

**A mérés célja.** 87%-os glicerín belső súrlódását (viszkózitását) szeretnénk meghatározni. A belső súrlódást így értelmezzük: ha egy folyadékban két párhuzamos, egymástól  $d$  távolságra lévő,  $A$  területű lemezt mozgatunk egymáshoz képest  $v$  sebességgel, akkor a folyadék belső súrlódása miatt erő lép fel közöttük, ami egyenesen arányos  $A$ -val és  $v$ -vel, és fordítottan arányos  $d$ -vel. Az arányossági tényező,

$$\eta = \frac{Fd}{Av}$$

a viszkózitás.

**A mérés leírása.** A viszkózitást kétféle módszerrel határozzuk meg. Először Hőppler-féle viszkóziméterrel. Ehhez megmérjük, hogy a viszkóziméterben mennyi idő alatt ér le a golyó a két szélső osztás között ( $t$ ), ill. megmérjük a folyadék sűrűségét ( $\rho_f$ ) areométerrel. Innen az

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

összefüggéssel kaphatjuk meg a viszkózitást, ahol  $\rho_g$  a viszkóziméter golyójának sűrűsége ( $8,19 \text{ g/cm}^3$ ),  $K$  pedig a viszkóziméterre jellemző állandó. A glicerín hőmérsékletét is megmérjük ( $t_f$ ), hogy össze tudjuk hasonlítani a vizskózitást az irodalmi értékkel.

Másodszor a Stokes törvény segítségével mérjük a viszkózitást. Ha egy test mozog az álló folyadékhoz képest, akkor a sebességével ellentétes irányban közegellenállási erő hat rá, gömb esetén

$$F = 6\pi\eta rv.$$

Ha a golyó lefelé mozog, akkor ezen kívül még a felhajtóerő és a nehézségi erő is fog rá hatni, és olyan sebességgel fog mozogni, hogy ez a három erő egyensúlyt tartson:

$$mg - F_{fel} - F = 0$$

$$\frac{4r^3\pi}{3} \cdot \rho_g g - \frac{4r^3\pi}{3} \cdot \rho_f g - 6\pi\eta rv = 0$$

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

Ez viszont csak akkor igaz, ha nem képződnek örvények az áramlásakor. Ehhez pedig az kell, hogy a Reynolds-szám egy kritikus érték alatt legyen:

$$Re = \frac{\rho_f rv}{\eta} < 0,1$$

Tehát ezt is ellenőrizni fogjuk.

A golyók sűrűségét piknométerrel mérjük meg. Ez egy edény, amibe pontosan tudunk adott térfogatú folyadékot tölteni. Megmérjük az edény tömegét üresen ( $\mu_1$ ), félig telerakva golyókkal ( $\mu_2$ ), ugyanígy, csak teletöltve vízzel ( $\mu_3$ ), és csak vízzel teletöltve ( $\mu_4$ ). Ebből a golyók sűrűségét a

$$\rho_g = \rho_v \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_4 - \mu_1 - \mu_3 + \mu_2}$$

képlettel kaphatjuk meg, ahol  $\rho_v$  a víz sűrűsége.

## A mért adatok.

$t$ (s)	$\varrho_f$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\varrho_g$ (kg/m <sup>3</sup> )	$K$ (Pa·m <sup>3</sup> /kg)	$t_f$ (°C)
116	1224	8190	$1,3 \cdot 10^{-7}$	23

1. táblázat. A Höppler-viszkoziméterrel és az areométerrel mért adatok

	$d_x$ (m)	$d_y$ (m)	$d_z$ (m)	$t$ (s)	$s$ (m)
1	$3,93 \cdot 10^{-3}$	$3,98 \cdot 10^{-3}$	$3,90 \cdot 10^{-3}$	3,58	0,278
2	$2,58 \cdot 10^{-3}$	$2,86 \cdot 10^{-3}$	$2,85 \cdot 10^{-3}$	6,63	0,278
3	$3,95 \cdot 10^{-3}$	$3,97 \cdot 10^{-3}$	$3,97 \cdot 10^{-3}$	3,52	0,278
4	$3,94 \cdot 10^{-3}$	$3,92 \cdot 10^{-3}$	$3,88 \cdot 10^{-3}$	3,57	0,278
5	$1,29 \cdot 10^{-3}$	$1,30 \cdot 10^{-3}$	$1,29 \cdot 10^{-3}$	27,95	0,278
6	$1,28 \cdot 10^{-3}$	$1,26 \cdot 10^{-3}$	$1,27 \cdot 10^{-3}$	28,05	0,278
7	$1,10 \cdot 10^{-3}$	$1,09 \cdot 10^{-3}$	$1,10 \cdot 10^{-3}$	38,18	0,278

2. táblázat. A Stokes-törvénnyel mért adatok

$\mu_1$ (kg)	$\mu_2$ (kg)	$\mu_3$ (kg)	$\mu_4$ (kg)
0,03850	0,07040	0,12585	0,09960

3. táblázat. A piknométerrel mért adatok

**Kiértékelés.** A viszkoziméteres mérés alapján a viszkozitás  $\eta = 0,105 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ .

A golyók méreteit átlagoljuk, kiszámoljuk a sebességeiket, és a Reynolds-számokat az előző kísérletből megkapott  $\eta$ -val:

	$d$ (m)	$r$ (m)	$v$ (m/s)	$Re$
1	$3,94 \cdot 10^{-3}$	$1,968 \cdot 10^{-3}$	0,0777	1,8
2	$2,76 \cdot 10^{-3}$	$1,382 \cdot 10^{-3}$	0,0419	0,68
3	$3,96 \cdot 10^{-3}$	$1,982 \cdot 10^{-3}$	0,0790	1,8
4	$3,91 \cdot 10^{-3}$	$1,957 \cdot 10^{-3}$	0,0779	1,8
5	$1,29 \cdot 10^{-3}$	$6,47 \cdot 10^{-4}$	$9,95 \cdot 10^{-3}$	0,075
6	$1,27 \cdot 10^{-3}$	$6,35 \cdot 10^{-4}$	$9,91 \cdot 10^{-3}$	0,073
7	$1,10 \cdot 10^{-3}$	$5,48 \cdot 10^{-4}$	$7,28 \cdot 10^{-3}$	0,047

4. táblázat. A Reynolds számok kiszámítása

Láthatjuk, hogy csak a kisebb méretű (5–7) golyókra teljesül a  $Re < 0,1$  feltétel. Tehát csak ezek eredményeit fogjuk figyelembe venni.

A golyók sűrűsége a piknométeres mérés alapján  $\varrho_g = 5600 \pm 110 \text{ kg/m}^3$ . Ezek alapján már ki tudjuk számítani a Stokes-törvény alapján a glicerín viszkozitását:

	$\eta$ (Pa · s)
1	0,481
2	0,439
3	0,479
4	0,474
5	0,405
6	0,392
7	0,398

5. táblázat. A viszkozitások

Az így kapott  $\eta$ -k közül az 5–7 golyókra számítom az átlagot, és a szórás háromszorosát veszem hibakorlátnak, így  $(0,40 \pm 0,020)$  Pa · s-t kapok.

### Eredménytáblázat.

	Viszkóziméter		Stokes-törvény		Irodalmi érték
	$\eta$	$\Delta\eta$	$\eta$	$\Delta\eta$	$\eta$
	0,105	$4,1 \cdot 10^{-3}$	0,40	0,020	0,117

6. táblázat. Eredménytáblázat

Az irodalmi érték forrása: [http://www.met.reading.ac.uk/~sws04cdw/viscosity\\_calc.html](http://www.met.reading.ac.uk/~sws04cdw/viscosity_calc.html), 87,0 m/m%-os glicerinre számolva 23°C-on.

**Diszkusszió.** A viszkóziméterrel kapott eredmény a hibahatáron túl, de nem sokkal többel tér el az irodalmi értéktől. Ennek az eltérésnek lehet az az oka, hogy a glicerin nem pontosan a dobozon feltüntetett tömegszázalékos volt, hanem ennél hígabb. Erre enged következtetni az is, hogy a mért sűrűség ( $1224 \text{ kg/m}^3$ ) valamivel kisebb, mint amit fent említett webolalon kiszámolhatunk ( $1227 \text{ kg/m}^3$ ).

A Stokes-törvénnyel kapott eredmények viszont teljesen rosszak. Erre nem találtam jobb magyarázatot, mint hogy esetleg a kisebb golyók sűrűsége jóval kisebb a nagyobb golyókénál. A sűrűségméréskor ugyanis csak a nagyobb golyók sűrűségét vettük figyelembe. Így elképzelhető, hogy a kis (5–7) golyóknál ez okozza az eltérést, a nagy golyóknál pedig az örvényes áramlás, mivel ott a Reynolds-szám nem 0,1, hanem 1 körüli. De valószínűleg nem ez lesz a hiba oka, mert az örvényes áramlás miatt nem kéne ekkora eltérésnek mutatkozni.