

Folyadék belső súrlódásának mérése

Mérést végezte:

Seres Attila, 2019.nov.22.

Mérés célja:

A laminárisan illetve turbulensen áramló folyadék megfigyelése, ill a belső súrlódására vonatkozó összefüggések igazolása mindkét említett esetben. Mindezt egy konkrét folyadék, a glicerin viszkozitásának kimérésével.

Viszkozitásmérés kisméretű üveggolyókkal

Méréshez felhasznált eszközök:

1000ml-es mérőhenger, stopperóra, areométer, csavarmikrométer, kisebb és nagyobb üveggolyók, csipesz, piknométer, mérleg, desztillált víz

Mérés menete

Az alkalmazott üveggolyóknak először meghatároztam a sűrűségét. Ehhez az ismert és reprodukálható térfogatot befoglalni képes ún. piknométert ill. egy mérleget vettem segítségül. Először megmértem a piknométer tömegét üresen, majd kb. félig üveggolyókkal tele, utána ezekre az üveggolyókra az edény megteltéig desztillált vizet öntve, végül csak desztillált vízzel teljesen feltöltve.

A golyótartó dobozból kivett három-három apró (nagyobb), ill. még apróbb (kisebb) üveggolyót rendre három-három-három alkalommal lemértem a csavarmikrométerrel, majd beleejtettem a felállított és vízzel megtöltött 1 literes mérőhengerbe. A jeltől jelig tartó süllyedésének idejét stopperórával mértem meg.

Mért adatok:

Konfiguráció		m [g]
μ_1	Üresen	33
μ_2	Golyókkal	74
μ_3	Golyókkal és vízzel	109
μ_4	Vízzel	84

Víz sűrűsége [kg/m ³]	1000
Glicerin sűrűsége [kg/m ³]	1226
Glicerin hőmérséklete [C°]	23
jelzővonalak távolsága [cm]	26,4

Golyók sűrűségének kiszámítása:

Az üveggolyók sűrűségének kiszámítási képlete: $\rho_g = \rho_v \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_4 - \mu_1 - \mu_3 + \mu_2} = 2,563 \text{g/cm}^3$

Kiértékelés

Az η viszkozitási együttható kiszámítási képlete, amihez v a jeltől jelig való süllyedés sebessége, r pedig az egyes golyók mért sugarainak átlagos értékei $\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho_g - \rho_f)r^2g}{v}$

t [s]	Nagy golyók átmérői [mm]			d _{átl} [mm]	r _{átl} [mm]	v [m/s]	η [Pa·s]	Re
	1	2	3					
3,72	3,99	3,86	3,85	3,900	1,950	1,08640	1,086	1,086
3,71	3,97	3,98	3,94	3,963	1,981	1,07481	1,074	1,074
3,68	3,86	3,95	3,88	3,896	1,9483	1,11110	1,111	1,111

t [s]	Kis golyók átmérői [m]			d _{átl} [m]	r _{átl} [m]	v [m/s]	η [Pa·s]	Re
	1	2	3					
34,76	0,001160	0,001170	0,001160	0,001163	0,1298	0,1298	0,1298	0,0417
48,25	0,0009800	0,0009800	0,0009700	0,000977	0,1270	0,1270	0,1270	0,0257
42,92	0,001040	0,001040	0,001030	0,001037	0,1273	0,1273	0,1273	0,0307

A kapott Reynolds-számokból látható, hogy csak a kisebb golyóknál lamináris az áramlás, ebből következőleg a nagyobb golyókra, ahol a $Re > 0,1$ igazából nem is áll a Stokes-képlet.

Hibaszámítás

Ennél a rész mérésnél a hibaszámítást csak a kisebb golyókra végeztem el, hiszen igazából csak ott rendelkezünk releváns adatokkal. A hibaterjedésnél süllyedési időnek, sugárnak és viszkozitásnak a három, egyenként átlagolt idő, sugár, ill. η számtani közepét vettem. A Stokes-törvénnyel számolva a mérőszalag, a csavarmikrométer és a stopperóra hibáját kell

$$\eta \sim \frac{r^2}{v} = \frac{r^2 \cdot h}{t} \rightarrow \frac{\Delta \eta}{\eta} = \frac{2\Delta r}{r} + \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta t}{t} = \frac{2 \cdot 0,005 \text{ mm}}{0,5294 \text{ mm}} + \frac{0,05 \text{ cm}}{26,4 \text{ cm}} + \frac{0,005 \text{ s}}{41,98 \text{ s}}$$

$$= 0,0209 \text{ Pa}\cdot\text{s} \rightarrow \Delta \eta = \eta_{\text{át}} \cdot 0,0209 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 0,1281 \cdot 0,0209 = \pm 0,002678 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

Viszkozitásmérés Höppler-készülékkel

Méréshez felhasznált eszközök:

Höppler-féle viszkoziméter, stopperóra, areométer

Mérés menete

Az areométerrel előzőleg már megmértem egy másik edényben a glicerin sűrűségét és hőmérsékletét. A Höppler-készülék elő volt készítve, nem volt más teendő, mint a mérésvezető beavatkozása után (átfordította a viszkozimétert) a stopperórával megmérni a golyó jeltől jelig tartó süllyedésének idejét.

Mért adatok:

h [m]	Δh [cm]
0,264	0,05
Δ golyó.átm. [mm]	Δt [s]
0,005	0,005

K [mPa cm ³ /g]	0,13
Golyó sűrűsége [g/cm ³]	8,10
t [s]	113,42
Glicerin sűrűsége [g/cm ³]	1,226
T [C°]	23

Kiértékelés:

A Höppler-készülékben turbulensen áramló folyadék viszkozitási együtt-hatójának tapasztalati alapú kiszámítási képlete: $\eta = K(\rho_g - \rho_f)t = \frac{0,13 \cdot 6,874 \cdot 113,42}{1000} = 0,1014 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Hibaszámítás:

A Höppler-féle viszkoziméterrel való mérés esetében a hibaszámításnál, mivel a leírásban szerepelteknek megfelelően a sűrűségmérés hibájától eltekintünk, az alábbi arányosságot vehetjük számításba: $\eta \sim t \rightarrow \frac{\Delta \eta}{\eta} = \frac{\Delta t}{t} = \frac{0,005 \text{ s}}{113,42 \text{ s}} = \frac{1}{22684} \rightarrow \Delta \eta = \frac{\eta}{22684} = \frac{101,35 \text{ Pa}\cdot\text{s}}{22684} = \pm 0,004468 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

Diszkusszió, eredménytáblázat:

A mellékelt táblázatba gyűjtöttem össze – a hibáikkal egyetemben – a hozzájuk tartozó Reynolds-számok nyomán releváns, üveggolyóval mért, majd abból számított egyes η -kat ill. átlagukat, valamint a Höppler-készülékkel szerzett, végül az általam fellelt, 23°C-hoz legközelebbi, ~86%-os

Adat eredete	η [Pa·s]	$\Delta \eta$ [Pa·s]
1. kis golyó	0,1298	0,002496
2. kis golyó	0,1270	0,002855
3. kis golyó	0,1273	0,002712
kis golyók átlaga	0,1280	$\pm 0,002678$
Höppler-készülék	0,1014	$\pm 0,004468$
irodalmi (22,5°C)	0,1091	–

glicerinviszkozitási-értékeket. A legfontosabb, a táblázatban vastagon szedett számokra pillantva kijelenthető, hogy a második mérési módszer egyértelműen pontosabbnak bizonyult, azonban az első eljárás során szerzett adatok is csak mintegy 15%-ával haladják meg az irodalmi értéket. Eszerint alapvető mérési és számítási hibát nem követtem el.