



Lämpölaajeneminen

1. Lämpö

Lämpötila on yksi aineen tilaa kuvaava suure eli tilasuure. Mitä korkeampi on kappaleen lämpötila, sitä enemmän energiaa se sisältää atomien ja molekyylien energiana. Lämpötilan noustessa atomien ja molekyylien lämpöliike voimistuu. Tällöin ne pyrkivät ottamaan enemmän tilaa. Seurauksena on lämpölaajeneminen eli tilavuuden kasvu. Tässä laboratoriotyössä tutkitaan kiinteän aineen ja nesteen lämpölaajenemista sekä määritetään lämpötilakertoimet tutkittaville aineille.

2. Lämpötilakertoimet

Kiinteä aine

Kiinteä kappale laajenee tavallisesti lämpötilan kasvaessa yhtä voimakkaasti kaikkiin suuntiin. Kappaleen pituuden riippuvuutta lämpötilasta kuvaa likimääräinen yhtälö:

$$l = l_0[1 + \alpha(t - t_0)] \quad (1)$$

missä

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (2)$$

ja l ja l_0 ovat pituudet lämpötiloissa t ja t_0

α on aineelle ominainen lämpötilakerroin. Pituuden lämpötilakerroin riippuu lämpötilasta ja yhtälöstä (1). α tarkoittaaakin yleensä lämpötilakertoimen keskimääräistä arvoa ko. lämpötila-alueella.

Nestemäinen aine

Nesteiden lämpölaajenemista kuvaa tilavuuden lämpötilakerroin

$$g = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (3)$$

missä V_0 on nesteen tilavuus lämpötilassa t_0 ja lämpötilan muutoksen Δt aiheuttama tilavuuden muutos on ΔV .

3. Työn suoritus

Kiinteän aineen pituuden lämpötilakerroin

Työssä käytetään tutkittavasta aineesta valmistettua metalliputkea. Putken toinen pää kiinnitetään tukevasti. Putken toiseen, vapaaseen päähän kiinnitetään herkkä mittari, jolla voidaan mitata tarkasti putken pituuden muutos. Ensin putken läpi juoksetetaan mahdollisimman kylmää vettä. Mitataan putken lämpötila ja pituus. Sitten putken läpi juoksetetaan mahdollisimman kuumaa vettä ja suoritetaan sekä lämpötilan että pituuden muutoksen mittausta. Tulosten perusteella voidaan laskea pituuden lämpötilakerroin kyseiselle materiaalille.

Tulokset

Putken läpi juoksetettiin kylmää vettä.

Lämpötilaksi mitattiin: $t_0 = 9\text{ °C}$
 Putken pituudeksi mitattiin: $l_0 = 505\text{mm}$

Putken läpi juoksetettiin kuumaa vettä.

Lämpötilaksi mitattiin:
 - putken alkupää $t_a = 95\text{ °C}$
 - putken loppupää $t_l = 94\text{ °C}$

⇒ Loppulämpötila (keskiarvo) $t = 94.5\text{ °C}$

Lämpötilanmuutos
 $\Delta t = t - t_0 = 94.5\text{ °C} - 9\text{ °C} = 85.5\text{ °C}$

Pituuden muutokseksi mitattiin:
 $\Delta l = 0.97\text{mm}$

Tulosten perusteella voidaan laskea lämpötilakerroin kaavasta (2)

$$\mathbf{a} = \frac{1}{505\text{mm}} \cdot \frac{0.97\text{mm}}{85.5\text{ °C}} \approx 22.47 \cdot 10^{-6}\text{ °C}^{-1}$$

Virhetarkastelu

Virhelähteet:	Metrimitta	tarkkuus	0.5mm
	Mittakello		0.02mm
	Lämpömittari		0.2°C

$$\left| \frac{\Delta \mathbf{a}}{\mathbf{a}} \right| = \left| \frac{\Delta l_0}{l_0} \right| + \left| \frac{\Delta(\Delta l)}{\Delta l} \right| + \left| \frac{\Delta(\Delta t)}{\Delta t} \right| = \frac{0.5}{505} + \frac{0.02}{0.97} + \frac{0.2}{85.5} = 0.0239\dots = 2.39\%$$

$$\left| \Delta \mathbf{a} \right| = 0.0239 \cdot 22.47 \cdot 10^{-6}\text{ °C}^{-1} \approx 0.538 \cdot 10^{-6}\text{ °C}^{-1}$$

Tutkittavan materiaalin pituuden lämpötilakertoimeksi saatiin

$$\alpha = (22.5 \cdot 10^{-6} \pm 0.5 \cdot 10^{-6})^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Taulukkokirjan perusteella voidaan olettaa tutkittavan putken materiaalin olleen alumiinia.

Alumiinin pituuden lämpötilakertoimeksi taulukkokirja ilmoittaa $\alpha = 23.2 \cdot 10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$

Nesteen tilavuuden lämpötilakerroin

Nesteen tilavuuden lämpötilakerroin määritetään pitkäkaulaisen 250 ml vetoisen lasipullon avulla. Pullo täytetään tutkittavalla nesteellä - tässä tapauksessa vedellä - merkkiviivaan asti ja mitataan nesteen alkulämpötila. Tämän jälkeen pulloa, joka nesteen haihtumisen estämiseksi on suljettu tulpalla, lämmitetään vesihauteessa 20min ajan. Nestepinnan korkeuden muutosta vastaava tilavuuden muutos saadaan selville poistamalla pullosta lämpölaajenemisen aiheuttama nestemäärä ts. poistamalla nestemäärä alkuperäiseen merkkiviivaan asti. Mitataan poistetun nesteen tilavuus ja nesteen lämpötila pullon sisältä. Lasipullon tilavuuden muutosta ei oteta mittauksissa huomioon.

Tulokset

Veden alkulämpötila $t_1 = 15^{\circ}\text{C}$
Veden loppulämpötila $t_2 = 45^{\circ}\text{C}$

Lämpötilanmuutos:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = (45 - 15)^{\circ}\text{C} = 30^{\circ}\text{C}$$

Tilavuuden muutos $\Delta V = 1.27\text{ml}$
Alkutilavuuden ollessa $V_0 = 250\text{ml}$

Tulosten perusteella voidaan laskea kaavasta (3) lämpötilakerroin

$$g = \frac{1}{250\text{ml}} \cdot \frac{1.27\text{ml}}{30^{\circ}\text{C}} \approx 0.1693 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Virhetarkastelu

Virhelähteet: Lasipullon tilavuus tarkkuus 2ml
Mittapipetin tilavuus 0.05ml
Lämpömittari 0.2°C

$$\left| \frac{\Delta g}{g} \right| = \left| \frac{\Delta V_0}{V_0} \right| + \left| \frac{\Delta(\Delta V)}{\Delta V} \right| + \left| \frac{\Delta(\Delta t)}{\Delta t} \right| = \frac{2}{250} + \frac{0.05}{1.27} + \frac{0.2}{30} = 0.0540 \dots \approx 5.4\%$$

$$\left| \Delta g \right| = 0.0540 \cdot 0.1693 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \approx 0.00915 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Lopputulokset

Tilavuuden lämpötilakertoimeksi vedelle saatiin

$$\gamma = (0.169 \cdot 10^{-3} \pm 0.009 \cdot 10^{-3})^{\circ}\text{C}^{-1}$$

Taulukkokirjan antama vastaava arvo vedelle on $0.18 \cdot 10^{-3}^{\circ}\text{C}^{-1}$