

KATEDRA EXPERIMENTÁLNÍ FYZIKY

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLMOUCI

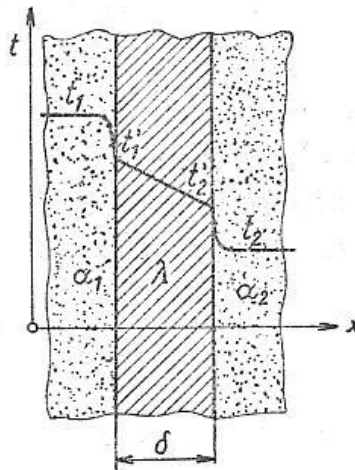
FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM Z MOLEKULOVÉ FYZIKY A TERMODYNAMIKY

Měření prostupu tepla

Úvod

Prostup tepla je kombinovaný případ sdílení tepla mezi dvěma tekutinami oddělenými stěnou. Z teplejší tekutiny o teplotě t_1 do pevné stěny přechází teplo konvencí, kondukcí a zářením; pevnou stěnou prostupuje teplo kondukcí a do chladnější tekutiny o teplotě t_2 opět konvencí, kondukcí a sáláním.

Při přestupu tepla z kapaliny nebo plynu do stěny nebo obráceně pozorujeme za ustáleného stavu rozdělení teploty jako na obr. 1.



Ploušťka stěny
 $d = \delta$

Obr. 1: Průchod tepla stěnou

Povrchové teploty stěny se neshodují s teplotami tekutin. Podél pevné stěny ve směru proudu kapaliny vzniká tenká vrstva tekutiny zvaná tepelná mezní vrstva. Vytváří se přilnavostí molekul tekutiny k povrchu pevného tělesa. Sdílení tepla v této vrstvě je v podstatě jen vedením, jako kdyby tekutina byla v klidu. Velký teplotní spád v mezní vrstvě vzniká pak malou tepelnou vodivostí tekutin.

Teplota stěny na straně teplejší tekutiny je $t_1' < t_1$ a na straně chladnější tekutiny $t_2' > t_2$. Bez teplotního skoku by sdílení tepla mezi tekutinami a stěnou nebylo možné.

Tepelný tok Φ vyjadřuje rychlost průchodu tepla danou plochou nebo také výkon přenášený při průchodu tepla danou plochou

$$\Phi = \frac{dQ}{dt},$$

kde dQ je teplo, které projde zvolenou plochou za čas dt . Jeho jednotkou je watt.

Tepelný tok Φ , který prostoupí rovinnou stěnou z tekutiny o vyšší teplotě t_1 do tekutiny o nižší teplotě t_2 při ustáleném tepelném toku, závisí na plošném obsahu plochy S , na rozdílu teplot obou prostředí a na součiniteli prostupu tepla k . Platí

$$\Phi = kS(t_1 - t_2).$$

Součinitel prostupu tepla k je veličina používaná při určování sdílení tepla mezi dvěma tekutinami oddělenými od sebe pevnou přepážkou z homogenní látky ve tvaru desky.

Můžeme jej vypočítat z převrácené hodnoty měrného tepelného odporu R_k prostupu tepla překážkou z jedné tekutiny do druhé

$$k = \frac{1}{R_k}.$$

Přítom $R_k = R_e + R_\lambda + R_i$, kde $R_e = \frac{1}{\alpha_e}$ a $R_i = \frac{1}{\alpha_i}$ je měrný tepelný odpor přestupu tepla na vnější a na vnitřní straně stěny, α_e a α_i jsou součinitelé přestupu tepla, R_λ je měrný tepelný odpor stěny. Jednotkou součinitele prostupu tepla k je $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Součinitel přestupu tepla α je veličina používaná při určování přestupu tepla rozhraním dvou látek různého skupenství. Jednotkou je $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Ve stavebnictví se součinitel prostupu tepla k nazývá tepelná propustnost a značí se U .

<i>Materiál</i>	d [cm]	k [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]	λ [$\text{W/m} \cdot \text{K}$]
Polystyrén	2,0	1,3	0,04
Dřevo	1,0	3,3	0,12
Dřevo	2,0	2,9	0,14
Dřevo	3,0	2,1	0,13
Sklo	0,5	4,2	0,53
Izolační sklo	-	2,7	-

Tab. 1: Hodnoty součinitele prostupu tepla a tepelné vodivosti pro různé materiály

Měrný tepelný odpor vyjadřuje tepelný odpor plošné jednotky daného objektu R_λ . Pro rovinnou homogenní vrstvu, kterou prochází ustálený tepelný tok mezi jejími povrchy vzdálenými o tloušťku d , platí

$$R_\lambda = \frac{d}{\lambda},$$

kde λ je součinitel tepelné vodivosti látky tvořící tuto vrstvu – charakterizuje schopnost dané látky sdílet teplo vedením, závisí na teplotě, tlaku a složení látky. Jednotkou λ je $\text{W/m} \cdot \text{K}$.

Tepelný odpor R je odpor, který klade objekt sdílení tepla. Je roven podílu teplotního rozdílu mezi dvěma plochami konstantní teploty a tepelného toku procházejícího od jedné z nich ke druhé.

1. Určení součinitele prostupu tepla k

Model domku s vyměnitelnými postranními stěnami se používá ke stanovení součinitele prostupu tepla k různých stěn a ke stanovení tepelné vodivosti různých materiálů.



Obr. 2 : Sestava pomůcek k měření součinitele prostupu tepla k

Tepelný tok Φ homogenní plochou stěnou je v ustáleném stavu určen prostřednictvím přestupu tepla ze vzduchu do stěny a vedením tepla stěnou. Tepelný tok Φ závisí na velikosti plochy stěny S a na rozdílu teplot:

- Přestup tepla vzduch – stěna:

$$\Phi = \alpha_1 S (t_1 - t_1'),$$

kde α_1 je součinitel přestupu tepla vnitřní stěnou.

- Přestup tepla stěna – vzduch:

$$\Phi = \alpha_2 S (t_2 - t_2'),$$

kde α_2 je součinitel přestupu tepla vnější stěnou.

- Vedení tepla stěnou:

$$\Phi = \frac{\lambda}{d} S (t_1' - t_2'), \quad (1)$$

kde λ je tepelná vodivost a d tloušťka stěny.

Přeskupením a sumarizací těchto rovnic dostaneme

$$\Phi = kS(t_1 - t_2), \quad (2)$$

kde k je součinitel prostupu tepla, jeho převrácená hodnota $\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{R_\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}$.

Parametr $R_\lambda = \frac{d}{\lambda}$, který závisí pouze na materiálu a tloušťce stěny se nazývá měrný tepelný odpor stěny, $\frac{1}{\alpha_1}, \frac{1}{k}, \frac{1}{\alpha_2}$ jsou hodnoty měrných tepelných odporů přestupu a prostupu.

Jevy podílející se na přenosu tepla přes stěnu jsou vedení, proudění a záření.

1. 1 Pomůcky

Box – model domu s vyměnitelnými stěnami, stěny ze skla a dřeva, teploměry s termočlánky, stopky, délkové měřidlo, termoregulátor, izolepa, nůžky.

1. 2 Postup měření

- Před měřením zkontrolujeme termočlánky.
- Všechna teplotní měření musí být zaznamenána ve stejné výšce – v rozích modelu jsou otvory, které jsou určeny k vložení termočlánků k měření vnitřní teploty stěn. Konec termočlánku by měl být pevně zajištěn v rovině postranního otvoru a co nejbližší svislé ose stěny. Také vedení termočlánku musí být připevněno k modelu.
- K vytápění modelu se používá 100 W žhavicí lampa s krytem. Vnitřní teplota má být udržována na konstantní hodnotě ohřevovým termostatem. Teplotní senzor termostatu je přichycen ke krytu lampy a zapojen k termostatu prostřednictvím pěti kolíkové zásuvky na straně modelu. Spínač na termostatu je nastaven na polohu 4 a takto je zajištěn ustálený stav s vnitřní teplotou v modelu cca 60 °C.
- Při následném měření použijeme tyto stěny a okna:
 - dřevo tloušťky $d = 2$ cm
 - dřevo tloušťky $d = 1$ cm
 - polystyrén tloušťky $d = 2$ cm o rozměrech 25 x 25 cm
 - běžné sklo

Okno z běžného skla by mělo být umístěno naproti dřevěné desce tloušťky 1 cm.

- Termočlánky upevníme k vnitřní a vnější stěně dřevěné desky tloušťky 2 cm a k polystyrénové desce tloušťky 2 cm.
- Zapneme termostat a začneme model zahřívat.
- Po 30 minutách zahřívání modelu začneme měřit vnitřní a vnější teplotu dřevěné a polystyrénové stěny ve 3 minutových intervalech (měření č. 1).
- Po deseti měřeních přemístíme termočlánek z vnější dřevěné stěny dovnitř modelu a využijeme ho k měření vnitřní teploty modelu.
- Asi po 60 minutách zahřívání měříme vnitřní a vnější teplotu polystyrénové stěny přibližně po dobu 5 minut každou minutu (měření č. 2)
- Vytáhneme termočlánek měřící vnitřní teplotu vzduchu modelu a použijeme ho k určení vnější teploty vzduchu. Pak jej znovu připevníme k vnější straně dřevěné stěny (2 cm).

- Měříme vnější a vnitřní teplotu dřevěné stěny po dobu 5 minut každou minutu (měření č.3)
- Nakonec zkontrolujeme vnitřní a vnější teplotu vzduchu.
- Z naměřených hodnot v 1. měření vypočítáme pomocí vztahu (1) tepelný tok Φ stěnou, kde za t_1' a t_2' dosazujeme teploty vnitřní a vnější stěny desky. Výpočet využijeme při výpočtu součinitele prostupu tepla k dle vztahu (2), kde t_1 a t_2 je vnější a vnitřní teplota modelu domku.
- Z naměřených hodnot 2. a 3. měření vypočtete stejným postupem tepelný tok Φ a součinitel prostupu tepla k a porovnejte s hodnotami 1. měření.
- Vypočtete relativní chybu měření.

Příklady k měření:

1. Vypočítejte tepelný tok dveřmi, které jsou 2 m vysoké a 0,75 m široké. Dveře jsou z bílé borovice a jsou 2,5 cm tlusté. Předpokládejte rozdíl vnitřní a vnější teploty 33 °C. Vliv rámu zanedbejte. Tepelná vodivost dřeva je 0,11 W/m·K.
2. Tepelná vodivost skla (Pyrex) je $2,9 \cdot 10^{-3}$ cal/cm·°C·s při 0 °C. Převeďte tuto hodnotu do jednotek SI. Jaký je tepelný odpor R skleněné destičky o tloušťce $d = 0,25$ “ (palců)?
3. Ze vztahu (2) odvoďte jednotku součinitele prostupu tepla k .