

Alfred LOGOŃ

WYRÓWNYWANIE TEMPERATURY W SKAŁACH ZAGŁĘBIA MIEDZIOWEGO

Streszczenie. Omówiono ogólne podstawy problemu wychładzania skał. Opiszano sposób prowadzenia obserwacji wychładzania się górotworu w kopalni. Uzyskane wyniki porównano z rezultatami teoretycznymi. Podano graficzną metodę wyznaczania dyfuzyjności cieplnej górotworu oraz przedstawiono wyniki pomiarów w kopalni Polkowice.

We wnioskach sugeruje się potrzebę prowadzenia badań dyfuzyjności, wyznaczanej eksperymentalnie w kopalni, w celu uwzględnienia wpływu wilgotności na przebieg wychładzania się skał.

1. Wstęp

Klimatyczne warunki pracy w kopalniach uzależnione są od wymiany ciepła między górotworem, a przepływającym powietrzem. Aby zagadnienie to zostało możliwie dokładnie zbadane niezbędne jest poznanie własności fizyko-temicznych skał. Rzeczywiste parametry charakteryzujące właściwości cieplne górotworu takie jak: przewodność cieplna, pojemność cieplna oraz gęstość przestrzenna skał określają tzw. dyfuzyjność termiczną skał w danym okresie wychładzania.

Współczynnik ten określony jest jako stosunek przewodności cieplnej do iloczynu gęstości przestrzennej i właściwej pojemności, w literaturze oznaczany jest najczęściej symbolem η .

$$\eta = \frac{\lambda}{c \rho} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{h}} \right) \quad (1)$$

Obok jednostek w układzie SI podano w nawiasie jednostki tradycyjne,

gdzie:

λ - współczynnik przewodzenia ciepła $\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{h}} \right)$

c - właściwa pojemność cieplna $\text{J/kg} \text{ } ^\circ\text{C}$ ($\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$)

ρ - gęstość przestrzenna skały kg/m^3 .

W literaturze krajowej współczynnik η oznaczony jest symbolem a ,

K. Chmura współczynnik ten nazywa współczynnikiem przewodzenia (wyrównania temperatury) [1], [2]. Wartość tego współczynnika można obliczyć wyznaczając λ , c i ρ .

Autor proponuje dyfuzyjność termiczną skał odnieść do wartości wyznaczonych bezpośrednio w górotworze dla podkreślenia pewnych istniejących różnic.

Termin dyfuzyjność termiczna skał jest właściwy szczególnie jeśli wartość jego zostaje wyznaczona w pomiarach "in situ", są to wtedy rzeczywiste wartości dyfuzyjności cieplnej górotworu.

Przy założeniu, że górotwór jest homogeniczny i izotropowy o właściwościach cieplnych niezależnych od temperatury, pospolicie znane jest również równanie przewodnictwa cieplnego w postaci:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} - \frac{1}{\tau} \frac{\partial \theta}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

gdzie:

$$\tau = \frac{\lambda}{\rho c},$$

θ - temperatura skały w dowolnym punkcie górotworu w momencie τ .

Stała τ nazwana została przez Kelvina (diffusivity) dyfuzyjnością substancji, a przez Clerk Maxwella (thermometric conductivity) termiczną przewodnością.

Wartości dyfuzyjności niektórych ciał podają w swojej pracy H.S. Carslaw i J.C. Jaeger 1959 r. [3].

Opierając się na laboratoryjnych pomiarach termicznych pobranej próbki skały możemy metodą bezpośrednią wyznaczyć wartość współczynnika τ , metody te obarczone są jednak dużymi błędami.

Współczynnik ten jest zmienny, K. Chmura ustalił, że większymi wartościami liczbowymi współczynnika τ cechują się skały geologiczne starsze, zalegające na głębokościach większych. Spowodowane to jest zmiennością składu mineralnego, struktury i tekstury skał.

Wyznaczenie temperatury w dowolnym punkcie górotworu na podstawie równania (2) jest bardzo kłopotliwe, dlatego też w tym celu stosuje się często metodę przybliżoną.

W metodzie DE BRAAF'A temperatura skały na odległościach większych niż 0,9 m określona jest następującym równaniem:

$$\theta = \theta_v - 0,93 (\theta_v - \theta_0) - \exp \frac{-1,2(r-a)}{\sqrt{\frac{\tau \lambda}{\rho c}}} \quad (2)$$

gdzie:

θ_v - temperatura powietrza w chodniku,

a - promień chodnika,

- r - odległość od osi chodnika,
 τ - czas wychładzania się górotworu.

Zakłada się tu, że powierzchnia górotworu natychmiastowo przyjmuje temperaturę powietrza.

Jeżeli więc temperatura skał zmierzona "in situ" będzie się zgadzać względnie dobrze z temperaturą wyliczoną z równania (2), to opór termiczny na granicy ośrodków jest nieistotny w porównaniu z oporem termicznym skały. Logarytmiczny wykres $\log(\theta_v - \theta)$ w zależności od odległości $(r - a)$ w głąb górotworu powinien być więc linią prostą o nachyleniu:

$$\frac{r-a}{\sqrt{\frac{\lambda}{c\rho}}}$$

Nachylenie tej prostej jest miarą cieplnej właściwości $\frac{\lambda}{c\rho}$ zwanej powszechnie dyfuzyjnością termiczną skał [4].

2. Obserwacje wychładzania skał w wyrobiskach kopalnianych

Pomiary i obserwacje wychładzania górotworu suchego i mokrego prowadzono w kopalni "Polkowice". Do tego celu wybrano dwa chodniki różniące się mocno między sobą stopniem zawilgocenia. Starano się wybrać chodniki poziome, przechodzące przez jednorodny nienaruszony górotwór aby w ten sposób ograniczyć ilość zmiennych do minimum.

W obu chodnikach założono po dwa stanowiska pomiarowe w odległości 120 metrów od siebie.

Stanowiska pomiarowe w chodniku transportowym-wschodnim zlokalizowano we względnie suchym odcinku. Otwory badawcze wywiercono tu do głębokości 3 metrów.

W analogicznych stanowiskach na upadkowej 1 wywiercono otwory 15-metrowe, w skałach stosunkowo mocno zawilgoconych.

Obserwowano tu nieznacznie wycieki wody z badanych otworów, poza tym po 1/3 powierzchni spągu ściekała woda odprowadzana z oddziału G-12.

Pomiary i obserwacje wychładzania prowadzono od momentu przebiccia, jednocześnie też rejestrowano parametry powietrza przewietrzającego. Temperaturę skał mierzono na różnych głębokościach w otworach, pomiary te powtarzano co pewien czas.

Do pomiarów używano sondy własnej konstrukcji z termoelementami rozmieszczonymi na zewnętrznej stronie elastycznych uszczelnień, zapewniających dobry kontakt czujników ze skałą oraz punktowy pomiar temperatury skał [5].

3. Rezultaty prowadzonych robót

Właściwości cieplne skał badanego rejonu przyjęto na podstawie wyników badań laboratoryjnych Zakładu Doświadczalnego KGHM Lubin prowadzonych na Politechnice Śląskiej w Gliwicach [6].

Na podstawie temperatury w otworach wierconych w przodkach stwierdzono, że temperatura pierwotna skał w tym rejonie wynosi 35°C.

Przyjęto, że w momencie przebicia czas wychładzania równał się zero, jednak należy zaznaczyć, że istniało już tu częściowe wychładzanie wentylacją lutniową przed przebicciem. Dyfuzyjność górotworu $\gamma = \frac{\lambda}{c_g}$ uzyskano z wykresów sporządzonych na podstawie równania (2).

Logarytmując równanie DE BRAAF'A:

$$\theta = \theta_v - 0,93 (\theta_v - \theta_o) \exp \frac{-1,2(r-a)}{\sqrt{\frac{\lambda \tau}{c_g}}}$$

otrzymujemy równanie prostej

$$\log (\theta_v - \theta) = \log 0,93 (\theta_v - \theta_o) \frac{-1,2(r-a)}{\sqrt{\frac{\lambda \tau}{c_g}}} \log e$$

gdzie:

tg α jest nachyleniem tej prostej

$$\text{tg } \alpha = \frac{-1,2 \log e}{\sqrt{\frac{\lambda \tau}{c_g}}}$$

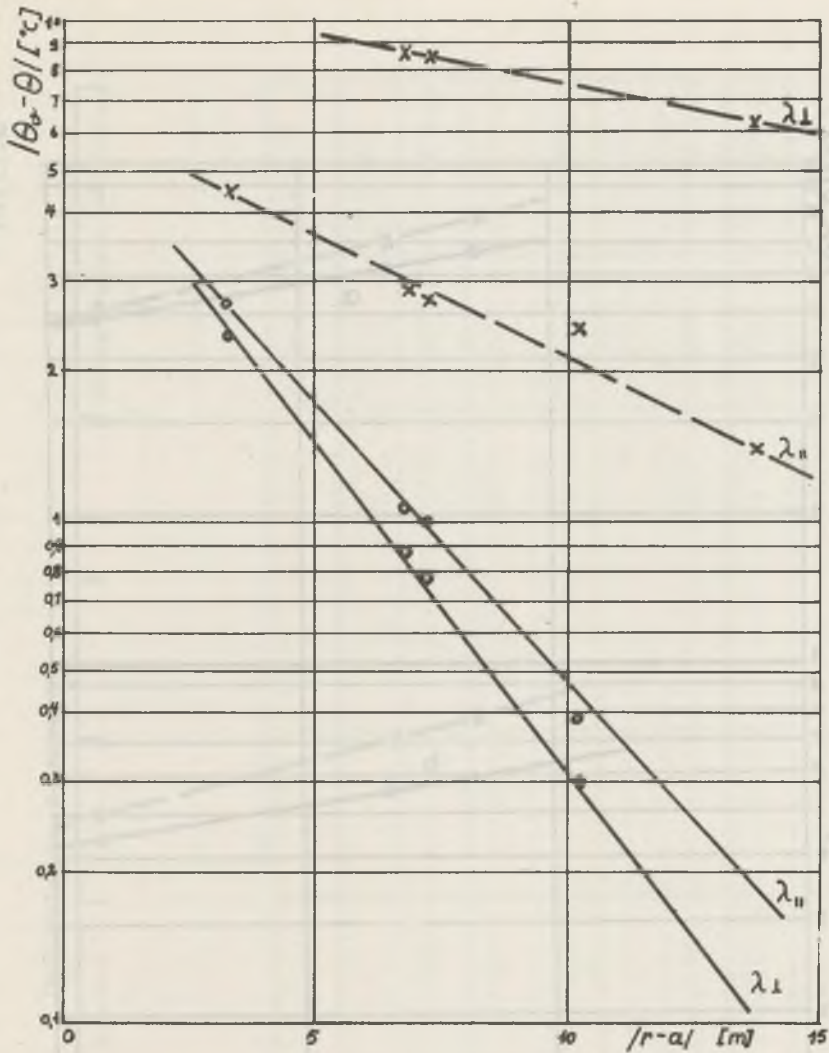
Skąd po przekształceniu otrzymujemy określoną na wstępie dyfuzyjność termiczną skał:

$$\gamma = \frac{\lambda}{c_g} = \frac{1,44 (\log e)^2}{\tau (\text{tg } \alpha)^2}$$

Na podstawie wartości temperatur wyznaczonych teoretycznie oraz uzyskanych z pomiarów "in situ" sporządzono graficzne wykresy zależności $(\theta_v - \theta)$ od $(r - a)$.

Typowe półlogarytmiczne wykresy dla upadowej 1 pokazano na rys. 1. Podobne wykresy dla różnych czasów wychładzania w chodniku transportowym wschodnim przedstawiono na rys. 2.

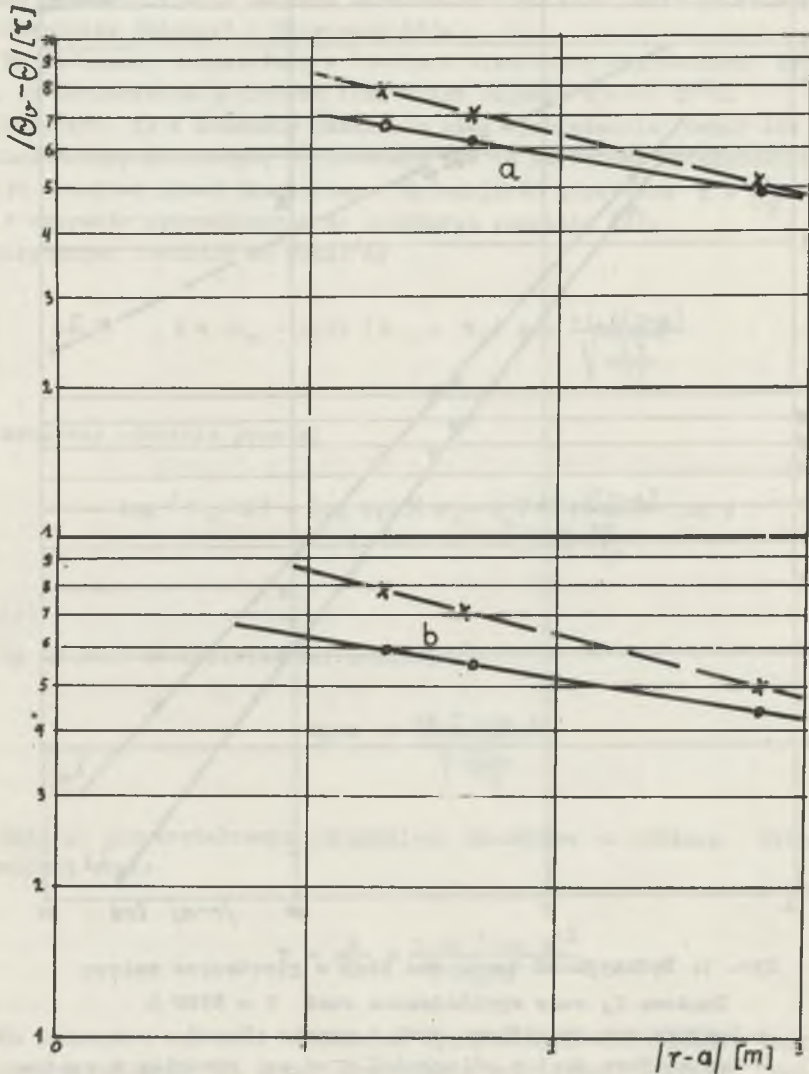
Nachylenia otrzymanych prostych dla poszczególnych okresów wychładzania są miarą cieplnej właściwości górotworu tzw. dyfuzyjności termicznej skał.



Rys. 1. Dyfuzyjność termiczna skał w górotworze mokrym

Upadowa 1, czas wychładzania skał $\tau = 5520$ h

- θ_v - temperatura początkowa skał w czasie $\tau = 0$
- θ - temperatura skał w odległości r od osi chodnika w czasie
- a - promień chodnika
- τ - czas wychładzania górotworu
- - temperatura wyznaczona teoretycznie
- ×—×— - temperatura pomierzona "in situ"
- λ_{\perp} - przewodnictwo cieplne w kierunku prostopadłym do uwarstwienia
- λ_{\parallel} - przewodnictwo cieplne w kierunku równoległym do uwarstwienia



Rys. 2. Dyfuzyjność termiczna skał w górotworze suchym

Chodnik transportowy wschodni

Wykresy a - dla czasu wychładzania $\tau = 6624$ h

Wykresy b - dla czasu wychładzania $\tau = 11760$ h

Dyfuzyjność górotworu

nr.	Lokalizacja obserwacyjnych skop	Czas wy- odręde- nia τ [h]	Współ- czynnik przewod- nictwa cieplnego skop λ [$\frac{m}{deg}$]	Właści- wa ro- jemność ciepl- na C [$\frac{kg \cdot deg}{m^3}$]	Gęstość prze- strzenna skop ρ [$\frac{kg}{m^3}$]	Tempera- tura powie- trza θ [$^{\circ}C$]	Dyfuzyjność górotwo- ru D [$\frac{m^2}{h}$]	
							mierzona	teoretycz- na
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Główny transportowy	2088	3,28	1038,3	2740	27,8	0,0211	0,0046
2	" - "	6936	"	"	"	27,0	0,006	0,0014
3	" - "	7128	"	"	"	26,8	0,0012	0,0014
4	" - "	9000	"	"	"	23,2	0,0500	0,0012
5	" - "	9000	"	"	"	23,3	0,00011	0,0002
6	" - "	13176	"	"	"	25,4	0,0018	0,0011
7	" - "	13176	"	"	"	25,4	0,0042	0,0013
8	" - "	13176	"	"	"	25,4	0,0026	0,0008
9	Chodnik transport.	6624	"	"	"	25,2	0,0006	0,0011
10	" - "	6624	"	"	"	25,2	0,0018	0,0010
11	" - "	7584	"	"	"	24,2	0,0018	0,0011
12	" - "	7584	"	"	"	24,2	0,005	0,0011
13	" - "	7584	2,54	"	"	24,2	0,0011	0,0009
14	" - "	11760	3,28	"	"	27,0	0,0003	0,0009
15	" - "	11760	"	"	"	27,0	0,0020	0,0009
16	Upadkowa 1	5520	"	"	"	28,4	0,0002	0,00004
17	" - "	5520	2,54	"	"	28,4	0,0011	0,00032
18	" - "	9120	3,28	"	"	27,8	0,0032	0,00005
19	Upadkowa 1	960	"	"	"	34,0	0,0007	0,0008
20	" - "	5904	"	"	"	27,4	0,0005	0,00004

Wyniki obliczeń oraz parametry skał przedstawiono w tabelicy 1. W obliczeniach nie uwzględniono stopnia zawilgocenia skał, poza tym rozpatrywano głównie otwory poziome wiercone w skałach dolomitycznych.

Na podstawie sporządzonych wykresów stwierdzono, we wszystkich przypadkach, że uzyskana liniowość była dobra.

Równanie De Braafa dostatecznie dobrze określa rozkład temperatur w otaczających skałach, co uzasadnia pominięcie oporu termicznego na powierzchni granicznej ośrodków.

Stwierdzono względną zgodność dyfuzyjności uzyskanej z obserwacji temperatur i liczonej teoretycznie dla chodników suchych, natomiast w skałach zawilgoconych stwierdzono duże rozbieżności. Wartości dyfuzyjności obserwowanej w kopalni jak widać zależą od natury górotworu i sposobu w jaki górotwór się chłodzi w różnych miejscach.

Uzyskana w ten sposób dyfuzyjność koreluje teorię z praktyką. W literaturze stosunkowo niewiele opublikowano dotychczas wartości dyfuzyjności skał pomierzonych "in situ".

Lomax wykazał w swoich badaniach, że dla granicznych przypadków skał dzielących pokłady węgla, nasyconych wodą, zmiana dyfuzyjności nie przekracza 100%. Stałe termiczne Sherratta i Hinsleya podają dyfuzyjność w zakresie

$$0,1 - 0,035 \frac{\text{stawa}^2}{\text{godz.}} \quad [7, 8].$$

4. Wnioski

Stwierdzono zgodność teorii przewodzenia ciepła przez jednorodny górotwór z obserwowanym rozkładem temperatur w suchych otworach nowego przekopu.

Na odległościach w głąb skał większych niż 0,9 m wzór De Braafa daje dobre przybliżenie dla rozkładu temperatur.

Opór termiczny na granicy ośrodków ma znaczenie jedynie w początkowej fazie wychładzania oraz w chodnikach wilgotnych, poza tym jest on nieznaczny w porównaniu z oporem termicznym skały otaczającej chodnik.

Stwierdzono znaczny wpływ wody na przewodność skał i przepływ ciepła przez nie. Stosunek pomiędzy dyfuzyjnością mierzoną eksperymentalnie ("in situ") i wyznaczoną w laboratorium innymi metodami wymaga dalszych badań.

W celu uchwycenia wpływu wilgotności potrzebne jest dokładne zlokalizowanie źródeł wilgoci i pomiaru ilości wody parowanej z każdego z nich.

Teoria cylindryczna przepływu ciepła w górotworze wymaga modyfikacji dla uchwycenia wpływu wilgoci.

LITERATURA

- [1] CHMURA K.: Przewodność cieplna skał i węgla górnośląskiego Karbonu. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Seria Górnictwo z. 26, Gliwice 1968.
- [2] CHMURA K.: Własności fizyko-termiczne skał niektórych polskich zagłębi górniczych. Wydawnictwo "Śląsk" Katowice 1972.
- [3] CARSLAW H.S., JAEGER J.C.: Conduction of heat in solids. Oxford 1959, Clarendau Press.
- [4] HITCHCOCK J.A., JONES C.: Colliery Engineering. Febr. 1958 str.73-76, March. 1958 str. 117-122.
- [5] BRUDER E., LOGOŃ A.; SZARO R., KRÓL W., KOKOT B., NOWAK W.: Wpływ wychładzania górotworu na warunki klimatyczne kopalni "Polkowice" i "Ruźna". Wrocław 1971 r. Praca w maszynopisie.
- [6] SALSKI W.: Charakterystyka geotermiczna skał w rejonie szybów głównych kopalni Polkowice. Lubin 1969 r. Praca w maszynopisie.
- [7] SHARRATT A.F.C., HINSLEY F.B.: The Mining Engineer 120, 1961. 700.
- [8] JONES C.: Colliery Engineering. Sept. 1962, str. 372-376.

ВЫРАВНИВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОРОДАХ МЕДНОГО БАССЕЙНА

Р е з ю м е

Обсуждено общие основы проблемы охлаждения породы. Описано способ проведения наблюдения охлаждения горного массива в шахте. Полученные результаты сравнено с теоретическими результатами. Представлено графический метод обозначения коэффициента температуропроводности горного массива и подано результаты измерений в шахте Польковице.

В выводах предлагается, чтобы проводить исследования диффузионности, обозначаемой экспериментально в шахте, с целью учитывания влияния влажности на процесс охлаждения пород.

TEMPERATURE COMPENSATION IN THE ROCKS OF A COPPER BASIN

S u m m a r y:

The general bases of rock chilling problem have been discussed. The method of performing observations of rock chilling in a mine has been presented. The results have been compased with the theoretical ones. The gra-

phic method of determining thermal rock diffusivity has been given as well as the results of measurements made in Polkowice mine.

In the conclusion there has been suggested the necessity to perform the investigations of diffusivity determined experimentally in a mine in order to take into account the influence of humidity on the course rock chilling.

Wnioski
Wskazano na konieczność wykonania badań doświadczalnych w celu wyznaczenia współczynnika przewodności cieplonej skał w warunkach panujących w kopalniach, z uwzględnieniem wpływu wilgotności powietrza i skały na wyniki pomiarów.

Wskazano na konieczność wykonania badań doświadczalnych w celu wyznaczenia współczynnika przewodności cieplonej skał w warunkach panujących w kopalniach, z uwzględnieniem wpływu wilgotności powietrza i skały na wyniki pomiarów.

- ...
- ...
- ...
- ...
- ...

Wskazano na konieczność wykonania badań doświadczalnych w celu wyznaczenia współczynnika przewodności cieplonej skał w warunkach panujących w kopalniach, z uwzględnieniem wpływu wilgotności powietrza i skały na wyniki pomiarów.