Tepelná vodivost stavebních materiálů

Teorie

Tepelná vodivost je schopnost materiálu vést teplo. Představuje rychlost, s jakou se teplo šíří z teplé části materiálu do části studenější.

Tepelnou vodivost dané látky charakterizuje součinitel tepelné vodivosti λ . Jedná se o materiálovou konstantu, která je zjišťována experimentálně. Součinitel tepelné vodivosti lze určit ze známého tepla Q, které projde za čas τ plochou S do hloubky d. Výsledný vztah má tento tvar:

$$Q = \lambda \cdot S \cdot \frac{\Delta T}{d} \cdot \tau, \tag{1}$$

kde ΔT je rozdíl teplot na rovnoběžných površích desky materiálu.

Kalorimetrická komora pracuje na principu průchodu tepelného toku, vznikajícího uvnitř komory zahříváním topného tělesa, skrz měřený materiál, který tvoří jednu ze stěn komory. Vnější plocha materiálu je chlazena tak, aby teplota na této straně materiálu zůstávala co možná nejvíce konstantní, tzn., odvádíme veškeré teplo, které materiálem projde. Nejsnáze dokážeme na materiálu udržet teplotu v rozmezí 0°C až 4°C za použití dostatečného množství ledu.

Energii, kterou dodává topné těleso, můžeme označit také jako teplo, tedy Q. Velikost tohoto tepla lze vypočítat ze znalosti proudu I, který protéká topným tělesem a napětím U, jež je v něm indukováno. Platí vztah:

$$Q = U \cdot I \cdot \tau. \tag{2}$$

Teplota uvnitř komory se bude při sepnutém obvodu zvyšovat, a to až do okamžiku, kdy velikost energie uvolňované topným tělesem bude rovna energii, která prochází materiálem a je odváděna ledovým chlazením. Poté bude teplota v komoře setrvávat na stejných hodnotách. V tento okamžik můžeme vztah (2) dosadit do vzorce (1). Po vykrácení časů a vyjádření součinitele tepelné vodivosti λ získáme výsledný vztah:

$$\lambda = U \cdot I \cdot \frac{d}{s} \cdot \frac{1}{\Delta T}.$$
(3)

Úkol Určete součinitel tepelné vodivosti Fermacellu, dřevotřísky či polystyrenu.

Pomůcky:

sestava na měření tepelné vodivosti stavebních materiálů (zdroj střídavého napětí, kalorimetrická komora s topným tělesem, multimetr s teplotními sondami, propojovací kabely, viz obr. 1, vzorek stavebního materiálu, dvě hliníkové desky z jedné strany černé, dva kontaktní disky, vodivá pasta, špachtlička, led, ochranné fólie, pytle na led, molitan, zatěžovací desky, odměrný válec o objemu 100 ml



Obrázek 1: Fotografie sestavy na měření tepelné vodivosti stavebních materiálů



Obrázek 2: Schéma sestavy na měření tepelné vodivosti stavebních materiálů

Postup:

- 1) Zkontrolujte sestavu na měření dle obrázku 1. Ujistěte se, že máte všechny díly.
- 2) Zkontrolujte (sestavte) obvod podle schématu na obrázku 2. Nechte si zkontrolovat obvod vyučujícím. Nezapínejte zdroj napětí, dokud tak nebude napsáno v tomto postupu.
- 3) Zapněte počítač.
- 4) Zapojte multimetr síťovým kabelem do zásuvky a USB kabelem do počítače. Správnost zapojení značí jedno zelené a čtyři červená světla na multimetru (viz obr. 3)



Obrázek 3: Osvětlení multimetru připojeného k počítači

- 5) Jeden ze dvojice připraví stavební materiál:
 - 1. Vezměte měřený stavební materiál, z jedné strany aplikujte trochu vodivé pasty do prohlubně určené pro kontaktní disk. Vložte kontaktní disk do prohlubně tak, aby drážka v disku navazovala na drážku v materiálu (obr. 3)



Obrázek 4: Pozice kontaktního disku ve stavebním materiálu

- 2. Vodivou pastu naneste ve třech pruzích rovnoměrně na jednu stranu materiálu a použijte špachtličku, abyste vodivou pastu rozetřeli v malé vrstvě po celé ploše.
- 3. Přilepte na stavební materiál hliníkovou desku tak, že černá strana bude vidět (bude na vrchu).
- 4. Opakujte postup i pro druhou stranu stavebního materiálu.
- 5. Stavební materiál vložte do otvoru kalorimetrické komory tak, že drážky v materiálu budou na stejné straně, jakou jsou vstupy pro teplotní sondy v komoře.



Obrázek 5: Umístění vstupů pro teplotní sondy

6. Do připraveného materiálu zasuňte opatrně teplotní sondy. Pokud bude potřeba, pomožte si nadzvednutím připraveného materiálu kovovým háčkem.



Obrázek 6: Kovový háček pro vyjmutí stavebního materiálu

7. Stavební materiál zakryjte dvěma pruhy potravinové fólie tak, aby případná voda z chladícího ledu nemohla protéct do komory ani ke kontaktům přívodních kabelů.



Obrázek 7: Schéma zakrytí kalorimetrické komory potravinovou fólií

- 2) Druhý ze dvojice připraví led:
 - 1. Za pomoci vyučujícího dojděte do kuchyňky a z mrazáku vyndejte led. Budete potřebovat ledové desky a ledové kostky, vložte je do nádoby určené na led a odneste vše do laboratoře k umyvadlům.
 - 2. Do jednoho pytle na led vložte všechen led, kromě ledových desek. Zavažte pytel tak, aby uvnitř nezůstal téměř žádný vzduch. Uzel na pytli by měl při položení tohoto balíčku na podložku směřovat do strany, ne směrem vzhůru (zakrytí molitanem).
 - 3. S balíčkem a nádobou na led přistupte ke komoře, která je již zakrytá potravinovou fólií.
 - 4. Připravte další pytel na led na stavební materiál a vkládejte ledové desky tak, aby co nejlépe vyplnily čtvercový prostor dotyku s materiálem. Dbejte především na to, aby ledové desky byly v rozích tohoto prostoru.
 - 5. Jakmile vyplníte prostor za využití všech ledových desek, zavažte pytel. Opět se snažte, aby v pytli nezůstal téměř žádný vzduch a uzel na pytli směřoval do strany a ne nahoru.
 - 6. Uzel zahněte nahoru a zakryjte připraveným balíčkem s ledem.



Obrázek 8: Schéma pokládání pytlů s ledem - uzly do strany

7. Led zakryjte molitanem a zatižte zatěžovacími deskami.

- 6) Na počítači spusťte program Cassy lab 2 a postupujte podle návodu pro obsluhu softwaru. Po nastavení měřícího softwaru a spuštění měření pokračujte dalším bodem tohoto postupu.
- 7) Vyčkejte, než teplota na chlazené straně stavebního materiálu klesne na rozmezí 0°C − 3°C. Proces chlazení trvá přibližně pět minut.
- 8) Jakmile docílíte dané teploty, zapněte zdroj napětí (12 V).
- 9) Zapište si hodnoty napětí *U* a proudu *I*. Podle vztahu $P = U \cdot I$ vypočítejte výkon topného tělesa.
- 10) Nechte zdroj napětí spuštěný.
- 11) Přibližně po 5 minutách kontrolujte teplotu chlazené strany stavebního materiálu. Pokud se teplota začne zvyšovat, upravte umístění ledu na materiálu tak, aby se zvětšila kontaktní plocha mezi materiálem a ledem. Případně upravte polohu molitanu, či zatěžovacích desek.
- 12) Při kontrole teploty též zkontrolujte, zda z pytlů s ledy neuniká voda. **Při jakémkoli podezření, že voda uniká pod potravinovou fólii, vypněte okamžitě zdroj napětí.** Poté použijte papírové utěrky k vysušení vody.
- 13) Konec měření byl experimentálně určen na 60 minut. Po uběhnutí této doby (odpočítávání zajišťuje software Cassy lab 2) vypněte zdroj napětí.
- 14) Uložte vámi naměřená data na plochu počítače ve tvaru Prijmeni1_Prijmeni2__material_den-mesic-rok
- 15) Po uložení souboru vypněte také multimetr, a to vypojením ze sítě.
- Uklid'te led dle stavu (zkonzultujte s vyučujícím) jej vraťte do mrazáku, či vložte do umyvadla v laboratoři.
- 17) Pokud je třeba, vysušte pracovní stůl a soupravu na měření od vyteklé vody.
- 18) Sejměte z kalorimetrické komory potravinovou fólii a za použití kovového háčku (obrázek 6) vyjměte stavební materiál, aby teplo z komory mohlo odejít.

19) Nesahejte na rozpálené topné těleso!

- 20) Vraťte se k počítači s otevřeným programem Cassy lab 2 a vašimi naměřenými daty.
- 21) V levé části okna je tabulka naměřených hodnot. Sjeď te posuvníkem na konec tabulky a posunutím doprava najděte poslední hodnotu rozdílu teplot mezi sondami ΔT_{A1} . Hodnotu si zapište.
- 22) Pomocí vztahu

$$\lambda = U \cdot I \cdot \frac{d}{S} \cdot \frac{1}{\Delta T}$$

určete součinitel teplotní vodivosti materiálu λ .

23) Vytvořte protokol popisující průběh vašeho měření, který bude obsahovat vámi naměřená data ve formě grafu (vyfoťte vámi naměřená data pomocí klávesy PrtSc – print screen – a uložte v programu např. Malování pod stejným jménem jako soubor z Cassy lab 2) a výpočty. Na závěr shrňte výsledky svého snažení, porovnejte je s tabulkovými hodnotami (lze dohledat na internetu). Vypočtěte chybu měření a diskutujte možnosti, kterými mohly chyby vzniknout.

Návod na obsluhu softwaru Cassy lab 2:

1. Po spuštění programu uvidíte na svém monitoru základní pracovní prostředí Cassy lab 2 a okno nazvané CASSYs, na kterém je schéma multimetru (viz obrázek 9).

CASSY Lab 2	a Contract of the local division of the loca	- Water - I		And the second s	AL P	
File Measurement Window	Help					
1 🗋 🔗 🜈 🔲 🖂 - 1 #1 • C	mment Measuring time not specifi					
Start	CASSYs CASSYs CASSYs Case LD 524 013 Cick on a charc Cose	el lo activate.	Load Example	Help		
					© b	/ LD DIDACTIC GmbH. 2010-2013

Obrázek 9: Základní pracovní prostředí Cassy lab 2 s okénkem CASSYs

2. Na schématu klikněte na místo, které v našem obvodu představuje voltmetr.

Obrázek 10: Výběr měřených dat - voltmetr

3. V pravé části okna je nastavení pro zvolený vstup. Nastavte Range na **0V..21V** a Record Measured Values na **RMS values (AC komponent).** Zkontrolujte nastavení podle obrázku 11



Obrázek 11: Nastavení měření voltmetrem

4. Na schématu klikněte na místo, které v našem obvodu představuje ampérmetr.



Obrázek 12: Výběr měřených dat – ampérmetr, nastavení měření

5. V pravé části okna je nastavení pro zvolený vstup. Nastavte Range na **0V..2,1A** a Record Measured Values na **RMS values** (**AC komponent**). Zkontrolujte nastavení podle obrázku 12.

6. Na schématu klikněte na místo, které v našem obvodu představuje místo zapojení teplotních čidel. Kliknutím na pravou část zvolíte pravé teplotní čidlo, analogicky pak zvolíte levé kliknutím na levou část.



Obrázek 13: Výběr měřených dat - teplotní sondy, nastavení měření

- 7. Zkalibrujte teplotní sondy následujícím způsobem:
 - a. Do odměrného válce natočte vodu z vodovodu.
 - b. Vložte obě teplotní sondy do válce tak, že jsou potopené pouze kovové části. Nepotápějte plastové části.
 - c. V pravé části okna Cassy lab 2 vidíte nastavení teplotní sondy ϑ_{A11} . Klikněte na tlačítko Correct (viz obrázek X)

Temperature d _{A11}	^		
Range: -20 °C 120 °C ▼			
Record Measured Values			
Instantaneous values			
Averaged values			
RMS values over 100 ms			
RMS values (AC component)	=		
Origin			
◎ Left			
Help Correct			

Obrázek 14: Nastavení teplotních sond

 V okně Correct measured values se zobrazuje teplota naměřená danou sondou. Pro kalibrování vepište do prvního políčka teplotu udávanou druhou teplotní sondou a potvrďte kliknutím na tlačítko Correct Offset. Poté okno zavřete kliknutím na tlačítko Close.

Temperature θ _{A12} □ □ ∞ 0 50 100 1 1 1 1		Record Measured Values Instantaneous values Averaged values RMS values RMS values (AC component)	over 100 ms E
ϑ _{A12} = 26,1 °C _{MEAN}		Origin C Left Middle	Right
	Correct Measured Values		
0 50 100	Actual values x Factor	+ Offset = Target values	
└	27,6 ℃ x 1	+ °C = 26.1 °C	Correct Offset
ϑ _{A11} = 27,6 °C _{MEAN}	27,6 °C x 1	+ 0,0 °C = 3° 0,0 +	Correct Factor
	Close	Help	Delete Correction

Obrázek 15: Korekce teplotních sond

8. Zaškrtnutím políčka Differential temperature zvolíte zobrazování rozdílu teplot mezi sondami.

Settings	ųΧ
<u>⊢</u> . CASSYs	
⊨. Input A ₁ (left)	
Voltage U _{A1}	
Current / _{A1}	=
Input A ₁ (NiCr-Ni adapter S, 5240673)	-
I Temperature ⊕ _{A11}	
Image: Temperature 𝔅 _{A12}	
Differential temperature ΔT_{A1} (T1-T2)	
i⊒ Input B ₁ (left)	
☑ Voltage U _{B1}	
Power factor $\cos \varphi_1$	
Input B ₁ (without sensor box)	-
Differential temperature ΔT_{A1} (T1-T2)	-
Range: -200 K 200 K	

Obrázek 16: Volba zobrazování rozdílu teplot

9. V oblasti nastavení zvolte Correct a hodnotu změňte na 0 K stejným postupem, jakým jste nastavovali teplotní čidlo.

Correct Measure	ed Values	-	-	
Actual values	x Factor	+ Offset	= Target values	
1,6 K	x 1	+ K	= 0 K	Correct Offset
1,6 K	x 1	+ 0,0 K	= K	Correct Factor
Close		Help		Delete Correction

Obrázek 17: Korekce rozdílu teplot

10. V tuto chvíli byste měli mít pět různých měřených (či počítaných) veličin – tedy pět oken, viz obrázek 18.

CASSY Lab 2	And in Concession, name
File Measurement Table Diagram Window Help	
🗄 📄 🚰 🚰 🗐 • #1 • Comment 🛛 🚺 Measuring time not specified	8 🔢 🌞 📼 🚷 😡 🗄 😤
Standard	
Differential temperature ΔT_{A1}	
$\Delta T_{A1} = 1,2 \text{ K}_{\text{MEAN}}$	Current / _{A1}
0 , 10 , 20 , 1 , 1	0 i 1 i 1
$U_{\rm B1} = 0.00 \rm V_{AC}$	/ _{A1} = 0,000 A _{Ac}
θ _{A12} Ξ Ξ Σ3	θ _{A11}
0 50 100	0 50 100
-1 Ø _{A12} = 26,8 °C _{MEAN}	Ů _{A11} = 27,6 °C _{MEAN}
	Snow weasuring Parameters

Obrázek 18: Okna s měřenými veličinami

11. Upravte velikost oken a seřaďte je tak, aby byla co nejblíže u sebe, a vy jste dobře viděli všechny

hodnoty. Po seřazení okna sepněte dohromady kliknutím na ikonku B, která se nachází na liště voleb. Okna přesuňte tak, abyste dobře viděli na graf, který se bude vykreslovat na mřížce. (Viz obrázek 19)



Obrázek 19: Náhled programu Cassy lab 2 připraveného na spuštění měření

- 12. Zavřete úvodní okno se schématem multimetru kliknutím na křížek v pravém horním rohu.
- 13. Pravým tlačítkem myši klikněte na tlačítko liště voleb.
- 14. V oblasti nastavení parametrů (vpravo, kde jste nastavovali napětí a proud) zvolte Measurment time **60 min** a Interval **2s**.

Measuring Parameters					
Recording:	Automatic	📃 Арр	end new mea	s. series	
Meas. time:	60:00 min 💌	• •	Number:	1801	
Interval:	2s •	• •	Pre-trigger:	0	
Trigger:	•				
Meas. condition: 1					
Stop condition: 0					
Repeating measurement Acoustic signal					
Help					



- 15. Pro spuštění měření klikněte levým tlačítkem na Č Measuring time: 60:00 min remaining. Nastavený čas se odpočítává, vidíte tedy, kolik času zbývá do konce měření.
- 16. Výsledky měření uložte ve tvaru Prijmeni1_Prijmeni2__material_den-mesic-rok