

Ćwiczenie 10

Wyznaczenie przewodności cieplnej stwardniałego zaczynu cementowego

Zawartość

Cel ćwiczenia	1
Wstęp teoretyczny	1
Sposoby przekazywania ciepła	1
Przewodnictwo cieplne	2
Prawo Fouriera	2
Przewodnictwo cieplne w praktyce	3
Zasada działania przyrządów	4
Procedura wykonania ćwiczenia	5
Wyniki pomiarów oraz obliczenia	6
Obliczenia:	7
Wnioski	8

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z urządzeniem służącym do pomiaru przewodności cieplnej oraz określenie tego parametru dla dwóch rodzajów kamienia cementowego: suchego oraz wilgotnego.

Wstęp teoretyczny

Sposoby przekazywania ciepła

Podstawy teoretyczne opisujące proces przekazywania ciepła wewnątrz pewnego obiektu lub między kilkoma obiektami mogącymi oddziaływać na siebie obejmuje jeden z obszernych rozdziałów termodynamiki. Podstawowym prawem przekazywania ciepła jest druga zasada termodynamiki, która głosi, że samoczynne przekazywanie ciepła jest możliwe tylko w kierunku spadku temperatury, zaś o intensywności przekazywania ilości ciepła decyduje głównie różnica temperatur. Przekazywanie ilości ciepła jest nauką opartą na termodynamice obiektów nie znajdujących się w równowadze termicznej. Ilościowe ujęcie wymienionej energii musi podlegać pierwszej zasadzie termodynamiki. Badania naukowe wykazały, że przekazywanie ilości ciepła nie stanowi jednolitej całości pod względem metod stosowanych w rozwiązywaniu poszczególnych problemów. Dlatego wyodrębnia się trzy podstawowe, różne pod względem fizycznym, sposoby realizacji przekazywania ilości ciepła zwane: przewodzeniem ciepła, konwekcją oraz przekazywaniem ciepła przez promieniowanie. Każdy z tych sposobów przekazywania ciepła jest opisywany innymi podstawami teoretycznymi.

Zjawisko przewodnictwa cieplnego, obok kilku innych termodynamicznych procesów nierównowagowych, zaliczamy do tzw. zjawisk transportu.

Przewodnictwo cieplne polega na przekazywaniu energii pomiędzy częściami ciała, których temperatury są równe. Z tym zjawiskiem mamy do czynienia wówczas, gdy wydzieloną część ciała podgrzejemy. Po pewnym czasie dzięki przekazywaniu energii, temperatura całego ciała wyrówna się. Wielkością przenoszoną jest energia wewnętrzna ciała, a zjawisko zachodzi dzięki temu, że w tym ciele występuje gradient temperatury.

Wprawdzie mechanizmy przewodności cieplnej, elektrycznej, lepkości i dyfuzji są zupełnie od siebie różne, to mają wspólne, makroskopowe cechy, co da się wyrazić ogólnym równaniem transportu:

$$j = -\beta \text{grad} A,$$

gdzie:

j jest wektorem gęstości strumienia odpowiedniej wielkości (energii wewnętrznej, ładunku, masy, pędu), β jest współczynnikiem proporcjonalności (przewodności cieplnej, elektrycznej, dyfuzji, lepkości), zaś A jest zależne od współrzędnych przestrzennych, wielkością skalarną, której gradient powoduje dane zjawisko (temperaturą, potencjałem, gęstością, prędkością).

Dokładnie taką samą postać ma **prawo Fouriera**, które opisuje nam przewodnictwo cieplne. Wszystkie procesy, w których parametry stanu z biegiem czasu zmieniają się, noszą nazwę niestacjonarnych.

Przewodnictwo cieplne

Przewodzenie ciepła, jak wyżej było wspomniane, polega na bezpośrednim przekazywaniu energii kinetycznej jednej cząstki innej cząstce, a więc jest możliwe tylko wówczas gdy występuje bezpośredni kontakt między molekułami (cząsteczkami). Cząstki znajdujące się w cieplejszych miejscach ciała są obdarzone większą energią niż pozostałe i część swej energii oddają bezpośrednio cząstkom sąsiednim, należącym do chłodniejszej części ciała. Proces ten trwa dopóty, dopóki nie nastąpi możliwie równomierny rozkład prędkości w całym ciele, ewentualnie w całej przestrzeni. Przewodzenie ciepła może odbywać się zarówno w substancjach stałych, jak i w cieczach oraz gazach. Jednakże ciecze i gazy wykazują mniejszą zdolność przewodzenia ciepła (z wyjątkiem ciekłych metali).

Teoria zagadnień obejmujących przewodzenie ciepła sprowadza się do rozwiązywania równań różniczkowych cząstkowych w zmiennych warunkach brzegowych. Metale, które są najlepszymi przewodnikami elektryczności, są równocześnie najlepszymi przewodnikami ciepła. Przyczyna tkwi w tym, że ciepło w metalach jest przekazywane nie tylko przez drgające atomy, lecz także przez występujące w nich swobodne elektrony.

Prawo Fouriera

Przewodnictwo cieplne związane jest z różnicą temperatur. Jeżeli w warstwie ciała o grubości Δx występuje różnica temperatur ΔT , to wyrażenie $\Delta T/\Delta x$ (w zapisie różniczkowym dT/dx) nazywa się gradientem temperatury [3].

Prawo Fouriera dla przewodnictwa cieplnego mówi, że: gęstość strumienia cieplnego q^* jest wprost proporcjonalna do gradientu temperatury:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx}$$

gdzie:

λ jest współczynnikiem przewodnictwa cieplnego, który zależy od materiału przewodzącego i świadczy o tym, czy dany materiał jest dobrym czy złym przewodnikiem ciepła. Znak minus w równaniu (1) oznacza, że energia w tym procesie przenosi się w kierunku zmniejszania się temperatury.

*Gęstość strumienia cieplnego q to ilość ciepła Q przechodząca przez jednostkę powierzchni S w jednostce czasu τ :

$$q = \frac{Q}{S \cdot \tau}$$

Przewodnictwo cieplne w praktyce

Różne dziedziny życia, technologie wykorzystują parametr jakim jest przewodnictwo cieplne, jednak nie zawsze zależy nam na tym, żeby było ono jak najmniejsze.

– **zastosowanie w budownictwie** – z roku na rok wzrasta zainteresowanie energooszczędnym i pasywnym budownictwem czyli takim, które wyróżniają bardzo dobre parametry izolacyjne. Współczynnik przewodności cieplnej λ jest podstawowym parametrem określającym **termoizolacyjność materiałów budowlanych i izolacyjnych**. Im mniejsza wartość tego współczynnika, tym lepszą możemy uzyskać izolacyjność cieplną. W przypadku materiałów termoizolacyjnych wartość tego współczynnika jest stała, niezależna od grubości warstwy izolacji.

– **zastosowanie w geotermii** – aby otworowy wymiennik ciepła po wykonaniu mógł spełniać efektywnie swoje zadanie, przestrzeń pomiędzy rurami wymiennika a górotworem powinna być szczelnie wypełniona odpowiednim zaczynem. Dąży się do tego, aby otworowy wymiennik ciepła został wypełniony uszczelnieniem o możliwie największej zdolności do przewodzenia ciepła. Stwardniały zaczyn uszczelniający o takich właściwościach pośredniczy w swobodnym przepływie energii cieplnej z górotworu do czynnika krążącego w rurach wymiennika lub odwrotnie w procesie wygrzewania wymiennika [1].

Stosuje się różnego rodzaju mieszaniny wypełniające do otworowych wymienników ciepła, które zawierają dodatki o zwiększonym przewodnictwie ciepła (głównie piasek kwarcytowy, popiół lotny krzemionkowy).

Na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu przeprowadzane były badania przewodności zaczynu cementowego, do którego dodano **grafit w postaci granulatu**. Receptura ta okazała się być wielkim sukcesem – zaczyn wykazał się zwiększoną przewodnością cieplną. Rezultaty uważa się za bardzo ciekawe głównie ze względu na fakt, iż węgiel jako skała sam w sobie jest izolatorem ciepła, w przeciwieństwie do grafitu, który powoduje zwiększenie przewodności cieplnej próbki na całej powierzchni.

Zasada działania przyrządów

W celu pomiaru przewodności cieplnej próbek wykorzystuje się urządzenie typu TT-TCP. Urządzenie to przeznaczone jest do pomiaru przewodności cieplnej próbek ciał stałych o **minimalnej** grubości 5 mm oraz powierzchni przylegającej do czujnika 20 mm × 50 mm. Centralna część czujnika wykonana została z materiału o niskim współczynniku oporu termicznego oraz zawiera skonsolidowane trzy równoległe, bardzo wąskie oraz bardzo cienkie przewodniki prądu elektrycznego o długości równej czerwonemu polu.



Rys. 1. Wykonawcza część czujnika urządzenia TT-TCP

Elementem pomiarowym urządzenia TT-TCP jest centralny przewodnik zatopiony w materiale czujnika. Pozostałe dwa przewodniki pełnią funkcję pomocniczą. Przewodnik centralny podczas rozpoczęcia pomiaru przewodności cieplnej wytwarza ciepło, które rozprzestrzeniać się powinno pionowo ku górze w badanej próbce.

W rzeczywistości jednak strumień ciepła rozprzestrzenia się w profilu kulistym od źródła ciepła, co zmienia ilość energii (wartość znana) odprowadzonej od jednostki powierzchni próbki. Zjawisko to zwiększa intensywność rozchodzenia się ciepła w próbce oraz prowadzi do zmniejszenia dokładności pomiaru.

Aby ukierunkować strumień ciepła możliwie pionowo, zastosowano dwa pomocnicze elementy grzewcze wytwarzające „zaporę cieplną” dla strumienia ciepła wytwarzanego przez główny element grzejny.

Strumień ciepła wytwarzany przez centralny element grzewczy jest nieco opóźniony w stosunku do strumieni pomocniczych. Czas opóźnienia jest krótszy od „czasu rozpoczęcia pomiaru”. Cały czas pomiaru obejmuje wytwarzanie ciepła przez elementy pomocnicze.

Pomiar przewodności cieplnej urządzeniem TT-TCP odbywa się na podstawie porównania krzywej regresji próbki o znanym współczynniku przewodności cieplnej dostarczonej przez producenta urządzenia i krzywej uzyskanej podczas pomiaru współczynnika przewodności cieplnej próbki badanej. Sam pomiar przyrostu napięcia w funkcji czasu opiera się na zmianie rezystancji głównego elementu grzewczego podczas pomiaru. Do uzyskanej krzywej przyrostu napięcia automatycznie dopasowywana jest krzywa regresji w granicach czasu zadanych przez operatora, a więc od początku czasu pomiaru do końca jego trwania. Kolejno uzyskane krzywe dla badanej próbki porównywane są z krzywą kalibracyjną oraz wyznaczany jest współczynnik przewodności cieplnej próbki. Wynik pomiaru podawany jest w tabeli wraz ze współczynnikiem korelacji krzywej regresji [2].

Kalibracji przyrządu dokonuje się przy pomocy specjalnych próbek o znanej przewodności cieplnej λ . Cały proces trwa około kilku godzin.



Rys. 2. Próbkki do kalibracji przyrządu

Procedura wykonania ćwiczenia

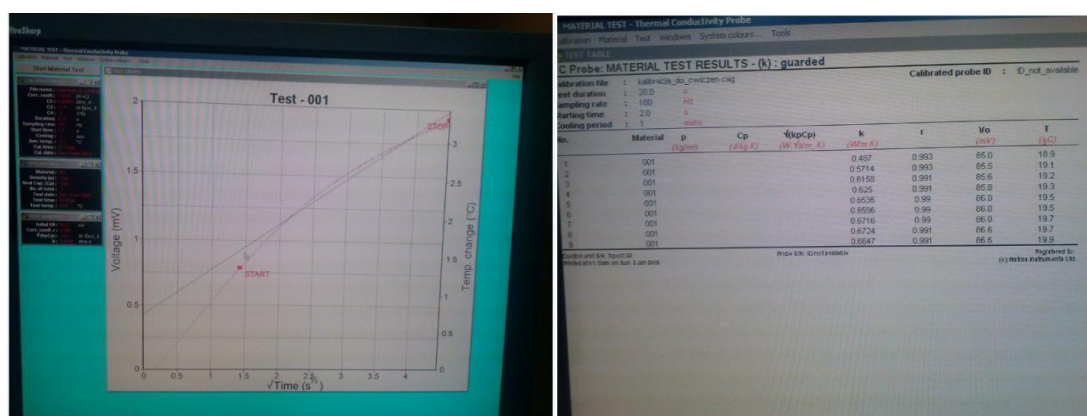


Rys. 3. Stanowisko do pomiaru przewodnictwa cieplnego

Pomiar przewodnictwa cieplnego wykonuje się przyrządem TT-TCP. Beleczkę przygotowaną jak do pomiarów wytrzymałościowych umieszcza się na elemencie grzejnym dłuższymi bokami. Następnie poprzez program należy uruchomić procedurę pomiarową. Badaniom należy poddać dwie próbki: suchą oraz wilgotną. Przewodność cieplną należy zmierzyć po 3 razy dla każdej ze stron. Próbkę każdorazowo należy obciążyć odważnikiem wagowym.

Rozpoczęcie testu jest równoznaczne z rozpoczęciem ogrzewania próbki pomocniczymi elementami grzewczymi. Równocześnie rozpoczyna się pomiar napięcia, jakim zasilany jest element główny i które na początku testu wynosi 0. Zasilanie elementu głównego rozpoczyna się ok. 0,2 s po rozpoczęciu ogrzewania obwodami pomocniczymi oraz trwa do końca testu. Podobnie pomiar rozpoczyna się w momencie „czasu rozpoczęcia pomiaru” i trwa do końca testu. Ponadto przyrost napięcia jest rejestrowany w funkcji czasu na arkuszu. Przyrost napięcia jest związany ze wzrostem rezystancji głównego elementu grzewczego podczas pomiaru [2].

Sam przebieg pomiaru jest widoczny na ekranie w postaci wykresu. Ciekawostką jest to, że jednostką skali poziomej – czasowej – nie jest sekunda ani logarytm czasu, ale pierwiastek z czasu.



Rys. 4. Wykres oraz przykładowe wyniki z urządzenia

Nieźmiernie istotną sprawą przy wyjęciu kamienia cementowego z wody jest wytarcie go, jeszcze przed położeniem na czujniku. Czujnik po każdym pomiarze musiał się ochłodzić. Im dłuższy czas chłodzenia tym dokładniejszy pomiar.

Wyniki pomiarów oraz obliczenia

Wyniki pomiaru należy przedstawić w podobnej tabeli:

PRÓBKĄ 1 (SUCHA)			PRÓBKĄ 2 (WILGOTNA)	
Lp.	Nr ścianki	$\lambda \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$	Nr ścianki	$\lambda \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$
1	1	...	1	...
2		...		...
3		...		...
1	2	...	2	...
2		...		...
3		...		...
1	3	...	3	...
2		...		...
3		...		...

1	4	...	4	...
2		...		...
3		...		...

Obliczenia

– średnia arytmetyczna serii pomiarów:

$$\lambda_{sr} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

– estymator odchylenia standardowego średniej (niepewność pomiaru $u(x)$):

$$u(\lambda) = s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

Estymator odchylenia standardowego średniej można dołożyć jako dodatkową część tabelki.

– sprawdzenie hipotezy, że próbka jest anizotropowa na poziomie istotności 0,1:

Poziom ufności $1-\alpha = 0,9$

$$\begin{aligned} H_0: \lambda_1 &= \lambda_2 - \text{brak anizotropii} \\ H_1: \lambda_1 &\neq \lambda_2 - \text{występuje anizotropia} \end{aligned}$$

n_1, n_2 - liczba niezależnych prób

$\bar{x}_1, \bar{x}_2$ - wartości średnie z prób 1 i 2

Dobór modelu:

- mała próba: $n_1, n_2 \leq 30$

- odchylenia standardowe nieznane

W związku z powyższym stosujemy model:

$$\begin{aligned} T &= \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(n_1 - 1) \cdot \hat{S}_1^2 + (n_2 - 1) \cdot \hat{S}_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} = \\ &= \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(x_{i1} - \bar{x}_1)^2 + (x_{i2} - \bar{x}_2)^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \end{aligned}$$

Dwustronny obszar krytyczny, odczytuje się wartość t_α dla $\alpha = 0,1$ oraz stopnia swobody $r = 4$

W przypadku, gdy:

$|T| \geq t_\alpha \rightarrow$ odrzuca się hipotezę zerową na rzecz hipotezy alternatywnej przy stopniu istotności $\alpha = 0,1$ – próbka jest anizotropowa;

$|T| < t_\alpha \rightarrow$ przyjmuje się hipotezę zerową przy stopniu istotności $\alpha = 0,1$ – brak anizotropii.

Wnioski

We wnioskach należy uwzględnić obserwacje podczas wykonywania ćwiczeń oraz obliczeń. Wnioski powinny zajmować minimum pół strony A4 czcionką 12 pkt. z akapitami o odstępach 1,15.

U W A G A !!!

***Podczas wykonywania ćwiczenia należy pamiętać o zapisaniu danych ($\lambda \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$) dla próbki suchej i wilgotnej.**

****Kartkę z wynikami podpisuje prowadzący, następnie kartkę należy dołączyć do sprawozdania, które winno się donieść w wersji papierowej, oraz dosłać elektronicznie w wersji doc lub docx.**