

KAZIMIERZ CHMURA
Politechnika Śląska

WŁAŚCIWOŚCI TERMICZNE NIEKTÓRYCH SKAŁ MAGMOWYCH

UKD 552.3:536.2(438 Dolny Śląsk)

W ostatnich latach rozpoczęto w Katedrze Geologii Ziół Surowców Mineralnych badania nad właściwościami termicznymi skał krajowych zagłębi górniczych. Ostatnio rozszerzono te badania na niektóre magmowe skały występujące na terenie Dolnego Śląska. Głównym zadaniem tych badań jest ustalenie współczynnika przewodzenia ciepła (λ), współczynnika przewodzenia (wyrównania) temperatury (α), właściwej pojemności cieplnej (c), zagęszczenia ciepła w strumieniu (q), właściwej oporności cieplnej (R).

POJĘCIA PODSTAWOWE

Jak wiadomo skały są ciałem anizotropowymiich właściwości termiczne będą składową właściwością cieplnych wszystkich minerałów budujących daną skałę. Poza tym wartości liczbowe poszczególnych współczynników będą się różnić dla jednej i tej samej skały w pewnych granicznych przedziałach a to ze względu na kierunkowość tych parametrów i warunki pomiarowe. Badania właściwości cieplnych można dokonywać w warunkach termicznie ustalonych lub nie ustalonych. Najlepsze rezultaty w pomiarach otrzymuje się, gdy warunki termiczne są ustalone. Ma to szczególne znaczenie przy charakterystyce termicznej skał.

Przewodność cieplną skał można określić jako przenoszenie energii przez nieuporządkowane ruchy cząstek w kierunku od wyższej do niższej temperatury. Z praw termodynamiki wiem, że rozkład temperatury w ciele stałym jest nierównomierny. Ten nierównomierny rozkład temperatury w skałe jest warunkiem przewodzenia przez nią ciepła.

Rozkład temperatury w skałe można w najogólniejszym przypadku scharakteryzować funkcją, która określa tzw. pole temperatury w danej skałe:

$$\vartheta = f(x, y, z, \tau)$$

Funkcja ta podaje zależność temperatury w dowolnym punkcie skały od współrzędnych x, y, z , z tego punktu i czasu τ . W przypadku, gdy w polu określonym wyżej podaną funkcją temperatura zmienia się w czasie, wówczas mamy do czynienia z nieustalonym przewodzeniem ciepła. Jeżeli natomiast temperatura nie ulega zmianie w czasie to przewodzenie ciepła jest ustalone.

Intensywność przepływu ciepła przewodzona przez skałę charakteryzować będzie zagęszczenie ciepła w strumieniu q , wyrażająca stosunek elementarnego ciepła d^2Q do elementu prostopadłej do kierunku przepływu powierzchni dA i do elementu czasu dt . Zależność ta podawana jest równaniem

$$\dot{q} = \frac{d^2 Q}{dA dt}$$

Jednostką zagęszczenia ciepła w strumieniu \dot{q} jest zatem stosunek jednostki energii do jednostki czasu i jednostki pola powierzchni. Wymiar tej jednostki określony jest stosunkiem $\frac{W}{m^2}$. Całkowite ciepło w strumieniu określamy

$$\dot{Q} = \dot{q} A$$

gdzie:

\dot{q} — zagęszczenie ciepła w strumieniu, $\frac{W}{m^2}$
 A — pole powierzchni, m^2

Zagęszczenie ciepła w strumieniu jest wektorem, ponieważ oprócz wartości ma określony kierunek i zwrot. W ciele izotropowym zgodnie z prawem Fouriera ciepło przepływa w kierunku największego spadku temperatury, przy czym przepływ ten jest prostopadły do powierzchni izotermicznych (izotermicznych), a zagęszczenie ciepła w strumieniu (\dot{q}) jest proporcjonalne do pochodnej w tym kierunku. Zależność tę ujmuje się równaniem

$$\dot{q} = -\lambda \frac{d\vartheta}{dn}$$

gdzie:

λ — współczynnik proporcjonalności, który nosi nazwę współczynnika przewodzenia ciepła $\frac{W}{m \text{ deg}}$
 $\frac{d}{dn}$ — gradient temperatury (pochodna temperatury względem drogi), $\frac{\text{deg}}{m}$

Wielkość λ ma określoną wartość w danym stanie termicznym skały i jest jej fizycznym parametrem charakteryzującym zdolność przenoszenia ciepła, wyrażającą całkowity strumień przewodzenia ciepła przez jednostkę powierzchni skały, o jednakowej grubości, przy jednostkowej różnicy temperatur między ściankami próbki, w jednostce czasu podczas ustalonego przepływu ciepła. Wartość tego współczynnika zależy na ogół od wielu parametrów technicznych i od samego charakteru danej skały. Wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła zależą od następujących czynników:

- struktury i rodzaju minerałów budujących daną skałę,
- składu mineralnego skały,
- liczby porowatości (ilość i wielkość oraz kształt porów),
- gęstości przestrzennej i gęstości masy,
- stanu higroskopijnego skały,
- zwężności i stopnia zdiagenezowania,
- tekstury i struktury skały,
- kierunku badania (ze względu na anizotropowość skały),
- temperatury, przy której dokonywany jest pomiar.

WŁAŚCIWOŚCI CIĘPLNE KWARCU I SKALENI

Rodzaj skały i jej pochodzenie	W układzie tradycyjnym					W układzie międzynarodowym				
	ciepło właściwe c	współczynnik przewodzenia		zagęszczenie ciepła w strum. q	właściwa oporność cieplna R	właściwa pojemność cieplna c	współczynnik przewodzenia		zagęszczenie ciepła w strum. q	właściwa oporność cieplna R
		ciepła λ	temperatury a				ciepła W	temperatury a		
$\frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 10^{-3}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}}$	$\frac{\text{m}^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$	$\frac{\text{J}}{\text{kg deg}}$	$\frac{\text{W}}{\text{m deg}}$	$\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 10^{-6}$	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	$\frac{\text{m deg}}{\text{W}}$	
Kwarc, Strzegom do Z ⊥ do Z	0,190	11,500	24,114	0,345	0,087	0,794	13,340	6,693	0,400	0,074
		6,310	13,231	0,189	0,158		7,320	3,672	0,219	0,136
Kwarc, Strzelin do Z ⊥ do Z	0,200	10,920	21,496	0,328	0,092	0,836	12,667	5,965	0,380	0,078
		6,010	11,830	0,180	0,166		6,972	3,283	0,209	0,143
Kwarc, Jęglowa do Z ⊥ do Z	0,210	11,280	20,651	0,338	0,089	0,878	13,085	5,731	0,392	0,076
		5,980	10,948	0,179	0,167		6,937	3,038	0,208	0,144
Ortoklaz, Strzegom do Z ⊥ do Z	0,195	3,710	7,927	0,111	0,269	0,815	4,303	2,199	0,129	0,232
		2,120	4,529	0,064	0,472		2,459	1,257	0,074	0,406
Ortoklaz, Strzelin do Z ⊥ do Z	0,201	3,621	7,206	0,109	0,552	0,840	4,200	1,292	0,039	0,368
		2,340	4,657	0,070	0,427		2,714	1,164	0,116	0,258
Plagioklaz, Strzegom do Z ⊥ do Z	0,213	3,341	6,103	0,100	0,299	0,890	3,876	1,164	0,116	0,258
		3,000	5,480	0,090	0,333		3,480	1,085	0,104	0,287

Wyznaczenie współczynnika przewodzenia ciepła może być dokonane przy ustalonym lub niustalonym przepływie ciepła. Istnieje wiele opracowanych sposobów do wyznaczenia tego parametru opartych na niustalonym przepływie ciepła. Cechą korzystną tych sposobów jest krótki czas pomiaru. Ujemną natomiast stroną jest długość czasu pomiaru. Wzrostem natomiast stroną jest długość czasu pomiaru. Wzrostem natomiast stroną jest długość czasu pomiaru. Współczynnik przewodzenia ciepła jest przy tych sposobach wyliczany drogą pośrednią przez określenie gęstości przestrzennej ρ , właściwej pojemności cieplnej (c) i współczynnika przewodzenia temperatury (a). Wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła wylicza się według równania:

$$\lambda = a \rho c \frac{W}{m \text{ deg}}$$

Przy wyznaczaniu współczynnika przewodzenia ciepła skał metodą bezwzględną, przy ustalonym przepływie ciepła, najlepszy jest sposób pomiaru współczynnika λ na płytkach płaskich (krążkach). Sposobem tym wyznaczono wartości współczynnika przewodzenia ciepła zbliżone mniej więcej do wartości faktycznej.

Ustalenie rzeczywistej wartości liczbowej przewodzenia ciepła skał nie jest łatwe, ponieważ skały są ciałem anizotropowym o zmiennej budowie wewnętrznej i o nader zróżnicowanym charakterze petrograficznym oraz o zmiennych własnościach fizyko-mechanicznych. Ponadto wywołują się przy tym trudności natury technicznej — przy przygotowaniu do badań próbek o idealnie równych powierzchniach.

Wzór na wyznaczenie energii cieplnej, która przepływa w określonym czasie przy różnicy temperatur przez skałę o danej grubości ma postać:

$$Q = \frac{\lambda A (\theta_g - \theta_c)}{\tau \delta}; \theta_g > \theta_c$$

gdzie:

- Q — ilość energii przepływającej, J,
- λ — współczynnik przewodzenia ciepła, $\frac{\text{W}}{\text{m deg}}$
- A — pole powierzchni, m^2 ,
- θ_g — temperatura dolnej powierzchni (nagrzewanej) kostki, deg,
- θ_c — temperatura górnej powierzchni (chłodzonej), kostki, deg,
- τ — czas przepływu strumienia ciepła, s,
- δ — grubość kostki, krążka, m.

Wzór na współczynnik przewodzenia ciepła ma postać:

$$\lambda = \frac{\delta Q}{A (\theta_g - \theta_c) \tau m \text{ deg}}$$

Eksperymentalne doświadczenia wykazały, że korzystniej jest wyznaczać współczynnik przewodzenia ciepła skał na krążkach zgodnie z teorią płaskiej ściany, gdzie układ współrzędnych jest prostokątny, a warunki termiczne są ustalone bez wewnętrznych źródeł ciepła.

Wzór, na podstawie którego wyznacza się współczynnik przewodzenia ciepła skał ma postać:

Rodzaj skały i jej pochodzenie	W układzie tradycyjnym					W układzie międzynarodowym					
	ciepło właściwe $c \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$	współczynnik przewodzenia		zagęszczenie ciepła w strum. $q \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h}}$	właściwa oporność cieplna $R \frac{\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}}{\text{kcal}}$	właściwa pojemność cieplna $c \frac{\text{J}}{\text{kgdeg}} \cdot 10^3$	współczynnik przewodzenia		zagęszczenie ciepła w strum. $\dot{q} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	właściwa oporność cieplna $R \frac{\text{m deg}}{\text{W}}$	
		ciepła $\lambda \frac{\text{kcal}}{\text{m h}^\circ\text{C}}$	temperatury $\alpha \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 10^{-3}$				ciepła $\lambda \frac{\text{W}}{\text{m deg}}$	temperatury $\alpha \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 10^{-6}$			
Granit grubo-kryształiczny, Strzegom	0,198	3,150	6,494	0,095	0,317	0,828	3,654	1,802	0,109	0,274	
średniokrystaliczny, Strzegom	0,199	3,050	6,162	0,092	0,328	0,832	3,538	1,701	0,106	0,283	
drobnokrystaliczny, Strzelin	0,200	3,000	5,928	0,090	0,333	0,836	3,480	1,645	0,104	0,287	
grubokrystaliczny, Karkonosze	0,201	3,450	6,893	0,104	0,289	0,840	4,002	1,912	0,120	0,249	
Porfir zwietrzały, Głuszyca	0,170	1,440	3,620	0,043	0,694	0,711	1,670	1,005	0,050	0,694	
niezwietrzały, Głuszyca	0,182	4,820	1,077	0,145	0,207	0,761	5,591	1,111	0,168	0,179	
Diabaz, Nowa Ruda	0,172	2,930	6,577	0,088	0,371	0,719	3,399	1,828	0,102	0,294	
Bazalt, Jawor	0,171	2,910	6,647	0,087	0,344	0,714	3,376	1,244	0,101	0,296	
Bazalt, Lwówek Śl.	0,179	3,940	8,466	0,118	0,254	0,748	4,570	2,349	0,137	0,637	

$$\lambda = \frac{Q \delta}{A \Delta \theta} = 0,11 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m deg}}$$

Gładkość i równoległość powierzchni próbek jest warunkiem dokładnych pomiarów. Polerowane powierzchnie próbek muszą dokładnie przylegać do powierzchni elementu grzejnego i chłodnicy.

Pomiary współczynnika przewodzenia ciepła λ omawianych skał wykonano w warunkach ustalonego przepływu ciepła w temperaturze średniej 25°C (temperatura grzania 25°C, chłodzenia 35°C). Wyniki pomiarów podano w tradycyjnym i międzynarodowym układzie jednostek miar. Samych pomiarów dokonano w układzie tradycyjnym, a otrzymane wyniki przeliczono na międzynarodowy układ w następujący sposób:

właściwa pojemność cieplna granitu strzegomskiego

$$c = 0,195 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

w jednostkach układu międzynarodowego wynosi:

$$c = 0,195 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot \frac{4186,8 \text{ J}}{\text{kcal}} = 816,43 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} = 0,816 \frac{\text{J}}{\text{kg deg}} \cdot 10^{-3}$$

We wszystkich współczynnikach cieplnych, jak: współczynnik wnikania, przenikania i przewodzenia ciepła w tzw. układzie tradycyjnym figuruje $\frac{\text{kcal}}{\text{h}}$

Po przeliczeniu kcal i h (godziny) na jednostki układu międzynarodowego otrzymuje się:

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \cdot 4186,8 \frac{\text{J}}{\text{kcal}} \cdot \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} = 1,1630 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1,1630 \text{ W}$$

$$1 \text{ W} = 0,8598452 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

Otrzymane wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła przeliczono w następujący sposób, a więc przykład jednego przeliczenia $\lambda = 3,15 \frac{\text{kcal}}{\text{m h}^\circ\text{C}}$

$$\lambda = 3,15 \frac{\text{kcal}}{\text{m h}^\circ\text{C}} \cdot \frac{1,163 \text{ W}}{1 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}} = 3,663 \frac{\text{W}}{\text{m deg}}$$

CHARAKTERYSTYKA WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNYCH SKAŁ MAGMOWYCH

Badaniom poddano kwarc i skalenie ze Strzegomia i Strzelina oraz granit strzegomski, strzełiński

f karkonoski, bazalt z okolic Jaworu i Lwówka Śląskiego oraz porfir z Głuszycy i diabaz Nowej Rudy.

Jak wynika z danych przedstawionych w tabelach I i II współczynniki cieplne kwarcu i skaleni oraz skał zmieniają się w dość wyraźnych granicach. Związane to jest charakterem petrograficznym danych skał.

Wahania w wartościach liczbowych współczynnika przewodzenia ciepła dla poszczególnych skał wynikają oczywiście z charakteru strukturalnego minerałów budujących daną skałę oraz kierunku badania tego współczynnika, czyli od kierunku przepływu strumienia ciepła w poszczególnych minerałach. W przypadku niezaburzonej struktury sieciowej kwarcu i skalenia, przy przepływie strumienia ciepła zgodnego z kierunkami krystalograficznymi kryształu współczynnik przewodzenia ciepła będzie dość wysoki. Najmniejsze defekty sieciowe oraz najmniejsze kierunkowe odchylenia w przepływie strumienia ciepła od kierunków krystalograficznych wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła będą niższe i nie zawsze odzwierciedlą będą faktyczną przewodność.

SUMMARY

In the last years research on thermic properties of rocks of country's mining basins were begun at the Department of Geology of Mineral Deposits. Recently, the research have concerned also some magmatic rocks found to occur in the Lower Silesia area. The main tasks in the research is to determine coefficient of heat conduction (λ), coefficient of temperature compensation (a), specific thermal capacity (c), heat condensation in flux (q), and thermal resistivity (R).

Te zmiany współczynnika przewodzenia ciepła podciągają oczywiście za sobą zmianę wartości liczbowej współczynnika przewodzenia (wyrównywania) temperatury, zagęszczenie ciepła w strumieniu i właściwej oporności cieplnej.

Nie można w praktyce analizować zjawisk geotermicznych danego zespołu skał bez znajomości anizotropowości minerałów budujących skałę, jak i też anizotropowości samej skały. Wyraźnie widoczne są te zależności ujęte w tabeli I, w której przedstawiono badania kwarcu i skalenia dokonane zgodnie z kierunkiem krystalograficznym (\parallel — równoległe do osi Z) i prostopadle do kierunku osi Z (\perp).

Z tabeli II wynika, że w przypadku grubokrystalicznej budowy granitu współczynnik przewodzenia ciepła jest wyższy. Skały wylewne cechują się dość małą wartością liczbową współczynnika przewodzenia ciepła.

РЕЗЮМЕ

В последние годы на Кафедре геологии полезных ископаемых проводятся исследования термических свойств пород, распространенных в горных бассейнах страны. Недавно этими исследованиями охвачены и некоторые магматические породы Нижней Силезии. Главной задачей этих работ является определение коэффициента теплопроводности (λ), коэффициента проводимости (выравнивания) температуры (a), удельной теплоемкости (c), конденсации теплового потока (q), удельного теплосопrotivления (R).