ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1986

Seria: GÓRNICTWO z. 149 Nr kol. 900

Kazimierz CHMURA

Politechnika Śląska

KWARCOWA SONDA TERMICZNA I JEJ ZASTOSOWANIE DO POMIARÓW ROZKŁADU TEMPERATURY W GÓROTWORZE WOKÓŁ WYROBISK GÓRNICZYCH

Streszczenie. W pracy omówiono prototyp kwarcowej sondy termicznej oraz wstępne pomiary przeprowadzone tą sondą. Pomiary wykazały dużą dokładność w rejestracji temperatury, w ociosie wyrobiska górniczego na głębokości 30 m w kilku punktach równocześnie. Zainstalowane czujniki kwarcowe w sondzie wraz z układem elektronicznym - pozwalają na ciągłą rejestrację temperatur górotworu i przekazywanie danych na drukarkę znajdującą się na powierzchni kopalni.

Przedstawiono również wyniki badań warunków cieplnych górotworu kopalni "Halemba". Po ustaleniu temperatury w górotworze nienaruszonym metodą pośrednią, tj.: na podstawie przewodności cieplnej skał, określono metodą bezpośrednią temperaturę górotworu na głębokości 1030 m. Na tej głębokości temperatura, w nienaruszonym karbońskim masywie skalnym, wynosiła 40-45 °C, a naruszonym, na tej samej głębokości - 41 °C. W tym celu badano stabilizację temperatury w otworze zarurowanym i niezarurowanym.

1. WSTĘP

Przemysł górnictwa węglowego zmuszany jest do udostępniania pokładów węgla na coraz to większych głębokościach. Panujące tutaj warunki: znaczne ciśnienie górotworu oraz wzrastająca temperatura, niejednokrotnie sięgająca +50°C i więcej, bardzo utrudniają bezpieczne prowadzenie robót i pogarszają komfort pracy załogi. Stąd też na pierwszy plan, w stadium projektowania górniczego, wysuwa się prawidłowe określenie warunków geomechanicznych i cieplnych. Wprawdzie istnieje wiele teorii i metod określania warunków geomechanicznych, z których obecnie korzystają projektanci kopalń, ale nie uwzględnia się zjawisk geotermosprężystych. Analiza właściwości cieplnych skał budujących górotwór oraz określenie warunków termicznych jest dziedziną stosunkowo młodą. Do niedawna nie istniała potrzeba obniżania temperatury w wyrobiskach górniczych. Podejmowano jednak próby opisu zagadnień termicznych w aspekcie potrzeb wentylacji.

Jak wykazały badania, prowadzone od wielu lat w Zakładzie Geologii Złóż Instytutu Geologii Stosowanej, istnieje ścisła współzależność pomiędzy ziemskim strumieniem ciepła a własnościami mechanicznymi skał w górotworze nienaruszonym i naruszonym.

W latach 1975-1984 sporządzono, na podstawie badań laboratoryjnych, katalogi własności fizycznych i właściwości cieplnych skał wraz z rozkładem temperatury i ziemskiego strumienia ciepła dla górotworu nienaruszonego obszarów górniczych kopalń: "Borynia", "Krupiński", "Kaczyce", "Suszec", "Halemba", "Pstrowski", "Sośnica", "Gliwice", "Łabędy-Pyskowice", kopalń ROW-u, Lubelskiego Zagłębia Węglowego oraz suwalskich złóż polimetalicznych. Wszystkie opracowania dotyczą warunków cieplnych górotworu nienaruszonego robotami górniczymi, przy czym nie określano tych warunków dla górotworu naruszonego. Wyniki badań ujęto w katalogach sporządzonych dla ww. obszarów górniczych.

W roku 1984 ustalono, że należy dokonać badań cieplnych w górotworze naruszonym robotami górniczymi na różnych głębokościach, w zakresie rozkładu wokół wyrobisk: temperatury, ziemskiego strumienia ciepła.

W związku z tym autor opracował założenia do projektu sondy kwarcowej, za pomocą której można by dokonywać pomiarów temperatury na dowolnej głębokości od ociosu wyrobiska, w kilku punktach jednocześnie. Sonda do tych pomiarów została wykonana w Zakładach Elektroniki Górniczej w Tychach na podstawie zlecenia Instytutu Geologii Stosowanej Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Wykonany prototyp sondy spełnia wymagania ujęte w założeniach do projektu.

Sonda wraz z elektronicznym urządzeniem pomiarowym otrzymała atest z kopalni Doświadczalnej "Barbara" w Mikołowie, na podstawie którego Wyższy Urząd Górniczy dopuścił ją do zainstalowania w kopalni. Obecnie prowadzone są badania wstępne w zakresie funkcjonowania urządzenia pomiarowego wraz z sondą bezpośrednio w KWK "Halemba-Głęboka" na poziomie głębokościowym 1030 m.

2. KRÓTKA CHARAKTERYSTYKA GEOTERMICZNA KOMPLEKSU SKALNEGO OBSZARU GÓRNICZEGO KOPALNI "HALEMBA"

Na podstawie badań próbek skał na właściwości cieplne można w ogólnym zarysie podać warunki geotermiczne karbonu omawianej kopalni.

Właściwości cieplne skał kompleksu karbońskiego są zróżnicowane. Biorąc pod uwagę zróżnicowanie właściwości cieplnych skał i kompleksu skalnego, przebadano i przeanalizowano ponad 500 próbek skalnych pochodzących z kompleksu skalnego górotworu kopalni "Halemba". Przeanalizowano: żwirowce, piaskowce, mułowce, iłowce, i węgle kamienne. Wyniki ujęto w katalogu danych dla obszaru górniczego. Tutaj podano wyłącznie skrajne i średnie wartości liczbowe.

Badań współczynników cieplnych skał dokonano w warunkach termicznie ustalonych (20°C).

Wyniki badań właściwości cieplnych skał kompleksu karbońskiego pozwalają na wyciągnięcie ogólnych wniosków dotyczących przewodności cieplnej analizowanych skał.

Badania wykazały, że współczynniki cieplne skał zależne są od wielu czynników charakteryzujących dane skały.

W tablicy 1 i 2 przedstawiono, dla skał kopalni "Halemba", niektóre współczynniki cieplne. Temperatura wyliczona na podstawie właściwości cieplnych skał waha się na głębokości 1030 m, od 41-45°C, a temperatura pomierzona w ociosach wynosi około 41°C.

Tablica 1

Skrajne i średnie wartości współczynnika przewodności cieplnej skał karbońskich kopalni "Halemba"

Poziom stratygraficzny	Współczynnik przewodności cieplnej $\lambda \frac{W}{m\,K}$ w stanie			
	higroskopijnym	wilgoci złożowej	nacisku jednokierunkowego	naturalnym górotworu
Karbon do głębokości 1030 m	0,21-2,63 1,40	0,25-3,03 1,50	0,29-2,97 1,51	0,35-3,25 1,64

Tablica 2

Skrajne i średnie wartości właściwej pojemności cieplnej i zagęszczenia ciepła w ziemskim strumieniu w obszarze kopalni "Halemba"

Poziom stratygraficzny	Właściwa pojemność cieplna $c_w \frac{J}{kg\,K} 10^3$	Jednostkowy współczynnik zagęszczenia ciepła $\dot{q} \frac{W}{m^2} 10^{-4}$	Powierzchniowy współczynnik zagęszczenia ciepła $\bar{q} \frac{W}{m^2} 10^{-3}$
Karbon do głębokości 1030 m	0,883-1,252 1,107	175,2-1581,7 862,4	16,1-149,4 78,83

3. UWAGI O ROZKŁADZIE ZIEMSKIEGO STRUMIENIA CIEPŁA W KOMPLEKSIE SKALNYM KOPALNI "HALEMBA"

Znajomość ukształtowania ziemskiego strumienia w obszarze górniczym jest nieodzownym elementem poznawczym przy badaniu warunków cieplnych. Szczególnie może stać się pomocna przy ustalaniu prognoz klimatyzacyjnych w wyrobiskach. Dotychczasowe prace podają, że istnieje wiele rozwiązań koncepcyjnych w dziedzinie wykorzystania ziemskiego strumienia ciepła w opracowaniach zagadnień górniczych. W szeregu pracach podaje się ścisłą zależność pomiędzy powierzchniowym współczynnikiem zagęszczenia ciepła a kształtowaniem się pola cieplnego. Na podstawie danych właściwości cieplnych skał (określonych laboratoryjnie) wykonano dla badanego obszaru gór-

niczego mapy rozkładu ziemskiego strumienia ciepła na 3 poziomach głębokościowych (mapy i katalogi - w posiadaniu kopalni "Halemba").

4. BADANIA GEOTERMODYNAMICZNE W GÓROTWORZE NARUSZONYM ROBOTAMI GÓRNICZYMI

Po określeniu temperatury oraz innych właściwości cieplnych skał górotworu nienaruszonego robotami górniczymi przystąpiono do badań w górotworze naruszonym. W tym celu podjęto prace nad urządzeniem, które rejestrowałoby temperaturę w górotworze wokół wyrobisk na dowolną głębokość od ociosów.

Głównym celem tych badań było opracowanie metody prognozowania rozkładu strumienia ciepła w górotworze dla potrzeb projektowych wentylacji i klimatyzacji oraz obszaru optymalnej obudowy w aspekcie jej współpracy z górotworem naruszonym wyrobiskami poziomymi. W praktyce projektowania górniczego będzie to nowa metoda, pozwalająca ocenić stan geotermodynamiczny kompleksów skalnych, w których prowadzone są roboty górnicze.

Jak wspomniano, w latach 1975-1986 wykonano katalogi właściwości cieplnych dla niektórych obszarów górniczych, m.in. dla obszaru kopalni "Halemba". Na podstawie wieloletnich badań sporządzono założenia do projektu sondy termicznej.

4.1. Ogólne dane o urządzeniu pomiarowym

Aparatura składa się z układu pomiarowo-nadawczego, do którego przyłączone są czujniki kwarcowe z generatorami (sonda) oraz z układu odbiorczego instalowanego w pomieszczeniu dyspozytorskim. Ilość czujników kwarcowych w sondzie wynosi 6 na całej jej trzydziestometrowej długości. Dokładność pomiarów czujników wynosi $\pm$ 0,05°C, a czas rejestracji temperatury przez jeden czujnik określa się na 2 s, natomiast czas przesłania pomiaru z górotworu do dyspozytorki wynosi około 6 s. Sumaryczny czas pomiaru i przesłania wyników pomiarów z 6 czujników wynosi około 60 s. Zakres pomiaru temperatury: od 0° do +100°C.

Zasilanie urządzenia pomiarowo-nadawczego odbywa się napięciem przemiennym 50 Hz, napięcie zasilania 127 V $\pm$ 10%, pobór mocy około 120 VA. Masa urządzenia pomiarowo-nadawczego wynosi około 250 kg. Samo zasilanie urządzenia odbiorczo-sterującego odbywa się napięciem przemiennym z transformatora ochronnego przy zasilaniu 24 V $\pm$ 10% i mocy pobieranej około 20 VA.

Czujniki kwarcowe zainstalowane w sondzie mogą być zmienione i ustawione na dowolnej długości w głąb ociosu wyrobiska, w zależności od potrzeb badawczych.

Układ pomiaru temperatury określony został przez konstruktorów jako typ PPTG, który przeznaczony jest do pomiarów zdalnej rejestracji zmian temperatury w różnych punktach górotworu. Urządzenie to przewidziane jest

do rejestrowania za pomocą sondy zmian temperatury w górotworze, z przekazaniem danych na drukarkę. Wszystkie obwody elektryczne wejściowe i wyjściowe są iskrobezpieczne w klasie IIB według normy PN-72 E-08107. Dzięki temu aparatura ta może być instalowana w różnych punktach i w różnych warunkach geologiczno-górniczych górotworu.

4.2. Zastosowanie prototypowego urządzenia w górnictwie podziemnym

Jak wiadomo, problem określania temperatury pierwotnej górotworu nastręcza w praktyce górniczej dużych trudności. Wprawdzie istnieją teoretyczne opracowania prognozowania temperatury pierwotnej skał okalających wyrobiska, lecz są to dane przybliżone o nie zawsze odzwierciedlają stan faktyczny. Praktycznie dla potrzeb wentylacji wyrobisk górniczych pomiar temperatur skał w ociosach dokonywany jest termometrami termistorowymi, które nie zapewniają otrzymywania właściwych danych temperatury, a szczególnie na dowolną głębokość od ociosu i ciągłości pomiarów.

Zaprojektowane urządzenie pozwala dokonywać pomiarów temperatury z dużą dokładnością na głębokość do 30 m od ociosu wyrobiska.

4.3. Wstępne pomiary temperatury w ociosach

Sondę zainstalowano z początkiem listopada 1985 r. w kopalni "Halemba-Głęboka", w wyrobisku korytarzowym, w przekopie zachodnim na głębokości 1030 m opp. Otwory badawcze wykonano w pobliżu otworu wiertniczego BH-139 (1979). Do tej pory wykonano 5 otworów w ociosach: lewym i prawym, w których dokonano pomiarów temperatury. Trzy otwory wykonano w płaszczyźnie poziomej, a dwa otwory pod kątem 30° do tej płaszczyzny poziomej.

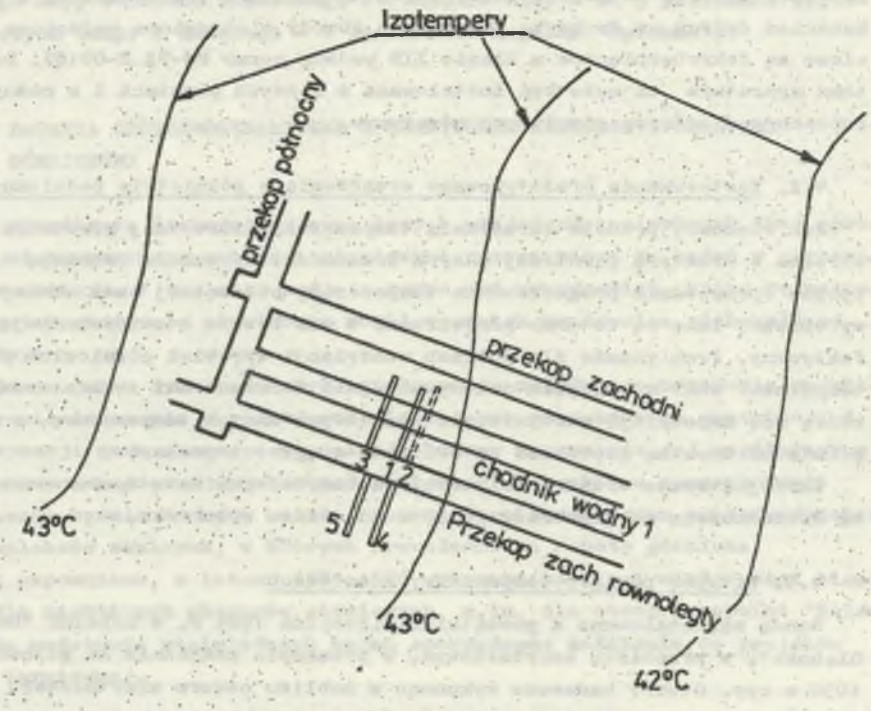
Na rysunku 1 i 2 przedstawiono lokalizację otworów badawczych oraz, na podstawie wstępnych pomiarów rozkład temperatury w górotworze, ociosu prawego i lewego.

W pierwszej kolejności badano wpływ rur w otworze na pomiar temperatury. W tym celu wykonano otwór nr 1 w ociosie do głębokości 39 m i zainstalowano w nim sondę termiczną. Pomiar temperatury w zarurowanym otworze odbywał się co dwie godziny, w przeciągu ponad 70 godzin, tj. do momentu ustabilizowania wyników pomiarów temperatury. Następnie, obok otworu nr 1, wykonano drugi otwór o tej samej głębokości (nr 2) bez zarurowania i zainstalowano w nim sondę podobnie jak w otworze nr 1.

Pomiar dokonywany był analogicznie jak w pierwszym otworze, do momentu ustabilizowania się temperatury.

Wyniki pomiarów przedstawiono w tablicy 3 i 4.

Jak wynika z tablic 3 i 4 nie zauważa się znacznych zmian temperatury między otworem zarurowanym a otworem bez rur. Pomiar taki był konieczny, a to przede wszystkim dla wprowadzenia poprawek na temperaturę w górotworze. Te minimalne zmiany przedstawiono na rys. 3. Wniosek stąd, że w warunkach geologiczno-strukturalnych trudnych, gdzie zachodzi obawa zniszczenia



Rys. 1. Schemat lokalizacji otworów badawczych w wyrobisku korytarzowym
1, 2, 4 - otwory poziome, 3, 5 - otwory pochyłe, 43-42°C - temperatura ustalona metodą pośrednią

Fig. 1. Diagram of the exploratory holes location in a dog heading
1, 2, 4, - horizontal holes, 3, 5, - inclined holes, 43-42°C - temperature determined by indirect method

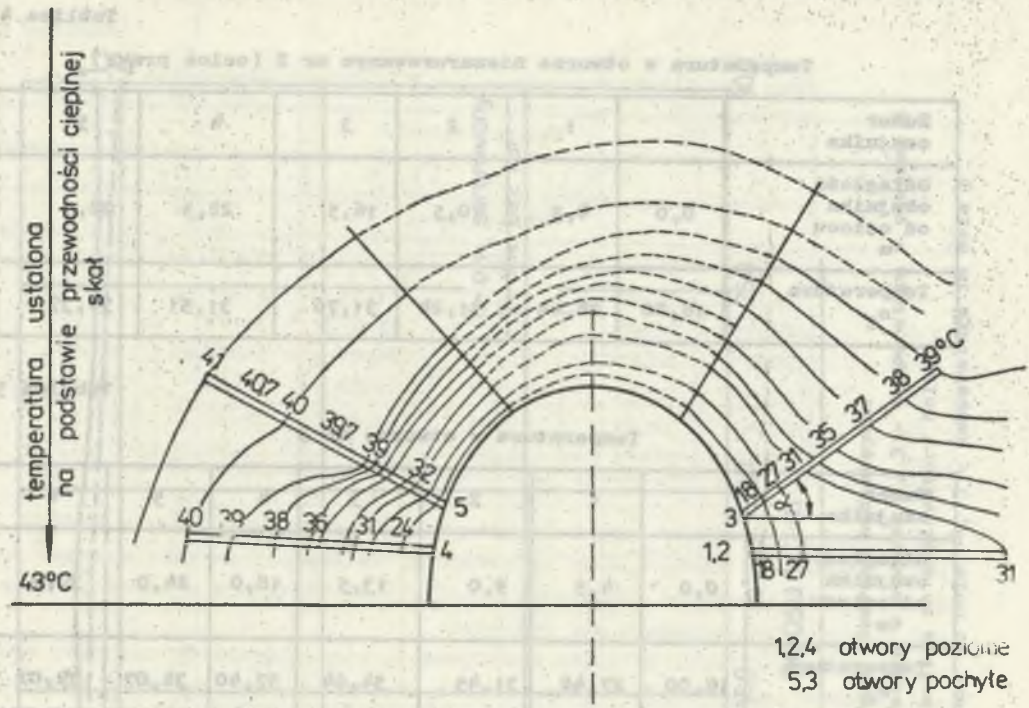
czenia sondy, można stosować rury stalowe bez większych obaw co do wyników pomiaru temperatury.

Ze względu na to, że każdy czujnik odbiera ciepło w punkcie zainstalowania, dlatego też przeprowadzono ich charakterystykę stabilizacji temperatury w określonym czasie, tj. w 72 godzinach.

Jak wynika z podanej charakterystyki (tablica 8), stabilizacja warunków cieplnych w otworze nr 1 i 2, od ociosu do głębokości 30 m, w zasadzie ustala się już po 24 godzinach, o ile warunki wodne są stabilne i nie ma w obrębie górotworu, w którym dokonywany jest pomiar, zmiennego przepływu wód wgłębnych. Wskazują na to wyniki czujnika szóstego, który znajdował się w pobliżu cieku wodnego.

Nieco odmienne wyniki temperatur otrzymano w otworach 3, 4, 5. Zmienności te przedstawiono w tablicach 5, 6 i 7.

Jak wynika z diagramu (rys. 4) temperatura w otworach: 3, 4, 5, wykonywanych w kierunku stropu pod kątem 30°, wzrasta do 41°C. Tłumaczyć można



Rys. 2. Orientacyjny schemat rozkładu temperatury wokół wyrobiska:
1, 2, 3, 4, 5 - otwory badawcze, 18°C-41°C - temperatura w punktach pomiarowych

Fig. 2. Approximate diagram of temperature distribution round the excavation
1, 2, 3, 4, 5 - exploratory holes, 18°C-41°C - temperature at measuring points

Tablica 3

Temperatura w otworze zarurowanym nr 1 (ocios prawy)

Numer czujnika		1	2	3	4	5	6
Odległość czujnika od ociosu m	0,0	4,5	9,0	13,5	18,0	24,0	30,0
Temperatura °C	17,89	28,44	30,71	31,62	31,56	31,26	31,13

Tablica 4

Temperatura w otworze niezarurowanym nr 2 (ocios prawy)

Numer czujnika		1	2	3	4	5
Odległość czujnika od ociosu m	0,0	4,5	10,5	16,5	22,5	28,5
Temperatura °C	18,00	28,44	31,24	31,76	31,51	31,37

Tablica 5

Temperatura w otworze nr 3

Numer czujnika		1	2	3	4	5	6
Odległość czujnika od ociosu m	0,0	4,5	9,0	13,5	18,0	24,0	30,0
Temperatura °C	18,00	27,48	31,45	34,64	37,40	38,07	39,07

Tablica 6

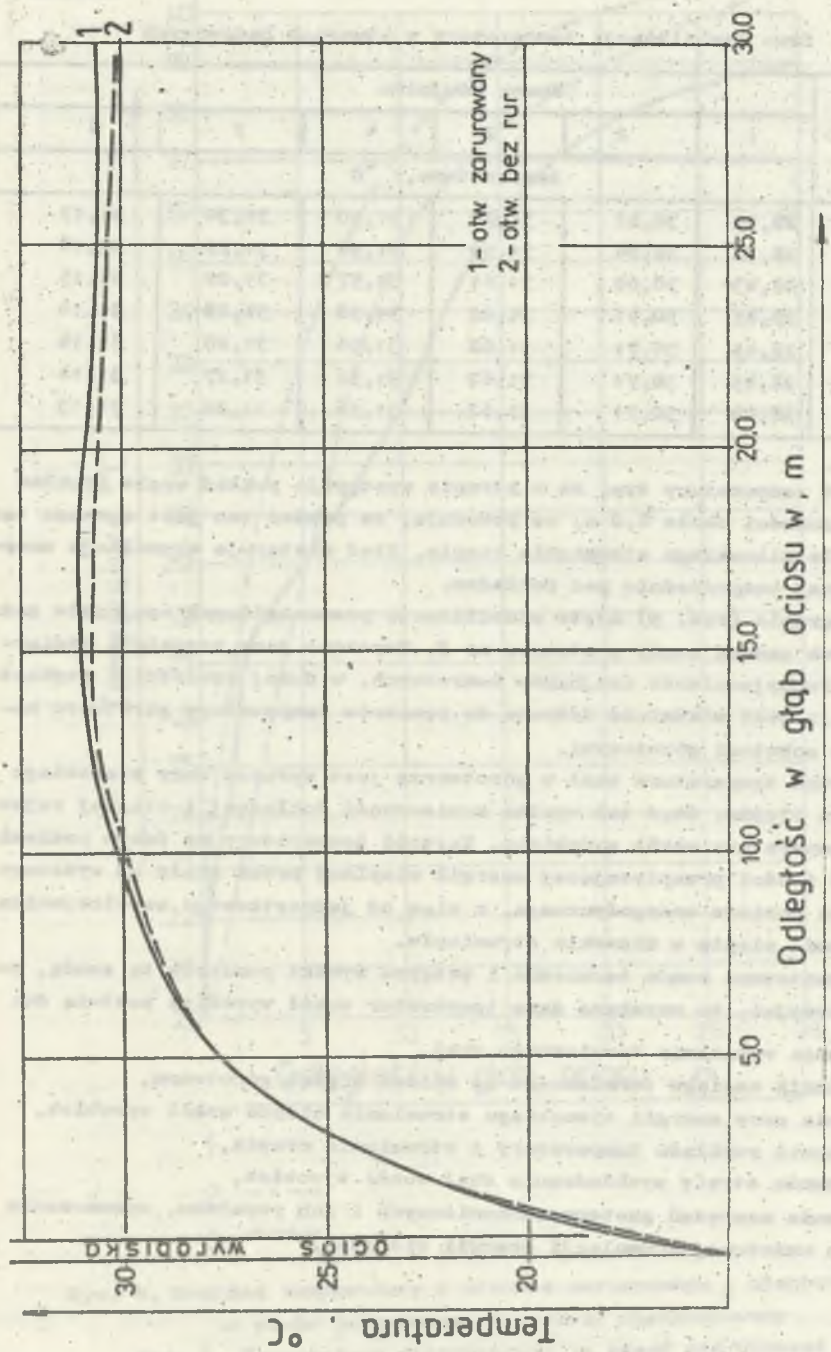
Temperatura w otworze nr 4

Numer czujnika		1	2	3	4	5	6
Odległość czujnika od ociosu m	0,0	3,0	6,0	10,5	15,0	21,0	27,0
Temperatura °C	18,00	23,85	30,96	36,02	38,06	38,70	40,06

Tablica 7

Temperatura w otworze nr 5

Numer czujnika		1	2	3	4	5	6
Odległość czujnika od ociosu m	0,0	4,5	9,0	13,5	18,0	24,0	30,0
Temperatura °C	18,00	32,28	38,96	39,70	40,19	40,76	41,03



Rys. 3. Rozkład temperatury w otworach badawczych:
1 – temperatura w otworze 3, 2 – temperatura w otworze 4, 3 – temperatura w otworze 5

Fig. 3. Temperature distribution in exploratory holes
1 – temperature in hole 3, 2 – temperature in hole, 4, 3 – temperature in hole 5

Tablica 8

Czas stabilizacji temperatury w otworach badawczych

Czas, godz.	Numer czujnika					
	1	2	3	4	5	6
	temperatura, °C					
2	28,07	30,42	31,40	31,50	31,30	31,17
4	28,36	30,64	31,59	31,56	31,29	31,16
6	28,43	30,69	31,61	31,57	31,29	31,15
22	28,45	30,71	31,62	31,56	31,28	31,14
24	28,45	30,71	31,62	31,56	31,28	31,14
26	28,45	30,71	31,62	31,56	31,27	31,14
72	28,44	30,71	31,62	31,56	31,26	31,13

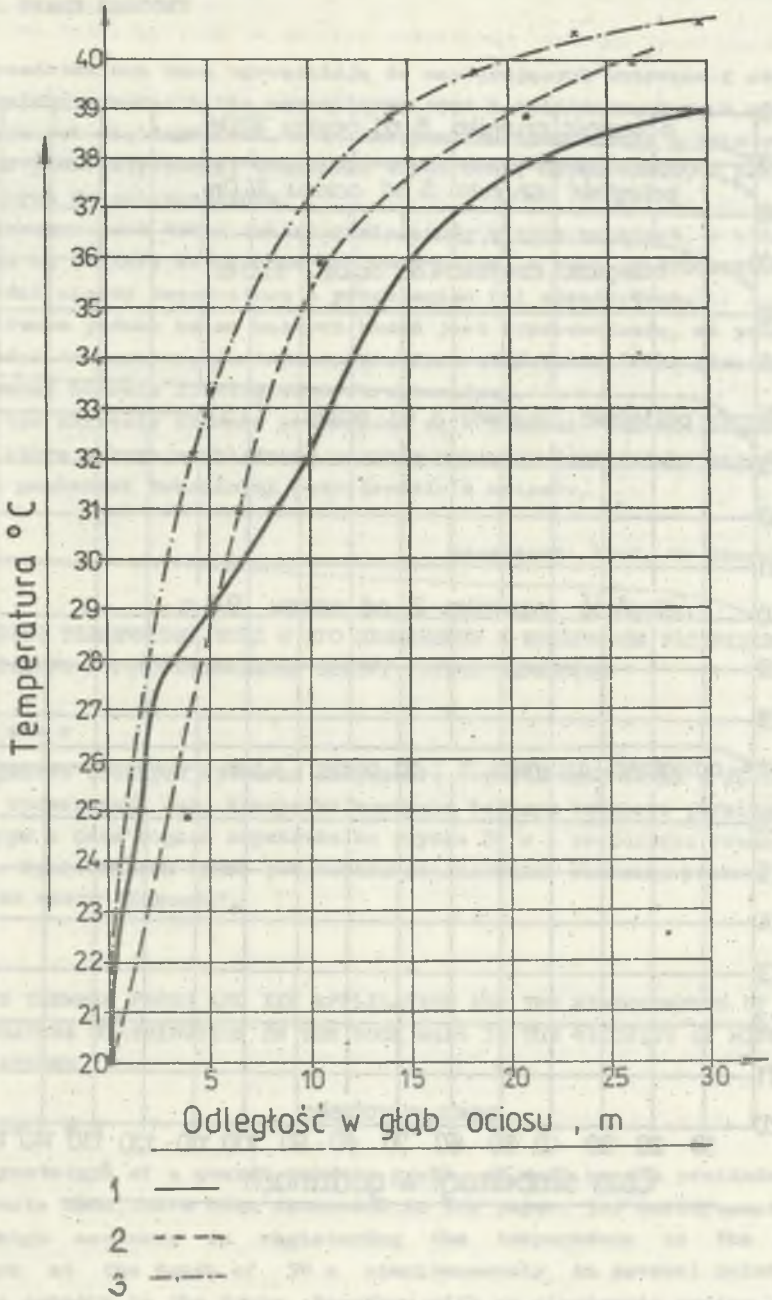
ten wzrost temperatury tym, że w stropie występuje pokład węgla (pokład 504), o grubości około 4,0 m, co powoduje, że pokład ten jest ekranem termicznym dla ziemskiego strumienia ciepła. Stąd następuje akumulacja energii cieplnej bezpośrednio pod pokładem.

Na diagramie (rys. 5) ujęto stabilizację poszczególnych czujników zainstalowanych wzdłuż sondy w otworze nr 3. Uzyskane dane pozwalają stwierdzić, że funkcjonalność czujników kwarcowych, o dużej czułości i szybkości rejestracji jest właściwie dobrana do pomiarów temperatury górotworu naruszonego robotami górniczymi.

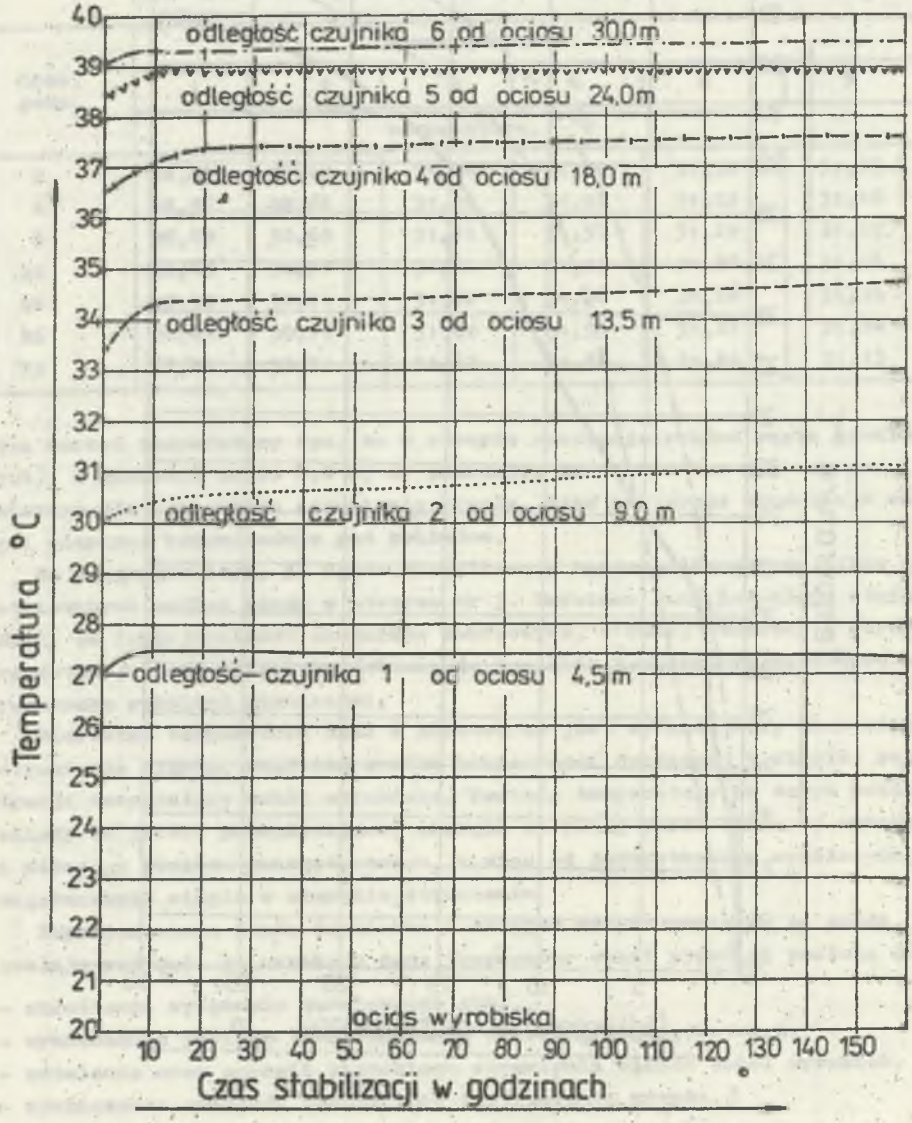
Pierwotna temperatura skał w górotworze jest wyrazem mocy ziemskiego strumienia ciepła. Stąd też wynika konieczność dokładnej i ciągłej rejestracji temperatury wokół wyrobiska. Wartość temperatury na danym poziomie zależy od ilości przepływającej energii cieplnej przez skały od wyższego i niższego poziomu energetycznego, a więc od jednostkowego współczynnika zagęszczenia ciepła w ziemskim strumieniu.

Zaprezentowana sonda termiczna i wstępne wyniki pomiarów tą sondą, pozwalają przyjąć, że uzyskane dane temperatur wokół wyrobisk posłużą do:

- określenia wytężenia termicznego skał,
- wyznaczenia zasięgu termicznego od ociosu w głąb górotworu,
- ustalenia mocy energii ziemskiego strumienia ciepła wokół wyrobisk,
- wyznaczenia rozkładu temperatury i strumienia ciepła,
- wyznaczenia strefy wychładzania skał wokół wyrobisk,
- określenia naprężeń geotermomechanicznych i ich rozkładu, wyznaczenia stref o wzmożonej akumulacji energii cieplnej.



Rys. 4. Rozkład temperatury w otworze zarurowanym i niezarurowanym
1- otwór zarurowany, 2 - otwór niezarurowany
Fig. 4. Temperature distribution in cased and uncased hole
1 - cased hole, 2 - uncased hole



Rys. 5. Diagram stabilizacji temperatury w otworze badawczym nr 3 w odniesieniu do poszczególnych czujników w sondzie

Fig. 5. Diagram of temperature stabilisation in exploratory hole no 3 in relation to the particular sensors in the probe

5. UWAGI KOŃCOWE

Przedstawione dane upoważniają do następujących wniosków i stwierdzeń: należałoby wykonać kilka egzemplarzy sond i zainstalować je w pokładach cechujących się tąpaniami, a to dla pomiaru temperatury w celu wyprowadzenia (energetycznego) wskaźnika tąpań oraz, niezależnie, w pokładach skłonnych do samozapalenia.

Wskazane jest także instalowanie sondy w tych punktach, w których dokonywane są pomiary sejsmiczne lub akustyczne, w celu znalezienia współzależności między temperaturą a przebiegiem fal sprężystych.

Głównym jednak celem naszych badań jest wyprowadzenie, na podstawie wartości temperatur, geotermosprężystych właściwości skał górotworu o zróżnicowanej budowie litologiczno-strukturalnej.

W tym zakresie obecnie prowadzone są w kopalni "Halemba-Głęboka", badania, które wykazują zbieżność wyników pomiarów temperatury metodą pośrednią z pomiarami dokonanymi bezpośrednio z ociosów.

Recenzent: Prof. dr Henryk Bystroń

КВАРЦЕВЫЙ ТЕРМИЧЕСКИЙ ЗОНД И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ К ИЗМЕРЕНИЯМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ГОРООБРАЗОВАНИИ ВОКРУГ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Р е з ю м е

В работе оговорен прототип кварцевого термического зонда и пробные измерения проведённые ним. Измерения показали большую точность регистрации температуры в фазе горной выработки на глубие 30 м в нескольких точках одновременно. Представлены также результаты исследований тепловых условий горообразования шахты "Халемба".

QUARTZ THERMIC PROBE AND ITS APPLICATION FOR THE MEASUREMENTS OF TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE ROCK MASS IN THE VICINITY OF MINE EXCAVATIONS

S u m m a r y

A prototype of a quartz thermic probe, as well as the preliminary measurements made, have been discussed in the paper. The measurements exhibited high accuracy in registering the temperature in the side of work at the depth of 30 m simultaneously in several points. The quartz sensors in the probe, together with an electronic system, make possible continuous registration of the rock mass temperatures and tranfer of data to a printer on the mine surface.

The results of the heat conditions studies of the "Halemba" colliery rock mass have also benn given.
Following the determination of the temperature in the undisturbed rock mass by an indirect method, i.e. on the basis of heat conductivity, of rocks, the temperature of the rock mass was determined by a direct method at the depth of 1030 m. At this depth, the temperature in the indisturbed Carboniferous formation was 40–45°C, and in the disturbed one, at the same depth 41°C. Temperature stabilization was studied for this purpose in a cased and incased hole.