

Dariusz HEIM¹, Andrzej MROWIEC², Karol PRAŁAT²

e-mail: karol_pralat@poczta.fm

¹Politechnika Łódzka, Katedra Fizyki Budowli i Materiałów Budowlanych, Łódź²Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Kaliszu, Instytut Politechniczny, Kalisz

Zastosowanie metody „gorącej nici” do wyznaczania przewodności cieplnej płynnych kwasów organicznych

Wprowadzenie

Wymagania stawiane nowoczesnym budynkom w zakresie komfortu cieplnego pomieszczeń, zarówno w okresie lata jak i zimy zmuszają do poszukiwania rozwiązań stabilizujących dobowe wahania temperatury wewnętrznej. Dobierając rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe w zależności od obciążeń cieplnych budynku niezbędna jest znajomość właściwości fizycznych materiałów i komponentów budowlanych. Jednym z podstawowych parametrów jest współczynnik przewodzenia ciepła λ . Jest to parametr decydujący nie tylko o izolacyjności cieplnej przegród, lecz także determinujący szybkość wnikania ciepła do warstw akumulujących. Jest to szczególnie istotne w przypadku systemów pasywnych poddawanych dynamicznemu obciążeniu cieplnemu np. zyskiem ciepła od promieniowania słonecznego.

W niniejszej pracy podjęto próbę określenia współczynników przewodzenia ciepła dla wybranych, czystych materiałów fazowo-zmiennych z grupy nasyconych kwasów tłuszczowych o liczbie atomów węgla w cząsteczce od 8 do 16. Do wyznaczenia współczynników λ wykorzystano metodę „gorącej nici” (*hot wire metod*) opartej na nieustalanej wymianie ciepła.

Na podstawie analizy źródeł literaturowych, m.in. [1] stwierdzono ograniczoną ilość danych dotyczących przewodności cieplnej organicznych materiałów fazowo-zmiennych, w tym eutektycznych mieszanin kwasów tłuszczowych. Pomiary ww. parametru są dodatkowo złożone z uwagi na zachodzące, w różnych zakresach temperatur, przemiany fazowe.

W chwili obecnej nasycone kwasy tłuszczowe nie znalazły jeszcze tak szerokiego zastosowania w produktach komercyjnych jak parafiny czy uwodnione roztwory soli. Badania ich właściwości fizycznych ograniczały się przeważnie do wyznaczania temperatur przemiany fazowej oraz ciepła utajonego. Z uwagi na brak pełnych danych właściwości fizycznych a w szczególności przewodności cieplnej, podjęto próbę przeprowadzenia badań dla wybranych związków chemicznych.

Budowa stanowiska pomiarowego

Metoda „gorącej nici” należy do bardziej interesujących metod z powodu swojej uniwersalności, szerokiego spektrum zastosowania oraz wysokiej dokładności [2]. Ważną zaletą metody, podczas dokonywania pomiaru dla płynów, jest możliwość wyeliminowania wpływu konwekcji na ostateczny wynik pomiaru. Dzięki temu metoda „gorącej nici” może być z powodzeniem stosowana dla materiałów będących w różnych stanach skupienia, w tym materiałów sypkich. Metoda najlepiej sprawdza się w badaniach materiałów o stosunkowo niewielkiej przewodności cieplnej, np. drewna, gruntu, produktów spożywczych, materiałów ogniotrwałych oraz cieczy. Istnieje także możliwość wykorzystania omawianej metody w badaniach terenowych.

Niestacjonarne metody pomiaru współczynnika przewodzenia ciepła materiałów polegają na określeniu zależności między gęstością strumienia cieplnego wydatkowanego ze stałego źródła ciepła a zmieniającą się temperaturą w czasie, w warunkach nieustalonego przepływu ciepła przez badany materiał. Pomiar odbywa się, zatem w warunkach nagrzewania materiału pośrednio poprzez określenie tempa nagrzewania. W układzie $T - \ln t$ po tzw. okresie przejściowym zależność przyjmuje charakter liniowy [3].

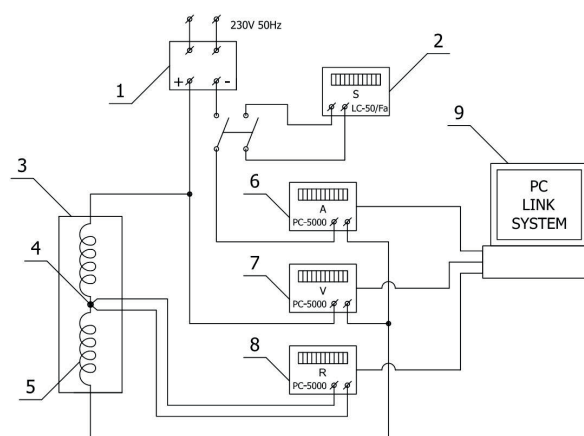
Prezentowane rozwiązanie aparatu jest rozwinięciem tzw. liniowej sondy cieplnej o stałym wydatku. Idea przyrządu polega na umieszcze-

niu w materiale stałego źródła ciepła zasilanego stałym prądem elektrycznym w taki sposób, że wydzielający się w czasie strumień ciepła jest stały. W wyniku wydzielanego ciepła nagrzewa się ośrodek, w którym jest umieszczony liniowy element grzejny. Dla odpowiednio długich czasów oraz przy założeniu pomijalnie małej średnicy drutu grzejnego w stosunku do jego długości, współczynnik przewodzenia ciepła można opisać równaniem:

$$\lambda = \frac{Q}{4\pi L} \frac{h^2 t_2}{T_2 - T_1} \quad (1)$$

Ilość ciepła Q emitowana przez element grzejny jest równa ilości ciepła przejętego przez badany materiał w jednostce czasu, przy założeniu braku strat i pominięciu akumulacji ciepła w elemencie grzejnym.

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 1.



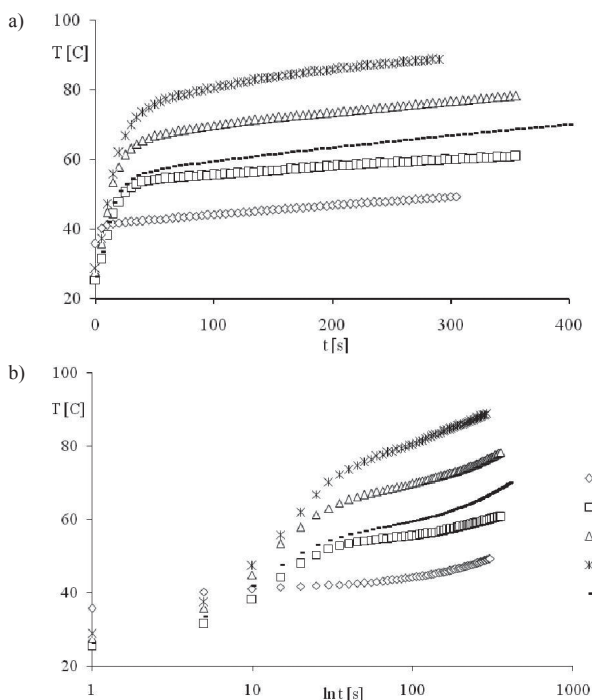
Rys. 1. Schemat stanowiska laboratoryjnego: 1 – źródło prądu stałego, 2 – stoper, 3 – próbka badanej cieczy, 4 – rezystancyjny czujnik temperatury Pt100, 5 – element grzejny, 6 – amperomierz, 7 – woltomierz, 8 – omomierz, 9 – komputer PC rejestrujący pomiary

Najważniejszym elementem stanowiska pomiarowego był własnej konstrukcji zasobnik na analizowany materiał, w którym dokonywano pomiarów współczynnika przewodzenia ciepła wybranych cieczy.

W osi naczynia umieszczono drut oporowy o średnicy 1 mm, oporze 5 Ω w postaci spirali grzejnej. Do spirali przymocowano na stałe rezystancyjny czujnik temperatury Pt100, który połączono z omomierzem. Do układu zostały również włączone: amperomierz oraz woltomierz w celu wyznaczenia mocy cieplnej elementu grzejnego. Wszystkie mierniki zostały połączone z komputerowym systemem pomiarowym PC LINK SYSTEM, w celu rejestracji wyników pomiarów. Pomiary, były czytane i rejestrowane przez system komputerowy co 5 sek.

Wyniki badań

W celu sprawdzenia poprawnego działania aparatury pomiarowej wykonano szereg pomiarów dla cieczy o znanych wartościach współczynnika przewodzenia ciepła. Przeprowadzone pomiary zmiany temperatury drutu grzejnego w funkcji czasu: dla wody, gliceryny, oleju roślinnego, oleju silnikowego oraz oleju napędowego zestawiono na rys. 2.



Rys. 2. Wykres zależności: a) $T = f(t)$, b) $T = f(\ln t)$ wzorcowych cieczy o znanych wartościach współczynnika przewodzenia ciepła λ : 1 – woda, 2 – gliceryna, 3 – olej roślinny, 4 – olej silnikowy, 5 – olej napędowy

Na podstawie zależności (1) dokonano obliczeń wartości współczynnika przewodzenia ciepła pięciu wybranych wzorcowych cieczy i porównano z dostępnymi danymi literaturowymi (Tab. 1). W związku z bardzo dobrą zgodnością wartości eksperymentalnych z literaturowymi założono poprawność działania stanowiska pomiarowego.

W dalszym etapie badań podjęto próbę wyznaczenia wartości współczynnika przewodzenia ciepła w stanie płynnym, siedmiu nasyconych kwasów organicznych (kwas: heksanowy, oktanowy, dekanowy, dodekanowy, tetradekanowy, heksadekanowy, oktadekanowy) o łącznej liczbie węgla od C6 do C18 różniących się temperaturą topnienia w zakresie od -6°C do $+70^{\circ}\text{C}$ oraz ciepłem przemiany od 130 do 200 kJ/kg.

Na podstawie badań zmian temperatury drutu grzejnego w funkcji czasu, dla wszystkich kwasów organicznych, wykonano wykresy $T = f(t)$ oraz $T = f(\ln t)$. Przykładowe przebiegi funkcji pokazano na rys. 3 dla wybranego kwasu heksanowego.

Na podstawie zależności $T = f(\ln t)$, po okresie przejściowym, funkcja przyjmuje charakter liniowy. W przypadku badanych kwasów, liniowa zależność przypada pomiędzy 5 oraz 40 sekundą pomiaru.

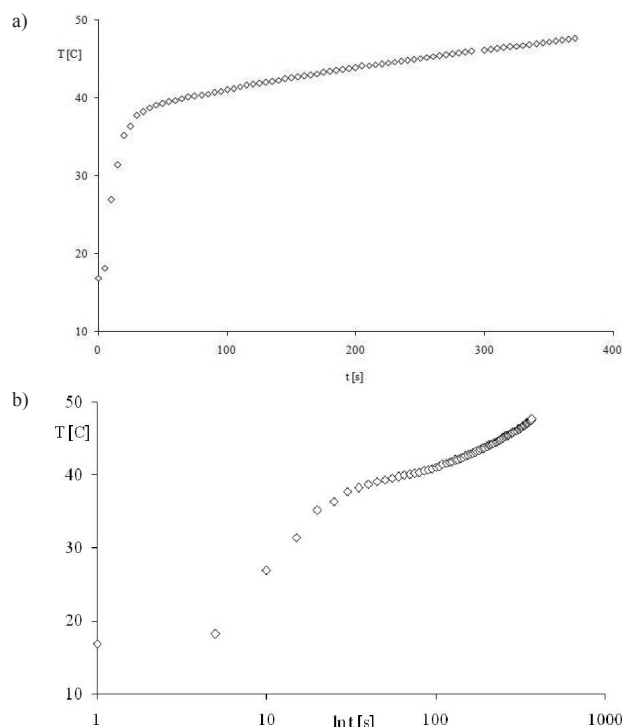
Dla wszystkich pomiarów na podstawie zależności $T = f(\ln t)$, wyznaczono równania korelacyjne w postaci:

Tab. 1. Porównanie wartości współczynników przewodzenia ciepła λ uzyskanych z badań własnych z literaturowymi [4]

Ciecz	Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(m · K)]	
	Badania własne	Dane literaturowe
Woda	0,665	0,610
Gliceryna	0,203	0,210
Olej napędowy	0,201	0,1 ÷ 0,25
Olej roślinny	0,133	0,1 ÷ 0,25
Olej silnikowy	0,153	0,1 ÷ 0,25

Tab. 2. Zestawienie wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ płynnych kwasów organicznych

Badane kwasy organiczne	C6	C8	C10	C12	C14	C16	C18
Wartość współczynnika przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)]	0,235	0,270	0,292	0,265	0,249	0,287	0,289



Rys. 3. Przykładowy wykres zależności: a) $T = f(t)$, b) $T = f(\ln t)$ płynnego kwasu heksanowego

$$T = A \ln t + B \quad (2)$$

Dla siedmiu wybranych materiałów z grupy nasyconych kwasów tłuszczowych (heksanowego, oktanowego, dekanowego, dodekanowego, tetradekanowego, heksadekanowego, oktadekanowego) przeprowadzono serię 10 pomiarów w stanie płynnym. Wyniki uśredniono dla poszczególnych serii określając wartości współczynnika przewodzenia ciepła.

Z zależności (1) obliczono wartości współczynnika przewodzenia ciepła λ dla wszystkich organicznych kwasów. Wyniki zestawiono w tab. 2.

Wnioski

Wyniki pomiarów współczynnika przewodzenia ciepła otrzymane dla materiałów o znanych wartościach lambda potwierdziły poprawność wybranej metody „gorącej nici”. Dzięki temu z powodzeniem może być ona stosowana do poszukiwań wartości λ innych cieczy, w tym płynnych kwasów tłuszczowych.

Na podstawie analiz wyników otrzymanych dla siedmiu wybranych, czystych kwasów tłuszczowych nie zaobserwowano bezpośredniej zależności współczynnika przewodzenia ciepła od ilości atomów węgla w cząsteczce. Najwyższą wartość przewodnictwa cieplnego zaobserwowano dla płynnego kwasu dekanowego (0,292 [W/(m·K)]), najniższą dla kwasu heksanowego (0,235 [W/(m·K)]).

LITERATURA

- [1] D. Heim: ASHRAE Transactions, **112**, Part 1, 518 (2006).
- [2] W.R. Davis: Hot-Wire Method for the Measurement of the Thermal Conductivity of Refractory Materials, in Maglič K D, Cezairliyan A, Peletsky V E, (Eds.) Compendium of Thermophysical Property Measurement Methods, Vol. 1 Survey of Measurement Techniques, 1984, New York, London, Plenum Press, p. 161.
- [3] M.V. Krishnaiah: Thermal Conductivity measurement Techniques, Proceedings of the 16th National Symposium and Workshop on Thermal Analysis 85, 2008.
- [4] G.I. Cerednicenko, G.B. Frojsteter, P.M. Stupak: Fiziko-chimičeskie i teplofičičeskie svojstva smazowych materialov, Chimija, Leningrad 1986.