

Folyadék belső súrlódásának mérése

Balog Dániel

2010.04.29

Mérőtárs neve:Dologh Bence
Mérés időpontja: 2010.04.22.

A mérés célja:

A mérés célja a folyadékokban fellépő belső súrlódás (ún. *viszkozitás*) vizsgálata. Mi a glicerín viszkozitását mérjük meg, kétféle módszerrel.

Mérőeszközök:

- Höppler-féle viszkoziméter
- piknométer
- glicerinnel töltött üveghenger
- golyók
- csavarmikrométer
- vonalzó
- aerométer

A mérés leírása:

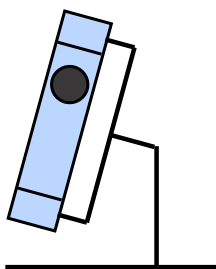
A két mérési módszer a Höppler-féle viszkoziméter, és a Stokes törvényen alapuló mérés.

A két mérés közötti fő különbség az, hogy a Stokes törvény akkor igaz, ha az áramlás laminális, azaz párhuzamos rétegekre bontható. Ennek az a feltétele, hogy az ún. Reynolds szám 0.1 alatt legyen. Ennek kiszámítása :

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

A második mérést az teszi szükségessé, hogy a η a viszkozitási együttható. Így lehetséges, hogy rossz méréssel visszszámolva tévesen fogadjuk el az eredményt.

Höppler-féle viszkoziméter:



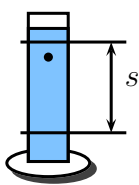
A mérés lényeges pontja az, hogy a Stokes-törvény itt nem teljesül, hiszen a golyó átmérője szinte megegyezik a cső átmérőjével. Ezért itt a viszkozitás kiszámítása a mérés leírásában írt képlettel lehetséges, ez:

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

Itt a K a mérési összeállításra jellemző állandó, értéke $K = 0.13 \text{ mPa} \cdot \text{cm}^3/\text{g}$
 ρ_g a golyó adott sűrűsége, ez $\rho_g = 8.1 \text{ g/cm}^3$.

Így megméréndő az idő (t) és ρ_f , ami a glicerín sűrűsége.
Az idő alatt a felső és alsó jel között eltelt időt kell érteni.

Stokes-törvényen alapuló mérés:

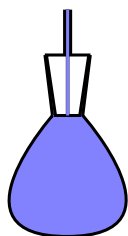


A mérést kétféle golyómérettel végezzük. Mindkét golyóméretet háromszor kell kipróbálni, és mivel a golyók nem tökéletesen gömb alakúak, minden csavarmikrométerrel végzett átmérőmérést is háromszor, majd ezek átlagát elfogadni, mint a golyó átmérőjét. A mérni kívánt golyót csipesszel a glicerínbe kell mártani, *(ügyelve arra, hogy ne legyen túl mélyen)*. A két jelzővonal közötti távolság nálam $s = 20.1 \text{ cm}$ volt.

Amennyiben a golyó állandó sebességgel mozgott a két jelzőpont között, igaz az $mg - F_{fel} - 6\pi\eta rv$ összefüggés. Ebből a viszkozitási együttható:

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

Piknométer:



Az előző képletben két ismeretlen van, a kiszámítandó η , és a golyók sűrűsége: ρ_g
A golyók sűrűségét piknométerrel tudjuk megmérni.

A piknométer tömegét először üresen kell megmérni, majd a mérendő szilárd anyaggal *(jelen esetben a golyókkal)*. Ezután ismert sűrűségű folyadékkal *(jelen esetben desztillált vízzel)* kell feltölteni, és megmérni a piknométer tömegét ha csak vízzel van megtöltve, illetve ha golyóval és vízzel is. A golyók sűrűsége az alábbi képlettel számítható:

$$\rho_g = \frac{m_{lg} - m_{lü}}{m_{vü} - m_{lü} - m_{vg} + m_{lg}}^1$$

Mért adatok:

A Höppler féle viszkoziméter ideje: $1^{40.04}$ perc

A glicerín sűrűsége: 1.219 g/cm^3

A hőmérséklete: 25.5°C

¹Az első index a közeget *(víz/levegő)*, a második a tartalmat *(üres/golyó)* jelöli

A piknométeres mérés adatai:

levegő		víz	
üres	golyók	üres	golyók
38.7 g	66.3 g	99.65 g	116.8 g

A Stokes törvényen alapuló mérés adatai:

út (s)	kis golyó				nagy golyó			
	d_1	d_2	d_3	t	d_1	d_2	d_3	t
[cm]	[mm]	[mm]	[mm]	[s]	[mm]	[mm]	[mm]	[s]
20.1	1.19	1.20	1.20	17.04	4.56	4.76	4.85	1.69
20.1	0.99	1.03	1.00	22.91	4.88	4.79	4.94	1.62
20.1	1.04	1.03	1.01	23.05	4.68	4.75	4.80	1.72

Kiértékelés:

A golyók sűrűsége:

$$\rho_g = \frac{m_{lg} - m_{lü}}{m_{vü} - m_{lü} - m_{vg} + m_{lg}}$$

$$\rho_g = \frac{66.3 \text{ g} - 38.7 \text{ g}}{(99.65 \text{ g} - 38.7 \text{ g} - 116.8 \text{ g} + 66.3 \text{ g})} = 2.641 \text{ g/cm}^3$$

A Höppler-féle viszkoziméter eredménye:

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

$$\eta = 0.13 \text{ mPa cm}^3/\text{g} \cdot (8.1 \text{ g/cm}^3 - 1.219 \text{ g/cm}^3) \cdot 1^{40.04} \text{ perc}$$

$$\eta = 1.3 \cdot 10^{-7} \text{ Pa m}^3/\text{kg} \cdot (8100 \text{ kg/m}^3 - 1219 \text{ kg/m}^3) \cdot 100.04 \text{ s} = 0.08949 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

A Stokes-törvény alapján számított eredmények:

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

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

Az átmérők átlagának fele az átlagos sugár, és a sebességet a megtett út, és az idő hányadosaként kapjuk. A nehézségi gyorsulás $g = 9.81 \text{ m/s}^2$. A Reynolds számnál a Höppler-féle mérésben kiszámított viszkozitást kell használni.

kis golyó				nagy golyó			
\bar{r}	v	η	Re	\bar{r}	v	η	Re
[m]	[m/s]	[Pa s]	[∅]	[m]	[m/s]	[Pa s]	[∅]
0.0005983	0.0118	0.09408	0.2083	0.002362	0.1189	0.1454	8.289
0.0005033	0.0088	0.08951	0.1303	0.002435	0.1241	0.1481	8.916
0.0005133	0.0087	0.09368	0.1321	0.002372	0.1169	0.1492	8.179

A nagy golyóknál a Reynolds-szám nagyságrendekkel nagyobb (majdnem 10), így ott a Stokes-törvény nem alkalmazható. A kis golyóknál azonban nagyságrendileg megfelelő, így az ott kapott eredmények (főleg ahol $Re \simeq 0.13$) már elfogadhatóak.

Hibaszámítás:

A mérési utasítás szerint a sűrűségadatok hibáit nullának kell venni, így hibaforrás lehet az általunk mért út, idő, és sugár. A viszkozitási képletet átírva látható, hogy:

$$\eta = \frac{2}{9}(\rho_g - \rho_f)g \cdot \frac{r^2 t}{s}$$

Tehát az összes hibalehetőség egymással szorozva illetve osztva van, így a relatív hibákat

$$\delta\eta = 2 \cdot \frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta s}{s}$$

össze kell adni.

A sugár hibája:

$$\Delta r = 3 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^3 (d_k - \bar{d})^2}{3 \cdot 2}}$$

Ezt minden golyónál ki kell számolni.

Az időmérés hibáját az emberi reakcióidő adja, ez szerintem $\simeq 0.1s$, de ezt az indításnál, és a megállításkor is figyelembe kell venni, így $\Delta t = 0.2s$

A hossz mérés hibája a legkisebb mérhető fele, ez $\Delta s = 0.25 \text{ mm}$

Így az abszolút és relatív hibák a Stokes mérésnél:

adat	kis golyó			nagy golyó		
η	0.09408	0.08951	0.09368	0.1454	0.1481	0.1492
$\delta\eta$	0.04084	0.09328	0.07351	0.2368	0.1888	0.1722
$\Delta\eta$	0.003842	0.008350	0.006886	0.03443	0.02796	0.02569

Diszkusszió:

Eredménytáblázat:

adat	Stokes-féle mérés						Höppler	táblázati adat
$\eta [Pa \cdot s]$	0.09408	0.08951	0.09368	0.1454	0.1481	0.1492	0.08949	1.5
$\Delta\eta$	0.003842	0.008350	0.006886	0.03443	0.02796	0.02569		
Re szám	0.2083	0.1303	0.1321	8.289	8.916	8.179		

Látható, hogy az eredmények a hibahatárnál nagyságrendileg többe térnek el a táblázati adattól. Ennek az lehet az oka, hogy a táblázati adat tiszta glicerinnel vonatkozik, azonban a cső mellett volt egy körülbelül 60% os glicerinnel oldatos palack, valószínűleg ez volt a csőben is. Emellett a glicerinnel megköti a levegő nedvességét, és ezzel tovább hígulhat. Ez azonban csak a Stokes-törvényre alapozott mérést magyarázza, a Höppler-féle nem. Azonban egy internetes ² táblázatban látható, a tiszta glicerinnel viszkozitása 0°C és 20°C a tízedére zuhan. Így a táblázati értéktől való eltérést a hőmérsékleteltérés okozhatja.

²Forrás: <http://www.dow.com/glycerine/resources/table18.htm>