

THERMAL CONDUCTIVITY MEASUREMENTS

Jakub Krejčí

Master Degree Programme (2. year), FEEC BUT

E-mail: xkrejc44@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Beneš

E-mail: benesp@feec.vutbr.cz

Abstract: This thesis deals with non-stationary thermal conductivity measurement using point heat source. There are compared various measurements of thermal conductivity and designed own correction for pulse duration. The practical part describes created exemplar for possible use in laboratory exercises including achieved results and comparing with simulations.

Keywords: Thermal conductivity, non-stationary measurement, point heat source, correction of thermal conductivity for pulse length

1 ÚVOD

Tepelná vodivost je jeden z fyzikálních parametrů udávající, jak je daná látka schopna vést teplo. Ve stavebnictví má svoje místo pro popis materiálů z hlediska izolačních vlastností, které jsou důležité kvůli energetické náročnosti budov. Ve své bakalářské práci^[1] jsem se zabýval ověřováním metod využívajících bodový a lineární zdroj. Zde jsou prezentovány výsledky s bodovým zdrojem, který by díky definovanějšímu kontaktu mohl být základem přenosného snímače pro měření v terénu.

Metody pro měření tepelné vodivosti můžeme rozdělit do 2 skupin, a to na metody zdrojové a bez-zdrojové. Z jiného hlediska můžeme metody rozdělit na stacionární a nestacionární. U stacionárních metod je nutné čekat na stacionární (ustálený) stav, kterého může být dosaženo za relativně dlouhou dobu. Jelikož není u nestacionárních metod tento požadavek kladen, jsou rychlejší a právě jimi zabývám.

Pro šíření tepla polonekonečným vzorkem s bodovým zdrojem platí (při zanedbání odvodu tepla do okolí) následující rovnice: ^{[2][1]}^[3]

$$T' = T_0 + \frac{Q_{bod}}{4 \cdot \pi^{\frac{3}{2}} \cdot \lambda \cdot \sqrt{kt^3}} \exp\left(-\frac{r^2}{4kt}\right) \quad (1)$$

$$k = \frac{\lambda}{c\rho} \quad (2)$$

kde T_0 je počáteční (okolní) teplota, Q_{bod} teplo vyslané z jednotky délky bodového zdroje v jistém krátkém časovém intervalu Δt , λ tepelná vodivost, t čas, r vzdálenost mezi zdrojem a čidlem, c měrná tepelná kapacita a ρ je hustota. Pokud je tloušťka vzorku $s > 1,1 \cdot r$, může být vzorek považován za polonekonečný. Pro dobu dosažení teplotního maxima platí vztah $t_m = \frac{r^2}{6k}$, ze které lze tepelnou vodivost vypočítat jako:

$$\lambda = \frac{\rho cr^2}{6t_m} \quad (3)$$

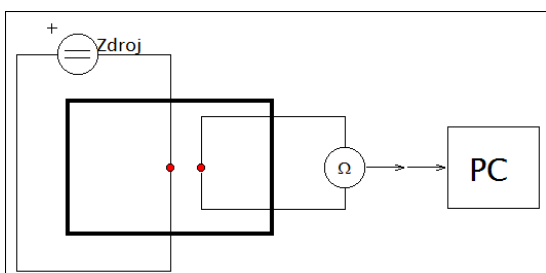
Z důvodu, že nelze veškerou energii dodat pomocí zdroje v nekonečně krátkém okamžiku, je nutné brát v úvahu délku trvání tepelného pulsu Δt a korigovat tak vztah pro výpočet tepelné vodivosti: ^[2]

$$\lambda = \frac{\rho cr^2}{6\Delta t} \left[\frac{\Delta t}{t_m} + \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta t}{t_m} \right)^2 + \frac{5}{12} \left(\frac{\Delta t}{t_m} \right)^3 + \dots \right] \quad (4)$$

2 POPIS MĚŘICÍHO PŘÍPRAVKU

Pro měření byl použit pórobeton a k němu připevněn tranzistor představující bodový zdroj. Použit byl dostatečně malý tranzistor a pro nejlepší možný kontakt byla do vzorku vyvrtána díra, aby byl celý tranzistor vsazen dovnitř. Díky tomuto optimálnímu kontaktu můžeme překročit tepelné ztráty tranzistoru, protože pro krátká měření se měřený vzorek chová jako chladič.

Jako teplotní čidla byly vybrány termistor a platinové čidlo. Hlavní výhodou termistoru je jeho cena, nevýhodou je ale jeho velikost a s tím související časová konstanta, která je pro nestacionární měření nežádoucí.

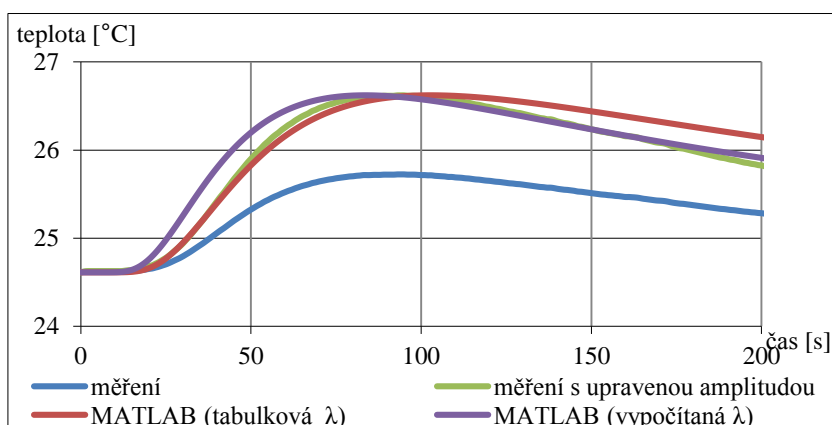


Obrázek 1: Schéma měřicí aparatury

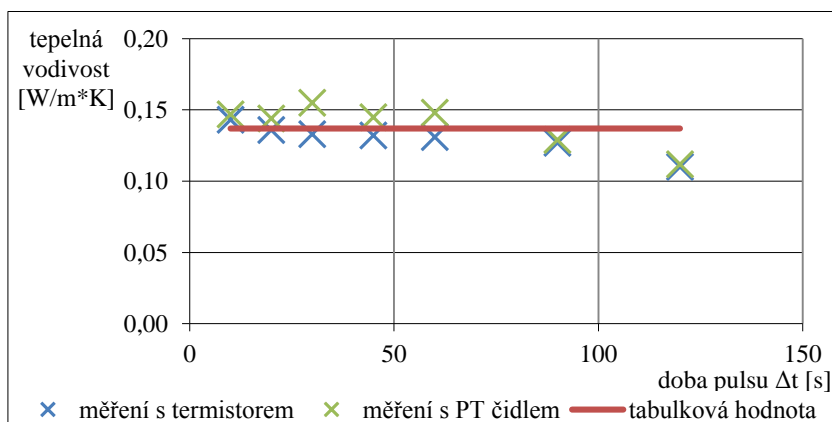


Obrázek 2: Pórobeton s připevněným bodovým zdrojem a přiloženým PT čidlem

3 ZMĚŘENÉ VÝSLEDKY



Graf 1: Ukázka měřené křivky a křivky vypočítané z analytické rovnice

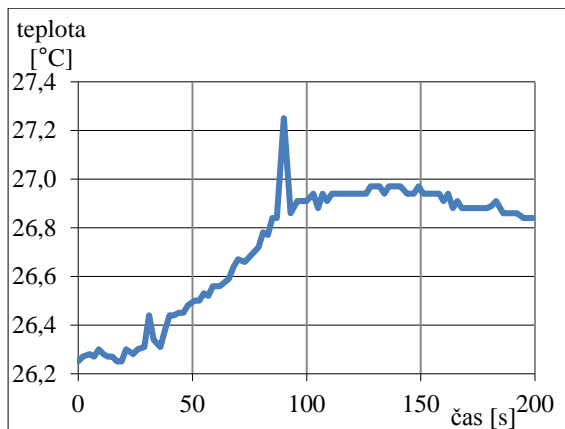


Graf 2: Závislost vypočítané tepelné vodivosti na délce pulsu a na snímači teploty

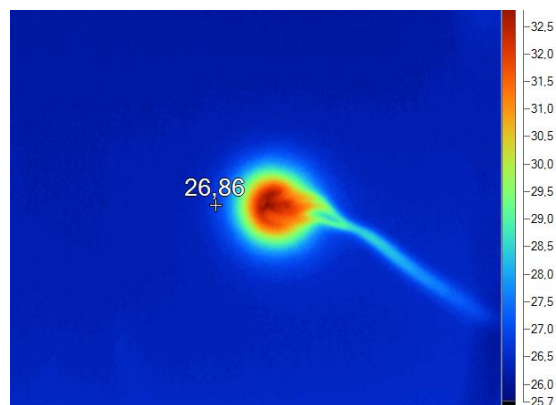
Pro dlouhé pulsy je vypočítaná tepelná vodivost značně menší. Po simulacích v softwaru COMSOL (kde je do simulace zahrnuta skutečná délka pulsu) jsem dospěl k názoru, že se jedná o nedostatečnou korekci na délku teplotního pulsu a na základě těchto výsledků jsem stanovil vlastní korekci, která tento problém odstranila:

$$\lambda = \frac{\rho c r^2}{6\Delta t} \left[\frac{\Delta t}{t_m} + 0,4 \left(\frac{\Delta t}{t_m} \right)^2 + 0,5 \left(\frac{\Delta t}{t_m} \right)^3 + 1,1 \left(\frac{\Delta t}{t_m} \right)^4 \right] \quad (5)$$

Problematiku časové konstanty snímačů a odběrem tepla z přípravku jsem řešil tak, že jsem jedno měření provedl pomocí termokamery.



Graf 3: Záznam teplotní křivky termokamerou



Obrázek 3: Snímek z termokamery

Termokamera nám sice přináší pohled na celý měřený vzorek, ale její rozlišení je menší. Výsledek získaný termokamerou se od výsledků pomocí PT čidla lišil méně než s termistorem, tedy ovlivnění použití malého PT čidla na měření je zanedbatelné.

4 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo ověřit funkčnost bodové nestacionární metody pro měření tepelné vodivosti. Měření byla provedena na Pórobetonu pomocí dvou teplotních snímačů a poté pomocí termokamery. Z naměřených výsledků byly preferovány ty naměřené PT čidlem, protože termistor je větší, má tedy větší časovou konstantu a může vnášet systematickou chybu měření. Kdyby se výsledky lišily méně, byl by i termistor použitelný jako levnější náhrada. Dle provedených simulací v systému COMSOL byla navržena vlastní korekce na dobu trvání teplotního pulsu, která zlepšila výsledky provedených měření pro dlouhé tepelné pulsy. Změřená hodnota tepelné vodivosti pro různé dlouhé pulsy byla o 10-15 % vyšší než udává výrobce, což může být způsobeno tím, že ty jsou udávány pro vysoušený stav, zatímco při mém měření mohlo dojít k absorpci malého množství vody.

PODĚKOVÁNÍ

Tato publikace vznikla za podpory grantu číslo FEKT-S-17-4234 - "Průmysl 4.0 v automatizaci a kybernetice" financovaného z Interní grantové agentury Vysokého učení technického v Brně.

REFERENCE

- [1] KREJČÍ, J. *Měření tepelné vodivosti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 53 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Beneš, Ph.D.
- [2] KREMPASKÝ, Július. *Meranie termofyzikálnych veličín*. 1. vyd. Bratislava: SAV, 1969, 287 s. ISBN -.
- [3] CARSLAW, H. S. a J. C. JAEGER. *Conduction of heat in solids*. 2nd ed. Oxford: Clarendon Press, 1959, 510 s. ISBN -.