

Folyadék belső súrlódásának mérése

Mérést végezte: Enyingi Vera Atala
Mérőtárs neve: Fábíán Gábor (7. mérőpár)
Mérés időpontja: 2010. október 1. (12:00-14:00)
Jegyzőkönyv leadásának időpontja: 2010. október 8.

A mérés célja:

A folyadék, ezen esetben a glicerin, viszkozitási, azaz belső súrlódási együtthatójának mérése a Höppler-féle viszkoziméterrel, valamint a Stokes-féle súrlódási törvény alapján. A mérés során a Reynolds-számok megadása. Az eredmények összehasonlítása.

A mérőeszközök:

- Höppler-féle viszkoziméter
- kétkarú mérleg súlyokkal
- piknométer és desztillált víz
- üveggolyók több méretben
- stopper
- csavarmikrométer
- fémvonalzó
- glicerinrel töltött üveghenger
- csipesz
- areométer

A mérés rövid leírása:

A mérést az üveggolyók sűrűségének mérésével kezdtem. Először a piknométer μ_1 tömegét mértem. Ezt követően elsőként az üveggolyókkal együttes μ_2 tömeget, majd vízzel feltöltve az eszközt, a μ_3 tömeget, végül a μ_4 tömeget mértem: a golyók nélküli, vízzel teletöltött piknométerét. Ezután a Höppler-féle viszkoziméterrel mértem. Itt csak a szerkezetben elhelyezett golyó t_H süllyedési idejét vizsgáltam a legfelső jelzési vonaltól a legalsóig. Ezen adat alapján a Stokes-féle törvény használatához szükséges adatokat mértem. Három féle golyóméret állt rendelkezésemre, ezekből minden esetben 3-3-at vizsgáltam. Minden golyónak háromszor mértem meg az átmérőjét. Ezután a glicerinrel töltött hengerben vizsgáltam a felső jelzéstől az alsóig való mozgás idejét. A glicerin sűrűségét és hőmérsékletét végül areométerrel határoztuk meg.

Mérési adatok

A mérések során a hőmérséklet $T = 23\text{ °C}$ volt.

Höppler-féle viszkoziméter

Mért süllyedési idő:	$t = 111,98\text{ s}$
----------------------	-----------------------

Stokes-féle mérés adatai

Golyók száma	Golyó átmérője (m)			Átlagos átmérő (m)	Átlagos sugár (m)	Süllyedési idő (s)
	$2r_1$	$2r_2$	$2r_3$			
1.1	0,00482	0,00479	0,00470	0,004770	0,002385	1,96
1.2	0,00478	0,00484	0,00447	0,004697	0,002348	1,95
1.3	0,00461	0,00475	0,00458	0,004647	0,002323	2,3
2.1	0,00109	0,00108	0,00107	0,001080	0,000540	24,88
2.2	0,00113	0,00114	0,00110	0,001123	0,000562	24,03
2.3	0,00119	0,00118	0,00120	0,001190	0,000595	n.a.
2.4	0,00105	0,00104	0,00103	0,001040	0,000520	27,83
3.1	0,00370	0,00372	0,00371	0,003710	0,001855	2,9
3.2	0,00302	0,00300	0,00298	0,003000	0,001500	3,93
3.3	0,00297	0,00289	0,00288	0,002913	0,001457	4,13

A 2.3-as mérés hiányának oka figyelmetlenség, nem indítottam időben a stoppert.

Pikométerrel mért tömegadatok:

Pikométer üresen	$\mu_1 = 38,65 \text{ g} = 0,03865 \text{ kg}$
Pikométer és golyók	$\mu_2 = 62,22 \text{ g} = 0,06222 \text{ kg}$
Pikométer, golyók és víz	$\mu_3 = 114,45 \text{ g} = 0,11445 \text{ kg}$
Pikométer és víz	$\mu_4 = 100,35 \text{ g} = 0,10035 \text{ kg}$

Kiértékelés

A golyók sűrűsége a fenti adatok és a leírás szerint:

$$\rho_g = \rho_{\text{víz}} \frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_4 - \mu_1 - \mu_3 + \mu_2}$$

Behelyettesítve: ($\rho_{\text{víz}} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$)

$$\rho_g = 2,488912 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 2488,912 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Höppler-féle viszkoziméterrel való mérésre vonatkozó formula:

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

ahol az alábbiak megadott adatok:

K golyóállandó	$K = 0,13 \frac{\text{milliPacm}^3}{\text{g}} = 0,13 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Pam}^3}{\text{kg}}$
A golyó sűrűsége	$\rho_g = 8,1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 8100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
A glicerin sűrűsége	$\rho_f = 1220 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

és a mérés alapján $t = 111,98 \text{ s}$.

A viszkozitás értéke a módszer alapján: $\eta = 0,100155 \text{ Pas}$

A folyadék viszkozitásának és a golyók sugarának ismeretében kiszámíthatjuk a Reynolds-számot. Ha ez a dimenzió nélküli érték kisebb, mint 0,1, alkalmazhatjuk a Stokes-törvényt. A megtett út a két jelzővonal közötti távolság, $d = 21,7 \text{ cm} = 0,217 \text{ m}$ (Lásd lejjebb a táblázatban).

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

Stokes-féle törvényen alapuló mérés

A mérőhengerben glicerin volt, ennek a viszkozitására vagyunk kíváncsiak. A mérőhengeren lévő jelzővonal távolsága $d = 21,7 \text{ cm} = 0,217 \text{ m}$ volt.

A golyók átmérőjének háromszori, csavarmikrométerrel végzett átmérőmérése után a golyót a hengerbe helyezve megmértük, hogy a két jelzővonal közötti távolságot mennyi idő alatt teszi meg. Kisebb golyók esetén a felületi feszültség a felszínen tartotta a golyót, így azokat csipesszel a felszín alá kellett vinni.

A mérés során felhasznált törvény a Stokes-féle súrlódási törvény: $F = 6\pi\eta r v$, ahol F a közegellenállási erő, η a folyadék viszkozitása, r a golyó sugara, v pedig a golyó sebessége. A törvény lamináris áramlás.

A golyó rövid ideig gyorsuló mozgást végez, míg az őt gyorsító nehézségi erő, és a vele ellentétes közegellenállási és felhajtóerő ki nem egyenlítik egymást. Ekkor a golyóra ható erők eredője 0, tehát a golyó egyenes vonalú egyenletes mozgással halad tovább.

$$mg - F_{\text{fel}} - 6\pi\eta r v = 0$$

Ebből kifejezhető a viszkozitási együttható:

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

Ahol az eddig bevezetett jelöléseken túl $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

A számolási eredmények:

Golyók száma	Átlagos sugár (m)	Süllyedési idő (s)	Sebesség (m/s)	Re	Áramlás típusa	Viszkozitás (Pa · s)
	\bar{r}	t	v			η
1.1	0,002385	1,96	0,11071	3,21647	turbulens	0,142122
1.2	0,002348	1,95	0,11128	3,18281	turbulens	0,137044
1.3	0,002323	2,3	0,09435	2,66974	turbulens	0,158218
2.1	0,000540	24,88	0,00872	0,05737	lamináris	0,092484
2.2	0,000562	24,03	0,00903	0,06182	lamináris	0,096751
2.3	0,000595	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2.4	0,000520	27,83	0,00780	0,04939	lamináris	0,095929
3.1	0,001855	2,9	0,07483	1,69080	turbulens	0,127208
3.2	0,001500	3,93	0,05522	1,00889	turbulens	0,112721
3.3	0,001457	4,13	0,05254	0,93252	turbulens	0,111763

Hibaszámitás:

A számolás során sok összefüggést használtunk, így a hibaöröklődést nem hanyagolhatjuk el. (A sűrűségmérésből származó hiba a leírás szerint zérus).

A **Höppler-viszkoziméterrel** való mérés során a $\eta = K(q_g - q_f)t$ képlettel számoltunk. Ekkor $\delta\eta = \delta K + \delta(\rho_g - \rho_f) + \delta t$. Mivel K adott, a sűrűségek hibájától eltekintünk, ezek relatív hibája tehát 0. $\delta\eta = \delta t = 0,005$ Pas.

A relatív hibát vizsgáljuk, a **Stokes-féle törvény** szerint a viszkozításra nézve.

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{(q_g - q_f)r^2 g}{v} = \frac{2}{9} \cdot \frac{(q_g - q_f)r^2 g t}{d}$$

Itt mértük d-t, r-t és t-t. Tehát $\delta\eta = \delta(2/9) + \delta(\rho_g - \rho_f) + 2\delta r + \delta v$, ahol $\delta v = \delta s + \delta t$.

A fenti levezetéshez hasonlóan számolható a hiba, tehát:

$$\delta\eta = 2\delta r + \delta v = 2 * 0,000005 + 0,0005 + 0,005 = 0,00551\text{Pas}$$

A stopper elindításából és megállításából is adódhatnak hibák.

	Viszkozitás η [Pas]	Viszkozitási hiba $\delta\eta$ [Pas]	Reynolds szám Re
Höppler-féle mérés (23°C)	0,100155	0,005	-
Stokes-féle mérés (23°C)	0,092484	0,00551	0,05737
	0,096751		0,06182
	0,095929		0,04939
Irodalmi adat (20°C)	0,1470	-	-

A Stokes-féle törvényen alapuló mérés során, amikor Reynolds szám meghaladja a 0,1 értéket nem jó a használt képlet, hiába nagyjából jó az eredmény, ezért ezeket az értékeket az eredménytáblázatba már nem is vettem fel.