

Určenie koeficientu tepelnej vodivosti materiálov

Teoretický úvod

V mikroskopickom meradle sa tepelná energia prenáša medzi atómami a molekulami rôznych látok. Hoci sa to stáva častejšie v prípade pevných látok, prenos tepla vedením môže do určitej miery nastať aj v prípade kvapalín a plynov. Koeficient tepelnej vodivosti popisuje vedenie tepla. Pomáha nám kategorizovať materiál na tepelné izolátory a vodiče. Hustejšie materiály zvyčajne prenášajú teplo efektívnejšie; väčšina kovov má vysokú tepelnú vodivosť. Keď sa atómy s vyššou strednou kinetickou energiou pokúšajú vyrovnáť teplotný rozdiel prenosom tejto energie na atómy s nižšou strednou kinetickou energiou, dochádza k vedeniu tepla.

Koeficient tepelnej vodivosti za predpokladu, že teplo sa šíri len jedným smerom, nám prezrádza, koľko tepla prejde konkrétnou plochou materiálu za určitý čas. Označuje sa symbolom λ a jeho SI jednotka je $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Materiály kategorizujeme ako tepelné vodiče a izolanty na základe relatívnej veľkosti tohto koeficientu. Súvislosť medzi koeficientom λ a inými materiálovými koeficientami je nasledovná:

$$\lambda = \rho \cdot c \cdot \alpha,$$

kde ρ je hustota materiálu, c je jeho špecifická tepelná kapacita a α je súčiniteľ tepelnej vodivosti, ktorý sa určuje experimentálne.

Pre popis vedenia tepla rovinnou stenou uvažujme homogénnu platňu s konštantnou mernou tepelnou kapacitou, hustotou materiálu a súčiniteľom tepelnej vodivosti. Hrúbka platne je voči jej rozmerom neporovnateľne malá, v ideálnom prípade uvažujeme výšku a šírku platne nekonečnu. Teplota platne je na oboch stranách rôzna a po celej ploche rovnaká. Za týchto podmienok nastáva vedenie tepla, ktoré môžeme označiť za koherentné a stacionárne. Pri vedení tepla rovinnou stenou hodnotu tepelného toku q určíme zo vzťahu:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot \Delta T,$$

kde δ je hrúbka steny, λ je koeficient tepelnej vodivosti a ΔT je zmena teploty. Podiel λ/δ predstavuje tepelnú vodivosť steny udávanú v jednotkách $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ a prevrátená hodnota tohto podielu δ/λ tepelný odpor steny v jednotkách $\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$. Prenesené teplo Q cez vybranú plochu S sa vypočíta nasledovne:

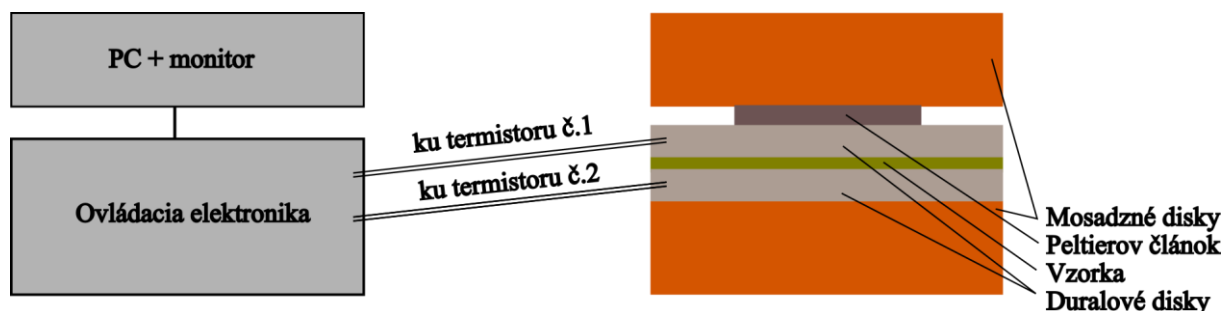
$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot \Delta T \cdot S. \quad (1)$$

Pre určenie tepelnej vodivosti materiálov použijeme pulznú prechodovú metódu merania tepelnej vodivosti. Meranej vzorke dodáme pomocou Peltierovho článku známe množstvo tepla tepelným impulzom so známou dĺžkou. Pomocou prvého

termistora budeme merať presnú hodnotu teploty v čase na ohrievanej strane vzorky. Pomocou druhého termistora budeme merať teplotu na druhej strane vzorky a z jej závislosti v čase získame časovú odozvu medzi vrcholmi tepelného impulzu na oboch stranách vzorky. Z rozdielu časov, dosiahnutých teplôt, dodaného tepla a geometrických rozmerov vzorky určíme tepelnú vodivosť λ úpravou vzťahu (1) nasledovnou rovnicou:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \delta}{S \cdot \Delta\tau \cdot \Delta T} = \frac{m_D \cdot c_D \cdot \Delta T_0 \cdot \delta}{S \cdot \Delta\tau \cdot \Delta T}, \quad (2)$$

kde Q je teplo dodané vzorke, δ je hrúbka vzorky, S je plocha vzorky, $\Delta\tau$ je časový rozdiel teplotných maxím na oboch stranách vzorky a ΔT je teplotný rozdiel maxím tepelných impulzov. Teplo dodané vzorke sa dá vyjadriť rovnicou $Q = m \cdot c_D \cdot \Delta T_0$, kde m_D je hmotnosť duralového disku, c_D merná tepelná kapacita duralu a ΔT_0 je nárast teploty duralovej platničky umiestnenej bližšie ku Peltierovmu článku voči teplote okolia.



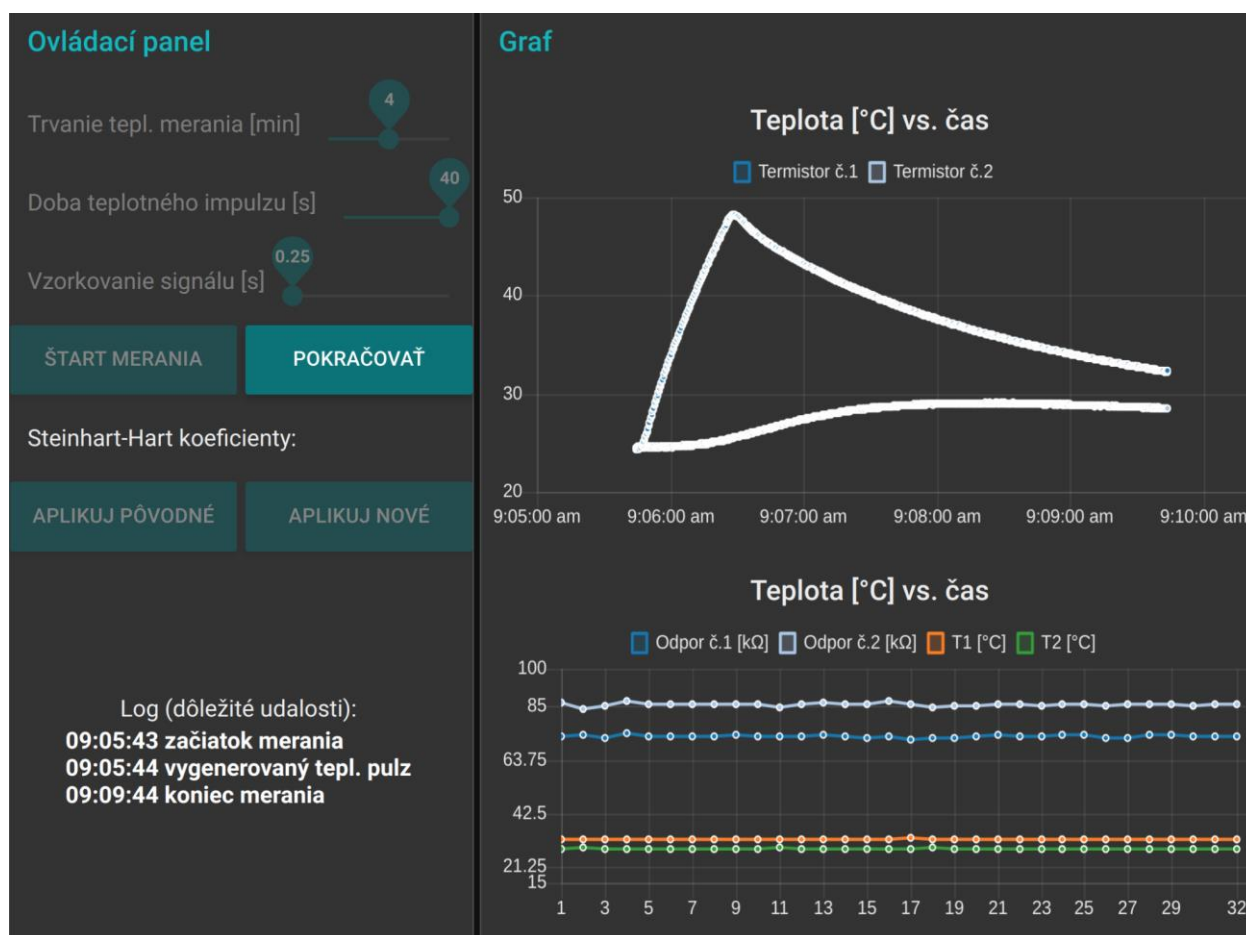
Obr. 1: Blokovaná schéma merania na určenie tepelnej vodivosti materiálov.

Určenie tepelnej vodivosti materiálov

Blokovaná schéma merania na určenie tepelnej vodivosti materiálov je znázornená na Obr. 1. Je potrebné zabezpečiť rovnaké teplotné podmienky po celej ploche meranej vzorky, aby sme sa priblížili homogénnemu toku tepla. Peltierov článok slúži na ohrev vzorky cez dvojicu duralových diskov, v ktorých sú umiestnené termistory. S pomocou termistorov vieme teplotu určiť teplotu na vrchnej a spodnej časti vzorky. Meracia zostava je uložená medzi dvoma mosadznými diskami, ktoré majú podobné tepelné vlastnosti ako dural.

Program slúžiaci na meranie koeficientu teplotnej vodivosti λ materiálov je na Obr. 2, pozostáva zo štyroch hlavných častí, po ľavej strane sa nachádza ovládacia časť nižšie je umiestnený textový výstup obsahujúci informácie o priebehu merania, na pravej strane sa nachádza graf časových závislostí teploty získaných z termistorov umiestnených nad a pod neznámou vzorkou, nižšie sa zobrazuje aktuálny stav zmeraných hodnôt, tento nie je potrebný na samotné meranie, len na diagnostiku.

Prostredníctvom ovládacieho panelu je možné nastaviť parametre merania a to dĺžku samotného merania, dĺžku teplotného pulzu a vzorkovaciu frekvenciu signálov prichádzajúcich z termistorov. Dĺžka merania súvisí s dĺžkou teplotného pulzu, čím je dlhší tým aj doba trvania merania by mala byť dlhšia. Dôležité informácie o priebehu merania sú zaznamenávané v tzv. “Logbooku” umiestnenom pod ovládacím panelom. Po spustení merania tlačidlom “ŠTART MERANIA” v ovládacom paneli sa začne meranie, po skončení merania je možné namerané dáta stiahnuť stlačením tlačidla “STIAHNÚŤ”. Po meraní je treba počkať pokiaľ sa vzorka a celý systém ochladí, len potom je možné opäť pokračovať v meraní. Pripravenosť na ďalšie meranie je signalizované aktívnym tlačítkom “POKRAČOVAŤ”. Dáta sa vyhodnocujú v externom programe najlepšie v tabuľkovom procesore, napr. Libreoffice Calc alebo MS Excel.



Obr.2: Snímka obrazovky ovládacieho programu.

Postup merania

1. Zapíšte teplotu miestnosti.
2. Na ovládacom paneli nastavte požadované hodnoty trvania teplotného impulzu, dobu a vzorkovanie.
3. Ak je teplota prípravku v rámci pracovných hodnôt tlačidlo “ŠTART MERANIA” je aktívne, spustite meranie.
4. Po skončení merania sa aktivuje tlačidlo “STIAHNÚŤ”, po stlačení sa dáta uložia na pracovnú plochu.
5. Dáta sú uložené v troch stĺpcoch, čas, teplota na duralovej platničke bližšie ku Peltierovmu článku a teplota na vzdialenejšej duralovej platničke.

Úlohy

1. Vypočítajte koeficienty tepelnej vodivosti pridelených vzoriek λ .
2. Porovnajme vypočítané hodnoty s tabuľkovými.

Spracovanie výsledkov

1. Zmerajte rozmery pridelených vzoriek, priemer, hrúbku δ a vypočítate ich plochu S .
2. Zmerajte rozmery duralových platničiek a ich vypočítajte ich objem V .
3. Zistite hustotu platničiek duralu a z objemu V vypočítajte ich hmotnosť.
4. Zistite špecifickú tepelnú kapacitu platničiek duralu c_D ,
5. Vypočítajte nárast teploty duralovej platničky umiestnenej bližšie ku Peltierovmu článku voči teplote okolia ΔT_0 , ako rozdiel teploty na konci a teploty miestnosti.
6. Zistite časový rozdiel teplotných maxím na oboch stranách vzorky Δt a teplotný rozdiel maxím tepelných impulzov ΔT . Hodnoty maxím vyhľadajte v stiahnutom súbore cez funkciu maximum v Exceli.
7. Dosadením zmeraných a vypočítaných hodnôt vyššie vypočítajte podľa vzorca (2) koeficient tepelnej vodivosti pridelených vzoriek λ .
8. Porovnajme vypočítané hodnoty s tabuľkovými prostredníctvom relatívnej chyby.

[1] Halliday D., Renick R., Walker J.: Fyzika 2. časť Molekulová fyzika a termika. Vitium a Prometheus, Brno, 2003. (Preklad z AJ). ISBN 80-214-1868-0

[2] Ilkovič D.: Fyzika, Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, Bratislava, 1962, ISBN 63-056-62