ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1969
Seria: GÓRNICTWO z. 41 Nr kol. 269

Kazimierz Chmura

UWAGI DOTYCZĄCE GRADIENTU GEOTERMICZNEGO I PRZEWODNOŚCI CIEPLNEJ SKAŁ OBSZARU LUBIN-POLKOWICE

1. Wstęp

Eksploatacja rudy miedzi w obszarze Lubin-Polkowice jest w fazie doświadczeń i wymagać będzie jeszcze wiele koncepcyjnych rozwiązań. W ostatnich latach daje się obserwować wszechstronną działalność w kierunku doboru najlepszych sposobów i metod wybierania kopaliny ze złoża. Podyktowane to jest przede wszystkim względami ekonomicznymi i warunkami bezpiecznej pracy załogi. W związku z tym na plan pierwszy wysuwa się problem stworzenia odpowiednich warunków klimatycznych załodze, która ma pracować na głębokości występowania złoża. Z praktyki górniczej wiadomo, że o warunkach klimatycznych kopalni decydują trzy podstawowe czynniki jak: pierwotna temperatura skał i kopaliny użytecznej, wilgotność powietrza oraz prędkość powietrza wprowadzonego do wyrobisk górniczych. Dwa ostatnie czynniki (wilgotność i prędkość powietrza) w dzisiejszych warunkach techniczno-górniczych mogą być regulowane poprzez przystosowanie całego systemu wentylacji do danych warunków i potrzeb klimatycznych. Czynnik pierwszy to jest czynnik pierwotnej temperatury skał niezależny od naszej działalności górniczej, zależy przede wszystkim od właściwości geotermicznych górotworu danego regionu górniczego.

W artykule tym podamy wstępną i marginesową analizę odnośnie geotermicznych warunków złoża rud miedzi, ponieważ szczegółowe badania w tym zakresie prowadzone są obecnie w Zakładzie Doświadczalnym Kombinatu Górniczo-Hutniczego Miedzi przez mgr inż. F. Zaczka.

2. Gradient geotermiczny i pierwotna temperatura skał

Gradient geotermiczny i pierwotna temperatura skał zależna jest od przewodności cieplnej.

Przewodność cieplną skał określają nam takie parametry cieplne jak: współczynnik przewodzenia ciepła (λ), współczynnik przewodzenia (wyrównywania) temperatury (a); właściwa pojemność cieplna (c). W przypadku występowania skał w caliźnie górotworu wchodzą jeszcze gradient geotermiczny (G) i związany z tym stopień (Gr) oraz pierwotna temperatury skał w wyrobiskach górniczych (ϑ_p).

Mając te wszystkie podane w liczbach parametry możemy dość dokładnie ustalić warunki klimatyczne dla danej podziemnej kopalni [2, 3]. Wymienione właściwości cieplne skał różnie kształtują się w zależności od rodzaju, typu i głębokości występowania skał. Doświadczenia wykazały, że nie można pominąć przy obliczeniach temperatury powietrza w kopalni bez uwzględnienia parametrów cieplnych górotworu.

W praktyce górniczej interesuje nas pierwotna temperatura skał na projektowanym poziomie, a która jest funkcyjnie zależna od wspomnianych parametrów cieplnych całego górotworu.

Wyznaczanie pierwotnej temperatury skał dla projektowanego poziomu tylko na podstawie znanego wzoru opartego na średniej temperaturze rocznej i stopnia geotermicznego nie zawsze daje nam należyte rezultaty:

$$\vartheta_p = \vartheta_{śr} + \frac{\Delta H}{G_r}$$

gdzie:

ϑ_p – pierwotna temperatura skał, ^oC

$\vartheta_{śr}$ – średnia roczna temperatura, ^oC

ΔH – głębokość, m

G_r – stopień geotermiczny, $\frac{m}{^oC}$

Jak widać posługujemy się tutaj średnią roczną temperaturą, która wynosi ok. 8°C, głębokością na którą ma wpływ wyżej poda-

na temperatura powietrza na powierzchni Ziemi (głębokość ta określana jest na 25-30 m od powierzchni terenu) oraz posługujemy się stopniem geotermicznym, który określony jest na ok. 28-33 $\frac{m}{^oC}$.

Obliczenia temperatury można dokonać według wyżej podanego wzoru jak i też wzoru opierającego się na przewodności cieplnej skał i sumarycznej miąższości danych typów skalnych. Stosując różne wzory do wyznaczania pierwotnej temperatury górotworu na danej głębokości otrzymujemy różne wartości. Przy uwzględnieniu przewodności cieplnej skał dla różnych odmian petrograficznych i typów litologicznych i uwzględniając ich miąższości, temperatura pierwotna górotworu będzie zbliżona do faktycznej wielkości.

Badania parametrów cieplnych skał muszą być jednak przeprowadzane w ustalonych warunkach termicznych.

Często w praktyce aerologii górniczej, ustala się przewodność cieplną na podstawie gradientu geotermicznego. Znając z pomiarów karotarzowych lub bezpośrednio ustalony w kopalniach gradient geotermiczny, który jest zależny:

$$G = \frac{q_{śr}}{\lambda_{śr}} \frac{^oC}{m}$$

lub

$$G = \dot{q} R \frac{^oC}{m}$$

gdzie:

$\dot{q}_{śr}$ - średnia wartość zagęszczania ciepła w strumieniu, $\frac{W}{m^2}$

$\lambda_{śr}$ - średnia wartość współczynnika przewodzenia ciepła, $\frac{W}{m\ deg}$

R - opór cieplny skał. $\frac{m\ deg}{W}$

Przewodność cieplna skał na jakimkolwiek poziomie przekroju geologicznego może być wyznaczona, jeśli oczywiście przewodność cieplna skał występujących w pobliżu badanego poziomu jest

znana i jest taka sama, jaka określona została na pojedynczych próbkach laboratoryjnych, wtedy na podstawie gradientu geotermicznego (G) i wyprowadzonego zagęszczenia ciepła w strumieniu ($\dot{q}$) można wyznaczyć współczynnik przewodzenia ciepła λ. W tym przypadku stosuje się wzór:

$$\dot{q} = G_1 \lambda_1 \frac{W}{m^2}$$

stąd

$$\lambda_x = \frac{\dot{q}}{G_{\%}} \frac{W}{m\ deg}$$

$$\lambda_x = \frac{G_1 \lambda_1}{G_2} \frac{W}{m\ deg}$$

gdzie:

$\dot{q}$ – zagęszczenie ciepła w strumieniu, $\frac{W}{m^2}$

G_1 – gradient geotermiczny na poziomie o znanej przewodności cieplnej skał występujących w punkcie pomiaru gradientu, $\frac{^oC}{m}$,

λ_1 – współczynnik przewodzenia ciepła skał na poziomie przekroju geologicznego na którym ustalony został gradient (G_1), $\frac{W}{m\ deg}$

G_2 – gradient geotermiczny na badanym poziomie, $\frac{^oC}{m}$

λ_x – współczynnik przewodzenia ciepła na badanym poziomie (na głębokości gradientu G_2), $\frac{W}{m\ deg}$.

Obecnie gradient geotermiczny ustala się metodą karotarzową w otworach wiertniczych lub bezpośrednio przez pomiar temperatury w kopalniach podziemnych. W przypadku kopalń podziemnych rozpatruje się poziom planowany (dane termiczne skał poziomu planowanego) w odniesieniu do własności termicznych skał na poziomie czynnym, położonym nad poziomem planowanym.

Dla wyznaczenia G z wykresu karotarzu odczytuje się wartości temperatury i głębokości. Obliczenie gradientu przepro-

wadza się w zależności od zmienności temperatury. Przyjmiemy na przykład, że co 100 m temperatura się zmienia, wówczas gradient geotermiczny będzie się przedstawiał wzorem

$$G_{100} = 100 \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{H_2 - H_1} \frac{^oC}{m}$$

gdzie:

ϑ_2 - temperatura na końcowym odcinku przekroju, ^oC

ϑ_1 - temperatura na początkowym odcinku przekroju, ^oC

H_2 - głębokość końcowa, m,

H_1 - głębokość początkowa, m.

Głębokość liczymy w prostych odcinkach pionowych.

W przypadku, gdy współczynnik przewodzenia ciepła i temperatury w otworze (lub wyrobisku podziemnym) jest różny dla skał otaczających wówczas musimy obliczyć różnicę temperatury, jaka istnieje w związku z odmienną przewodnością w otworze i skałach otaczających. Wzór na tę różnicę ma postać

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_o \frac{r_o^2}{4\ a_o}$$

$$\lg \frac{\Delta\vartheta}{\Delta\vartheta_o} = \lg \frac{r_o^2}{4\ a_o} - \lg \vartheta, \quad ^oC$$

gdzie:

$\Delta\vartheta$ - różnica temperatury między skałami badanego punktu a skałami otaczającymi dla różnego czasu, ^oC

$\Delta\vartheta_o$ - różnica temperatury między temperaturą początkową skały w otworze a temperaturą po jej ustaleniu się po określonym czasie, ^oC

ϑ - temperatura skał otaczających, ^oC

r_o - promień otworu lub wyrobiska, m

a_o - współczynnik przewodzenia temperatury dla temperatury początkowej, $\frac{m^2}{s}$.

Należy tutaj podkreślić, że zagadnienie termiki górotworu nie jest jeszcze definitywnie i ostatecznie opracowane. Prowadzone są w tym zakresie badania podyktowane koniecznością potrzeb górnictwa i niekiedy geologii (3) i geofizyki.

Temperaturę pierwotną (ϑ_p) skał na projektowanym poziomie możemy wyznaczyć za pomocą następującego wzoru:

$$\vartheta_p = \vartheta_1 + \dot{q}_{śr} \left[\frac{d_1}{\lambda ś_1} + \frac{d_2}{\lambda ś_2} + \frac{d_3}{\lambda ś_3} + \dots \frac{d_n}{\lambda ś_n} \right], \quad {}^oC$$

gdzie:

ϑ_1 – średnia temperatura roczna dla regionu, ^oC

$\dot{q}_{śr}$ – średnia wartość zagęszczenia ciepła w strumieniu, $\frac{W}{m^2}$

d_1, d_2, d_3 – całkowita miąższość danego typu (rodzaju) skały, m

$\lambda ś_1, \lambda ś_2, \lambda ś_3$ – średni współczynnik przewodzenia ciepła dla danego typu (rodzaju) skały, $\frac{W}{m\ deg}$

Przy wyznaczaniu temperatury pierwotnej skał dla kopalń miedzi za pomocą stopnia geotermicznego i współczynnika przewodzenia ciepła nasuwa się uwaga, że przy projektowaniu głębszych poziomów należy oprzeć się przy wyznaczaniu temperatury na przewodności cieplnej, uwzględniając miąższość poszczególnych rodzajów skał. Stwierdzono bowiem, że na głębokości 900 m temperatura pierwotną skał wyznaczona za pomocą stopnia geotermicznego jest nieco mniejsza aniżeli ustalona pomiarami bezpośrednimi. W miarę zwiększenia głębokości ujawnia się wzrost tej różnicy temperatury pierwotnej skał. Szczególnie wyższą otrzymamy temperaturę pierwotną skał w tych wyrobiskach, które będą zakładane równolegle do uwarstwienia górotworu.

3. Przewodność cieplna skał

Skały nie są dobrymi przewodnikami ciepła. Przewodzą ciepło znikomie. Są też i takie typy skał, które przewodzą ciepło bardzo słabo. Właściwość ta jest dla skał charakterystyczna i ujawnia charakter kierunkowy podobnie jak u minerałów.

Minerały wchodzące w skład skał odznaczają się swoistymi właściwościami cieplnymi.

Ciepło przewodzone przez minerały jest przez nie częściowo absorbowane jako energia. Ciepło jest przez minerał różnie absorbowane, zależnie od kierunku przepływu w nim strumienia cieplnego względem osi krystalograficznych. Jest to więc własność kierunkowa charakterystyczna dla poszczególnych substancji krystalicznych. Z tego też względu w mineralogii wyróżnia się dwie skrajne grupy minerałów:

- minerały diatermiczne, tj. minerały przepuszczalne dla strumieni ciepła,
- minerały adiatermiczne, tj. minerały nieprzepuszczalne dla strumieni ciepła,

Ogólnie biorąc wszystkie minerały cechujące się metalicznym wiązaniem sieci krystalograficznej przewodzą promienie ciepła dość dobrze [2, 3, 4].

Wyraźnie zaznaczająca się kierunkowość w przewodzeniu ciepła u wielu minerałów jest podobna do kierunkowości w załamaniu promieni świetlnych i współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej. Możemy więc powiedzieć, że mamy tutaj do czynienia z izotropowymi i anizotropowymi minerałami pod względem ich przewodności cieplnej.

Skały zagłębia miedziowego Lubinia ujawniają różne wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła i to zarówno zgodnie z kierunkiem uławicenia, jak i prostopadle do uławicenia. W tym świetle nie można przyjmować do obliczeń wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła z literatury. Ten sam rodzaj skały w różnych punktach i na różnych głębokościach będzie wykazywał różną przewodność cieplną.

Przeprowadzone wstępne badania nad przewodnością cieplną skał z obszaru Lubin - Polkowice przedstawiono w tablicy 1.

Jak wynika z tablicy 1 właściwości cieplne górotworu Zagłębia Miedziowego Lubin-Polkowice kształtują się różnie.

Przeprowadzone wstępne badania przewodności cieplnej skał z omawianego obszaru pozwalają wyprowadzić szereg ogólnych uwag, które przy dalszych badaniach termicznych skał mogą być wykorzystane.

Tablica 1

Niektóre dane termiczne skał obszaru Lubin-Polkowice

Rodzaj skały	Parametry cieplne ($\vartheta = 20^{o}C$)				
	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda \frac{W}{m\ deg}$	Współczynnik przewodzenia (wyrównywania) temperatury $a \frac{m^2}{s} \cdot 10^{-6}$	Właściwa pojemność ciepła $c \frac{J}{kg.deg} \cdot 10^3$	Opór cieplny $R \frac{m\ deg}{W}$	Zagęszczenie ciepła w strumieniu $\dot{q} \frac{W}{m^2}$
Piaski i gliny	0,070-1,101	0,350-1,260	0,806-1,010	14,29-0,909	0,003-0,044
Iły średnio plastyczne	0,580-1,650	1,250-2,330	0,815-0,965	1,70-0,606	0,023-0,066
Węgiel brunatny częściowo zailony	0,040-0,100	0,080-0,123	0,502-0,988	25,00-10,00	0.002-0.004
Piaskowce średnio i drobnoziarniste	0,880-4,091	0,778-1,510	0,865-1,036	1,136-0,221	0,035-0,200
Wapienie i wapienie dolomityczne	0,010-4,510	0,713-1,418	1,007-1,237	0,497-0,221	0,080-0,180
Dolomity	3,384-5,022	1,225-1,631	0,953-0,990	0,296-0,200	0,135-0,201
Margle miedzionośne	1,160-3,793	0,970-1,205	0,915-1,233	0,862-0,290	0,046-0,132

Skały Zagłębia Lubin-Polkowice wykazują w kierunku równoległym do uławicenia przy temperaturze 20°C i w ustalonych warunkach termicznych różne wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła, przewodzenia temperatury, właściwej pojemności cieplnej, oporu cieplnego i zagęszczenia ciepła w strumieniu. Różnice te dają się też zauważyć w kierunku prostopadłym do uławicenia [2, 3, 4].

Dość duże zróżnicowanie w wartości współczynnika przewodzenia ciepła lubińskich skał wynika z ich charakteru petrograficznego, od własności fizyko-mechanicznych, jak i też od głębokości zalegania tych skał.

Zależność między wymienionymi parametrami a właściwością cieplną skał można ująć w następujących punktach:

- wzrost współczynnika przewodzenia ciepła ujawnia się wraz ze wzrostem liczb własności fizykomechanicznych,
- współczynnik λ maleje przy wzroście ilości porów w skałach,
- współczynnik λ wzrasta przy ilościowym spadku ziarn o średnicy poniżej 0,06 mm, wskutek zmniejszenia ilości styku międzyziarnowego,
- współczynnik przewodzenia ciepła wyraźnie wzrasta dla skał zalegających na większych głębokościach. Wzrost ten określono od 25 do 50%. Związane to jest przede wszystkim ze stopniem diagenezy skał,
- współczynnik przewodzenia ciepła margli miedzionośnych wzrasta wraz ze wzrostem w nich udziału miedzi,
- zależność między wzrostem gęstości przestrzennej a przewodnością cieplną wyraźna jest dla skał zalegających na większych głębokościach,
- duży spadek wielkości współczynnika λ jest widoczny przy wzroście porowatości względnej i wielkości porów w skałach z warstw występujących na płytszych głębokościach. Skały z warstw starszych a zalegające głębiej wykazują mniejszą porowatość, większą gęstość przestrzenną i większą wytrzyma-

łość, a co za tym idzie odznaczają się one większym współczynnikiem przewodzenia ciepła i bardziej wyrównywanymi jego wartościami,

- współczynniki λ wzrasta wraz ze wzrostem temperatury, co związane jest ze zróżnicowaną gęstością przestrzenną i liczbą porowatości względnej. Wzrost ten następuje do temperatury 65°C powyżej tej temperatury utrzymuje się mniej więcej w stałych granicach,
- wilgoć również wpływa na wzrost przewodności cieplnej skał. Związane to jest z większą przewodnością wody aniżeli powietrza występującego w porach skał higroskopijnych (powietrzno-suchych),
- wszystkie parametry własności fizykomechanicznych skał w określonych przedziałach wykazują z przewodnością cieplną pewną zależność liniową, która przy dalszych badaniach powinna być szerzej i dokładniej wyjaśniona.

Najkorzystniej jest, przy określeniu temperatury powietrza w wyrobiskach górniczych na głębszych poziomach, uwzględniać przewodność cieplną skał indywidualnie dla każdej petrograficznej odmiany skalnej. Niekiedy można też dla całości wyrobisk przyjąć sredni współczynnik λ odpowiadający ilościowemu występowaniu danego typu skały w danym wyrobisku górniczym.

Jeśli wyrobisko przebiega wzdłuż uwarstwienia górotworu skalnego to wielkość współczynnika przewodzenia ciepła będzie nieco wyższa aniżeli gdyby usytuowane było prostopadle do uwarstwienia.

Jeśli wyrobiska prowadzone będą prostopadle do uwarstwienia to średnia wielkość współczynnika λ powinna być pomniejszona dla skał o około 10%.

W przypadku prowadzenia wyrobisk na jednakowych głębokościach i w różnych stratygraficznie warstwach laboratoryjnie przebadanych, a zwłaszcza przy ich znacznej pochyłości (kąt upadu 20-45°) można dla ułatwienia przyjąć średni współczynnik λ dla wszystkich rodzajów skał.

LITERATURA

[1] CHMURA K., FRYCZ A.: Wstępne badania nad ustaleniem przewodnictwa cieplnego skał karbońskich Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, Ref. na Sympozjum naukowe na temat: "Rozwój badań w zakresie nowych metod i aparatury pomiarowej w górnictwie podziemnym". SIT Górnictwa, PAN, Komitet Górnictwa, Katowice 1965.

[2] CHMURA K.: Przewodność cieplna skał i węgli górnośląskiego karbonu. Zeszyty Naukowe nr 190 Pol. Śl., Seria Górnictwo z. 26, Gliwice 1968.

[3] CHMURA K.: Własności fizykotermiczne skał niektórych krajowych Zagłębi Górniczych. Wydawnictwo "Śląsk" Katowice (praca w druku).

[4] SALSKI W.: Charakterystyka geotermiczna skał i wód w rejonie szybu wschodniego Kop. Lubin, Arch. Zakładu Doświadczalnego KGHM (praca nieopublikowana) Lubin 1967.