

Soojusõpetus

Soojusjuhtivusteguri määramine

LABORATOORNE TÖÖ 11: SOOJUSJUHTIVUSTEGURI MÄÄRAMINE

TÖÖ EESMÄRGID

Mõõta pakkepapi ning vahtpolüuretaani soojusjuhtivustegurit.

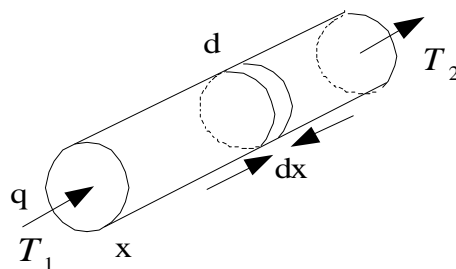
TÖÖVAHENDID

Pakkepapist karp, vahtpolüuretaanist silinder, teip, voltmeeter, ampermeeter, juhtmed, pingeregulaator, interfeis Xplorer GLX, 2 temperatuurisensorit, joonlaud, nihik, statiiv, 2 käppa.

TEOREETILINE OSA

Soojusjuhtivus on soojusülekanne makroskoopiliselt paigalseisvas kehas. Soojusjuhtivus esineb nii gaasides, vedelikes kui ka tahkistes. Soojusjuhtivuse tingimuseks on temperatuuride erinevus süsteemi eri osades. Molekulide põrgete tulemusel toimub soojusliikumise kineetilise energia ümberjagunemine kuni temperatuuride võrdsustumiseni. Soojusjuhtivust saab arvuliselt iseloomustada ajaühikus ühikulist ristlõiget läbiva soojushulgaga (siseenergia hulga). Soojushulk Q on siseenergia hulk, mis kandub soojusvahetuse teel ühelt kehalt teisele.

Olgu ühtlase silindrikujulise keha otsaküljed erinevatel temperatuuridel, kusjuures temperatuuride vahe $\Delta T = T_2 - T_1 > 0$ (vt joonis 1). Olgu selle keha kõrgus d ja ristlõike pindala S . Oletame, et silindri kest on tehtud selliselt, et soojuse hajumine läbi kesta pole võimalik.



Joonis 1. Soojusjuhtivus silindrikujulises kehas

Tähistame suvalise väikese silindrikihi paksuse dx -ga. Temperatuurimuutus selles kihis olgu dT . Suhet

Soojusõpetus

Soojusjuhtivusteguri määramine

dT/dx nimetatakse temperatuurigradiendiks. Temperatuurigradient näitab temperatuuri muutust ühe pikkusühiku kohta.

Katseliselt on tuvastatud, et soojusvoog q ehk ajaühiku jooksul silindri ristlõiget läbinud soojushulk on

$$q = \frac{dQ}{dt} = -KS \frac{dT}{dx}, \quad (1)$$

kus dQ on aja dt jooksul ristlõiget läbinud soojushulk. K on võrdetegur, mida nimetatakse aine soojusjuhtivusteguriks. Kuna temperatuurigradient on negatiivne, siis $q > 0$ ehk soojus siirdub x -telje positiivses suunas (temperatuuri kahanemise suunas).

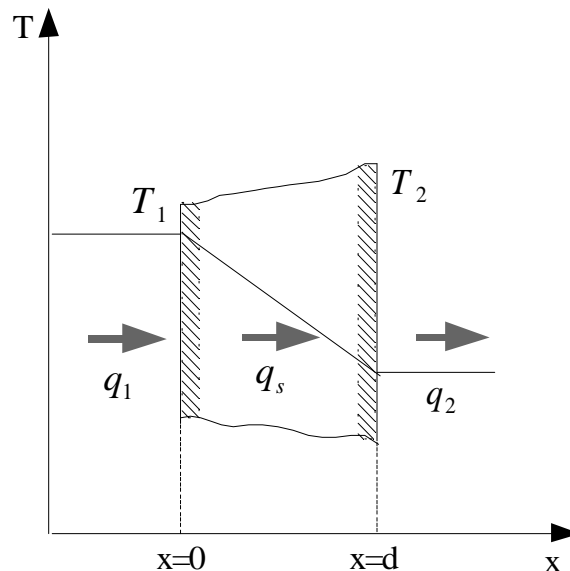
Integreerides võrrandit (1), saame

$$q \int_0^d dx = -KS \int_{T_1}^{T_2} dT, \quad (2)$$

millest

$$q = \frac{KS \Delta T}{d}. \quad (3)$$

Soojusjuhtivuse ühik on $[K] = [Q][d]/[t][A][\Delta T] = 1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$



Joonis 2. Soojusvoog läbi tahke aine

Joonisel 2 on näidatud keha temperatuuri muutumine juhul, kui keha erinevad pooled on erinevatel

Soojusõpetus

Soojusjuhtivusteguri määramine

temperatuuridel. Tasakaaluolekus $q_1 = q_s = q_2$ ehk kehasse ajaühikus sissevoolav soojushulk on sama suur kui väljavoolav soojushulk.

Soojusjuhtivustegur on ainet iseloomustav füüsikaline suurus, mille arvvaartus sõltub gaaside ja vedelike puhul molekulide liikuvusest, s o temperatuurist ja rõhust. Metallide soojusjuhtivustegur sõltub vabade elektronide arvust, temperatuurist ja materjali koostisest. Seejuures võivad isegi tühised lisandikogused oluliselt muuta K väärtust. Tahkete mittemetalliliste materjalide soojusjuhtivustegur oleneb materjalide koostisest, struktuurist, poorsusest, niiskusest, temperatuurist jne. Erinevate materjalide soojusjuhtivustegurid on toodud lisas 1.

Lähtudes soojusjuhtivuse makroteooriast (vaadeldes ainet kui kontiinumi ja ignoreerides tema molekulaarehitust), opereeritakse aine makroomadustega. See lähenemine rahuldab täielikult peaaegu kõik inseneripraktikas käsitletavat juhtumid (v.a kõrgvaakum).

Teatavasti võib soojusjuhtivustegur olenevalt aine klassist omada väärtusi alates 0,008 (paljuaatomilised gaasid) kuni 400 (hõbe ja puhas vask) W/(m·K). See suur väärtuste vahemik on seotud erineva soojusjuhtivuse mehhanismiga erinevat tüüpi ja erinevas agregaatolekus materjali korral.

Tahke keha soojusjuhtivus kujuneb tema vabade elektronide (metallid) ja kristallvõre võnkumise tulemusena. Soojusjuhtivuse taseme määrab ära vabade elektronide kui kõige liikuvamate energiakandjate hulk. Soojusjuhtivusteguri temperatuurisõltuvus on seotud konkreetse aine ehitusega. Puhastes metallides on nende kristallvõre võnkumise osatähtsus tühine võrreldes elektronjuhtivusega, mistõttu nende soojusjuhtivus analoogselt elektrijuhtivusega on võrreldamatult kõrgem mittemetallide omast.

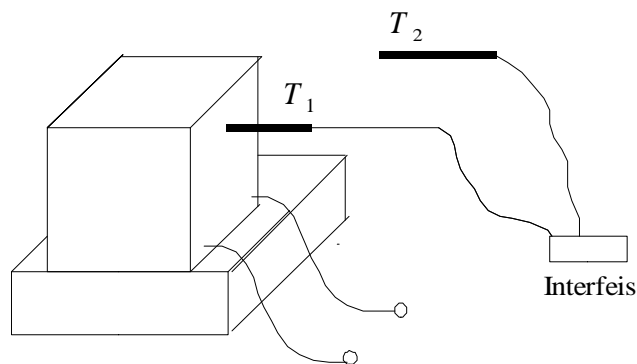
Tahked mittemetallid on üldiselt väga madala soojusjuhtivusega, kuna neil puuduvad vabad elektronid ja juhitavus on seotud kristallvõre võngete edasikandumisega.

Soojusõpetus

Soojusjuhtivusteguri määramine

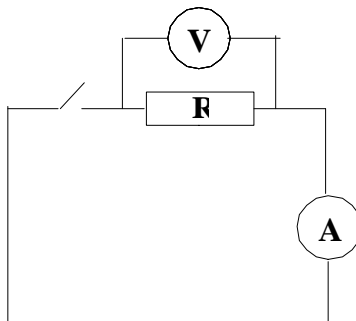
TÖÖ KÄIK

1. Mõõtke pappkasti ja polüuretaanist silindri joonmõõtmed täispindala arvutamiseks.
2. Kinnitage penoplastist aluse külge küttekeha R nii, et penoplasti seest jookseksid küttekeha juhtmed välja. Asetage küttekehale peale pakkepapist karp ning kinnitage see teibiga penoplastist alusele, katseseadme skeem on esitatud joonisel 3.



Joonis 3. Katseseadme skeem

3. Seadke pappkasti sisse läbi vastava avause üks temperatuurisensor ning kinnitage sensor käpa abil statiivi külge ning teipige termomeetriava võimalikult tihkelt kinni. Teine temperatuurisensor asetage statiivi abil vastu pappkarpi või sellele väga lähedale nii nagu on näidatud joonisel 3.
4. Ühendage küttekeha R vooluringi nii nagu näitatud joonisel 4.



Joonis 4. Küttekeha vooluringi ühendamise skeem.

5. Keerake pingeregulaator nulli, ühendage vooluringiga ning suurendage pinget 14 V-ni.

Soojusõpetus

Soojusjuhtivusteguri määramine

6. Kui katsekeha sisetemperatuur T_1 on stabiliseerunud (selleks kulub ca 5 min), st see enam ei muutu, fikseerige selle näit T_1 ja katsekehast väljaspool olev temperatuuri näit T_2 , pinge U ja voolutugevus I tabelis 1.
7. Korrake katset veel 3-4 korda, langetades pinget 1 V iga katsega.
8. Viige sama katseskeemi alusel analoogsed mõõtmised läbi polüuretaanist silindriga, kuid alustage pingest 13 V ja iga katsega vähendage pinget 1-2 V võrra.

ANDMETE ANALÜÜS

Pappkasti joonmõõtmised:

Pikkus: $a = \dots\dots\dots$

Laius: $b = \dots\dots\dots$

Kõrgus: $h = \dots\dots\dots$

Katsekeha seina paksuse läbimõõt: $d_k =$

Kasutades valemit (3), arvutada katsekeha soojusjuhtivustegur, arvestades seejuures, et kui läbi katsekeha seinte läheb sisse energia (võimsus) $P = UI$, siis läbi seinte tuleb välja soojusvoog $q = P$.

Tabel 1. Pappkasti mõõtmistulemused.

Katse nr	$T_1 (^{\circ}\text{C})$	$T_2 (^{\circ}\text{C})$	$U (\text{V})$	$I (\text{A})$	$P (\text{W})$	$\Delta T (\text{K})$	$K_i (\text{W/m}\cdot\text{K})$	$(K-K_i)^2$
1								
2								
3								
4								
5								

Polüuretaanist silindri joonmõõtmised:

Silindri diameeter: $d = \dots\dots\dots$ raadius: $r = \dots\dots\dots$

Silindri kõrgus $H = \dots\dots\dots$

Silindri külje paksus: $d_s = \dots\dots\dots$

Arvutage soojusjuhtivustegur K ja selle viga ΔK mõlema materjali korral ning esitage tulemus 95% usaldusväärsusega koos veahinnanguga.

Soojusõpetus

Soojusjuhtivusteguri määramine

KÜSIMUSED

1. Hinnake, kas Teie saadud katsetulemused on reaalsed.
2. Võrrelge Teie saadud katsetulemusi tabelites esitatud tulemustega pappkasti ning vahtpolüuretaani soojusjuhtivustegurite kohta. Millest võiks tulla sisse erinevus?

Lisa 1. Erinevate materjalide soojusjuhtivustegurid

Materjal	ρ [kg/m ³]	K [W/(m·K)]
<i>Isolatsiooni- ja ehitusmaterjalid</i>		
Graniit	2720	2,21
Klaas	2500	0,745
Klaasvatt	200	0,054
Linoleum	1100	0,186
Papp (harilik)	150	0,064
Punane tellis	1700	0,76
Põlevkivi	2433	0,931
Raudbetoon	2200	1,55
Saepuruplaat	300	0,128
Silikaattellis	1900	0,82
Vahtpolüstürool	50	0,027
Vahtpolüuretaan	80	0,03
Vineer	600	0,151
<i>Metallid</i>		
Alumiinium (99%)	2680	209
Pronks	8000	64
Raud (99%)	7900	74,5
Vask (99%)	8950	393
Süsinikteras	7682	42,8
Roostevaba teras	7,895	16,5