés eredményesnek mondható.

---

<sup>1</sup>forrás: [http://www.aciscience.org/docs/glycerine\\_-\\_an\\_overview.pdf](http://www.aciscience.org/docs/glycerine_-_an_overview.pdf)