GÓRNICTWO z. 26

P. 3351/68

KAZIMIERZ CHMURA

PRZEWODNOŚĆ CIEPLNA SKAŁ I WĘGLI GÓRNOŚLĄSKIEGO KARBONU

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
ZESZYT NAUKOWY Nr 190 – GLIWICE 1968

SPIS TREŚCI

Str.

Streszczenie 3

WSTĘP 3

OGÓLNE TEORETYCZNE PODSTAWY PRZEWODZENIA CIEPŁA I METODY WYZNACZANIA WSPÓŁCZYNNIKA λ . 8

Opis aparatu 14

Omówienie wzoru przyjętego do obliczenia współczynnika przewodzenia ciepła skał 21

Opis dokonywania pomiarów 24

Analiza wyników pomiarów 26

ZAKRES BADAŃ 29

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BADANYCH SKAŁ I WĘGLI GÓRNOŚLĄSKICH 32

Żwirowce i piaskowce gruboziarniste 33

Piaskowce średnio i drobnoziarniste 37

Mułowce i iłowce piaszczyste 47

Iłowce i iłowce węglowe 51

Węgle kamienne 51

WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNE KARBOŃSKICH SKAŁ GÓRNEGO ŚLĄSKA NA TLE ICH SKŁADU PETROGRAFICZNEGO, GŁĘBOKOŚCI ZALEGANIA ORAZ WŁASNOŚCI FIZYKO-MECHANICZNYCH 60

Skład mineralny żwirowców, piaskowców, mułowców i iłowców a ich współczynnik przewodzenia ciepła 66

Przewodność cieplna węgli na tle ich charakteru chemicznego 88

Przewodność cieplna skał w zależności od głębokości ich występowania 92

Własności fizyko-mechaniczne skał i węgli a ich własności cieplne 97

Wpływ temperatury pomiarów na wielkość współczynnika przewodzenia ciepła 110

Wpływ wilgoci skał na współczynnik przewodzenia ciepła . . 112

Charakterystyka współczynnika przewodzenia temperatury w skałach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego . . . 114

PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ ORAZ WNIOSKI . . 117

UWAGI DOTYCZĄCE PRZYJĘTYCH W PRACY OZNACZEŃ ORAZ SPOSOBU PRZELICZEŃ Z UKŁADU TRADYCYJNEGO NA MIĘDZYNARODOWY UKŁAD JEDNOSTEK MIAR . 125

LITERATURA 128

OZNACZENIA I JEDNOSTKI WIELKOŚCI FIZYCZNYCH . . 132

POLITECHNIKA ŚLĄSKA

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 190

P.3351/68

KAZIMIERZ CHMURA

PRZEWODNOŚĆ CIEPLNA SKAŁ I WĘGLI CÓRNOŚLĄSKIEGO KARBONU

PRACA HABILITACYJNA Nr 64

Data otwarcia przewodu habilitacyjnego 22. II. 1967 r.

GLIWICE 1968

REDAKTOR NACZELNY ZESZYTÓW NAUKOWYCH
POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ

Fryderyk Staub

REDAKTOR DZIAŁU

Jerzy Nawrocki

SEKRETARZ REDAKCJI

Tadeusz Matula

Dział Nauki — Sekcja Wydawnictw Naukowych — Politechniki Śląskiej
Gliwice, ul. Konarskiego 23

PJ 97168

Nakł. 100+60 Ark. wyd. 8 Ark. druk. 8,10 Papier offsetowy kl. III. 70x100. 80 g
Oddano do druku 19. 5. 1967 Podpis. do druku 29. 2. 1968 Druk ukończ. w marcu 1968
Zam. 1107 12. 5. 1967 E-22 Cena zł 10,—

Skład, fotokopie, druk i oprawę
wykonano w Zakładzie Graficznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach

STRESZCZENIE

W pracy podano metodę wyznaczania współczynnika przewodzenia ciepła skał i węgli w ustalonych warunkach termicznych. Opisano aparat i sposób dokonywania pomiarów współczynnika λ. Wyznaczono wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła przy średniej temperaturze 20°C. Na tle otrzymanych z badań wartości liczbowych i właściwej pojemności cieplnej skał górnośląskiego karbonu scharakteryzowano na podstawie liczb korelacji, niektóre zależności wynikające między składem mineralnym skał, własnościami fizyko-mechanicznymi, a ich przewodnością cieplną. Ustalono, że wielkości liczbowe zmieniają się w dość dużych granicach. Wykazano również, że wartości λ są uzależnione od składu mineralnego, zwięzłości skały, struktury i tekstury oraz od głębokości zalegania tych skał w poszczególnych ogniwach stratygraficznych.

W S T Ę P

Wielkości współczynnika przewodzenia ciepła (λ) i temperatury (a) oraz właściwej pojemności cieplnej (c) skał i węgli przy ustalaniu temperatury powietrza w wyrobiskach górniczych są bardzo ważne. Znajomość tych parametrów jest konieczna przy ustalaniu warunków klimatycznych w wyrobiskach górniczych. Współczynnik przewodzenia ciepła skał jest tematem badań aero-

logii górniczej. Prace badawcze w tym zakresie odnoszą się z jednej strony do rozwoju metod badawczych i aparatury pomiarowej [45], z drugiej zaś strony dotyczą badań wpływu różnych czynników, które uzależniają od siebie przewodność cieplną danego materiału. Wartości współczynnika przewodzenia ciepła i współczynnika przewodzenia (wyrównania) temperatury skał, węgli i rud podawane w literaturze [9, 17, 32, 38, 43, 45, 51, 52, 53, 56] różnią się w wielu przypadkach dość znacznie od siebie. Różnice te zapewne są spowodowane wskutek zmienności składu mineralnego, różną strukturą i teksturą skały. Mogą one wynikać też z odmiennych własności fizycznych i chemicznych materiału skalnego.

W ostatnich latach daje się obserwować przechodzenie górnictwa podziemnego na coraz to większe głębokości. W związku z tym wysuwa się problem stworzenia odpowiednich warunków klimatycznych załodze pracującej na tych znacznych głębokościach. Przeprowadzone już w tym zakresie badania dla szeregu zagłębi węglowych i rudnych wykazały, że przy ustalaniu warunków klimatycznych kopalń należy uwzględniać wiele czynników termicznych skał indywidualnie dla danego zagłębia, a niekiedy nawet dla każdej kopalni oddzielnie [1, 22, 25, 27, 29, 44, 45, 48, 50] .

Duży wpływ na kształtowanie się warunków klimatycznych w głębokich kopalniach ma temperatura skał na danej głębokości, na której prowadzone są roboty górnicze. Znany jest cały szereg wzorów empirycznych służących do określenia temperatur powietrza w wyrobiskach górniczych nowych głębokich poziomów czy kopalń jako całości [2, 5, 9, 14, 15, 26, 39, 40, 51, 52, 53, 57] . Jednak istniejące wzory są zwykle podane w formie równań różniczkowych i odnoszą się dla uproszczenia do cylindrycznych kształtów przewodów. Rozwiązanie tych równań róż-

niczkowych jest możliwe przy zastosowaniu pewnych uproszczeń i przy znajomości współczynnika przewodzenia temperatury, określającego szybkość ochładzania lub nagrzewania skał ($a = \frac{\lambda}{c\varrho}$). Współczynnik ten wyznaczany bywa z wartości liczbowych współczynnika przewodzenia ciepła, właściwej pojemności cieplnej i gęstości przestrzennej skał. Jak widać znajomość rzeczywistych wartości tych parametrów poszczególnych odmian skalnych umożliwia przeprowadzenie analitycznego obliczenia wartości współczynnika szybkości wychładzania (przenoszenia, wyrównania temperatury) skał. Współczynnik ten ma decydujący wpływ na całość obliczeń dotyczących przenoszenia ciepła przez skały. Obliczenia te stanowią podstawowy zrąb przy ustalaniu warunków klimatycznych w kopalniach.

Stopień geotermiczny [55], który ciągle jest praktycznym wskaźnikiem trudności klimatycznych kopalń, jest funkcyjnie zależny od przewodzenia ciepła skał towarzyszących i kopaliny użytecznej. Dlatego więc ustalenie tych wielkości termicznych i innych własności fizycznych skał, w zależności od charakteru petrograficznego wszystkich możliwych odmian skalnych, występujących w złożu oraz wyprowadzenie zależności między tymi parametrami, jest zagadnieniem aktualnym. Dokładna znajomość wspomnianych własności fizycznych skał może znacznie umożliwić, i to już w fazie projektowania głębokich kopalń, podjęcie dobrej i właściwej decyzji co do założenia głównych przekopów w kopalni. Znajomość wartości liczbowych tych parametrów ma istotny wpływ na kształtowanie się warunków klimatycznych w kopalni [22, 55].

W roku 1963 z inicjatywy prof. dr Jana Kuhla rozpoczęto w Katedrze Mineralogii i Petrografii Politechniki Śląskiej szersze badania nad przewodnością cieplną skał występujących w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Oprócz wyznaczenia współczynników

przewodzenia ciepła i temperatury oraz właściwej pojemności cieplnej wykonano na tych samych próbkach oznaczenia własności fizycznych jak: gęstości masy, gęstości przestrzennej, liczby porowatości (porowatości względnej) i wytrzymałości mechanicznej na zgniot. Ponadto w żwirowcach i piaskowcach ustalono skład mineralny, ilość i rodzaj spoiwa, charakter ziarn, a dla węgli wykonano chemiczną analizę elementarną. Otrzymane wyniki z analitycznych badań oraz wyprowadzone liczby korelacji i regresji wykazały, że istnieje pewna funkcyjna zależność liniowa między wymienionymi własnościami fizycznymi i charakterem petrograficznym skał, a ich współczynnikiem przewodzenia ciepła. W związku z tym autor kładł główny nacisk w czasie badań na ustalenie tych zależności. Badano wszystkie możliwe odmiany petrograficzne skał występujących na różnych głębokościach, a udostępnionych wyrobiskami górniczymi. Próbki skał i węgli pobrano z warstw grupy od 100 do 600, według nomenklatury stosowanej w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym.

Wyniki pomiarów przedstawiono w niniejszej pracy w układzie międzynarodowym. Na końcu pracy podano sposób przeliczenia wartości liczbowych z tradycyjnego układu na międzynarodowy [25, 46, 47].

Pozwalam sobie w tym miejscu serdecznie podziękować Panu profesorowi drowi Janowi Kuhlowi za życzliwe ustosunkowanie się do tematu i ułatwienie mi wykonania badań w Katedrze Mineralogii i Petrografii Wydziału Górniczego Politechniki Śląskiej oraz za bardzo życzliwą dyskusję nad całością pracy.

Serdecznie dziękuję Panu profesorowi drowi inżynierowi Stanisławowi Ochęduszce za cenne i wielce pożyteczne uwagi dotyczące termodynamiki i międzynarodowego układu jednostek miar oraz nowoczesnej terminologii w tym zakresie.

Panu V-ce Ministrowi profesorowi Marcinowi Boreckiemu za słuszne i istotne wskazówki oraz za cenne uwagi odnoszące się do zagadnień górniczych.

Panu Prorektorowi profesorowi drowi Kazimierzowi Maślankiewiczowi serdecznie dziękuję za cenne uwagi w zakresie petrografii.

Koledze inżynierowi St. Bubakowi i inżynierowi Cz. Koperowi za bezinteresowną pomoc przy wykonywaniu pracy.

OGÓLNE TEORETYCZNE PODSTAWY PRZEWODZENIA CIEPŁA I METODY WYZNACZANIA WSPÓŁCZYNNIKA λ

Przewodność cieplną skał i węgli można określić jako przenoszenie energii przez nieuporządkowane ruchy cząstek w kierunku od wyższej do niższej temperatury [47]. Z praw termodynamiki wiemy, że rozkład temperatury w ciele stałym jest nierównomierny [47]. Nierównomierny rozkład temperatury w skale (jako w ciele stałym) jest warunkiem przewodzenia przez nią ciepła. Rozkład temperatury w skale można w najogólniejszym przypadku scharakteryzować funkcją, która określa tzw. pole temperatury w danym ciele.

$$\vartheta = f\ (x,y,z,\tau) \qquad (1)$$

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 (1) temperatura zmienia się w czasie, wówczas mamy do czynienia z nieustalonym przewodzeniem ciepła. Jeżeli natomiast temperatury nie ulega zmianie w czasie to przewodzenie ciepła jest ustalone.

Intensywność przepływu ciepła przewodzoną przez skałę charakteryzować będzie zagęszczenie ciepła w strumienia $\dot{q}$, wyrażająca stosunek elementarnego ciepła d^2Q do elementu prostopadłej do kierunku przepływu powierzchni dA i do elementu czasu $d\tau$. Zależność ta podawana jest równaniem

$$\dot{q} = \frac{d^2 Q}{dA\ d\tau} \qquad (2)$$

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 [25, 47]

$$\dot{Q} = \dot{q} A \qquad (3)$$

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 (izotemperowych), a zagęszczenie ciepła w strumieniu $(\dot{q})$ jest proporcjonalne do pochodnej w tym kierunku. Zależność tę ujmuje się równaniem

$$\dot{q} = -\lambda \frac{d\vartheta}{dn} \qquad (4)$$

gdzie:

λ - współczynnik proporcjonalności, który nosi nazwę współczynnika przewodzenia ciepła, $\frac{W}{m\ deg}$,

$\frac{d\vartheta}{dn}$ - gradient temperatury (pochodna temperatury względem drogi), $\frac{deg}{m}$.

Wielkość λ ma określoną wartość w danym stanie termicznym skały i jest jej fizycznym parametrem charakteryzującym zdolność przewodzenia 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 danego ciała. W odniesieniu do skał 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,
- zwięzłości i stopnia zdiagenezowania,
- tekstury i struktury skały,
- kierunku badania (ze względu na anizotropowość skały),
- temperatury przy której dokonywany jest pomiar.

Wyznaczenie współczynnika przewodzenia ciepła może być dokonane przy ustalonym lub nieustalonym przepływie ciepła. Wyznaczenie współczynnika λ przy nieustalonym przepływie ciepła ma rzadkie zastosowanie dla celów praktycznych w górnictwie. Istnieje jednak wiele opracowanych sposobów do wyznaczania tego parametru opartych na nieustalonym przepływie ciepła. Cechą korzystną tych sposobów jest krótki czas pomiaru. Ujemną natomiast stroną jest długotrwałość rachunkowych wyliczeń oraz na ogół zaniżone wartości liczbowe λ. 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

$$\lambda = a \, \varrho \, c \, \frac{W}{m \, deg} \qquad (5)$$

Wstępne doświadczenia przeprowadzone w zakresie wyznaczania przewodności cieplnej skał przy nieustalonym przepływie ciepła wykazały, że wartości liczbowe współczynnika λ są dla skał i węgli nieco obniżone. W związku z tym zaniechano przy dalszych badaniach korzystania z tego sposobu, gdyż w czasie pomiarów okazało się, że wyznaczenie współczynnika λ przy ustalonym przepływie ciepła daje jednak lepsze rezultaty. Zaletą tego jest dość dobra dokładność w wartościach współczynnika. Ujemną natomiast stroną jest długotrwałość dokonywania pomiarów. Przy ustalonym przepływie ciepła można wyznaczyć współczynnik przewodzenia ciepła metodą względną lub bezwzględną.

Metoda względna polega na pomiarze spadku temperatury w dwóch nałożonych na siebie płytkach przy stałym strumieniu ciepła, przy czym jedna płytka jest płytką badaną, natomiast druga jest płytką wzorcową o znanym współczynniku przewodzenia ciepła. Metodą tą (metodą względną) określa się współczynnik ze wzoru

$$\lambda = \frac{\delta(\vartheta_1' - \vartheta_2')\lambda'}{\delta'(\vartheta_1 - \vartheta_2)} \quad \frac{W}{m\ deg} \tag{6}$$

gdzie:

λ' - współczynnik przewodzenia ciepła próbki wzorcowej, $\frac{W}{m\ deg}$,

δ' - grubość próbki wzorcowej, m,

$\vartheta_1', \vartheta_2'$ - temperatury na powierzchni próbki wzorcowej, deg,

δ - grubość próbki badanej, m,

ϑ_1, ϑ_2 - temperatury na powierzchni próbki badanej, deg.

Przy wyznaczaniu λ skał metoda ta jest uciążliwa, ponieważ są trudności w sporządzaniu wzorców dla skał. Po wstępnych

badaniach opisaną metodą zaniechano stosowania jej w dalszych doświadczeniach. Przyjęto natomiast metodę bezwzględną, ponieważ metoda ta okazała się dogodniejsza. W metodzie tej strumień przepływającego ciepła przez próbkę może być mierzony kalorymetrycznie lub przez pomiar napięcia i natężenia prądu grzejącego. W metodzie bezwzględnej używanych jest kilka aparatów, które różnią się między sobą szczegółami konstrukcyjnymi jak: konstrukcją elementu grzejnego, różnymi wymiarami i kształtem pojemnika na badane próby oraz rodzajem izolacji. Najczęściej stosowane sposoby w metodzie bezwzględnej są:

- sposób wyznaczania współczynnika przewodzenia ciepła na wydrążonych kulach lub walcach,
- na wydrążonych krążkach lub wyciętych płytkach.

Wyznaczenie współczynnika przewodzenia ciepła skał metodą bezwzględną na kulach jest kłopotliwe, a to ze względu na trudności wykonania ze skał odpowiednich kul. Samo urządzenie składa się z kulistego grzejnika, z którego wypływa strumień cieplny ($\dot{Q}$). Powierzchnie równych temperatur są tutaj powierzchniami kuli. Współczynnik wylicza się ze wzoru:

$$\lambda = \frac{1}{4\pi} \frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2} \frac{\dot{Q}}{\vartheta_1 - \vartheta_2} \quad \frac{W}{m\ deg} \tag{7}$$

gdzie:

r_1, r_2 - promienie kuli.

Pomiar współczynnika przewodzenia ciepła na wydrążonych walcach ze skał również nastręcza trudności w otrzymaniu walców o odpowiedniej długości i równej powierzchni obwodowej. Współczynnik przewodzenia ciepła przy tym sposobie wylicza się ze wzoru

$$\lambda = \frac{\dot{Q} \ln \frac{r_1}{r_2}}{2\pi l(\vartheta_1 - \vartheta_2) l} \quad \frac{W}{m \text{ deg}} \tag{8}$$

gdzie:

ϑ_1, ϑ_2 - temperatury próbki w odległości r_1 i r_2 od osi walca, deg

l - mierzona długość walca, m,

$\dot{Q}=I\ U$ - ilość energii przepływającej w ciągu 1 sek, $\frac{J}{s} = W$,

I - natężenie prądu w grzejniku, A,

U - spadek napięcia na mierzonej długości grzejnika, V.

Przy wyznaczaniu współczynnika przewodzenia ciepła skał i węgli górnośląskiego karbonu wybrano jednak, po wstępnych doświadczeniach i analizie, metodą bezwzględną przy ustalonym przepływie ciepła ze sposobem 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 i o zmiennych własnościach fizyko-mechanicznych. Ponadto wyłaniają się przy tym trudności natury technicznej - przy przygotowaniu do badań próbek o idealnie równych powierzchniach.

$$Q = \frac{\lambda A(\vartheta_g - \vartheta_c)\tau}{\delta}; \quad \vartheta_g > \vartheta_c \tag{9}$$

gdzie:

$\dot{Q}$ - ilość energii przepływającej, J,

λ - współczynnik przewodzenia ciepła, $\frac{W}{m\ deg}$,

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.

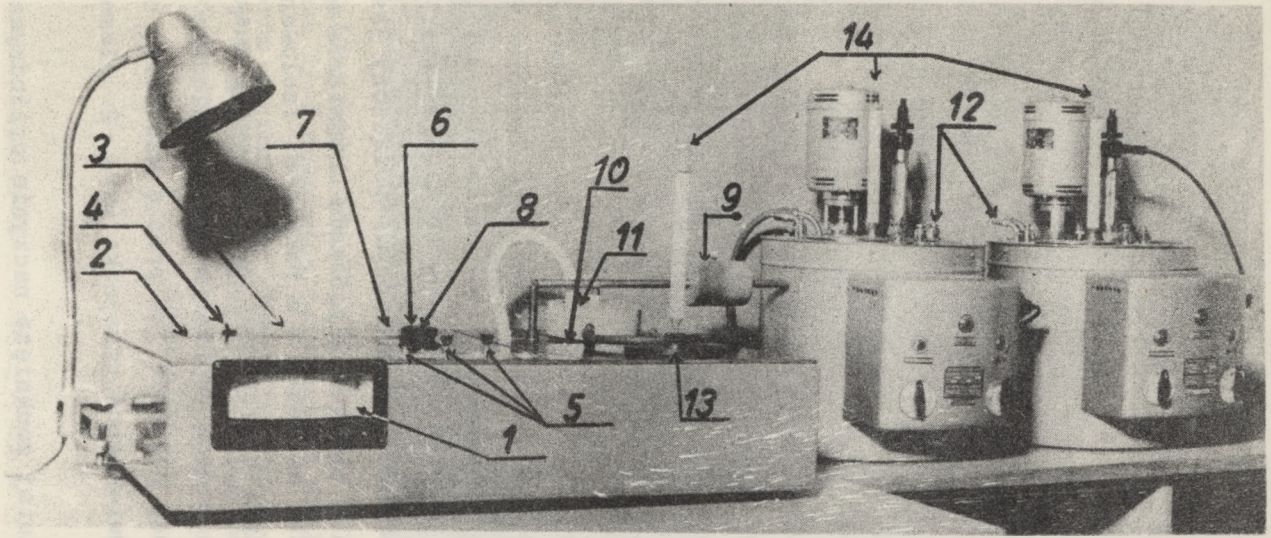
Wzór na współczynnik przewodzenia ciepła ma postać

$$\lambda = \frac{Q\delta}{A(\vartheta_g - \vartheta_c)\tau} \quad \frac{W}{m\ deg} \tag{10}$$

Eksperymentalne doświadczenia wykazały, że korzystniej jest wyznaczać współczynnik przewodzenia ciepła skał i węgli na krążkach zgodnie z teorią płaskiej ściany, gdzie układ współrzędnych jest prostokątny, a warunki termiczne są ustalone bez wewnętrznych źródeł ciepła. Dla wyznaczania współczynnika przewodzenia ciepła skał i węgli Górnośląskiego Zagłębia Węglowego zbudowano aparat SPM-1, który na podstawie założeń autora wykonany został przez Zakład Inżynierii Chemicznej Politechniki Szczecińskiej (rys. 1).

Opis aparatu

Aparat do wyznaczania współczynnika przewodzenia ciepła skał przystosowany został do pomiarów λ w ustalonych warunkach przepływu ciepła w zakresie od 0,0233 do 10,467 $\frac{W}{m\ deg}$. Podstawowymi elementami tego aparatu są: grzejnik, chłodnica,



Rys. 1. Ogólny widok zespołu aparatu do pomiarów współczynnika przewodzenia ciepła λ skał i węgli. Skala 1:20

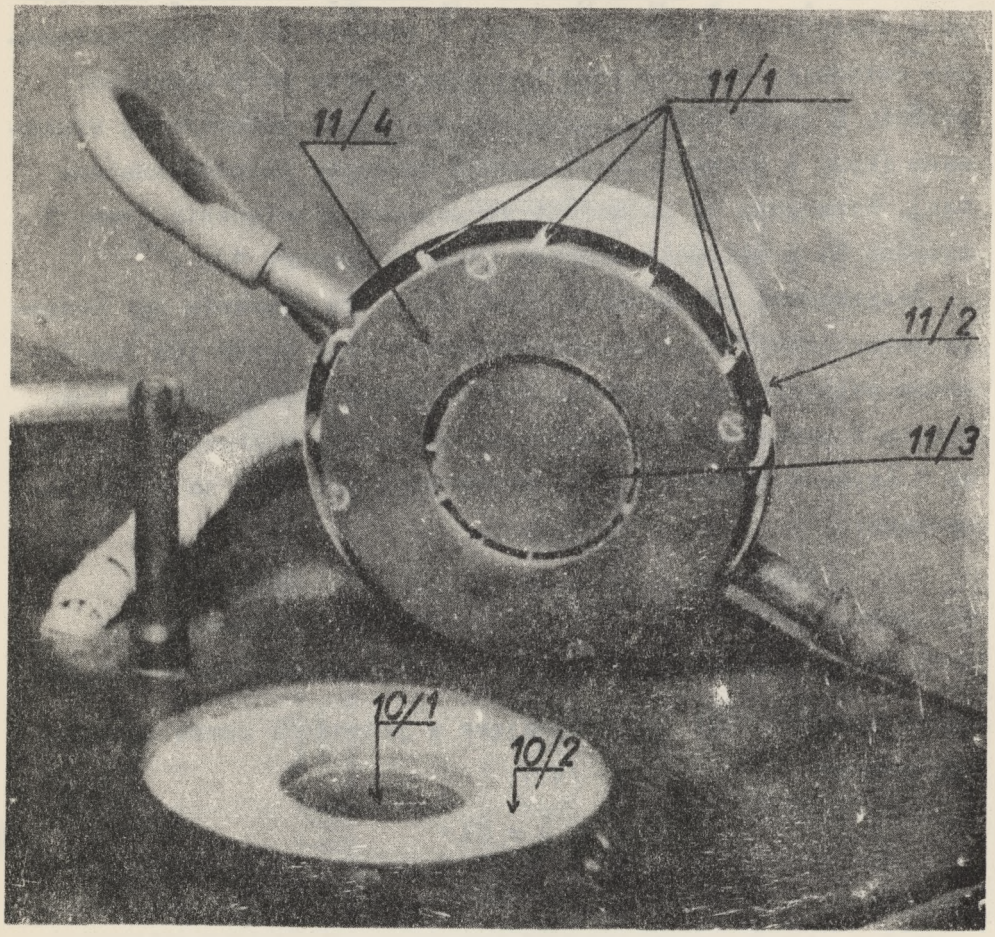
1 - miliwoltomierz, 2 - amperomierz, 3 - woltomierz, 4 - wyłącznik prądu, 5 - przełącznik termopar, 6 - pokrętło autotransformatora, 7 - przełącznik zakresów, 8 - wyłącznik pasa Schmidta, 9 - dźwignia, 10 - grzejnik, 11 - chłodnica, 12 - ultratermostaty, 13 - termostat zimnych końcówek termopar, 14 - termometry

przyrządy pomiarowe oraz dwa ultratermostaty i jeden termostat zimnych końcówek termopar.

Grzejnik (rys. 1 element 10) został wykonany z odlewu mosiężnego o średnicy 50 mm i grubości 15 mm. Wewnątrz grzejnika zainstalowano spiralę z drutu konstantanowego o średnicy 0,1 mm, o oporze 25 omów. Pod grzejnikiem wbudowano pas Schmidta celem wykazywania różnicy temperatur pomiędzy powierzchnią grzejnika a płaszczem termostatu. Pas Schmidta składa się z 118 termopar połączonych ze sobą szeregowo. Są one połączone poprzez przycisk (rys. 1 element 8) z miliwoltomierzem (rys. 1 element 1). Takie połączenie termopar i ich usytuowanie pod grzejnikiem umożliwia wykrywanie nawet minimalnych przepływów ciepła od grzejnika do kąpieli termostatującej lub odwrotnie. W czasie pracy aparatu brak wychylenia wskazówki miliwoltomierza wskazuje nam na jednokierunkowy przepływ strumienia ciepła.

Do pomiarów temperatury grzania, wlutowano w górną płytkę grzejnika zespół termopar (miedź-konstantan). Termopary te poprzez przycisk (rys. 1 element 5) połączone są z miliwoltomierzem. Sam grzejnik wmontowany jest w element kąpieli termostatującej, który dwoma końcówkami wodnymi połączony jest z ultratermostatem (rys. 1 element 12). Celem uniknięcia strat ciepła obudowa grzejnika od spodu i z boku jest izolowana azbestem. Od góry natomiast grzejnik jest izolowany muskowitem (rys. 2 element 10/2). Badaną próbkę (krążek) dokładnie z wymiarowaną i oszlifowaną, podobnie jak próbkę wzorcową, umieszcza się na górnej powierzchni grzejnika (rys. 2 element 10/1).

Chłodnica stanowi tutaj zamknięte naczynie cylindryczne z odprowadzonymi końcówkami wodnymi do ultratermostatu (rys. 1 element 12). Chłodnica ta (rys. 2 element 11) jest przymocowa-



Rys. 2. Ogólny widok elementu grzejnego (element 10 według rysunku 1) i chłodnicy (element 11 według rysunku 1)

10/1 - górna powierzchnia grzejnika, 10/2 - izolacja muskowitowa, 11/1 - zespół termopar, 11/2 - obudowa chłodnicy, 11/3 - dolna powierzchnia chłodnicy, 11/4 - pierścień bakielitowy na chłodnicy

na przegubowo nad grzejnikiem. Do obudowy chłodnicy zamontowano dźwignię z ciężarkiem (rys. 1 element 9) w celu obciążenia chłodnicy dla lepszego jej przylegania do powierzchni próbki. W dolną płytkę chłodnicy od strony wewnętrznej wlutowano (rys. 2 element 11/1) zespół termopar (miedź-konstantan). Termopary te połączone są poprzez przełącznik (rys. 1 element 5) z miliwoltomierzem (rys. 1 element 1).

Przyrządami pomiarowymi (rys. 3) w tym aparacie są: transformator (220/15V), autotransformator, typ P-216 (do regulowania napięcia na spirali). Pomiar prądu elektrycznego (napięcia i natężenia) dokonuje się za pomocą mierników typu Lavo 1 (rys. 1 element 2,3), które mogą pracować na dwóch zakresach:

Zakres I	Zakres II
0÷3 wolt, mnożnik 0,1	0÷15 wolt, mnożnik 0,5
0÷15 amper, mnożnik 0,005	0÷0,6 amper, mnożnik 0,02

Ilość energii ($\dot{Q}$) przepływająca w jednostce czasu ujmuje się wzorem

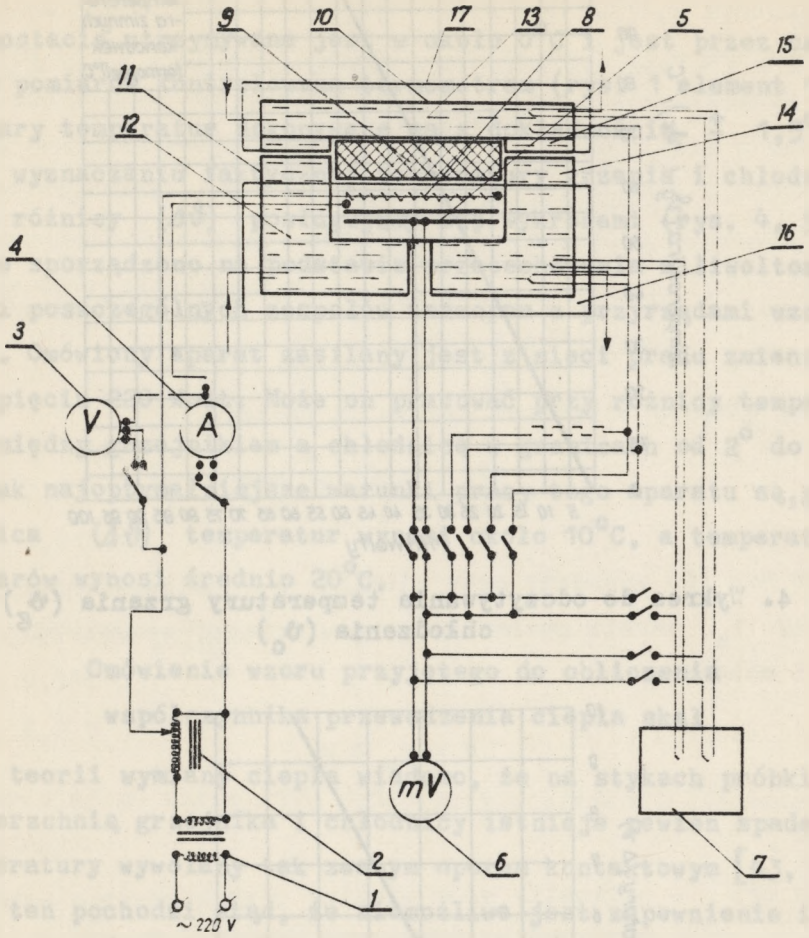
$$\dot{Q} = UI \tag{11}$$

gdzie:

U - spadek napięcia na spirali grzejnej, wolty (V)

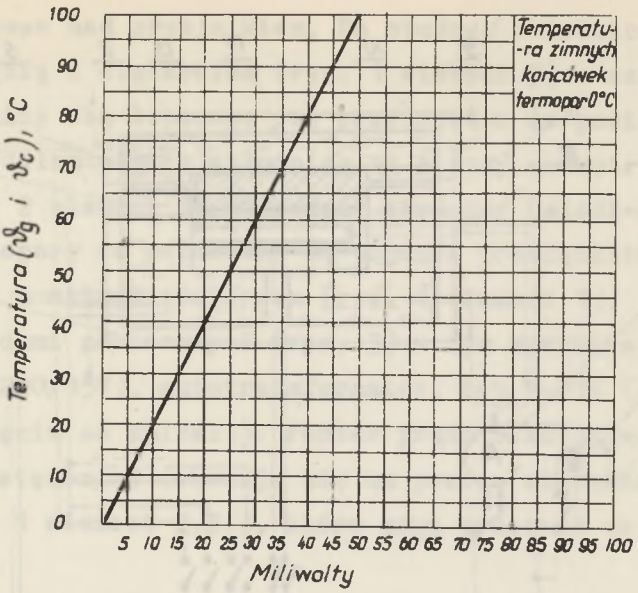
I - natężenie prądu przepływającego przez spiralę, ampery (A).

Zainstalowany przełącznik (rys. 1 element 7) pozwala nam nastawić na odpowiedni zakres pracy mierników Lavo 1. Do odczytów temperatury zastosowano miliwoltomierz RTO z termoregulatorem. Zimne końce termopar mierzących temperaturę grzania (ϑ_g) i chłodzenia (ϑ_c) umieszczone są w termostacie (rys. 1 element 13) wypełnionym w czasie pomiarów lodem. Temperatura w tym

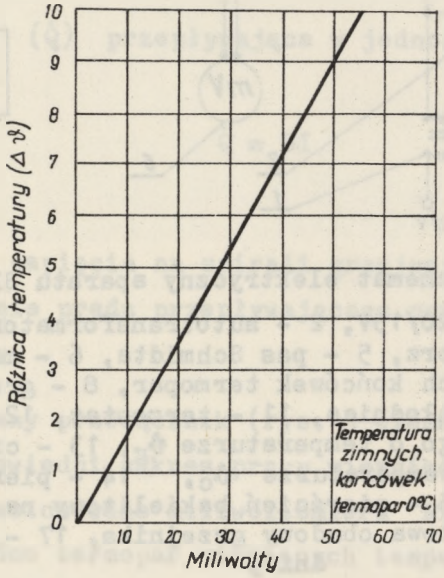


Rys. 3. Schemat elektryczny aparatu SPM-1

1 - transformator 220/15V, 2 - autotransformator, 3 - woltomierz, 4 - amperomierz, 5 - pas Schmidta, 6 - miliwoltomierz, 7 - termostat zimnych końcówek termopar, 8 - grzejnik, 9 - badana próbka, 10 - chłodnica, 11 - termostat, 12 - ciecz ultratermostatu pierwszego o temperaturze ϑ_g, 13 - ciecz ultratermostatu drugiego o temperaturze ϑ_c, 14 - pierścień izolacyjny (muskowit), 15 - pierścień bakielitowy na chłodnicy, 16 - izolacja azbestowa obudowy grzejnika, 17 - obudowa chłodnicy



Rys. 4. Wykres do odczytywania temperatury grzania (ϑ_g) i chłodzenia (ϑ_c)



Rys. 5. Wykres do odczytywania różnicy temperatury ($\Delta\vartheta$), między dolną (nagrzewana), a górną (chłodzona) powierzchnią badanej próbki

termostacie utrzymywana jest w około $0^{\circ}C$ i jest przez cały czas pomiarów kontrolowana termometrem (rys. 1 element 14). Pomiary temperatur dokonywane są z dokładnością $\pm$ $1,5^{\circ}C$. Przy wyznaczaniu faktycznej temperatury grzania i chłodzenia oraz różnicy $(\Delta\vartheta)$ posługujemy się wykresami (rys. 4, 5), które sporządzono na podstawie przecechowania miliwoltomierza i poszczególnych zespołów termopar z przyrządami wzorcowymi. Omówiony aparat zasilany jest z sieci prądu zmiennego o napięciu 220 Wolt. Może on pracować przy różnicy temperatur między grzejnikiem a chłodnicą w granicach od 2° do $20^{\circ}C$. Jednak najoptymalniejsze warunki pracy tego aparatu są, gdy różnica $(\Delta\vartheta)$ temperatur wynosi około $10^{\circ}C$, a temperatura pomiarów wynosi średnio $20^{\circ}C$.

Omówienie wzoru przyjętego do obliczenia współczynnika przewodzenia ciepła skał

Z teorii wymiany ciepła wiadomo, że na stykach próbki z powierzchnią grzejnika i chłodnicy istnieje pewien spadek temperatury wywołany tak zwanym oporem kontaktowym [43, 45, 47]. Opór ten pochodzi stąd, że niemożliwe jest zapewnienie idealnego styku (na całej powierzchni próbki) dwu warstw wskutek nierówności powierzchni. W celu zmniejszenia oporu wszystkie próbki szlifowano i polerowano. W ten sposób powiększono gładkość ich powierzchni, w wyniku czego zwiększono ilość miejsc styku rozdzielonych pustymi przestrzeniami wypełnionymi zwykle powietrzem.

Wzór na wyznaczenie współczynnika przewodzenia ciepła (λ) w warunkach idealnych ma postać

$$\lambda = \frac{\dot{Q}\,\delta}{A\,\Delta\vartheta}\ \frac{W}{m\ deg} \qquad (12)$$

gdzie:

$\dot{Q} = U\ I$ - energia przepływająca w jednostce czasu $\frac{J}{s} = W$,

U - napięcie prądu, V,

I - natężenie prądu, A,

δ - grubość próbki, m,

A - pole powierzchni próbki, m^2,

$\Delta\vartheta$ - różnica temperatury między dwoma powierzchniami próbki, deg.

Opór cieplny w ogólnym ujęciu ma postać

$$R = \left(\frac{\delta}{\lambda}\right) = \frac{A\Delta\vartheta}{\dot{Q}} \quad \frac{m^2\ deg}{W} \tag{13}$$

W opór ten (R) wchodzą: opór cieplny r_p badanej próbki, opór cieplny r_a warstw powietrza na powierzchni wewnętrznej grzejnika i chłodnicy

$$R = r_p + r_a \tag{14}$$

gdzie:

$R = \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)$ - całkowity opór cieplny przy mierzeniu współczynnika przewodzenia ciepła próbek,

$r_p = \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_p$ - opór cieplny próbki,

$r_a = \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_a$ - opór cieplny warstw powietrza powierzchni grzejnika i chłodnicy.

Z równania (14) wynika

$$r_a = R - r_p \tag{15}$$

$$\left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_a = \left(\frac{\delta}{\lambda}\right) - \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_p \tag{16}$$

Różnica pomiędzy mierzoną wartością całkowitego oporu cieplnego (R) a opornością znanej próbki (r_p) daje wartość wszystkich oporów wewnętrznych (r_a). W celu wyskalowania aparatu przyjęto za próbkę wzorcową krążek aluminium o znanym współczynniku $\lambda_A = 203{,}325 \frac{W}{m\ deg}$, o grubości 0,0112 m i powierzchni 0,0017 m^2. Wstawiając dane próbki wzorcowej do wzoru na opór cieplny, stąd

$$\left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_a = \frac{A\Delta\vartheta}{Q} - \frac{\delta}{\lambda_A} \tag{17}$$

gdzie:

$A = 0{,}0017\ m^2$,
$\delta = 0{,}0112$ m,
$\Delta\vartheta = 3{,}15$ deg,
$\lambda_A = 203{,}325 \frac{W}{m\ deg}$,
$I = 0{,}346$ A
$U = 8{,}2$ V
$\Big\}\ \dot{Q} = UI.$

Wstawiając do wzoru (17) wyżej podane wartości liczbowe otrzymujemy:

$$r_a = \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_a = 1{,}988.10^{-3} - 0{,}051.10^{-3} = 0{,}11.10^{-3}$$

$$r_a = 0{,}11 \cdot 10^{-3}$$

więc opór cieplny próbki wyniesie

$$r_p = \left(\frac{\delta}{\lambda}\right)_p = \frac{A\Delta\vartheta}{Q} - 0{,}11.10^{-3}$$

Ostateczny wzór do wyznaczenia współczynnika przewodzenia ciepła skał i węgli na aparacie SMP-1 ma postać

$$\lambda_p = \frac{\dot{Q}\,\delta_p}{A\Delta\vartheta - 0{,}11.10^{-3}\,\dot{Q}} \frac{W}{m\ deg} \tag{18}$$

Gładkość powierzchni próbek badanych porównywano z gładkością powierzchni wzorcowego krążka aluminium. Wyrównywanie i polerowanie powierzchni próbek kończono z chwilą dokładnego przylegania każdej próbki do powierzchni elementu grzejnego i chłodnicy.

Pomiary współczynnika przewodzenia ciepła λ skał i węgli wykonano w warunkach ustalonego przepływu ciepła w temperaturze średniej 20°C (temperatura grzania 25°C, chłodzenia 15°C). Przy pomiarach zwracano szczególną uwagę na utrzymywanie stałych temperatur w ultratermostatach.

Opis dokonywania pomiarów

Przygotowane próbki skał i węgli w postaci krążków umieszczano na górnej powierzchni grzejnika (rys. 2 element 10/1), przykrywając je następnie chłodnicą (rys. 2 element 11/3). Zwracano przy tym uwagę na dokładność przylegania próbki zarówno do powierzchni grzejnika, jak i do dolnej powierzchni chłodnicy. W tym celu chłodnicę obciążono ciężarkiem znajdującym się na dźwigni (rys. 1 element 9). Po podłączeniu aparatu do sieci elektrycznej, ustalono temperaturę w ultratermostatach. Do termostatu (rys. 1 element 13) zimnych końcówek termopar wkładano lód w celu utrzymania w nim temperatury około 0°C. Równocześnie za pomocą autotransformatora włączano grzejnik. W tym samym czasie włączano pas Schmidta, obserwując zarazem wychylenie wskazówki miliwoltomierza. Ilość energii elektrycznej pobieranej przez grzejnik regulowano autotransformatorem. O jednokierunkowym przepływie strumienia ciepła przez próbkę wskazuje nam miliwoltomierz, którego wskazówka znajduje się na skali w położeniu zerowym. Od momentu ustalenia się wskazówki miliwoltomierza w pozycji "0" odczyty dokonywano po upływie 45 minut. Po wyłączeniu przyciskiem (rys. 1 element 8)

Tablica 1

Schemat pomiarów współczynnika przewodzenia ciepła skał i węgli

Nr i rodzaj próbki oraz kierunek przepływu ciepła	Powierzchnia próbki A m^2	Grubość próbki δ m	Natężenie prądu I A	Napięcie prądu U V	Strumień ciepła $\dot{Q}$ $\frac{J}{s} = W$	Temperatura ϑ_g ^oC	Temperatura ϑ_c ^oC	Różnica temperatury $\Delta\vartheta$ deg
52								
Piaskowiec drobnoziarnisty	0,002	0,0127	0,252	6,2	1,562	24,5	18,85	5,65
Przepływ strumieni	0,002	0,0127	0,251	6,1	1,531	24,5	18,80	5,70
ciepła prostopadły	0,002	0,0127	0,251	6,1	1,531	24,5	18,80	5,70
do uwarstwienia skały								
średnie wartości	0,022	0,0127	0,2513	6,15	1,541	24,5	18,82	5,68

$$\lambda'' = \frac{\dot{Q}\,\delta}{A\Delta\vartheta - p} \quad \frac{W}{m\ deg}; \qquad \text{poprawka} - p = 0{,}11\ 10^{-3}\ \dot{Q}$$

$$\lambda'' = \frac{0{,}0196}{0{,}0114 - 0{,}0017} \quad \frac{W}{m\ deg}$$

$$\lambda'' = 1{,}75 \quad \frac{W}{m\ deg}$$

pasa Schmidta odczytywano na miernikach napięcia i natężeniu prądu elektrycznego. W dalszej kolejności za pomocą przycisków (rys. 1 element 5) odczytywano wychylenie wskazówki miliwoltomierza, odnoszące się do temperatury grzania, chłodzenia i różnicy.

Po zanotowaniu wychylenia wskazówki miliwoltomierza odczytywano na wykresie (rys. 4,5) temperaturę grzania (ϑ_g), chłodzenia (ϑ_c) i różnicę ($\Delta\vartheta$). Zapisywano również dla kontroli temperaturę wody w obydwu ultratermostatach, jak również temperaturę w termostacie zimnych końcówek termopar. Po piętnastu minutach od pierwszego odczytu powtarzano pomiar, a jeżeli w trzech lub sześciu kolejnych odczytach wartości liczbowe pomiarów nie zmieniały się wówczas dany pomiar dla jednej próbki kończono.

Schemat pomiarów współczynnika przewodzenia ciepła (λ) przedstawiono w tablicy 1.

Analiza wyników pomiarów

Z praktyki wiadomo, że wszystkie otrzymywane wyniki pomiarów doświadczeń laboratoryjnych są zawsze obarczone pewnymi błędami wynikającymi z niedokładności przyrządów. W związku z tym wykonano na każdej próbce w jednakowych warunkach trzy lub sześć pomiarów, w zależności od otrzymywanych wartości liczbowych współczynnika przewodzenia ciepła. Dla przykładu podano niżej sposób dokonywania analizy otrzymywanych wyników pomiarów, które ujęto w tablicy 2. Jak wynika z tablicy 2 pewną wątpliwość budzi pomiar 3, ponieważ może on być przypadkowy. Wartości pomiarów "wyskakujących" analizowano, posługując się poziomem ufności błędu przypadkowego $\beta = 0{,}01$. W przedstawionym przykładzie błąd średni pojedyńczego pomiaru bez uwzględnienia pomiaru "wyskakującego" wynosi:

$$S = \sqrt{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \qquad (19)$$

$$S = \sqrt{\frac{0,0008}{4}} = 0,0141 \ \frac{W}{m \ deg}$$

gdzie:

S - błąd średni standartowy.

Tablica 2

Wyniki pomiarów współczynnika przewodzenia ciepła

Żwirowiec

Numer pomiarów	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	3,62	-0,01	0,0001
2	3,62	-0,01	0,0001
3	3,76	+0,13	0,0169
4	3,61	-0,02	0,0004
5	3,62	-0,01	0,0001
6	3,62	-0,01	0,0001
n = 6	$\bar{x}$ = 3,630		$\sum$ = 0,177

Odchylenie wartości rozpatrywanego pomiaru 3 od średniej arytmetycznej pozostałych pomiarów jest

$$\frac{x_{n+1} - \bar{x}}{S} \geqslant t'\beta \qquad (20)$$

$$\frac{3,76 - 3,618}{0,0141} = \frac{0,142}{0,0141} = 10,19$$

Przy odrzuceniu pomiaru 3 i po przyjęciu $n = 5, \beta = 0{,}01, t'_\beta = 5{,}043$

$$\mathcal{E} = t'_\beta S \tag{21}$$

$$\mathcal{E} = 5{,}043 \cdot 0{,}0141 = 0{,}0711$$

$$\mathcal{E} = 0{,}0711$$

Prawdopodobieństwo bezwzględnego odchylenia wartości mierzonej o $\mathcal{E} = 0{,}0711$ jest mniejsze niż wartość 5,043 (wartość tablicowa błędu przypadkowego poziomu ufności $\beta = 0{,}01$) czyli wartość pomiaru trzeciego $\lambda = 3{,}76 \frac{W}{m\ deg}$ nie mogła być otrzymana wskutek błędu przypadkowego. Z tego też powodu pomiarów wyskakujących, jakie pojawiały się w serii doświadczeń, nie uwzględniono.

Przy ustalaniu niezbędnej ilości pomiarów, które należało wykonać dla jednej próbki przyjęto aby q_α było na poziomie ufności $\alpha = 0{,}95$. Dla $n = 5$ i $\alpha = 0{,}95$ to wartość tablicowa $t_\alpha = 2{,}015$

$$q_\alpha = \frac{t_\alpha}{\sqrt{n}}$$

$$q_\alpha = \frac{2{,}571}{\sqrt{5}} = 1{,}15$$

Otrzymana wartość wskazuje, że należało wykonać co najmniej trzy pomiary dla jednej próbki.

Dla ustalenia granicy przedziału ufności pomiarów przyjęto:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \tag{23}$$

$$S_x = \frac{0,0141}{\sqrt{5}} = \frac{0.0141}{2,2361} = 0,0063 \frac{W}{m\ deg}$$

$$\varepsilon = 2,571 \cdot 0,006 = 0,0162$$

A zatem z prawdopodobieństwa $\alpha = 0,95$ można stwierdzić, że wartość dla jednej próbki żwirowca w podanym przykładzie mieści się w granicach

$$3,6018 < \lambda < 3,6432.$$

Zakres badań

Próbki pobrano z warstw libiąskich, łaziskich, orzeskich, rudzkich i siodłowych oraz porębskich. Pobrano próbki ze skał piaszczystych, ilastych i węgli. Ilość próbek z poszczególnych warstw i rodzaju skały w ujęciu stratygraficznym przedstawiono w tablicy 3.

Na każdej pobieranej z calizny próbce znaczono białym tuszem rozciągłość i upad w celu wycięcia krążka prostopadle i równolegle do uwarstwienia. Zwracano też uwagę w czasie pobierania próbek na ich rozmiary, a to ze względu na potrzebę wykonania z nich walców w dwóch prostopadłych względem siebie kierunkach.

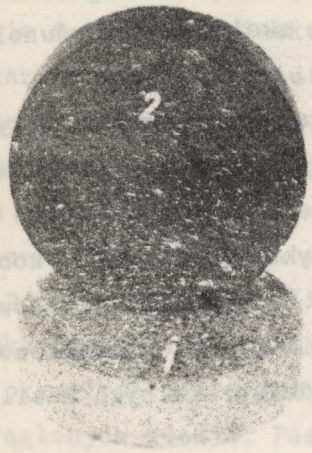
Rozmiary takiej próbki wynosiły około 20 cm^3. Próbki do badań współczynnika przewodzenia ciepła przygotowano przez wydrążenie w skale i węglu walca o średnicy 50 mm, z którego następnie wycinano na przecinarce diamentowej krążki o grubości 12÷14 mm (rys. 6), po czym szlifowano ich poziome powierzchnie i doprowadzono je do możliwie dokładnej równoległości względem siebie. Po wypolerowaniu obu powierzchni krążka spraw·

Tablica 3

Wykaz ilości przeanalizowanych próbek

Warstwy	Kopalnia	Ilość próbek z poszczególnych warstw					Razem
		Żwirowce i piaskowce gruboziarniste	Piaskowce średnio i drobnoziarniste	Mułowce i iłowce piaszczyste	Iłowce i iłowce węglowe	Węgle kamienne	
Libiąskie i łaziskie	Janina i Sobieski	4	17	5	14	14	54
Orzeskie	Knurów	3	10	4	4	4	4
Rudzkie	Knurów	3	7	2	2	2	16
	Sośnica	2	4	3	2	3	14
	Makoszowy	2	5	2	3	3	15
	Jastrzębie	2	9	4	7	7	29
Siodłowe	Knurów	1	3	3	3	2	12
	Sośnica	1	5	3	3	3	15
	Jastrzębie	2	8	3	3	4	20
Porębskie	Knurów	4	8	3	4	3	22
R a z e m		24	76	32	45	45	222

dzano nikrometrycznie ich gładkość i równość. Po wykonaniu walca, z reszty próbki wykonano płytki cienkie (szlify) oraz po uśrednieniu materiału kierowano do dalszych oznaczeń. W celu stwierdzenia czy istnieją jakieś zależności między charakterem petrograficznym i własnościami fizyko-mechanicznymi, a współczynnikiem przewodzenia ciepła, określano ilościowy skład mineralny. Dla żwirowców i piaskowców wykonano analizę sitową (na materiale uśrednionym), liczba (współczynnik) wysortowania, charakter ziarn (okrągłe, owalne i słabo zaokrąglone) i własności fizyko-mechaniczne (gęstość przestrzenną i gęstość masy, liczbę porowatości, nasiąkliwość, wytrzymałość mechaniczną na zgniot). Wszystkie wyznaczone własności fizyczne skał wykonano metodami klasycznymi. Natomiast współczynnik przewodzenia ciepła badano na aparacie SPM-1, wykonanym specjalnie dla tego celu, a omówiony już w poprzednim rozdziale.



Rys. 6. Fotografia krążków
Poziomo ułożony krążek (1) - piaskowiec wycięty prostopadle do uwarstwienia, pionowo położony krążek (2) - iłowiec wycięty równolegle do uwarstwienia

Pełną analizę sitową wykonano dla żwirowców i piaskowców oraz mułowców i iłowców piaszczystych. Natomiast dla iłowców i iłowców węglowych określono tylko klasy powyżej i poniżej 0,06 mm. W tym celu próbki kilkakrotnie zamrażano przy temperaturze $-20^{\circ}C$ aż do całkowitego zniszczenia ich struktury. Następnie materiał moczono w wodzie w czasie 24 godzin w celu do-

kładnego rozdzielenia od siebie ziarn. Po wysuszeniu w 105°C i skwartowaniu wydzielono 100 gram materiału do analizy sitowej o następującym zestawie sit powyżej 2,0; 2,0÷1,0; 1,0÷0,5; 0,5÷0,25; 0,25÷0,12; 0,12÷0,06 i poniżej 0,06. Współczynnik przewodzenia ciepła (λ) określono na krążkach o wymiarach podanych uprzednio. Krążki wycinano ze skał i węgli równolegle i prostopadle do ich uwarstwienia (rys. 6).

Pomiaru dokonano w ustalonych warunkach termicznych przy średniej temperaturze 20°C, na wybranych tylko próbkach (krążkach) określono dodatkowo λ przy średniej temperaturze 30, 40, 50, 60°C. Te dodatkowe pomiary podyktowane zostały koniecznością stwierdzenia wpływu temperatury na wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła skał i węgli. Wyznaczono również λ na próbkach wydzielonych odmian skalnych nawilgoconych wodą.

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BADANYCH SKAŁ I WĘGLI GÓRNOŚLĄSKICH

Skały górnośląskiego karbonu zostały zbadane petrograficznie przez J. Kuhla [36, 37] i określone zostały ich własności fizyko-mechaniczne. Badacz ten dokonał klasyfikacji tych skał w oparciu o badania mineralogiczne i petrograficzne. Przedstawimy tutaj jedynie te własności skał, które zostały przez autora zbadane przy wyznaczaniu ich współczynnika przewodzenia ciepła.

Zwirowce i piaskowce gruboziarniste

Analizowane żwirowce i piaskowce gruboziarniste posiadają strukturę psefitową i psamitową, teksturę bezładną, barwę od jasnokremowej (warstwy libiąskie) do ciemnoszarej (warstwy siodłowe). Cechują się one na ogół wyrównanym uziarnieniem. Jedynie żwirowce i piaskowce gruboziarniste z warstw porębskich wykazują w uziarnieniu dość duży rozsiew. Frakcję podstawową tworzą w nich ziarna o średnicy pow. 2,0 mm. Frakcja ta ilościowo waha się 29,0÷89,1% (gramowy). Pod względem wysortowania (jednorodności) wykazują one liczbę (współczynnik), wyznaczoną na podstawie analizy ziarnowej, w granicach od 1,11 do 2,88 (tablica 5). Ziarna budujące omawiany typ skały są w większości słabo zaokrąglowe. Analiza ilościowa wykazała, że okrągłych ziarn jest 4÷25%, owalnych 7÷26%, a słabo zaokrąglonych 49÷85%. Poszczególne ziarna spojone są spoiwem ilastym, krzemionkowym i węglanowym. Ilościowo najwięcej notuje się spoiwa ilastego lub ilasto-krzemionkowego.

Spoiwo w analizowanych żwirowcach i piaskowcach gruboziarnistych waha się ilościowo 3÷9% objętościowy (tablica 4).

W składzie mineralnym przeważa kwarc nad skaleniami i łyszczykami (biotyt, muskowit i serycyt) oraz węglanami (syderyt i kalcyt). W dość dużym procencie występują okruchy skał obcych (kwarcyt, łupek kwarcytowy, piaskowiec i skały magmowe). Podrzędnie natomiast występują piryt i limonit oraz minerały ciężkie (cyrkon rutyl, granat, magnetyt). Gęstość przestrzenna waha się średnio od $2,26.10^3$ (warstwy libiąskie) do $2,57.10^3 \frac{kg}{m^3}$ (warstwy porębskie) gęstość masy od $2,675.10^3$ (warstwy libiąskie) do $2,770.10^3 \frac{kg}{m^3}$ (warstwy porębskie). Największą liczbą porowatości (porowatością względną) odznaczają się żwirowce i piaskowce gruboziarniste z warstw libiąskich

Tablica 4

Charakterystyka mineralogiczna żwirowców i piaskowców gruboziarnistych

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbki m	Numer próbki	Rodzaj i ilość spoiwa	Skład mineralny, % objętościowy								
					Kwarc	Chalcedon	Skalenie	Łyszczyki	Węglany	Substancja ilasta	Substancja organiczna	Piryt i minerały ciężkie	Okruchy skał obcych
Warstwy libiąskie i łazińskie	Janina i Sobieski	410	1	i x) 5,1	60,0	0,2	28,0	2,0	1,1	5,0	-	0,8	4,9
		120	2	i 7,0	61,5	1,0	25,1	1,0	0,8	4,5	-	0,6	6,1
		350	3	i 4,2	58,1	1,0	30,0	1,5	1,0	2,9	-	-	5,5
		300	4	i 3,3	60,0	0,5	22,0	0,5	-	12,1	-	0,1	4,8
Warstwy orzeskie	Knurów	450	5	i 3,8	62,0	2,0	16,7	1,5	2,8	1,8	0,6	0,1	12,5
		450	6	i 3,0	58,0	1,0	18,0	0,8	2,2	2,0	0,1	0,2	18,7
		450	7	i 6,5	60,1	1,5	20,0	0,1	1,5	5,0	1,0	0,1	10,7
Warstwy rudzkie		450	8	i 4,0	58,6	-	20,8	1,0	-	4,0	1,0	0,1	14,5
		450	9	i 3,0	67,1	6,5	16,2	1,7	-	2,2	-	0,5	6,8
		550	10	i 3,0	60,0	8,0	13,0	1,0	1,6	12,0	0,1	0,2	3,1
	Sośnica	385	11	w 6,0	59,0	2,1	17,7	0,5	4,2	3,0	2,5	0,6	10,4
		385	12	k 7,0	60,1	5,1	13,4	-	2,4	2,6	2,0	1,2	13,2
	Makoszowy	530	13	k 4,0	66,0	4,0	12,0	1,1	3,0	3,5	1,0	0,3	11,1
		400	14	k 5,0	60,3	6,0	19,0	1,0	2,5	4,5	1,2	0,8	4,7
	Jastrzębie	400	15	i 7,0	70,0	2,2	11,7	3,0	5,1	4,3	1,6	2,1	-
		520	16	i 9,0	69,5	1,0	10,2	2,0	3,0	2,1	1,1	1,3	12,8
Warstwy siodłowe	Knurów	490	17	k 2,0	51,0	3,0	15,0	4,0	11,0	10,0	-	1,0	5,0
	Sośnica	385	18	i 3,0	69,0	2,0	11,0	2,0	6,0	7,9	-	1,2	0,9
	Jastrzębie	520	19	k 6,0	60,0	10,5	11,0	3,0	0,5	3,0	-	0,3	11,7
		400	20	i 5,0	59,1	3,0	14,0	2,5	1,0	5,0	0,8	0,1	14,4
Warstwy porębskie	Knurów	550	21	i 5,4	67,0	1,0	9,1	1,4	1,0	5,6	-	0,5	14,4
		550	22	i 1,0	62,0	2,0	2,0	1,0	1,0	7,0	-	1,1	23,9
		650	23	k 4,0	65,0	2,0	9,0	0,1	1,0	6,2	-	0,7	6,0
		650	24	k 3,0	63,0	1,2	11,0	0,9	2,1	8,0	-	0,6	5,1

x) i - przewaga spoiwa ilastego, k - krzemionkowego, w - węglanowego

Tablica 5

Charakterystyka ziarnowa żwirowców i piaskowców gruboziarnistych

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbki m	Numer próbki	Skład ziarnowy, % grawowy							Liczba (współczynnik) wysortowania S_o	Rodzaj ziarn, % ziarnowy		
				klasa, mm								Okrągłe	Owalne	Słabo zaokrąglone
				<2,0	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,12	0,12-0,06	>0,06				
Warstwy libiąskie i łaziskie	Janina i Sobieski	410	1	71,5	20,0	3,1	0,3	-	-	5,1	1,20	26	25	49
		120	2	60,0	14,0	5,8	4,0	4,0	5,2	7,0	1,33	21	20	59
		250	3	58,7	20,1	10,0	7,0	-	-	4,2	1,42	25	26	49
		300	4	89,1	7,0	0,6	-	-	-	3,3	1,11	23	21	56
Warstwy orzeskie	Knurów	450	5	38,6	18,0	16,8	13,4	10,0	-	3,8	1,73	5	22	73
		450	6	33,8	34,0	13,4	9,0	6,0	0,8	3,0	1,71	7	20	73
		450	7	44,1	20,0	19,4	5,0	2,5	2,5	6,5	1,75	9	18	73
Warstwy rudzkie		450	8	29,0	21,4	28,8	14,2	3,2	-	3,4	1,71	4	7	89
		450	9	29,4	28,4	15,0	14,6	10,0	-	2,6	1,75	13	17	70
		550	10	39,2	25,0	17,6	11,0	4,4	-	2,8	1,76	9	13	78
	Sośnica	385	11	29,2	26,4	20,2	13,8	5,0	-	5,4	1,74	10	16	74
		385	12	37,3	25,3	18,7	10,7	1,9	-	6,1	1,93	12	18	70
	Makoszowy	530	13	40,1	26,2	15,0	15,0	-	-	3,7	1,84	20	25	55
		400	14	29,0	27,0	20,0	20,0	-	-	4,0	2,00	18	20	62
	Jastrzębie	400	15	45,0	28,0	10,0	10,0	-	-	7,0	1,53	18	21	61
		520	16	59,0	20,0	15,0	-	-	-	8,0	1,21	20	23	56
Warstwy siodłowe	Knurów	450	17	44,0	23,0	18,2	5,6	2,6	5,2	1,4	1,87	8	9	83
	Sośnica	385	18	39,5	35,3	23,0	-	-	-	2,2	1,44	12	18	70
	Jastrzębie	520	19	38,0	20,4	17,0	14,2	5,0	-	5,4	1,87	14	14	84
		400	20	19,6	19,0	16,4	15,0	15,8	10,0	4,2	2,88	19	20	61
Warstwy porębskie	Knurów	550	21	30,6	26,4	16,0	14,0	5,0	1,2	5,8	2,64	10	11	78
		550	22	66,0	16,8	9,4	3,8	2,6	1,2	0,2	1,24	4	11	85
		650	23	75,2	10,4	7,2	3,3	2,2	0,4	0,3	1,21	11	17	72
		650	24	49,2	24,0	13,2	6,8	3,4	0,4	3,0	1,37	10	11	79

Tablica 6

Własności fizyko-mechaniczne żwirowców i piaskowców gruboziarnistych

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbki	Nr próbki	Gęstość przestrzenna $\varrho \frac{kg}{m^3}$	Gęstość masy $\gamma \frac{kg}{m^3}$	Liczba porowatości (porowatość względna) %	Nasiąkliwość %	Wytrzymałość mechaniczna na zgniot $R_c \frac{N}{m^2}$
Warstwy libiąskie i łaziskie	Janina i Sobieski	410	1	10^3 2,42	10^3 2,760	12,69	4,34	10^5 142,202
		120	2	2,11	2,590	16,59	6,52	73,553
		350	3	2,23	2,649	16,91	6,53	147,105
		300	4	2,13	2,610	18,85	7,40	93,167
Warstwy orzeskie	Knurów	450	5	2,51	2,610	3,40	1,35	882,630
		450	6	2,37	2,570	4,32	1,17	1117,998
		450	7	2,32	2,640	1,12	0,69	1098,384
Warstwy rudzkie		450	8	2,37	2,570	7,25	3,07	755,139
		450	9	2,43	2,650	7,93	3,25	1176,840
		550	10	2,34	2,615	10,61	4,53	549,192
	Sośnica	385	11	2,51	2,600	3,31	1,32	711,988
		385	12	2,57	2,600	7,24	2,98	686,490
	Makoszowy	530	13	2,59	2,599	2,90	9,99	802,213
		400	14	2,57	2,670	3,49	1,34	706,104
	Jastrzębie	400	15	2,61	2,690	3,01	1,00	294,210
		520	16	2,56	2,710	5,50	1,78	598,227
Warstwy siodłowe	Knurów	450	17	2,58	2,690	3,92	0,81	990,507
	Sośnica	385	18	2,69	2,770	2,53	0,95	980,700
	Jastrzębie	520	19	2,42	2,650	7,74	2,64	1629,823
		400	20	2,68	2,76	4,40	1,38	1549,506
Warstwy porębskie	Knurów	550	21	2,31	2,640	5,03	2,00	1274,910
		550	22	2,54	2,620	2,76	1,08	627,648
		650	23	2,55	2,630	2,80	1,09	1059,156
		650	24	2,63	2,770	2,92	1,11	1108,191

(12,69-18,85%). Z warstw orzeskich, rudzkich, siodłowych i porębskich żwirowce i piaskowce gruboziarniste wykazują liczbę porowatości od 1,12 do 10,61%. Nasiąkliwość tych żwirowców waha się w granicach od 0,69 do 7,40%. Wytrzymałość mechaniczna omawianych skał wykazuje dość dużą rozpiętość od $73,4.10^5$ do $1630,4.10^5 \frac{N}{m^2}$ (tablica 6). Ta duża rozpiętość w wytrzymałości mechanicznej żwirowców wynika ze stopnia ich zwięzłości, zdiagenezowania i rodzaju spoiwa w nich występującego. Szczegółowe wyniki otrzymane z badań żwirowców i piaskowców gruboziarnistych przedstawiono w tablicy 4, 5, 6.

Piaskowce średnio i drobnoziarniste

Piaskowce średnio i drobnoziarniste posiadają strukturę (tablica 7) psamitową i aleurytową oraz psamitowo-aleurytową, teksturę natomiast bezładną, barwę jasnoszarą, szarokremową, szarą do ciemnoszarej. Pod względem uziarnienia odznaczają się one na ogół słabym wysortowaniem ziarn (tablica 8). Analiza sitowa wykazała, że piaskowce te wykazują dwa zasadnicze przedziały (1,0÷0,5 i 0,5÷0,12) frakcja podstawowa, niekiedy ilościowo osiąga ok. 58% (gramowy). Liczba (współczynnik) wysortowania (S_o) waha się 1,16÷4,10. W piaskowcach tych w większości występują ziarna słabo zaokrąglone. Ilościowo ziarna okrągłe nie przekraczają 20% i wahają się od 2 do 20%, owalne natomiast od 8 do 35%, a słabo zaokrąglonych jest w tych skałach od 36 do 90% (tablica 8).

Spoiwo ilaste przeważa w tych piaskowcach nad krzemionkowym i węglanowym. Planimetrycznie stwierdzono w nich spoiwa od 4,0 do 21,9% obj. (tablica 7). Gęstość przestrzenna omawianych piaskowców waha się od $2,06.10^3$ do $2,75.10^3 \frac{kg}{m^3}$, a gęstość masy

Tablica 7

Charakterystyka mineralogiczna piaskowców średnio i drobnoziarnistych

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbek m	Numer próbki	Rodzaj i ilość spoiwa % objętościowy		Skład mineralny, % objętościowy								
						Kwarc	Chalcedon	Skalenie	Łyszczyki	Węglany	Substancja ilasta	Substancja organiczna	Piryt i minerały ciężkie	Okruchy skał obcych
1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11	12	13	14
Warstwy libiąskie	Janina	300	25	i	17,0	36,2	8,0	26,0	8,0	-	9,0	-	0,6	12,2
		350	26	k	14,8	49,4	11,1	22,0	3,3	2,0	3,7	1,0	0,9	12,6
		300	27	i	7,0	32,0	4,0	20,0	2,0	12,0	3,0	-	0,2	26,8
		300	28	i	16,8	45,2	8,8	28,0	3,0	4,0	8,0	-	1,2	1,8
		300	29	i	14,0	43,1	2,0	25,0	2,0	15,0	12,0	-	1,0	1,9
		300	30	i	12,0	36,8	7,2	27,0	5,0	6,0	12,0	-	2,6	3,4
		300	31	i	9,5	32,4	2,3	20,0	2,3	-	7,2	-	1,6	34,2
		300	32	i	10,3	30,0	1,3	8,0	2,7	15,0	9,0	-	-	34,0
		410	33	i	16,0	56,0	6,0	8,5	2,5	6,0	10,0	2,0	1,4	6,6
		300	34	i	8,1	50,9	4,1	12,5	3,5	3,9	4,0	2,1	0,5	18,5
		410	35	i	14,8	32,3	4,8	21,2	9,6	7,4	10,0	13,0	0,2	1,5
		300	36	i	14,0	38,5	2,0	20,5	10,0	2,0	12,0	0,5	1,1	3,4
		380	37	k	3,0	52,0	3,0	11,0	4,0	3,0	-	0,5	0,1	26,8
Warstwy łaziskie	Sobieski	215	38	i	9,8	35,0	3,4	35,6	3,6	4,4	6,0	2,0	0,2	10,8
		215	39	i	13,0	55,0	5,0	4,0	3,0	4,0	8,0	4,0	2,6	12,4
Warstwy libiąskie	Janina	410	40	i	15,2	50,8	5,2	12,0	4,0	1,0	10,0	1,5	0,8	14,7
		410	41	i	13,0	57,0	5,0	7,0	1,5	0,8	12,0	1,2	-	15,5
Warstwy orzeskie	Knurów	200	42	i	11,9	36,0	3,0	18,0	3,0	16,0	18,9	-	0,1	5,0
		350	43	i	11,8	47,0	1,8	18,0	4,2	5,0	10,0	4,0	2,2	6,8
		550	44	i	8,0	65,0	2,0	9,0	1,0	0,5	6,0	-	0,8	15,3
		350	45	i	10,0	60,0	8,0	13,0	1,0	1,6	12,0	0,1	0,2	3,1
		450	46	i	10,0	54,0	2,0	8,0	4,0	10,0	8,0	2,0	0,5	11,3
		450	47	i	9,5	59,0	4,5	23,0	2,5	-	5,0	-	0,1	6,4
		450	48	i	13,0	51,0	3,0	15,0	4,0	11,0	10,0	-	1,0	5,0
		450	49	k	6,0	70,0	3,0	8,0	1,0	6,0	3,0	-	0,5	8,5
		450	50	k	5,0	69,5	6,0	7,2	1,0	6,0	3,0	-	1,2	6,1
		450	51	k	9,0	72,0	7,0	4,1	4,9	5,0	2,0	-	1,0	4,0

x) i - spoiwo ilaste, k - spoiwo kwarcowe

cd. tablicy 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Warstwy orzeskie	Knurów	350	52	i 14,0	51,0	2,0	18,5	2,0	4,0	12,0	2,0	0,8	7,7
		350	53	i 17,0	30,0	6,0	26,5	4,1	5,0	11,0	3,0	0,9	8,5
		350	54	i 5,0	48,0	3,0	17,0	2,2	8,0	2,0	2,1	1,0	16,7
		350	55	i 14,0	30,0	7,0	27,0	5,0	12,0	7,0	4,0	0,6	7,4
		350	56	i 11,6	50,0	5,0	14,2	2,5	10,0	6,6	6,7	1,1	4,9
		350	57	i 9,0	54,0	3,0	18,0	5,0	26,0	6,0	2,0	1,2	-
		350	58	w 7,5	60,0	3,0	18,0	4,5	-	5,8	2,0	0,1	6,6
	Sośnica	385	59	i 6,0	26,0	4,0	11,1	24,9	3,0	22,0	2,0	2,4	4,6
		550	60	i 11,5	44,5	1,5	10,0	6,0	11,0	10,0	5,0	5,0	7,0
		385	61	i 7,4	51,5	1,8	13,0	12,2	2,0	5,6	0,9	1,0	12,0
		385	62	i 8,8	51,0	3,2	14,0	3,2	14,0	5,6	2,5	3,0	3,5
	Makoszowy	550	63	k 7,0	50,5	4,5	7,5	1,5	1,0	2,5	0,5	0,2	31,8
		550	64	k 8,1	52,0	5,1	9,1	2,3	0,3	3,0	0,8	0,3	26,9
		660	65	k 9,0	59,0	5,0	10,0	1,2	-	4,0	-	-	20,8
		660	66	k 4,0	61,0	2,5	8,0	1,0	1,2	1,5	1,1	-	23,7
		660	67	k 2,0	60,0	1,8	11,0	-	0,6	1,0	-	0,6	25,0
Warstwy rudzkie	Jastrzębie	260	68	i 15,0	51,0	1,0	12,0	3,0	10,0	14,0	1,0	-	8,0
		260	69	i 12,5	38,8	5,5	11,1	9,1	7,0	7,0	-	-	21,5
		260	70	i 12,0	50,0	2,0	17,0	7,0	10,0	10,0	2,0	0,6	2,4
		260	71	i*) 10,0	56,0	0,5	12,0	2,0	4,5	9,5	3,5	0,1	11,9
		260	72	i 11,0	54,0	1,0	13,0	4,0	6,0	10,0	2,0	0,6	9,4
		260	73	i 13,5	51,0	1,5	12,5	5,0	5,0	12,0	3,0	0,2	9,8
		260	74	i 11,7	55,0	2,7	16,3	5,0	1,0	9,0	-	0,1	10,9
		260	75	i 10,5	65,0	3,0	14,0	1,5	-	7,5	-	0,2	7,8
		260	76	i 12,0	50,0	5,0	11,0	3,0	-	7,0	-	0,1	23,9
Warstwy siodłowe	Knurów	550	77	k 8,0	51,0	5,0	10,0	2,0	1,0	3,0	1,0	0,3	27,7
		550	78	k 8,5	55,0	6,0	9,0	1,5	1,5	2,5	1,5	0,7	22,2
		550	79	k 9,0	54,0	7,0	11,0	2,0	1,0	2,0	1,0	0,6	21,4
	Sośnica	550	80	i 5,2	56,0	3,2	10,0	10,0	4,0	2,0	1,0	1,0	12,8
		550	81	i 8,0	58,0	2,0	8,0	1,0	8,0	6,0	1,0	0,1	15,9
		550	82	k 9,7	54,0	4,0	10,0	2,0	6,5	5,7	1,2	0,8	15,8
		550	83	k 9,8	55,0	5,0	11,2	1,5	6,0	4,8	0,9	0,3	15,3
		550	84	i 8,2	60,0	3,2	9,1	2,0	5,5	5,0	1,0	0,2	14,0

cd. tablicy 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Warstwy siodłowe	Jastrzębie	260	85	w 15,0	46,9	2,0	15,0	1,0	10,0	3,0	1,0	0,5	22,6
		520	86	k 7,1	53,1	6,1	11,0	2,0	5,0	1,0	1,0	0,8	20,0
		260	87	i 4,0	52,0	2,0	18,0	1,5	12,0	2,0	-	0,9	11,6
		520	88	k 12,0	54,0	1,0	9,0	6,0	10,0	11,0	0,5	1,2	7,3
		260	89	w 7,9	44,0	2,5	19,0	2,8	18,0	5,4	-	2,3	6,0
		260	90	i 6,1	45,0	2,0	20,0	2,0	21,0	4,1	-	1,9	4,0
		260	91	w 9,0	40,0	3,0	21,5	1,0	0,2	6,0	-	0,3	28,0
		260	92	i 12,0	46,5	4,0	12,5	2,0	0,5	8,0	0,5	2,5	23,9
Warstwy porębskie	Knurów	550	93	k 10,5	48,9	6,5	20,0	2,0	5,0	4,0	0,5	1,0	12,1
		550	94	k 14,1	51,0	7,1	12,0	2,0	6,0	7,0	-	-	14,9
		550	95	i 5,8	50,0	3,8	19,2	3,0	9,0	2,0	0,5	1,5	11,0
		550	96	i 10,4	54,6	1,0	15,4	3,6	1,0	10,4	-	0,2	12,8
		650	97	k 12,2	55,0	4,2	11,0	4,0	3,0	8,0	1,2	0,2	18,4
		650	98	k 10,1	53,0	3,1	12,0	1,0	2,0	7,0	2,0	1,3	18,6
		650	99	k 7,5	58,0	6,5	9,9	2,0	5,0	2,0	1,0	1,0	14,6
		550	100	k 4,0	50,0	3,0	16,0	2,0	2,3	1,0	2,0	0,9	23,6

x) i - przewaga spoiwa ilastego, k - krzemionkowego, w - węglanowego

Tablica 8

Charakterystyka ziarnowa piaskowców średnio i drobnoziarnistych

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbki m	Numer próbki	Skład ziarnowy, % gramowy							Liczba (współczynnik) wysortowania	Rodzaj ziarn, % ziarnowy		
				klasy, mm								Okrągłe	Owalne	Słabo zaokrąglone
				<2,0	2,0÷1,0	1,0÷0,5	0,5÷0,25	0,25÷0,12	0,12÷0,06	>0,06				
		300	25	2,1	19,5	39,1	20,7	11,4	5,4	1,8	1,68	11	22	67
		350	26	0,4	6,8	32,6	32,4	15,6	5,6	6,6	1,55	10	28	62
		300	27	2,0	28,0	46,1	14,2	5,4	3,6	0,7	1,95	10	24	66
		300	28	0,2	23,8	58,2	8,6	3,8	2,2	3,2	1,20	12	27	61
		300	29	-	6,5	47,6	32,0	8,4	4,4	1,1	1,47	8	16	76
Warstwy libiąskie	Janina	300	30	1,6	0,6	13,2	44,4	21,4	12,2	6,6	1,16	18	40	42
		300	31	0,7	13,6	38,4	27,1	12,6	5,3	2,2	1,34	15	20	65
		300	32	3,6	32,6	39,7	14,6	4,6	3,2	1,7	1,69	20	28	52
		410	33	0,1	12,2	21,8	34,8	20,3	9,2	1,6	1,73	20	24	36
		300	34	1,0	10,1	40,6	34,0	8,0	5,1	1,2	1,54	4	10	86
		410	35	-	-	3,2	28,0	38,0	18,6	12,2	1,68	17	34	49
		300	36	1,4	22,0	35,4	25,2	10,0	4,2	1,8	1,56	13	26	61
		350	37	2,4	8,4	23,6	33,0	18,8	8,6	5,2	1,72	4	11	85
Warstwy łaziskie	Sobieski	215	38	2,0	20,2	48,2	14,0	6,2	4,6	4,8	1,50	10	24	66
		215	39	0,6	1,9	16,4	52,2	15,8	7,4	5,7	1,27	6	32	62
Warstwy libiąskie	Janina	410	40	5,2	13,8	16,4	36,0	19,2	8,3	1,1	1,41	8	31	61
		410	41	0,2	14,2	17,0	31,6	22,4	8,6	6,0	1,69	14	30	56
		200	42	1,0	4,0	22,8	14,2	23,4	17,8	16,8	2,25	11	23	66
		350	43	-	4,8	20,0	13,4	21,4	22,4	18,2	3,52	10	20	70
		350	44	-	1,0	17,2	21,6	32,4	14,2	13,2	2,13	10	17	73
		350	45	1,4	4,4	25,0	39,2	17,6	9,6	2,8	3,81	9	13	78
		450	46	5,0	15,8	20,2	34,0	16,0	7,0	2,0	1,51	13	16	71
		450	47	-	1,3	11,6	41,0	22,4	12,0	12,0	2,23	17	26	57
		450	48	12,0	18,0	25,2	15,6	12,6	5,2	11,4	2,02	8	9	83
		450	49	-	0,4	12,0	48,0	23,0	11,0	5,6	2,81	5	12	83
Warstwy orzeskie	Knurów	450	50	-	1,0	13,0	45,0	22,0	10,0	9,0	2,04	6	10	84
		450	51	-	1,3	10,0	46,0	21,0	9,0	12,5	2,02	5	16	79

cd. tablicy 8

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbki m	Numer próbki	Skład ziarnowy, % grawowy							Liczba (współczynnik wysortowania S_o	Rodzaj ziarn, % ziarnowy		
				klasy, mm								Okrągłe	Owalne	Słabo zaokrąglone
				2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,12	0,12-0,06	0,06				
Warstwy orzeskie	Knurów	350	52	-	6,0	18,6	13,2	15,8	19,2	27,2	2,03	4	12	84
		350	53	-	5,0	20,0	20,0	25,0	10,0	20,0	1,87	7	13	80
		350	54	-	9,4	27,0	12,6	11,0	14,4	25,6	3,16	5	14	81
		350	55	-	13,4	30,4	13,6	8,8	10,6	23,2	1,72	2	7	90
		350	56	-	6,4	15,8	12,8	13,8	26,0	25,2	2,24	5	30	65
		350	57	-	2,2	22,8	19,2	27,4	14,6	13,8	2,70	12	17	71
		350	58	-	-	19,0	21,6	20,0	20,6	18,8	2,23	12	16	72
Warstwy rudzkie	Sośnica	385	59	0,8	12,2	22,6	12,4	12,8	15,6	24,6	2,73	10	12	78
		550	60	-	10,6	28,0	16,2	18,0	13,4	13,8	2,51	11	11	78
		385	61	-	0,4	19,2	19,0	27,8	17,8	15,8	1,73	6	9	85
		550	62	-	4,0	22,8	17,4	31,2	15,0	19,6	1,90	12	25	63
	Makoszowy	550	63	0,2	8,6	21,2	12,8	16,6	19,4	21,1	2,73	7	14	79
		550	64	-	8,2	25,6	15,4	24,2	16,8	9,8	1,84	6	12	82
		660	65	-	8,0	27,8	14,2	15,6	15,8	18,6	1,98	2	26	73
		660	66	-	7,0	29,1	13,5	16,7	16,8	16,9	2,00	3	30	67
		660	67	-	9,5	31,0	12,3	19,0	16,2	12,0	2,21	2	28	70
	Jastrzębie	260	68	-	4,4	23,2	16,0	20,4	19,2	16,8	3,33	20	20	60
		260	69	6,6	27,8	31,6	18,4	8,0	4,3	3,3	1,80	9	11	80
		260	70	12,4	19,6	13,6	16,0	8,4	23,4	6,6	4,10	10	11	78
		260	71	2,4	13,2	38,0	21,6	13,8	9,4	1,6	1,91	10	16	74
		260	72	-	1,2	19,0	31,4	26,0	12,0	10,4	1,71	55	15	80
		260	73	-	3,0	12,8	11,4	23,4	24,4	25,0	2,37	5	12	83
		260	74	2,6	3,0	19,2	18,8	29,2	15,4	14,8	2,23	11	20	69
		260	75	0,4	10,8	46,4	20,0	11,2	7,0	4,2	1,56	11	32	57
		260	76	6,0	22,4	31,4	19,6	11,4	5,2	4,0	1,73	2	15	83

od. tablicy 8

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbki m	Numer próbki	Skład ziarnowy, % granowy							Liczba (współczynnik wysortowania S_o	Rodzaj ziarn, % ziarnowy		
				klasy, mm								Okrągłe	Owalne	Słabo zaokrąglone
				<2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,12	0,12-0,06	<0,06				
Warstwy siodłowe	Knurów	550	77	2,0	16,6	27,4	21,0	18,4	11,4	3,2	1,81	10	14	76
		550	78	2,4	20,0	21,6	20,0	16,0	18,8	1,2	2,03	9	11	80
		550	79	2,8	6,8	24,2	13,2	20,2	13,8	19,2	3,33	7	17	76
	Sośnica	50	80	-	-	19,2	34,0	24,2	11,0	11,6	2,63	14	26	60
		550	81	2,2	25,8	33,3	14,8	12,8	6,4	4,8	1,90	15	25	60
		550	82	1,2	26,1	34,1	12,6	10,6	10,0	5,4	1,92	16	28	56
		550	83	2,1	24,3	35,0	11,0	12,5	10,0	5,1	1,91	10	19	71
		550	84	2,0	27,0	36,7	16,1	11,9	6,0	0,3	1,64	12	23	65
	Jastrzębie	260	85	3,4	23,0	29,4	20,1	15,8	6,3	2,0	1,77	11	17	72
		520	86	4,4	28,2	33,0	15,2	10,8	5,6	2,8	1,77	10	21	69
		260	87	-	5,4	23,4	15,6	16,6	17,4	21,6	2,73	10	20	70
		520	88	5,5	30,3	36,4	13,6	8,3	4,5	1,4	1,77	10	12	78
		260	89	-	13,8	32,0	17,2	10,0	9,0	18,0	2,52	12	28	60
		260	90	-	7,3	25,0	19,2	13,4	28,1	7,0	2,64	15	35	50
		260	91	-	2,2	35,6	19,8	18,0	11,2	13,2	1,83	11	19	68
		260	92	4,4	33,6	30,2	19,6	6,4	3,6	2,2	1,75	10	32	58
Warstwy porębskie	Knurów	550	93	-	1,3	32,4	30,2	19,2	7,0	9,9	1,80	10	14	76
		550	94	-	4,0	17,2	17,4	19,4	16,0	26,0	2,23	9	12	79
		550	95	1,6	18,6	27,2	25,4	20,8	5,6	0,8	1,73	8	20	72
		550	96	1,1	20,0	28,0	18,0	20,0	10,0	2,9	2,64	9	18	73
		550	97	1,0	21,5	16,5	16,3	19,8	20,0	4,9	2,65	7	16	77
		650	98	1,2	20,8	24,1	19,1	16,2	18,0	0,6	1,73	10	25	65
		650	99	1,0	22,6	27,0	20,1	11,9	17,0	0,4	2,10	9	21	70
		550	100	1,3	25,0	29,0	17,8	17,0	9,0	0,9	1,84	9	31	60

Tablica 9

Własności fizyko-mechaniczne piaskowców średnio i drobnoziarnistych

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbki m	Numer próbki	Gęstość przestrzenna ϱ $\frac{kg}{m^3}$	Gęstość masy γ $\frac{kg}{m^3}$	Liczba porowatości (porowatość względna) %	Nasiąkliwość %	Wytrzymałość mechaniczna na zgniot R_c $\frac{N}{m^2}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		300	25	10^3 2,14	10^3 2,630	18,69	7,25	10^5 33,344
		350	26	2,56	2,678	10,30	3,56	490,350
		300	27	2,08	2,585	19,60	7,80	21,575
		300	28	2,11	2,590	16,60	6,52	73,553
		300	29	2,09	2,580	18,90	7,48	60,803
Warstwy libiąskie	Janina	300	30	2,22	2,650	16,20	6,58	66,688
		300	31	2,15	2,610	17,62	6,82	39,228
		300	32	2,94	2,580	17,30	6,72	245,175
		410	33	2,43	2,690	9,90	3,38	294,210
		300	34	2,06	2,600	20,00	8,32	46,093
		410	35	2,24	2,660	15,60	5,80	245,175
		300	36	2,22	2,650	16,40	6,15	137,298
		350	37	2,45	2,710	9,35	3,17	264,789
Warstwy łaziskie	Sobieski	215	38	2,15	2,590	16,72	6,54	137,298
		215	39	2,12	2,610	18,85	7,40	80,417
Warstwy libiąskie	Janina	410	40	2,42	2,760	12,70	4,35	98,070
		410	41	2,41	2,710	10,80	3,72	372,666
		200	42	2,53	2,685	5,60	2,23	490,350
		350	43	2,57	2,663	3,48	1,35	1245,489
		350	44	2,33	2,625	11,12	4,76	588,420
		350	45	2,33	2,615	10,61	4,54	549,192
		450	46	2,57	2,650	2,95	5,10	568,806
		450	47	2,35	2,660	1,13	0,72	1569,120
		450	48	2,58	2,690	3,92	1,52	892,437
		450	49	2,40	2,631	1,02	0,70	1618,155
Warstwy orzeskie	Knurów	450	50	2,32	2,640	1,12	0,69	1078,770
		450	51	2,33	2,635	1,11	0,68	1471,050

cd. tablicy 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Warstwy orzeskie	Knurów	350	52	2,53	2,710	6,60	2,60	588,420
		350	53	2,64	2,710	2,12	0,90	931,665
		350	54	2,75	2,870	4,43	1,60	708,065
		350	55	2,53	2,641	4,24	1,68	823,788
		350	56	2,66	2,720	3,72	1,40	568,806
		350	57	2,50	2,700	7,26	2,90	804,174
		350	58	2,34	2,640	9,60	4,02	549,182
		385	59	2,59	2,675	3,37	1,31	872,823
	Sośnica	550	60	2,72	2,752	1,35	0,49	1000,314
		385	61	2,62	2,730	4,01	1,53	877,727
		550	62	2,70	2,770	2,53	0,94	1000,314
		550	63	2,57	2,670	3,48	1,35	700,220
		550	64	2,44	2,580	3,80	1,58	665,895
Warstwy rudzkie	Makoszowy	660	65	2,63	2,680	1,81	0,85	426,605
		660	66	2,58	2,680	3,92	1,26	990,507
		660	67	2,32	2,640	1,12	0,69	1078,770
		260	68	2,61	2,690	3,02	0,95	292,249
		260	69	2,52	2,680	5,12	1,77	650,204
	Jastrzębie	260	70	2,68	2,760	4,40	1,38	602,150
		260	71	2,46	2,660	7,25	2,49	558,999
		260	72	2,56	2,710	5,50	1,78	588,420
		260	73	2,58	2,710	5,21	1,67	588,420
		260	74	2,61	2,720	4,31	1,37	853,209
		260	75	2,47	2,620	5,78	1,94	400,126
		260	76	2,58	2,680	3,92	1019,928	

cd. tablicy 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		550	77	2,62	2,716	3,38	1,29	725,716
	Knurów	550	78	2,70	2,740	1,40	0,52	1461,243
		550	79	2,59	2,669	2,89	0,99	790,444
		550	80	2,52	2,610	3,65	1,45	979,719
		550	81	2,65	2,710	2,12	0,80	1078,770
	Sośnica	550	82	2,58	2,680	4,60	1,25	985,604
		550	83	2,32	2,641	1,12	0,70	1039,542
		550	84	2,70	2,770	2,52	0,95	1000,314
Warstwy		260	85	2,52	2,780	9,40	3,10	604,111
siodłowe		520	86	2,52	2,690	4,60	1,49	963,047
		260	87	2,62	2,680	2,11	0,67	1588,734
		520	88	2,52	2,660	5,32	1,76	549,192
	Jastrzębie	260	89	2,56	2,700	4,60	1,50	818,885
		260	90	2,51	2,640	5,16	1,71	456,026
		260	91	2,50	2,610	5,47	1,82	411,894
		260	92	2,18	2,540	14,10	5,36	711,008
		550	93	2,53	2,660	4,55	1,80	882,630
		550	94	2,70	2,710	2,23	0,81	1598,541
		550	95	2,53	2,680	5,17	2,05	343,245
Warstwy	Knurów	550	96	2,53	2,660	4,54	1,79	833,595
porębskie		650	97	2,70	2,715	1,99	1,82	882,630
		650	98	2,52	2,661	3,31	1,70	882,630
		650	99	2,64	2,710	12,12	0,90	931,665
		550	100	2,52	2,660	5,12	1,76	666,876

od $2,540.10^3$ do $2,870.10^3$ $\frac{kg}{m^3}$ (tablica 9). Liczba porowatości (porowatość względna) waha się od 1,02 do 18,90%, nasiąkliwość od 0,49 do 8,32%. Wytrzymałość mechaniczna na zgniot od $21,6.10^5$ do $1613,7.10^5$ $\frac{N}{m^2}$. Najmniejszą wytrzymałością od $21,6.10^5$ do $490,5.10^5$ $\frac{N}{m^2}$ cechują się piaskowce z warstw libiąskich, a najwyższą od $343,4.10^5$ do 1599.10^5 $\frac{N}{m^2}$ piaskowce z warstw siodłowych i rudzkich (tablica 7, 8, 9).

Mułowce i iłowce piaszczyste

Badane mułowce posiadają strukturę aleurytowo-pelitową i pelitową. Iłowce piaszczyste cechują się strukturą pelitową, teksturą masywną, bezładną chociaż niekiedy w mułowcach ujawnia się tekstura lekko kierunkowa podkreślona przez występowanie w nich substancji organicznej (detrytu węglowego).

Barwa mułowców najczęściej jest szara, chociaż spotykana jest też barwa szaropopielata (tablica 10). Iłowce piaszczyste w większości posiadają barwę ciemnokremowoszarą. Analiza ziarnowa wykazała, że mułowce największy procent ziarn posiadają we frakcji poniżej 0,06 mm (33,2÷85,2% wagowy). W przedziale 2,0÷1,0 występują ziarna kwarcu tylko w niektórych próbkach, w ilości nie przekraczającej 6,5% (tablica 11). W składzie mineralnym mułowców oprócz pyłu kwarcowego (pon. 0,01 mm) udział biorą: w zmiennej ilości ziarna mocno przeobrażonych skaleni, łyszczyki, węglany, substancja ilasta i organiczna (detryt węglowy), piryt, limonit i minerały ciężkie oraz okruchy skał obcych (tablica 10).

Gęstość przestrzenna waha się w około $2,16.10^3$ $\frac{kg}{m^3}$, gęstość masy od $2,502.10^3$ do $2,810.10^3$ $\frac{kg}{m^3}$. Liczba porowatości (porowatość względna) utrzymuje się w granicy 2,40÷6,30%, nasiąkli-

Tablica 10

Charakterystyka mineralogiczna mułowców i iłowców piaszczystych

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbek m	Numer próbki	Skład mineralny, % objętościowy								
				Kwarc	Chalcedon	Skalenie	Łyszczyki	Węglany	Substancja ilasta	Substancja organiczna	Piryt i minerały ciężkie	Okruchy skał obcych
Warstwy libiąskie	Janina	350	101	14,0	0,1	12,3	3,0	0,8	40,0	28,0	1,1	0,7
		300	102	49,0	-	20,1	2,1	3,5	54,1	-	0,6	9,4
		300	103	32,4	1,3	16,2	1,5	4,1	41,5	2,5	0,5	-
Warstwy łaziskie	Sobieski	215	104	48,3	3,1	12,7	2,3	2,7	30,0	-	1,1	-
		215	105	31,9	2,4	16,4	3,6	3,0	36,0	5,7	1,0	-
Warstwy orzeskie	Knurów	400	106	1,8	0,5	0,9	12,1	8,0	73,2	4,0	-	-
		400	107	30,0	8,0	10,0	5,0	18,0	-	10,0	0,1	-
		400	108	60,0	16,0	6,0	3,0	12,0	-	0,5	0,1	2,4
		400	109	7,1	-	2,2	1,0	-	87,7	2,0	-	-
Warstwy rudzkie		400	110	3,7	-	3,0	0,3	-	89,0	4,0	-	-
		350	111	2,1	-	2,0	1,0	-	91,9	3,0	-	-
	Sośnica	385	112	6,5	1,5	4,0	1,0	-	42,0	5,0	-	-
		550	113	11,5	1,5	9,0	16,0	2,0	36,9	18,0	0,1	-
		550	114	7,1	0,8	18,0	19,0	1,5	28,4	25,0	0,2	-
	Makoszowy	550	115	20,5	0,5	16,3	2,4	9,6	25,0	25,0	0,7	0,3
		660	116	19,1	1,2	13,9	1,3	10,6	28,0	13,1	0,1	1,0
	Jastrzębie	400	117	10,5	1,5	12,0	1,0	8,0	63,0	3,0	1,0	-
		260	118	21,0	5,0	12,0	4,0	7,0	41,0	9,0	-	1,0
		260	119	20,0	5,4	14,6	5,0	5,0	25,0	6,0	6,0	3,0
		400	120	29,5	11,9	22,2	7,5	8,0	10,2	10,2	0,2	1,3
Warstwy siodłowe	Knurów	550	121	18,0	-	3,4	2,1	6,0	54,4	5,0	0,1	1,0
		550	122	25,6	1,0	19,0	1,0	2,7	10,0	14,0	-	1,5
		550	123	30,0	0,6	20,0	0,8	30,0	7,1	4,1	0,2	2,0
	Sosnica	550	124	58,0	2,0	8,0	1,0	8,0	6,0	17,0	-	-
		550	125	38,0	9,0	12,0	4,0	6,0	7,0	20,0	-	4,0
		550	126	13,0	2,0	6,0	3,0	2,0	58,0	12,0	-	4,0
	Jastrzębie	520	127	45,0	1,5	20,9	4,6	6,0	16,0	2,0	0,6	4,0
		520	128	17,7	4,3	13,0	8,6	11,4	30,0	10,0	0,8	4,0
		520	129	29,8	0,8	19,0	3,0	10,0	17,3	20,0	0,1	-
Warstwy porębskie	Knurów	650	130	12,0	0,8	9,1	1,2	5,0	62,5	6,1	0,2	3,1
		650	131	21,5	1,0	12,5	2,0	2,5	30,0	30,0	-	0,5
		630	132	30,0	0,9	18,0	0,1	2,0	38,0	10,0	-	1,0

Charakterystyka ziarnowa mułowców i iłowców piaszczystych

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbek m	Numer próbki	Skład ziarnowy, % gramowy					
				klasy mm					
				2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,12	0,12-0,06	>0,6
Warstwy libiąskie	Janina	350	101	0,1	2,0	4,8	6,0	10,0	77,1
		300	102	-	1,0	3,5	4,1	6,0	85,2
		300	103	1,2	5,0	4,1	5,3	7,1	73,3
Warstwy łazińskie	Sobieski	215	104	0,5	7,0	8,0	9,1	12,3	63,1
		215	105	-	2,3	3,1	5,2	10,0	79,4
Warstwy orzeskie	Knurów	400	106	-	-	4,8	19,1	27,0	49,1
		400	107	-	3,9	4,3	17,1	23,0	51,7
		400	108	-	5,6	8,1	11,3	16,1	48,9
		400	109	2,2	6,7	9,3	10,2	20,6	51,0
Warstwy rudzkie		400	110	-	5,1	6,1	6,8	12,0	70,0
		350	111	-	1,0	2,0	5,0	23,0	69,0
	Sośnica	385	112	-	1,0	1,5	3,0	29,1	75,5
		550	113	1,8	4,0	10,0	10,0	19,0	56,2
		550	114	1,3	5,0	5,0	6,6	23,7	59,0
	Makoszowy	550	115	-	3,0	4,0	5,0	28,0	60,0
		660	116	0,9	8,0	10,0	10,0	19,0	52,1
	Jastrzębie	400	117	3,5	8,2	10,0	9,8	29,0	39,5
		260	118	-	0,6	5,0	6,0	24,3	67,1
		260	119	-	-	7,7	10,0	19,3	63,0
		400	120	-	1,4	5,0	5,0	18,4	70,2
Warstwy siodłowe	Knurów	550	121	1,4	1,8	3,5	10,2	23,1	60,0
		550	122	0,7	4,0	7,5	7,5	27,3	53,0
		550	123	0,8	6,0	5,0	26,0	26,0	57,2
	Sośnica	550	124	-	4,8	6,4	27,6	28,0	33,2
		550	125	2,6	4,0	7,0	20,0	30,0	36,1
		550	126	6,5	7,0	6,5	6,5	32,0	41,5
	Jastrzębie	520	127	4,5	6,2	9,8	15,0	22,7	41,8
		520	128	4,8	9,5	12,1	15,3	19,2	39,1
		520	129	3,0	10,0	11,0	12,0	12,0	40,0
Warstwy porębskie	Knurów	650	130	-	0,8	3,0	20,0	32,0	44,2
		650	131	-	6,0	10,0	10,0	21,0	53,0
		650	132	0,3	5,0	7,0	8,0	17,2	62,1

Tablica 12

Własności fizyko-mechaniczne mułowców i iłowców płaszczyznych

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbki m	Numer próbki	Gęstość przestrzenna $\varrho \frac{kg}{m^3}$	Gęstość masy $\gamma \frac{kg}{m^3}$	Liczba porowatości (porowatość względna) %	Nasiąkliwość %	Wytrzymałość mechaniczna na zgniot $R_c \frac{N}{m^2}$
Warstwy libiąskie	Janina	350	101	10^3 2,29	10^3 2,502	5,03	2,18	10^5 191,237
		300	102	2,48	2,680	6,05	2,59	139,259
		300	103	2,24	2,675	4,02	2,76	164,758
Warstwy łaziskie	Sobieski	215	104	2,36	2,591	5,54	2,38	175,545
		215	105	2,30	2,633	4,78	2,57	137,298
Warstwy orzeskie	Knurów	400	106	2,49	2,670	4,10	2,01	315,725
		400	107	2,39	2,680	3,95	1,52	343,245
		400	108	2,53	2,700	6,25	2,50	402,085
		400	109	2,43	2,710	9,16	3,78	291,268
Warstwy rudzkie		400	110	2,61	2,650	2,95	1,40	558,999
		350	111	2,38	2,600	2,40	0,98	186,333
	Sośnica	385	112	2,16	2,305	6,12	2,84	431,508
		550	113	2,51	2,627	4,49	1,79	529,578
		550	114	2,33	2,466	5,30	2,31	480,543
	Makoszowy	550	115	2,53	2,620	3,89	1,53	355,013
		660	116	2,50	2,617	4,23	1,79	344,226
	Jastrzębie	400	117	2,57	2,550	2,98	0,96	421,701
		260	118	2,48	2,740	5,98	1,92	313,824
		260	119	2,58	2,680	3,74	1,13	229,484
		400	120	2,63	2,700	3,63	1,15	314,805
Warstwy siodłowe	Knurów	550	121	2,63	2,699	2,63	0,98	509,904
		550	122	2,63	2,699	3,13	1,06	411,894
		550	123	2,62	2,698	2,88	1,02	460,929
	Sośnica	550	124	2,53	2,620	3,89	1,03	355,013
		550	125	2,59	2,625	2,71	1,02	377,570
		550	126	2,48	2,615	5,08	2,05	333,438
	Jastrzębie	520	127	2,63	2,710	4,31	1,36	509,964
		520	128	2,63	2,810	6,32	1,99	445,238
		520	129	2,63	2,760	5,31	1,67	477,601
Warstwy porębskie	Knurów	650	130	2,52	2,658	4,44	1,75	529,578
		650	131	2,58	2,709	4,87	1,71	503,099
		650	132	2,55	2,683	4,63	1,73	515,848

wość odpowiednio 0,96÷3,78%. Wytrzymałość mechaniczna na zgniot od 137.10^5 do $529,7.10^5 \frac{N}{m^2}$ (tablica 12).

Iłowce i iłowce węglowe (łupki węglowe)

Analizowane iłowce posiadają strukturę pelitową, teksturę masywną, bezładną i niekiedy kierunkową. Barwa ich jest od szarokremowej do czarnej włącznie. Po rozdrobnieniu i wyszlamowaniu w wodzie tych iłowców, ustalono w nich składniki poniżej 0,06 mm w ilości od 84,7 do 99,9% gramowy (tablica 14) i powyżej w ilości 0,1 do 15,30%. Tę ostatnią frakcję stanowią: kwarc słabo zaokrąglony skalenie skaolinizowane, łyszczyki, piryt i minerały ciężkie oraz okruchy skał obcych (tablica 13).

Gęstość przestrzenna iłowców utrzymuje się w granicy $2,15.10^3$ do $2,75.10^3 \frac{kg}{m^3}$, gęstość masy od $2,535.10^3$ do $2,870.10^3 \frac{kg}{m^3}$. Liczba porowatości (porowatość względna) od 2,11 do 17,92% nasiąkliwość odpowiednio od 0,67 do 6,99%. Wytrzymałość mechaniczna na zgniot waha się od $31,4.10^5$ do $931,9.10^5 \frac{N}{m^2}$ (tablica 14).

Węgle kamienne[x)]

Badane węgle są zróżnicowane pod względem składników błyszczących i matowych. W stanie higrospkopijnym odznaczają się one różną wilgocią (1,05÷9,48%) oraz zmiennym udziałem popiołu (2,35÷18,88%). Zawartość części lotnych waha się od 14,99

x) Analizę chemiczną węgli wykonano w laboratorium Katowickiego Przedsiębiorstwa Geologicznego.

Tablica 13

Charakterystyka mineralogiczna iłowców i iłowców węglowych

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbki m	Skład mineralny, % objętościowy							
			Numer próbki	Kwarc	Skalenie	Łyszczyki	Substancja ilasta	Substancja organiczna	Piryt i minerały ciężkie	Okruchy skał obcych
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Warstwy libiąskie	Janina	350	133	2,5	1,0	1,0	80,0	6,0	0,5	9,0
		350	134	3,0	1,0	2,0	80,0	4,1	0,6	9,3
		350	135	10,3	2,0	2,2	83,0	1,0	-	1,5
		350	136	1,0	1,5	0,5	91,0	4,2	-	1,8
		350	137	2,0	0,9	-	90,0	1,7	-	-
		350	138	4,0	2,1	1,0	90,0	0,1	0,1	2,7
		350	139	1,5	2,0	0,5	94,5	0,3	-	1,2
		350	140	2,9	1,0	0,4	90,0	2,6	-	3,1
		300	141	1,0	0,8	-	90,0	4,2	-	4,0
		350	142	1,0	1,6	1,5	90,0	3,0	-	2,9
		350	143	-	-	1,9	94,0	2,1	-	2,0
		350	144	0,2	-	-	95,0	4,8	-	-
Warstwy łaziskie	Sobieski	215	145	1,0	1,7	-	93,0	7,0	-	-
		215	146	2,0	1,0	1,0	93,0	4,0	-	2,0
Warstwy orzeskie	Knurów	400	147	1,0	1,0	-	96,7	1,0	-	0,3
		400	148	2,0	1,0	-	93,0	2,1	-	1,9
		400	149	10,0	1,0	0,7	86,0	1,3	-	1,0
		400	150	0,9	-	-	99,1	-	-	-
		450	151	2,0	1,0	1,0	96,0	-	-	-
		450	152	3,0	0,5	0,5	95,0	0,8	-	0,2

cd. tablicy 13

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Sośnica	550	153	0,1	-	-	99,0	-	-	-
		550	154	0,1	-	-	99,0	-	-	-
Warstwy rudzkie	Makoszowy	550	155	3,7	2,1	-	90,0	3,3	-	0,9
		660	156	1,9	1,0	-	96,0	1,1	-	-
		550	157	8,1	1,0	1,0	60,0	29,2	-	0,7
	Jastrzębie	260	158	2,1	1,0	1,0	90,0	5,9	-	-
		400	159	1,2	1,3	2,0	93,1	4,5	0,7	1,7
		400	160	0,6	0,4	-	99,0	-	-	-
		260	161	8,2	0,4	0,1	90,0	-	-	1,3
		400	162	1,0	0,2	-	95,0	3,8	-	-
		400	163	2,0	-	-	99,0	-	-	-
		400	164	1,0	0,5	-	98,0	0,5	-	-
Warstwy siodłowe	Knurów	350	165	0,1	-	-	99,0	0,9	-	-
		350	166	1,0	0,1	-	98,9	-	-	-
		350	167	1,0	-	-	99,0	-	-	-
	Sośnica	550	168	2,0	0,5	-	92,0	5,0	-	0,5
		550	169	4,1	2,0	0,9	92,0	0,9	-	0,1
		550	170	4,6	3,0	-	90,0	1,4	-	1,0
	Jastrzębie	400	171	0,1	-	-	85,0	14,0	-	-
		400	172	5,0	2,0	0,2	73,0	19,8	-	-
		520	173	0,1	-	-	90,0	9,9	-	-
Warstwy porębskie	Knurów	650	174	1,6	1,0	-	90,0	7,4	-	-
		650	175	3,5	1,5	0,5	88,0	4,7	0,6	1,2
		650	176	6,0	2,0	0,4	70,0	20,6	-	1,0
		650	177	0,2	-	-	81,0	18,8	-	-

Tablica 14

Uziarnienie i własności fizyko-mechaniczne iłowców i iłowców węglowych

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbki m	Numer próbki	Udział pozostałości na sicie powyżej 0,06 mm %	Klasa poniżej 0,06 mm % gramowy	Gęstość przestrzenna $\varrho \frac{kg}{m^3}$	Gęstość masy $\gamma \frac{kg}{m^3}$	Liczba porowatości (porowatość względna) %	Nasiąkliwość %	Wytrzymałość mechaniczna na zgniot $R_c \frac{N}{m^2}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		350	133	11,0	89,0	10^3 2,42	10^3 2,691	10,20	3,51	10^5 333,438
		350	134	13,1	86,9	2,42	2,710	10,70	3,68	181,430
Warstwy		350	135	15,3	84,7	2,43	2,74	11,40	3,88	205,947
libiąskie	Janina	350	136	4,8	95,2	2,29	2,535	9,52	3,44	156,912
		350	137	2,9	91,7	2,44	2,660	7,96	2,71	127,491
		350	138	9,9	90,1	2,48	2,680	7,64	2,56	176,526
		350	139	5,2	94,8	2,44	2,721	10,10	3,43	460,929
		350	140	7,4	92,6	2,36	2,620	9,75	3,42	362,859
		300	141	5,8	94,2	2,24	2,570	12,80	4,73	31,382
		350	142	6,1	93,9	2,37	2,680	11,67	4,08	392,280
		350	143	3,9	96,1	2,15	2,620	17,92	6,93	63,746
		350	144	0,2	99,8	2,49	2,683	7,10	2,38	333,448
Warstwy		215	145	2,7	97,3	2,20	2,660	17,38	6,55	490,350
łaziskie	Sobieski	215	146	6,0	94,0	2,44	2,662	8,5	2,89	205,947
		400	147	2,3	97,7	2,47	2,613	5,28	2,14	294,210
Warstwy		400	148	4,9	95,1	2,49	2,670	5,70	2,20	253,021
orzeskie	Knurów	400	149	12,7	87,3	2,48	2,642	5,49	1,17	261,847
		400	130	0,9	99,1	2,49	2,650	5,59	1,68	256,943
		450	151	4,0	96,0	2,51	2,710	3,01	1,49	583,517
		450	152	4,2	95,8	2,50	2,680	4,30	1,58	419,740
Warstwy	Sośnica	550	153	0,1	99,9	2,50	2,627	4,48	1,79	529,578
rudzkie		550	154	0,1	99,9	2,16	2,270	4,73	2,19	441,315

cd. tablicy 14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Warstwy rudzkie	Makoszowy	550	155	6,7	93,3	2,61	2,706	3,51	1,35	362,859
		660	156	2,9	97,1	2,61	2,663	2,11	0,81	598,227
		550	157	10,8	89,2	2,56	2,620	2,30	0,97	245,175
	Jastrzębie	260	158	4,1	95,9	2,59	2,850	4,28	1,37	238,310
		400	159	11,5	88,5	2,53	2,610	4,70	2,20	402,087
		400	160	1,0	99,0	2,59	2,690	5,02	1,61	457,987
		260	161	10,0	90,0	2,62	2,680	2,11	0,67	163,777
		400	162	1,2	98,8	2,41	2,520	4,15	1,43	302,056
		400	163	1,0	99,0	2,62	2,720	3,25	1,02	388,357
		400	164	1,5	98,5	2,54	2,680	5,25	1,72	391,299
Warstwy siodłowe	Knurów	350	165	0,1	99,9	2,52	2,710	3,75	1,49	304,017
		350	166	1,1	98,9	2,53	2,690	4,50	1,60	347,168
		350	167	1,0	99,0	2,52	2,700	4,12	1,54	285,384
	Sośnica	550	168	3,0	97,0	2,49	2,580	3,16	1,26	657,069
		550	169	7,1	92,9	2,50	2,640	3,64	1,40	470,736
		550	170	8,6	91,4	2,24	2,610	3,40	1,33	563,903
	Jastrzębie	400	171	0,1	99,9	2,57	2,640	5,60	1,90	333,438
		400	172	7,2	92,8	2,66	2,760	3,62	1,13	343,245
		520	173	0,1	99,9	2,61	2,700	4,61	1,51	382,473
Warstwy porębskie	Knurów	650	174	2,6	97,4	2,66	2,735	2,69	1,07	875,765
		650	175	7,3	92,7	2,69	2,760	3,27	1,25	819,865
		650	176	9,4	90,6	2,64	2,710	2,12	0,90	931,665
		650	177	0,2	99,8	2,75	2,87	4,43	1,60	708,065

Tablica 15

Skład chemiczny węgli

Stratygrafia	Kopalnia	Numer pokładu węglowego	Głębokość pobrania próbki m	Numer próbki	Charakter chemiczny węgli w stanie higroskopijnym, % grawowy								
					Wilgoć	Udział popiołu	Udział części lotnych	Udział siarki całkowitej	Udział siarki siarczanowej	Udział siarki popiołowej	Udział pierwiastka	Udział wodoru	Udział tlenu i azotu
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Warstwy libiąskie	Janina	119/2	300	178	7,30	5,85	34,70	1,92	1,60	0,32	61,62	4,27	19,36
		118	350	179	8,59	2,93	33,11	0,44	0,28	0,16	60,82	4,35	23,03
		119	300	180	8,98	5,10	36,63	0,79	0,59	0,20	59,53	4,45	21,35
		116	300	181	8,89	3,60	34,81	0,80	0,61	0,19	64,19	4,25	18,46
		116	300	182	8,41	7,30	37,39	0,77	0,58	0,19	61,29	4,46	17,96
		116	350	183	8,72	4,04	34,52	0,67	0,51	0,16	62,70	4,04	19,99
		119/2	350	184	8,93	6,34	30,44	0,45	0,29	0,16	61,80	3,90	18,74
		116/2	350	185	6,46	18,88	30,97	8,90	8,47	0,43	48,22	2,72	15,25
		116	350	186	7,19	10,00	34,48	1,23	1,03	0,22	60,77	4,15	16,79
		117	410	187	9,15	5,96	27,67	0,44	0,17	0,27	60,79	3,87	18,26
		117	410	188	7,49	6,96	31,79	2,17	2,01	0,16	60,78	4,33	18,43
		117	410	189	8,40	3,93	36,65	0,44	0,29	0,15	63,82	4,30	19,26
Warstwy orzeskie	Sobieski	209	215	190	9,48	3,59	30,54	0,80	0,45	0,35	62,10	4,03	20,35
		210	215	191	8,68	4,22	35,16	1,16	0,84	0,32	61,80	4,29	20,17
Warstwy orzeskie	Knurów	361	350	192	2,14	3,40	31,32	0,92	0,81	0,11	75,21	4,80	13,84
		361	350	193	2,06	2,35	33,21	0,82	0,70	0,12	74,33	5,26	15,30
		357	350	194	2,33	3,63	33,89	0,71	0,50	0,21	74,44	4,65	14,55
		357	350	195	3,29	2,99	33,50	0,72	0,60	0,16	74,38	4,91	14,92
		404/2	300	196	2,54	6,96	33,49	0,66	0,51	0,17	71,96	4,75	13,81
		403/3	400	197	1,80	10,94	35,47	0,60	0,41	0,19	69,55	4,59	12,71

cd. tablicy 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Sośnica	405	385	198	4,79	3,73	32,36	0,73	0,58	0,16	76,26	4,43	10,20
		405/2	550	199	2,30	2,65	31,25	0,64	0,48	0,16	76,80	4,92	12,85
		416	550	200	7,28	4,84	23,51	0,83	0,67	0,16	75,72	3,94	7,55
	Makoszowy	407	550	201	1,81	14,50	29,48	1,75	1,42	0,20	73,48	4,06	12,17
Warstwy		416	550	202	1,65	24,23	28,19	1,59	1,48	0,25	65,01	3,75	13,07
rudzkie		417	660	203	1,73	19,67	28,84	1,67	1,45	0,22	69,24	3,95	12,62
		413	400	204	1,22	7,04	26,70	1,09	0,93	0,16	73,30	4,54	8,97
	Jastrzębie	410	260	205	1,18	5,07	21,98	0,51	0,38	0,51	79,76	4,65	8,98
		417/2	400	206	1,53	62,54 x)	14,99	0,44	0,32	0,12	24,35	2,13	9,13
		416	260	207	1,36	3,48	26,48	0,77	0,58	0,19	80,03	4,46	10,09
		408/1	400	208	1,14	5,60	23,34	0,95	0,54	0,42	79,13	4,58	9,01
		407/1	400	209	1,05	2,61	21,71	0,45	0,23	0,22	82,79	4,44	8,88
		408/2	400	210	1,00	17,83	24,35	0,83	0,62	0,21	65,82	4,24	10,57
	Knurów	504	550	211	2,07	2,96	27,46	0,56	0,37	0,19	76,95	4,71	12,94
		505	550	212	2,01	3,02	27,40	0,54	0,45	0,18	76,96	4,70	12,95
Warstwy	Sośnica	510	550	213	1,60	13,02	36,23	0,48	0,40	0,08	76,16	4,13	10,69
siodłowe		510	550	214	1,50	23,96	26,90	0,48	0,37	0,11	59,56	3,98	10,63
		501	550	215	1,61	25,30	28,45	1,42	1,15	0,27	56,54	3,43	13,97
	Jastrzębie	502	520	216	1,13	3,00	24,55	0,51	0,38	0,13	80,42	4,70	10,37
		504/1	520	217	1,63	4,26	23,39	0,59	0,43	0,16	78,23	4,54	10,91
		504/2	520	218	1,02	3,58	23,55	0,74	0,62	0,12	80,04	4,61	10,13
		504	520	219	0,923	17,83	24,35	0,83	0,62	0,21	65,32	4,24	8,88
Warstwy	Knurów	617	650	220	2,02	4,81	30,52	2,08	1,68	0,40	74,74	4,94	11,77
porębskie		617	650	221	2,04	2,88	28,95	1,32	1,02	0,29	75,82	4,70	12,65
		617	650	222	2,03	2,84	24,24	1,70	1,30	0,34	75,25	4,82	12,21

x) iłowiec węglowy

Tablica 16

Stratygrafia	Kopalnia	Numer pokładu węglowego	Głębokość pobrania próbki	Numer próbki	Gęstość przestrzenna ϱ $\frac{kg}{m^3}$	Gęstość masy γ $\frac{kg}{m^3}$	Liczba porowatości (porowatość względna) %	Nasiąkliwość %	Wytrzymałość mechaniczna na zgniot R_c $\frac{N}{m^2}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Warstwy libiąskie	Janina	119/2	300	178	10^3 1,29	10^3 1,410	8,17	5,25	10^5 169,140
		118	350	179	1,15	1,358	15,20	9,72	192,217
		119	300	180	1,24	1,305	5,00	3,34	274,596
		116	300	181	1,16	1,330	12,50	8,90	296,171
		116	300	182	1,17	1,317	11,20	7,96	190,256
		116	350	183	1,19	1,328	10,68	7,46	137,298
		119/2	350	184	1,19	1,400	10,20	7,12	104,935
		116/2	350	185	1,23	1,478	16,54	9,96	245,175
		118	350	186	1,18	1,310	9,45	6,60	372,666
		117	410	187	1,19	1,460	18,52	12,71	205,947
		117	410	188	1,09	1,368	20,40	15,65	51,977
		117	410	189	1,17	1,340	19,70	13,60	298,133
Warstwy orzeskie	Sobieski	209	215	190	1,22	1,315	7,41	5,04	166,719
		210	215	191	1,16	1,316	12,10	8,67	343,245
Warstwy orzeskie	Knurów	361	350	192	1,25	1,286	3,32	2,65	100,031
		361	350	193	1,23	1,297	5,15	4,20	105,916
		357	350	194	1,22	1,308	6,99	5,75	112,781
		357	350	195	1,23	1,302	6,07	4,94	109,838
		404/2	400	196	1,26	1,410	3,20	1,39	39,228
		403/3	400	197	1,25	1,338	6,62	5,31	128,472
Warstwy rudzkie	Sośnica	405	385	198	1,23	1,325	6,44	5,10	113,761
		405/2	550	199	1,21	1,330	8,86	7,32	104,935
		416	550	200	1,26	1,327	4,02	3,18	122,588

cd. tablicy 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Warstwy rudzkie	Makoszowy	407	550	201	1,44	1,517	4,67	3,02	120,626
		416	550	202	1,47	1,571	6,17	4,07	162,796
		417	660	203	1,32	1,392	4,66	3,03	105,916
	Jastrzębie	413	400	204	1,26	1,301	3,30	2,16	96,109
		410	260	205	1,28	1,321	3,72	2,42	59,823
		417/2	400	206	1,29	1,335	1,38	0,87	93,167
		416	260	207	1,25	1,295	3,71	2,47	147,105
		408/1	400	208	1,33	1,360	1,58	0,98	149,066
		407/1	400	209	1,26	1,290	2,60	1,70	26,479
		408/2	400	210	1,28	1,310	2,04	1,32	163,777
Warstwy siodłowe	Knurów	504	550	211	1,31	1,363	3,98	3,05	142,202
		505	550	212	1,30	1,362	3,99	3,06	109,839
	Sośnica	510	550	213	1,17	1,430	4,35	2,07	111,800
		510	550	214	1,26	1,306	3,47	2,76	116,703
		501	550	215	1,50	1,634	7,68	5,12	205,947
	Jastrzębie	502	520	216	1,38	1,401	1,65	0,95	190,256
		504/1	520	217	1,27	1,330	4,28	2,80	61,784
		504/2	520	218	1,26	1,318	4,20	2,76	123,568
		504	520	219	1,87	1,960	4,88	2,16	96,109
Warstwy porębskie	Knurów	617	650	220	1,17	1,430	4,36	2,08	112,781
		617	650	221	1,24	1,382	2,62	2,56	127,491
		617	650	222	1,21	1,406	3,49	2,32	119,645

do 37,39% (tablica 15). Udział siarki popiołowej od 0,17 do 8,47%, siarki siarczanowej od 0,08 do 0,51% i siarki całkowitej od 0,44 do 8,90%. Wodoru węgle te wykazują od 2,72 do 5,2% tlenu i azotu od 7,55 do 23,03%.

Pod względem uwęglenia badane węgle wykazują dość dużą zmienność. Udział pierwiastka C waha się od 48,22 do 82,79. Gęstość przestrzenna utrzymuje się w granicy od $1,15.10^3$ do $1,87.10^3 \frac{kg}{m^3}$. Liczba porowatości (porowatość względna) od 2,26 do 20,40%, nasiąkliwość od 0,87 do 15,65%. Analizowane węgle wykazują wytrzymałość mechaniczną na zgniot w granicach od $52,0.10^5$ do $343,4.10^5 \frac{N}{m^2}$ (tablica 16).

WŁAŚCIWOŚCI CIEPLNE KARBOŃSKICH SKAŁ GÓRNEGO ŚLĄSKA NA TLE ICH SKŁADU PETROGRAFICZNEGO GŁĘBOKOŚCI ZALEGANIA ORAZ WŁASNOŚCI FIZYKO-MECHANICZNYCH

Właściwości cieplne górotworu skalnego mają w czasie eksploatacji węgla sposobem podziemnym duże znaczenie, szczególnie przy udostępnieniu pokładów węglowych występujących na głębszych poziomach Zagłębia Górnośląskiego. Z udostępnieniem pokładów węglowych niższych poziomów ujawniają się często nowe problemy, które stają przed górniczą służbą techniczną. Jednym z ważniejszych zagadnień to poznanie właściwości cieplnych skał w ujęciu możliwie wszechstronnym.

Stwierdzono w okresie przeprowadzonych badań, że przewodność cieplna skał klastycznych jest zmienna nieraz dla tego samego rodzaju skały. Zmienne wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła dla tych samych skał wynikają między innymi

z głębokości zalegania skał, stopnia ich diagenezy i związany z tym charakter struktury atomowej minerałów budujących daną skałę. Pewien wpływ na wielkość współczynnika przewodzenia ciepła wywiera uziarnienie i rodzaj pokroju ziarn oraz sposób ich ułożenia w skale. Lepszą przewodność cieplną mają minerały o doskonałych formach krystalograficznych oraz ziarna dużych

Tablica 17

Współczynnik przewodzenia ciepła niektórych minerałów skałotwórczych[x)]

Minerał	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda \frac{W}{m\ deg}$
Kwarc	prostopadle do osi Z 7,33 równolegle do osi Z 13,37
Chalcedon	0,06-1,28
Skalenie	prostopadle do osi Z 2,44 równolegle do osi Z 4,36
Kalcyt w dużych kryształach	prostopadle do osi Z 3,96 równolegle do osi Z 6,23
Kalcyt o strukturze mikrokrystalicznej	0,93-2,81
Łyszczyki	0,36-0,87
Kaolinit	0,17÷0,70
Illit	0,14÷0,65
Fluoryt	0,96÷1,16
Grafit w dużych kryształach	174,5
Grafit o strukturze mikrokrystalicznej	0,17÷2,91

x) Średnia temperatura pomiarów 25°C, warunki termiczne ustalone.

rozmiarów, a przede wszystkim minerały, których atomy wykazują wiązania metaliczne. Ponadto przewodność cieplna kryształów jest własnością kierunkową, analogicznie do przewodności świetlnej. Pod tym względem wyróżnia się kryształy izo- i anizotropowe. Ta anizotropowość minerałów ma zasadnicze znaczenie przy badaniach przewodności cieplnej skał. W tablicy 17 przedstawiono wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła dla niektórych minerałów [17, 35, 45].

Na podstawie danych zaczerpniętych z literatury [2, 6, 7, 9 12, 18, 38, 41, 45, 50, 52, 56] wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła dla jednego typu skały wykazują dość duże wahania. Należy przyjąć, że wahania te dla jednego rodzaju skały wynikają ze zmiennego jej charakteru petrograficznego i własności fizyko-chemicznych. W tablicy 18 ujęto wartości współczynnika przewodzenia ciepła niektórych skał.

Tablica 18

Współczynnik przewodzenia ciepła niektórych skał[x)]

Rodzaj skały	Wyspółczynnik $\lambda \frac{W}{m\ deg}$
1	2
Granit	2,50÷3,61
Dioryt	2,15÷2,44
Gabro	2,01÷2,36
Bazalt	1,67÷1,74
Diabaz	2,22
Porfir	1,67
Granitognejs	1,28÷2,56
Kwarcyt	1,98÷6,05
Marmur	1,63÷2,79

cd. tablicy 18

Rodzaj skały	Współczynnik λ $\frac{W}{m\ deg}$
1	22
Łupek krystaliczny	1,26÷2,63
Wapień	0,81÷2,22
Piaskowiec	1,51÷4,52
Mułowiec	1,51÷3,36
Iłowiec	0,93÷2,88
Sól kamienna	3,88÷7,21
Węgiel kamienny	0,09÷0,70
Węgiel brunatny	0,03÷0,31
Piasek wilgotny	1,26÷3,37
Piasek higroskopijny	0,35-0,40
Ił	1,163
Glina	1,00

x) Współczynnik przewodzenia ciepła skał wyznaczony przy temperaturze 25°C.

Z porównanych danych wartości liczbowych współczynnika przewodzenia ciepła niektórych skał ujętych w tablicy 18 wynika, że skały na ogół różnie przewodzą ciepło, co wyraźnie widoczne jest w wahaniach wartości liczbowych współczynnika λ .

Najwięcej zajmowano się dotychczas osadowymi skałami klastycznymi, gdyż skały tego typu w większości budują górotwór zagłębi węglowych.

W tablicy 19 przedstawiono wartości współczynnika przewodzenia ciepła skał występujących w zagłębiach węglowych i rudnych niektórych krajów. W tablicy tej ujęto λ piaskowców, mułowców i iłowców w stanie higroskopijnym i wilgotnym oraz prosto-

Tablica 19

Współczynnik przewodzenia ciepła skał niektórych zagranicznych zagłębi węglowych i rudnych[x)]

Kraj i autor	Rodzaj skały	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda \frac{W}{m\ deg}$	
		Prostopadle do uwarstwienia skały	Równolegle do uwarstwienia skały
1	2	3	4
Anglia G. Lomax [41] D.K. Scot [56]	Piaskowiec w stanie higroskopijnym	2,72	2,88
	Piaskowiec w stanie wilgoci złożonej	3,98	4,35
	Mułowiec w stanie higroskopijnym	2,67	3,23
	Mułowiec w stanie wilgoci złożonej	3,29	3,99
	Iłowiec w stanie higroskopijnym	2,06	2,15
Holandia W.de Braaf [9]	Piaskowiec w stanie higroskopijnym	0,64	9,12
	Mułowiec w stanie higroskopijnym	1,49	5,06
NRF S. Batzel [2] G. Mücke [45] H. Jahns [32]	Piaskowiec w stanie higroskopijnym	1,11	3,84
	Piaskowiec w stanie wilgoci złożonej	1,64	4,65
	Mułowiec w stanie higroskopijnym	1,05	3,26
	Iłowiec w stanie higroskopijnym	0,97	2,91
Czechosłowacja B. Stočes B. Černik [51] J. Brudnik [12]	Piaskowiec w stanie higroskopijnym	1,75 ÷	3,20
	Mułowiec w stanie higroskopijnym	1,63 ÷	2,80
	Iłowiec w stanie higroskopijnym	1,26 ÷	2,05
Węgierska Republika Ludowa T. Boldiszar [6,7]	Piaskowiec w stanie higroskopijnym	3,85 ÷	4,48
	Iłowiec w stanie higroskopijnym	1,50 ÷	2,29
Związek Radziecki A.N. Szczerbań O.A. Kremniew [53]	Piaskowiec w stanie higroskopijnym	2,55	2,977
	Iłowiec w stanie higroskopijnym	1,76	2,18

x) Warunki termiczne ustalone. Temperatura pomiarów 25°C.

padle λ'' i równolegle λ' do uwarstwienia. Według tego zestawienia skały w stanie wilgoci złożonej wykazują wartości liczbowe wyższe w stosunku do λ skał w stanie higroskopijnym. Wyższe też wartości współczynnika przewodzenia ciepła wykazują skały w kierunku równoległym aniżeli prostopadłym do uwarstwienia.

K.W. Koczniew [38] analizował własności cieplne rud i skał ze złóż pirytów uralskich. Autor ten podaje, że ruda równoziarnista o przeciętnej średnicy ziarn pirytu, nieprzekraczającej 0,3 mm, przy zawartości 97% pirytu, 2% chalkopirytu i 1% kwarcu posiada współczynnik przewodzenia ciepła, 3,93 $\frac{W}{m\ deg}$. Ruda o tym samym składzie mineralnym, lecz o nieco grubszym uziarnieniu (przeciętnie 0,5 mm) posiada współczynnik przewodzenia ciepła 3,99 $\frac{W}{m\ deg}$. Bardziej zróżnicowanym w uziarnieniu ruda pirytu i o zmiennym składzie mineralnym wykazuje współczynnik przewodzenia ciepła mieszczący się w przedziale 4,18÷4,22 $\frac{W}{m\ deg}$, a skały współwystępujące z tymi rudami(skały kwarcowo-albitowe, porfiryt i łupki chlorytowe) wykazują współczynnik przewodzenia ciepła od 1,33 do 3,26 $\frac{W}{m\ deg}$ [38].

Z porównania przedstawionych danych przewodzenia ciepła skał wynika, że wzrost wartości liczbowych współczynnika λ jest zależny od głębokości występowania danej skały i od związanego z tym stopnia diagenezy oraz od uporządkowania w niej ziarn. Podobne zależności autor wyprowadził dla Zagłębia Górnośląskiego, które to wyniki przedstawione są w dalszej części niniejszej pracy.

Skład mineralny żwirowców, piaskowców, mułowców i iłowców, a ich współczynnik przewodzenia ciepła

Przewodzenie ciepła przez karbońskie skały jest zależne od ich składu mineralnego i budowy petrograficznej. G. Mücke [45] podaje, że skały piaszczyste zachodnioniemieckiego zagłębia węglowego przy udziale kwarcu od 60 do 85% wykazują współczynnik przewodzenia ciepła wynoszący około 4,0 $\frac{W}{m\ deg}$ [45]. Skały posiadające kwarcu od 15 do 45% charakteryzują się współczynnikiem przewodzenia ciepła około 3,0 $\frac{W}{m\ deg}$. Wynika z tego, że ze wzrostem udziału kwarcu powinna, według tego autora [45] w pewnym stopniu wzrastać λ.

Karbońskie żwirowce, piaskowce, mułowce i iłowce Górnośląskiego Zagłębia Węglowego odznaczają się dość dużą zmiennością w składzie mineralnym (tablica 4, 7, 10, 13). W ramach niniejszych badań stwierdzono, że zmienne są też ich wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła λ (tablica 20, 21, 22, 23). Biorąc pod uwagę istniejące różnice w ilościowym składzie mineralnym omawianych skał i różnice we wartościach liczbowych λ, przeprowadzono statystyczną analizę wyników pomiarów.

Zależność funkcyjną występującą między składem mineralnym, a przewodnością cieplną skał można w ogólnym ujęciu wyprowadzić na podstawie analizy statystycznej stosując zależność korelacyjną [52].

Zależność korelacyjna polega na tym, że przy założeniu jednej zmiennej otrzymuje się nie wartość dokładną drugiej, lecz tylko jej wartość najbardziej prawdopodobną. Jest ona stopniem pośrednim między jednoznaczną i ścisłą zależnością, a całkowitą niezależnością zmiennych.

W świetle tego sformułowania możemy wyprowadzić zależność korelacyjną między składem mineralnym analizowanych skał, a

Właściwości cieplne żwirowców i piaskowców gruboziarnistych w temperaturze $\vartheta = 20^{0}C$

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbki m	Numer próbki	Właściwa pojemność cieplna $c \frac{J}{kg\ deg}$	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda \frac{W}{m\ deg}$		Współczynnik przewodzenia temperatury $a \frac{m^2}{s}$	
					Równolegle λ'	Prostopadle λ''	Równolegle a'	Prostopadle a''
Warstwy libiąskie i łaziskie	Janina i Sobieski	410	1	10^{3} 0,883	2,322	1,218	10^{-6} 1,091	10^{-6} 0,570
		120	2	0,758	1,087	0,696	0,667	0,435
		350	3	0,804	2,436	1,288	1,359	0,718
		300	4	0,850	1,914	1,230	1,057	0,679
Warstwy orzeskie		450	5	0,934	3,608	2,970	1,359	1,267
		450	6	1,181	3,851	3,144	1,376	1,123
		450	7	1,218	3,828	3,132	1,335	1,108
Warstwy rudzkie	Knurów	450	8	0,749	3,492	2,877	1,967	1,621
		450	9	0,871	3,921	3,248	1,852	1,534
		550	10	0,977	4,480	3,538	2,032	1,557
	Sośnica	385	11	0,942	3,492	1,972	1,477	0,834
		385	12	0,913	3,480	2,192	1,483	0,934
	Makoszowy	530	13	1,089	4,060	2,332	1,439	0,827
		400	14	0,988	3,840	3,480	1,512	1,371
	Jastrzębie	400	15	0,888	3,782	2,308	1,632	0,996
		520	16	0,829	3,956	2,332	1,864	1,099
Warstwy	Knurów	450	17	0,871	3,956	2,248	1,761	1,445
	Sośnica	385	18	1,093	3,712	2,506	1,263	0,852
	Jastrzębie	520	19	0,825	5,754	3,909	2,881	1,957
		400	20	0,833	4,570	3,260	2,047	1,461
Warstwy	Knurów	550	21	0,854	3,816	3,097	1,780	1,444
		550	22	0,787	3,828	3,492	1,915	1,747
		650	23	0,829	4,286	3,619	2,025	1,712
		650	24	0,800	4,280	3,642	2,037	1,731

Tablica 21

Właściwości cieplne piaskowców średnio i gruboziarnistych w temperaturze $\vartheta = 20^{\circ}C$

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbki m	Numer próbki	Właściwa pojemność cieplna $c \frac{J}{kg\ deg}$	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda \frac{W}{m\ deg}$		Współczynnik przewodzenia temperatury $a \frac{m^2}{s}$	
					Równolegle λ'	Prostopadle λ''	Równolegle a'	Prostopadle a''
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Warstwy libiąskie	Janina	300	25	10^{3} 0,708	1,114	0,777	10^{-6} 0,735	10^{-6} 0,513
		350	26	0,791	1,183	1,009	0,584	0,498
		300	27	0,775	0,719	0,429	0,446	0,266
		300	28	0,892	0,824	0,557	0,438	0,296
		300	29	0,749	0,812	0,452	0,519	0,289
		300	30	0,917	0,789	0,418	0,388	0,205
		300	31	0,938	0,696	0,476	0,345	0,236
		300	32	1,084	0,661	0,394	0,285	0,170
		410	33	0,909	3,318	2,297	1,502	1,040
		300	34	0,766	0,534	0,325	0,338	0,206
		410	35	0,909	3,167	2,250	1,556	1,105
		300	36	0,896	0,580	0,371	0,292	0,187
		350	37	0,963	2,216	1,914	0,939	0,811
Warstwy łaziskie	Sobieski	215	38	0,779	0,580	0,383	0,346	0,229
		215	39	0,909	0,568	0,441	0,295	0,229
Warstwy libiąskie	Janina	410	40	0,896	2,355	2,204	1,086	1,017
		410	41	0,934	2,204	1,427	0,979	0,634
Warstwy orzeskie	Knurów	200	42	0,925	3,260	2,355	1,393	1,006
		350	43	0,909	3,492	2,587	1,495	1,107
		350	44	0,959	3,468	2,320	1,552	1,038
		350	45	0,971	3,445	2,343	1,523	1,036
		350	46	0,909	3,028	2,784	1,296	1,192

cd. tablicy 21

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Warstwy orzeskie	Knurów	450	47	0,829	3,793	2,993	1,947	1,536
		450	48	0,871	3,503	3,039	1,559	1,352
		450	49	0,837	4,547	3,376	2,263	1,680
		450	50	0,858	3,956	2,332	1,987	1,171
		450	51	0,854	4,234	2,722	2,128	1,393
		350	52	0,852	2,819	1,750	1,249	0,764
		350	53	1,110	3,498	2,529	1,192	0,863
		350	54	0,892	2,935	2,320	1,196	0,946
		350	55	1,005	3,120	2,390	1,227	0,940
		350	56	1,034	3,480	2,680	1,265	0,975
		350	57	0,938	3,086	2,436	1,316	1,039
		350	58	0,858	2,946	2,738	1,467	1,364
Warstwy rudzkie	Sośnica	355	59	0,959	3,482	2,807	1,378	1,130
		550	60	0,897	3,724	2,784	1,378	1,027
		385	61	1,059	3,248	2,378	1,170	0,857
		550	62	0,967	3,828	3,178	1,466	1,217
	Makoszowy	550	63	0,992	3,631	3,074	1,924	1,206
		550	64	1,084	3,666	3,144	1,386	1,189
		660	65	0,992	4,298	3,503	1,623	1,343
		660	66	0,963	4,536	2,958	1,825	1,190
		660	67	0,913	4,257	2,784	2,010	1,314
	Jastrzębie	260	68	0,883	3,039	2,239	1,318	0,971
		260	69	0,892	4,134	2,459	1,528	1,094
		260	70	0,883	3,260	2,714	1,378	1,147
		260	71	1,875	3,596	2,424	1,670	1,126
		260	72	0,825	2,448	2,042	1,159	0,967
		260	73	0,934	2,970	2,297	1,232	0,953
		260	74	0,829	2,912	2,320	1,346	1,072
		260	75	0,829	2,865	2,320	1,399	1,133
		260	76	0,850	3,550	3,086	1,619	1,407

cd. tablicy 21.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Warstwy siodłowe	Knurów	550	77	0,992	3,503	2,575	1,348	1,476
		550	78	0,921	3,724	2,738	1,497	1,101
		550	79	1,118	3,700	2,946	1,278	1,017
	Sośnica	550	80	0,925	3,619	2,529	1,553	1,085
		550	81	0,988	3,956	2,552	1,511	0,975
		550	82	0,917	3,724	3,480	1,574	1,471
		550	83	0,925	4,257	3,132	1,984	1,459
		550	84	1,093	4,106	3,492	1,391	1,183
	Jastrzębie	260	85	0,988	2,413	1,937	0,969	0,778
		520	86	0,825	3,782	3,422	1,819	1,646
		260	87	0,967	2,946	2,366	1,163	0,934
		520	88	0,875	3,712	2,320	1,683	1,052
		260	89	0,900	2,471	1,960	1,072	0,851
		260	90	0,842	2,714	2,320	1,284	1,098
		260	91	0,791	2,993	2,332	1,513	1,179
		260	92	0,892	2,807	2,459	1,443	1,264
Warstwy porębskie	Knurów	550	93	0,825	3,538	3,819	1,695	1,351
		550	94	0,842	3,909	3,097	1,720	1,363
		550	95	0,909	2,842	2,297	1,236	0,999
		550	96	0,896	3,492	2,308	1,540	1,018
		650	97	0,909	4,060	2,413	1,554	0,983
		650	98	0,846	3,967	2,459	1,681	1,153
		650	99	0,930	4,188	2,912	1,708	1,186
		550	100	0,909	3,480	1,740	1,519	0,159

Właściwości cieplne mułowców i iłowców piaszczystych w temperaturze $\vartheta = 20^{\circ}C$

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbki m	Numer próbki	Właściwa pojemność cieplna $c \frac{J}{kg\ deg}$	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda \frac{W}{m\ deg}$		Współczynnik przewodzenia temperatury $a \frac{m^2}{s}$	
					Równolegle λ'	Prostopadle λ''	Równolegle a'	Prostopadle a''
Warstwy libiąskie	Janina	350	101	10^3 0,842	1,531	1,473	10^{-6} 0,794	10^{-6} 0,764
		300	102	0,783	1,218	1,172	0,627	0,604
		300	103	0,791	1,357	1,264	0,766	0,713
Warstwy laziskie	Sobieski	215	104	0,837	1,415	1,288	0,716	0,652
		215	105	0,754	1,218	1,183	0,702	0,682
Warstwy orzeskie	Knurów	400	106	0,967	2,578	2,042	0,988	0,898
		400	107	0,967	2,320	1,844	1,004	0,798
		400	108	0,967	2,332	1,891	0,953	0,773
		400	109	1,030	2,332	1,891	0,932	0,755
Warstwy rudzkie		400	110	1,034	2,459	2,100	0,911	0,778
		350	111	0,875	2,297	1,380	1,103	0,663
	Sośnica	385	112	1,273	1,543	1,137	0,561	0,413
		550	113	0,917	2,366	1,670	0,975	0,688
		550	114	1,118	2,494	1,937	0,957	0,744
	Makoszowy	550	115	0,913	2,970	1,589	1,286	0,688
		660	116	0,959	3,109	1,485	1,296	0,619
	Jastrzębie	400	117	0,858	2,459	1,914	1,115	0,868
		260	118	0,992	2,355	1,647	0,957	0,670
		260	119	1,043	2,332	1,601	0,867	0,595
		400	120	0,925	2,436	1,682	1,001	0,691
Warstwy siodłowe	Knurów	550	121	0,867	2,738	1,926	1,201	0,845
		550	122	0,896	2,355	1,647	1,000	0,699
		550	123	0,930	2,448	1,752	1,005	0,719
	Sośnica	550	124	1,227	2,564	1,914	0,826	0,617
		550	125	0,892	2,332	1,415	1,010	0,613
		550	126	0,892	2,529	1,728	1,143	0,781
	Jastrzębie	520	127	1,001	3,434	2,053	1,340	0,780
		520	128	0,985	2,912	1,462	1,197	0,601
		520	129	1,005	3,167	1,612	1,198	0,616
Warstwy porębskie	Knurów	650	130	1,084	3,457	2,018	1,265	0,739
		650	131	1,093	2,946	2,216	1,045	0,786
		650	132	1,130	3,062	2,343	1,062	0,813

Tablica 23

Właściwości cieplne iłowców i iłowców węglowych (łupków węglowych) w temperaturze $\vartheta = 20^{\circ}C$

Stratygrafia	Kopalnia	Głębokość pobrania próbki m	Numer próbki	Właściwa pojemność cieplna $c \frac{J}{kg\ deg}$	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda \frac{W}{m\ deg}$		Współczynnik przewodzenia temperatury $a \frac{m^2}{s}$	
					Równolegle λ'	Prostopadle λ''	Równolegle a'	Prostopadle a''
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Warstwy libiąskie	Janina	350	133	10^3 1,076	1,659	1,427	10^{-6} 0,637	10^{-6} 0,548
		350	134	1,026	1,775	1,172	0,715	0,472
		350	135	0,976	2,111	1,299	0,890	0,548
		350	136	1,009	2,030	1,276	0,878	0,552
		350	137	0,992	1,821	1,195	0,752	0,494
		350	138	1,001	1,833	1,206	0,739	0,486
		350	139	0,850	2,297	1,636	1,108	0,789
		350	140	1,110	2,204	1,601	0,841	0,811
		300	141	1,017	1,752	1,056	0,769	0,464
		350	142	1,051	1,856	1,531	0,745	0,615
		350	143	1,017	1,821	1,172	0,833	0,536
		350	144	1,093	2,378	2,158	0,874	0,793
Warstwy łaziskie	Sobieski	215	145	0,997	2,271	1,601	1,037	0,730
		215	146	1,156	1,902	1,496	0,674	0,530
Warstwy orzeskie	Knurów	400	147	0,909	2,320	1,601	1,033	0,713
		400	148	1,009	1,926	1,438	0,767	0,572
		400	149	1,059	1,937	1,520	0,738	0,579
		400	150	1,038	1,926	1,473	0,745	0,570
		450	151	0,992	2,807	2,169	1,127	0,871
		450	152	1,013	2,459	1,763	0,971	0,696

cd. tablicy 23

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Sośnica	550	153	0,967	2,633	1,473	1,089	0,609
		550	154	1,327	2,540	1,276	0,886	0,445
Warstwy rudzkie	Makoszowy	550	155	1,076	2,065	1,531	0,735	0,545
		660	156	0,896	3,016	1,682	1,289	0,719
		550	157	0,892	1,972	1,531	0,863	0,670
	Jastrzębie	260	158	0,842	2,018	1,473	0,925	0,675
		400	159	0,967	2,761	1,589	1,128	0,649
		400	160	0,992	2,946	1,705	1,147	0,664
		260	161	0,967	2,216	1,763	0,875	0,696
		400	162	1,059	2,355	1,821	0,823	0,714
		400	163	1,034	2,332	1,821	0,871	0,672
		400	164	1,034	2,320	1,160	0,884	0,442
Warstwy siodłowe	Knurów	350	165	0,925	2,308	1,427	0,990	0,612
		350	166	0,976	2,308	1,386	0,935	0,559
		350	167	0,955	2,158	1,276	0,897	0,530
	Sośnica	550	168	1,210	2,981	1,612	0,929	0,535
		550	169	1,135	2,552	1,462	0,899	0,515
		550	170	1,097	2,784	1,531	1,133	0,623
	Jastrzębie	400	171	1,135	2,111	1,473	0,724	0,505
		400	172	0,980	2,308	1,728	0,885	0,663
		520	173	1,038	2,332	1,369	0,861	0,505
Warstwy porębskie	Knurów	650	174	1,093	3,329	1,844	1,145	0,634
		650	175	1,080	3,167	1,775	1,090	0,611
		650	176	1,110	3,364	1,949	1,148	0,665
		650	177	0,892	3,051	1,972	1,244	0,804

ich współczynnikiem przewodzenia ciepła. Wskaźnikiem określającym stopień zależności korelacyjnej między badanymi wielkościami poszczególnych cech skały, a ich przewodnością cieplną będzie liczba korelacyjna. Bezwzględna wartość tej liczby zawarta jest między 0 i 1. Przy $r = o$ zależności nie ma. Przy $r = 1$ wielkości badane są związane zależnością funkcyjną.

Liczbę korelacji wyznaczamy z ogólnego równania [52]

$$r_{xy} = \frac{\sum XY}{n\, \sigma_x\, \sigma_y} \qquad (24)$$

gdzie:

$X = x_i - \bar{x}$; x_i - wartości mierzone poszczególnych cech skał i węgli; kwarc, spoiwo, liczba (współczynnik) wysortowania, liczba porowatości, wytrzymałość na zgniot, pierwiastek C popiół, części lotne,

$Y = y_i - \bar{y}$; y_i - wartości mierzone współczynnikiem przewodzenia ciepła w kierunku równoległym do uwarstwienia skał,

$\bar{x}$ - średnie arytmetyczne wartości mierzonych cech skał i węgli,

$\bar{y}$ - średnia arytmetyczna wartości λ mierzonych równolegle do uwarstwienia skał,

n - ilość pomiarów,

σ_x - odchylenia standartowe wartości mierzonych (kwarc, spoiwo, liczba wysortowania i porowatości, wytrzymałość mechaniczna na zgniot, pierwiastek C, popiół, części lotne)

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n}} \qquad (25)$$

σ_y - odchylenia standartowe wartości mierzonych λ

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \bar{y})^2}{n}} \qquad (26)$$

Miarą rozproszenia wyników obserwacji statystycznych zarówno w tym przypadku poszczególnych cech własności mineralogicznych i fizycznych, jak i współczynnika przewodzenia ciepła wokół średniej jest odchylenie standartowe, zdefiniowane jako pierwiastek kwadratowy średniej arytmetycznej kwadratów różnic pomiędzy obserwacjami i ich średnią.

Mając odchylenia standartowe obserwacji ilości kwarcu i spoiwa w skale oraz liczbę (współczynnika) wysortowania i porowatości, wytrzymałość mechaniczną na zgniot i odchylenia standartowe wartości liczbowych oraz wyprowadzoną liczbą korelacji, możemy podać liczbę regresji Y współczynnika przewodzenia ciepła względem wymienionych cech skał. Wobec tego możemy napisać równanie prostej regresji w stosunku do średniej [52].

$$Y = r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} X \qquad (27)$$

Powyższe równanie jest równaniem prostej regresji Y względem X (wartości mierzonych cech skał) przy czym liczba r_{xy} jest liczbą oderwaną, natomiast X, Y są liczbami mianowanymi mie-

rzonych od średnich wartości poszczególnych cech własności mineralogicznych, fizycznych i cieplnych skał.

Równanie prostej regresji ma postać dla wartości zmiennych mierzonych od zera

$$y = r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} x - r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \bar{x} + \bar{y} \qquad (28)$$

gdzie:

x - wartość mierzona danej cechy skały,

$\bar{x}$ - średnia arytmetyczna wartości mierzonych danej cechy skały,

$\bar{y}$ - średnia arytmetyczna wartości mierzonej współczynnika przewodzenia ciepła skał,

Jeżeli przyjmiemy

$$r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = a,$$

to otrzymamy równanie

$$y = a (x - \bar{x}) + \bar{y} \qquad (29)$$

W celu stwierdzenia czy istnieją funkcyjne zależności między składem mineralnym, budową petrograficzną i własnościami fizycznymi skał górnośląskiego karbonu, a ich współczynnikiem przewodzenia ciepła (tablica 20, 21, 22, 23) z wszystkich wyników obserwacji wprowadzono odchylenie standartowe, liczbę korelacji i regresji oraz równania prostej regresji. Dla wyliczeń tych liczb sporządzono tablice obliczeniowe, z których dla zilustrowania toku postępowania analitycznego podano w pracy tylko jedną (tablica 24) tablicę dla żwirowców jako przykład, pozostałych tablic nie dołączono.

Schemat obliczenia korelacji współczynnika przewodzenia ciepła i ilości kwarcu w żwirowcach i piaskowcach gruboziarnistych

Numer pomiaru	Wyniki pomiarów: Udział kwarcu x_k	Wyniki pomiarów: Przew. ciepła $y_{\lambda'}$	$X_k = x_k - \bar{x}_k$	$y_{\lambda'} = y_{\lambda'} - \bar{y}_{\lambda'}$	x_k^2	$y_{\lambda'}^2$	$X_k \, y_{\lambda'}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	60,0	2,332	-1,95	-1,33	3,80	1,77	+2,59
2	61,5	1,067	-0,45	-2,60	0,20	0,72	+1,20
3	38,1	2,436	-38,5	-1,22	14,82	1,49	+4,69
4	60,0	1,914	-1,95	-1,74	3,79	3,04	+3,39
5	62,0	3,608	+0,05	-0,05	0,01	0,00	-0,00
6	58,0	3,851	-3,95	+0,19	15,60	0,04	-0,75
7	60,1	3,828	-0,95	+0,17	0,90	0,03	-0,16
8	58,6	3,492	-3,95	-0,17	11,23	0,03	+0,57
9	67,1	3,921	+5,15	+0,26	26,52	0,07	+1,34
10	60,0	4,617	-1,95	+0,96	3,81	0,92	-1,87
11	39,0	3,492	-2,95	-0,17	8,70	0,03	+0,50
12	60,1	3,480	-0,95	-0,18	0,93	0,03	+0,1
13	66,0	4,060	+4,05	+0,40	16,40	0,16	+1,62
14	60,3	3,840	-1,65	+0,18	2,72	0,03	-0,30
15	70,0	3,782	+8,05	+0,12	64,80	0,01	+0,97
16	69,5	3,956	+7,55	+0,30	57,0	0,09	+2,27
17	51,0	3,956	-10,95	+0,30	119,90	0,09	-3,26
18	69,0	3,712	+7,05	+0,05	49,70	0,00	+0,35
19	60,0	5,754	-1,95	+2,10	3,80	4,41	-4,19
20	59,2	4,570	-2,75	+0,91	7,56	0,83	-2,50
21	67,0	3,816	+5,05	+0,16	25,50	0,03	+0,81
22	62,0	3,828	+0,05	+0,17	0,00	0,03	+0,01
23	65,0	4,280	+3,05	+0,62	9,03	0,38	+1,90
24	63,0	4,280	+1,05	+0,62	1,10	0,38	+0,65
$n = 24$; $\bar{x}_k = 61,95$; $\bar{y}_{\lambda'} = 3,658$					$\sum =$ 447,62	20,60	+10,09

Odchylenie standartowe wartości mierzonych dla żwirowców przedstawia się następująco:

Odchylenia standartowe wartości mierzonych udziału kwarcu w żwirowcach

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum(x_k - \bar{x}_k)^2}{n}} = 4{,}31$$

Odchylenie standartowe wartości mierzonych współczynnika

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum(y_{\lambda'} - \bar{y}_{\lambda'})^2}{n}} = 0{,}93 \frac{W}{m\ deg}$$

Liczba korelacji współczynnika λ względem udziału kwarcu

$$r_{xy} = \frac{\sum X_k Y_{\lambda}}{n\,\sigma_x\,\sigma_y} = + 0{,}105$$

Współczynnik regresji

$$a + r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = + 0{,}023 \frac{W}{m\ deg}$$

Równanie regresji w stosunku do średnich wartości mierzonych

$$Y_{\lambda'} = a\,X_k = 0{,}023\,X_k$$

Równanie linii regresji

$$y_{\lambda'} = a\,(x_k - \bar{x}_k) + \bar{y}_{\lambda'} = 0{,}023\,x_k + 2{,}220$$

Dla piaskowców średnio i drobnoziarnistych średnia artymetyczna, odchylenia standartowe i liczby korelacji przedstawiają się następująco:

$\bar{x}_k = 49{,}470$, $\bar{y}_{\lambda'} = 2{,}993$, $\sigma_x = 9{,}611$

$\sigma_y = 1{,}091$, $r_{xy} = +0{,}461$, $a = +0{,}052$

Zatem równania linii regresji dla piaskowców mają postać

$$Y_{\lambda'} = 0{,}052\ X_k$$

$$y_{\lambda'} = 0{,}052\ x_k + 0{,}421$$

Dla mułowców:

$$\bar{x}_k = 23{,}890, \quad \bar{y}_{\lambda'} = 2{,}402, \quad \sigma_x = 15{,}532,$$

$$\sigma_y = 0{,}591, \quad r_{xy} = 0{,}197, \quad a = 0{,}007$$

Równania dla mułowców przyjmą postać

$$Y_{\lambda'} = -\ 0{,}007\ X_k$$

$$y_{\lambda'} = -\ 0{,}007\ x_k + 2{,}569$$

Dla iłowców:

$$\bar{x}_k = 2{,}458, \quad \bar{y}_{\lambda'} = 2{,}334, \quad \sigma_x = 2{,}481,$$

$$\sigma_y = 0{,}429, \quad rx_y = 0{,}105, \quad a = 0{,}018.$$

Równania dla iłowców przyjmują postać

$$Y_{\lambda'} = -\ 0{,}018\ X_k$$

$$y_{\lambda'} = -\ 0{,}018\ x_k + 2{,}302$$

gdzie:

$_k$ - dotyczy udziału kwarcu w skale.

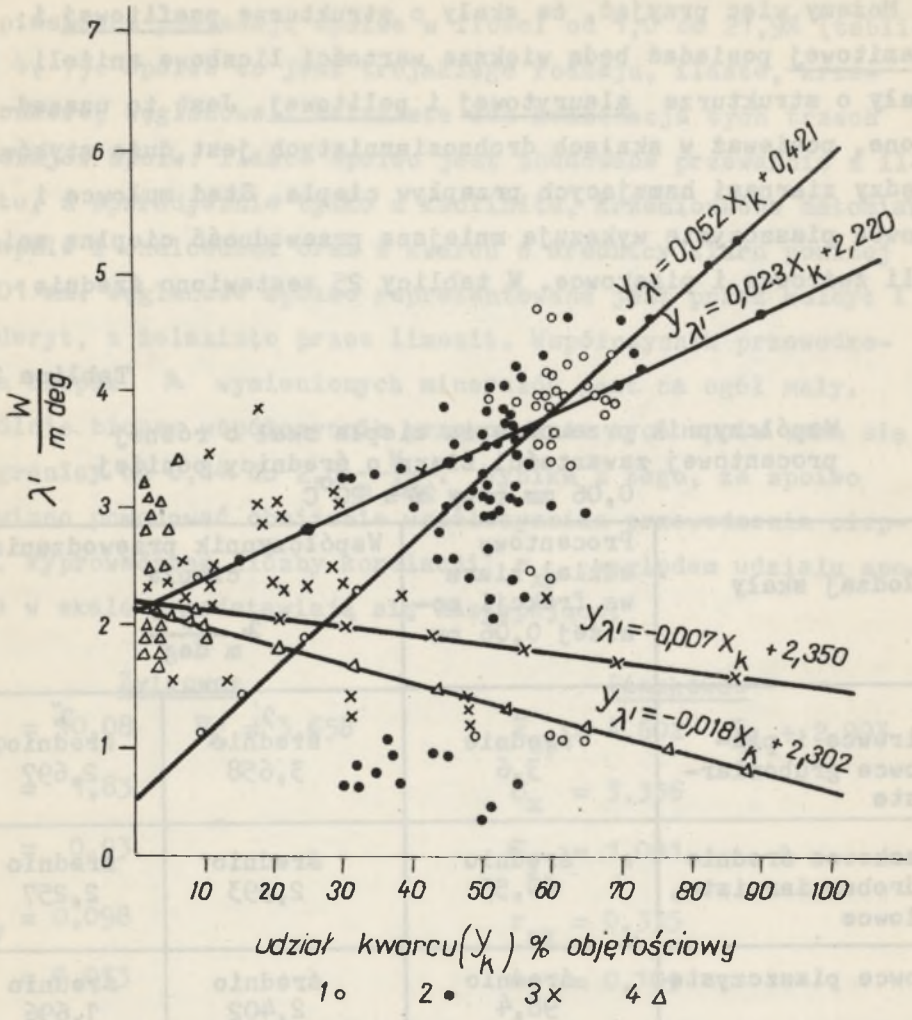
Jak wynika z wyprowadzonych liczb korelacji (r'_{xy}), piaskowskowce średnio i drobnoziarniste ujawniają, że istnieje pewna funkcyjna zależność między ilością kwarcu (k) a współczyn-

nikiem przewodzenia ciepła. Nie jest to jednak zależność całkowita, ponieważ r_{xy} równa się tylko + 0,461. Możemy jednak w przybliżeniu przyjąć, że w piaskowcach średnio i drobnoziarnistych istnieje pewna funkcyjna zależność liniowa wyższa w stosunku do żwirowców i mułowców oraz iłowców. Potwierdzają to niżej zestawione liczby korelacyjne r_{xy}

- żwirowce i piaskowce gruboziarniste + 0,105
- piaskowce średnio i drobnoziarniste + 0,461
- mułowce i iłowce piaszczyste - 0,197
- iłowce - 0,105

Dla mułowców i iłowców otrzymano liczbę korelacji ujemną. Wynika stąd, że ze wzrostem udziału kwarcu w skale maleją wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła (λ). Bardziej wyraźnie widoczne jest to na diagramie (rys. 7). Linie regresji wskazują, że ze wzrostem ilości kwarcu w piaskowcu i żwirowcu wartości liczbowe będą również wzrastać. Przy 100% udziale kwarcu w żwirowcu lub piaskowcu i o uziarnieniu powyżej 2 mm średnicy poszczególnych ziarn współczynnik maksymalnie może osiągnąć wartość 7,0 $\frac{W}{m\ deg}$.

Jest to zgodne z wartością dla kryształu kwarcu, która wykazuje prostopadle do osi Z ok. 7,33 $\frac{W}{m\ deg}$. Piaskowiec o przeciętnej średnicy ziarn od 2 do 0,1 mm wykazuje przy 100% kwarcu współczynnik około 5,0 $\frac{W}{m\ deg}$. Nieco odmiennie przedstawiają się proste regresji dla mułowców i iłowców. Dla tych typów skał ze wzrostem ilości kwarcu współczynnik przewodzenia ciepła maleje. Mułowiec przy 100% ziarn kwarcu o średnicy poniżej 0,01 mm wykazuje wartość (tablica 4, 7, 9, 10) około 1,6 $\frac{W}{m\ deg}$, a iłowce przy dużej ilości kwarcu wykazują λ tylko około 0,5 $\frac{W}{m\ deg}$. Jak z tego wynika głównym czynnikiem jest tutaj przede wszystkim uziarnienie. Jako przykład może posłużyć grafit, który w dużych kryształach (płytkach) wyka-



Rys. 7. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła od udziału kwarcu w skałach

1 - żwirowce, 2 - piaskowce, 3 - mułowce, 4 - iłowce

zuje $\lambda = 174{,}5 \frac{W}{m\ deg}$, natomiast proszek grafitowy ujawnia już tylko wartości liczbowe od 0,17 do 2,91 $\frac{W}{m\ deg}$. Podobnie kalcyt w dużych kryształach posiada wyższą λ, mieszczącą

się $3,96 \div 6,23 \frac{W}{m\ deg}$, aniżeli kalcyt o budowie mikrokrystalicznej, gdzie jego λ wynosi od 0,93 do 2,81 $\frac{W}{m\ deg}$.

Możemy więc przyjąć, że skały o strukturze psefitowej i psamitowej posiadać będą większe wartości liczbowe aniżeli skały o strukturze aleurytowej i pelitowej. Jest to uzasadnione, ponieważ w skałach drobnoziarnistych jest dużo styków między ziarnami hamujących przepływ ciepła. Stąd mułowce i iłowce piaszczyste wykazują mniejszą przewodność cieplną aniżeli żwirowce i piaskowce. W tablicy 25 zestawiono średnie

Tablica 25

Współczynnik przewodzenia ciepła skał o różnej procentowej zawartości ziarn o średnicy poniżej 0,06 mm przy $\vartheta = 20^{\circ}C$

Rodzaj skały	Procentowy udział ziarn we frakcji poniżej 0,06 mm	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda \frac{W}{m\ deg}$	
		λ'	λ''
Żwirowce i piaskowce gruboziarniste	średnio 3,6	średnio 3,658	średnio 2,697
Piaskowce średnio i drobnoziarniste, mułowce	średnio 60,55	średnio 2,993	średnio 2,257
Iłowce piaszczyste	średnio 98,4	średnio 2,402	średnio 1,696

wartości liczbowe otrzymane z pomiarów, to jest średnie wartości ilości ziarn o średnicy poniżej 0,06 mm oraz wartości współczynnika przewodzenia ciepła.

Następną cechą skał klastycznych o strukturze psefitowej i psamitowej jest spoiwo skalne, które może mieć również pewien

związek przyczynowy na wielkość współczynnika przewodzenia ciepła. Z badań mikroskopowych wynika, że karbońskie żwirowce i piaskowce posiadają spoiwa w ilości od 1,0 do 21,9% (tablica 4, 7). Spoiwo to jest trojakiego rodzaju, ilaste, krzemionkowe, węglanowe i żelaziste lub kombinacja tych trzech rodzajów spoiw. Ilaste spoiwo jest zbudowane przeważnie z illitu, a sporadycznie tylko z kaolinitu, krzemionkowe natomiast z opalu i chalcedonu oraz z kwarcu o średnicy ziarn poniżej 0,01 mm. Węglanowe spoiwo reprezentowane jest przez kalcyt i syderyt, a żelaziste przez limonit. Współczynnik przewodzenia ciepła λ wymienionych minerałów jest na ogół mały. Ogólnie biorąc współczynnik przewodzenia tych spoiw waha się w granicy od 0,14 do 2,8 $\frac{W}{m\ deg}$. Wynika z tego, że spoiwo powinno powodować obniżenie współczynnika przewodzenia ciepła. Wyprowadzone liczby korelacji r_{xy} względem udziału spoiwa w skale przedstawiają się następująco:

Żwirowce		Piaskowce	
$\bar{x}_{sp} = 10,08$	$\bar{y}_{\lambda'} = 3,658$	$\bar{x}_{sp} = 4,602$	$\bar{y}_{\lambda'} + 2,993$
$\sigma_x = 1,83$		$\sigma_x = 3,336$	
$\sigma_y = 0,93$		$\sigma_y = 1,091$	
$r_{xy} = 0,098$		$r_{xy} = 0,335$	
$a = 0,053$		$a = 0,109$	

Równania regresji

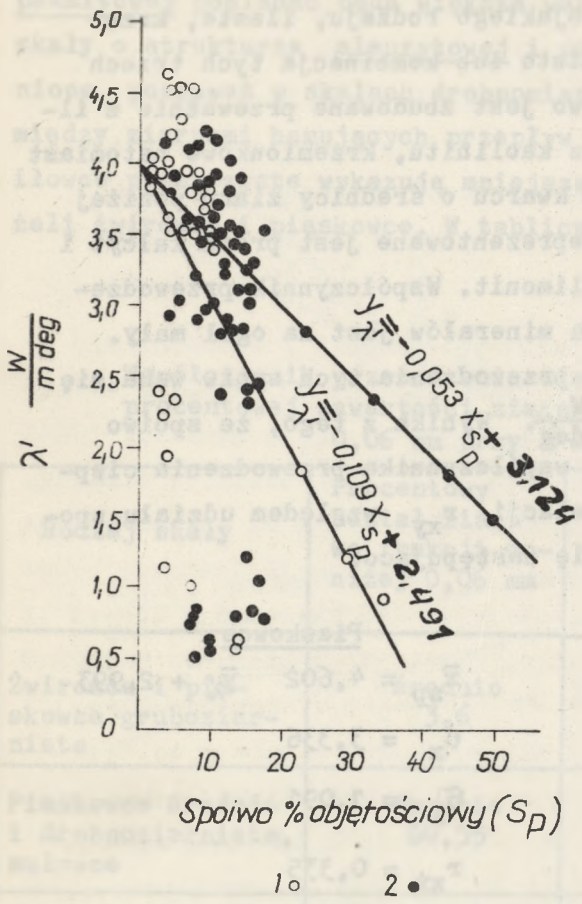
$Y_{\lambda'} = - 0,053\ X_{sp}$ $\qquad$ $Y_{\lambda'} = - 0,19\ X_{sp}$

$y_{\lambda'} = - 0,053\ x_{sp} + 3,124$ $\qquad$ $y_{\lambda'} = - 0,109\ x_{sp} + 2,491$

gdzie:

$_{sp}$ - dotyczy udziału spoiwa w skale.

Jak wynika z wykresu (rys. 8) i z wyprowadzonych liczb korelacji ze wzrostem udziału spoiwa w skale maleje współczynnik przewodzenia ciepła (λ).



Rys. 8. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła od udziału spoiwa w żwirowcach, piaskowcach gruboziarnistych

1 - żwirowce, 2 - piaskowce

Pomiarowe punkty zgrupowane są na wykresie (rys. 8) między udziałem spoiwa od 1 do 15%, przy λ od 0,5 do 4,5 $\frac{W}{m\ d}$ (tablica 4, 7).

Stopień wysortowania żwirowców i piaskowców pozostaje do współczynnika przewodzenia ciepła w zależności liniowej Stopień wysortowania (S_o) określony został dla żwirowców i piaskowców na drodze analizy sitowej. Liczba S_o określająca stopień wysortowania (jednorodności) waha się dla omawianych skał od 1,20 do 4,10 (tablica 5, 8).

Wyprowadzone zależności korelacyjne (r_{xy}) λ' względem liczby wysortowania S_o materiału przedstawiają się następująco:

Zwirowce		Piaskowce	
$\bar{x}_{s_o}$ = 1,720	$\bar{y}_{\lambda'}$ = 3,658	$\bar{x}_{s_o}$ = 2,072	$\bar{y}_{\lambda'}$ = 2,993
σ_x = 0,430		σ_x = 0,582	
σ_y = 0,93		σ_y = 1,091	
r_{xy} = + 0,434		r_{xy} = + 0,415	
a = + 0,939		a = + 0,778	

Równania regresji

$Y_{\lambda'} = 0{,}939\ X_{s_o}$	$Y_{\lambda'} = 0{,}778\ X_{s_o}$
$y_{\lambda'} = 0{,}939\ x_{s_o} + 1{,}943$	$y_{\lambda'} = 0{,}778\ x_{s_o} + 1{,}387$

gdzie:

S_o - dotyczy liczby (współczynnika) wysortowania

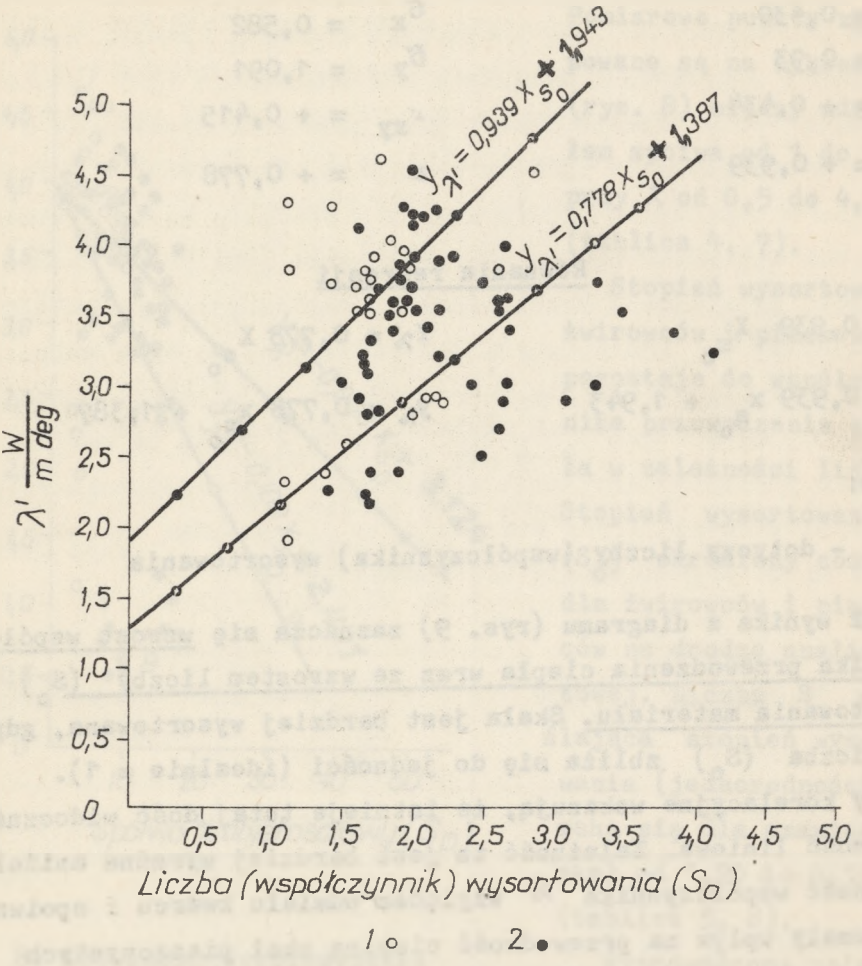
Jak wynika z diagramu (rys. 9) zaznacza się wzrost współczynnika przewodzenia ciepła wraz ze wzrostem liczby (S_o) wysortowania materiału. Skała jest bardziej wysortowana, gdy jej liczba (S_o) zbliża się do jedności (idealnie = 1). Liczby korelacyjne wskazują, że istnieje tutaj dość widoczna zależność liniowa. Zależność ta jest bardziej wyraźna aniżeli zależność współczynnika λ' względem udziału kwarcu i spoiwa.

Niemały wpływ na przewodność cieplną skał piaszczystych może wywierać tekstura (rys. 10).

Przeprowadzone pomiary w dwóch kierunkach tj. równolegle i prostopadle do uwarstwienia wskazują, że współczynnik przewodzenia ciepła jest większy w kierunku równoległym do uwarstwienia skał aniżeli w kierunku prostopadłym.

Działające na górótwór ciśnienie musiało wywrzeć wpływ na ułożenie w skale ziarn kwarcu i skaleni osią Z zgodnie z

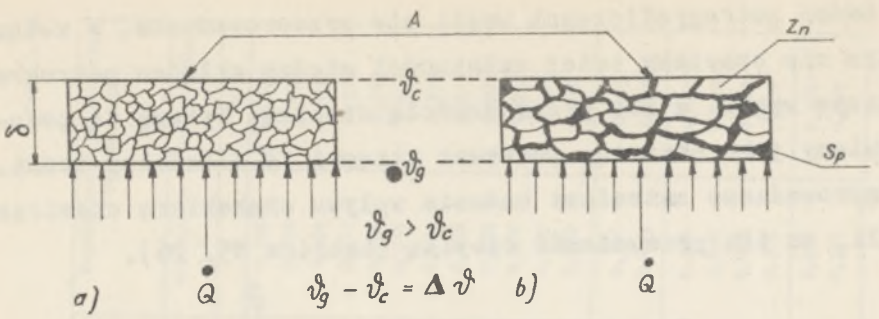
uławiceniem skały. Ziarna z kierunkiem uwarstwienia bardziej przylegają do siebie, powodując zmniejszenie porów między nimi.



Rys. 9. Zależność współczynnika λ od liczby (współczynnika) wysortowania (S_0) w żwirowcach i piaskowcach

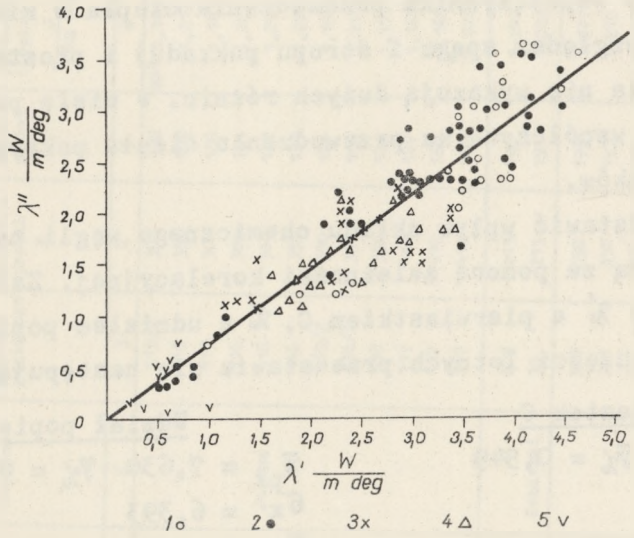
1 - żwirowce, 2 - piaskowce

Na diagramie (rys. 11) przedstawiono dane pomiarowe współczynnika przewodzenia ciepła mierzone zgodnie z kierunkiem uwarstwienia (λ') skał w ujęciu ze współczynnikiem mierzonym prostopadle (λ'') do uwarstwienia (tablica 20, 21, 22, 23).



Rys. 10. Schemat przepływu strumienia ciepła przez skały uwarstwione w ustalonych warunkach termicznych

a - przepływ ciepła równoległy do uwarstwienia, b - przepływ ciepła prostopadły do warstw, - grubość próbki (krążka) m, A - pole powierzchni krążka (m^2), przez który przepływa ciepło, Zn - ziarna budujące skałę, sp - spoiwo, Q̇ - strumień ciepła, ϑg - temperatura grzania na powierzchni dolnej, ϑc - temperatura chłodzenia na powierzchni górnej



Rys. 11. Zależność współczynnika (λ') mierzonego równolegle i (λ'') prostopadle do uwarstwienia skał i węgli. Współczynnik przewodzenia ciepła wyznaczono w temperaturze średniej 20°C

1 - żwirowce, 2 - piaskowce, 3 - mułowce, 4 - iłowce, 5 - węgle

Badań petrograficznych węgli nie przeprowadzono. W związku z tym nie omawiamy tutaj zależności między składem petrograficznym węgli, a ich przewodnością cieplną. Sprawę tą pozostawiamy jako otwartą, ponieważ stanowi to oddzielny temat. Przeprowadzono natomiast badania wpływu charakteru chemicznego węgli, na ich przewodność cieplną (tablica 15, 26).

Przewodność cieplna węgli na tle ich charakteru chemicznego

Węgle kamienne w kierunku uwarstwienia wykazują wartości współczynnika przewodzenia ciepła przy średniej temperaturze 20°C od 0,244 do 0,720 $\frac{W}{m\ deg}$ (tablica 26). Przewodność cieplna zależy tutaj w pewnym stopniu od składu chemicznego analizowanych węgli, a minimalnie tylko od ich tekstury. Wykonane pomiary współczynnika przewodzenia ciepła w kierunku równoległym (względem spągu i stropu pokładu) i prostopadłym do uwarstwienia nie wykazują dużych różnic. W wielu przypadkach wielkość współczynnika przewodzenia ciepła pokrywa się dla obu kierunków.

Można przedstawić wpływ składu chemicznego węgli na przewodność cieplną za pomocą zależności korelacyjnej. Zależność liniowa między λ' a pierwiastkiem C, λ' a udziałem popiołu i λ' a udziałem części lotnych przedstawia się następująco:

Pierwiastek C		Udział popiołu	
$\bar{x}_c = 70{,}310$	$\bar{y}_{\lambda'} = 0{,}549$	$\bar{x}_{pł} = 7{,}630$	$\bar{y}_{\lambda'} = 0{,}549$
$\sigma_x = 8{,}149$		$\sigma_x = 6{,}393$	
$\sigma_y = 0{,}145$		$\sigma_y = 0{,}145$	
$r_{xy} = +0{,}372$		$r_{xy} = +0{,}055$	
$a = +0{,}007$		$a = +0{,}001$	

Tablica 26

Właściwości cieplne węgli kamiennych w temperaturze $\vartheta = 20^{\circ}C$

Stratygrafia	Kopalnia	Numer pokładu węglowego	Głębokość pobrania próbki m	Numer próbki	Właściwa pojemność cieplna $c \frac{J}{kg\ deg}$	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda \frac{W}{m\ deg}$		Współczynnik przewodzenia temperatury $a \frac{m^2}{s}$	
						Równolegle λ'	Prostopadle λ''	Równolegle a'	Prostopadle a''
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Warstwy libiańskie	Janina	119/2	300	178	10^{3} 1,193	0,302	0,278	10^{-6} 0,196	10^{-6} 0,181
		118	350	179	1,218	0,244	0,244	0,174	0,174
		119	300	180	1,143	0,360	0,360	0,254	0,254
		116	300	181	1,202	0,325	0,302	0,233	0,217
		116	300	182	1,206	0,510	0,441	0,361	0,313
		116	350	183	1,256	0,348	0,278	0,233	0,186
		119/2	350	184	1,193	0,545	0,476	0,483	0,335
		116/2	350	185	1,210	0,429	0,406	0,288	0,273
		118	350	186	1,177	0,406	0,371	0,292	0,267
		117	410	187	1,168	0,522	0,476	0,376	0,342
		117	410	188	1,168	0,452	0,383	0,355	0,301
		117	410	189	1,227	0,603	0,557	0,420	0,388
Warstwy orzeskie	Sobieski	209	215	190	1,248	0,487	0,464	0,320	0,305
		10	215	191	1,202	0,673	0,534	0,483	0,383
Warstwy orzeskie	Knurów	361	350	192	1,177	0,742	0,719	0,504	0,489
		361	350	193	1,210	0,708	0,708	0,476	0,476
		357	350	194	1,164	0,684	0,732	0,482	0,163
		357	357	195	1,206	0,557	0,302	0,376	0,204
		404/2	400	196	1,185	0,371	0,325	0,248	0,218
		403/3	400	197	1,126	0,452	0,348	0,321	0,247

cd. tablicy 26

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Warstwy rudzkie	Sośnica	405	385	198	1,218	0,441	0,441	0,294	0,294
		405/2	550	199	1,172	0,568	0,499	0,401	0,352
		416	550	200	1,264	0,499	0,464	0,313	0,291
	Makoszowy	407	550	201	1,252	0,545	0,496	0,302	0,277
		416	550	202	1,260	0,476	0,476	0,257	0,257
		417	660	203	1,252	0,522	0,487	0,316	0,295
	Jastrzębie	314	400	204	1,248	0,557	0,534	0,354	0,340
		410	260	205	1,177	0,534	0,534	0,354	0,354
		417/2	400	206	1,168	0,464	0,441	0,308	0,293
		416	260	207	1,177	0,371	0,336	0,252	0,288
		408/1	400	208	1,172	0,718	0,661	0,454	0,424
		407/1	400	209	1,185	0,719	0,615	0,482	0,412
		408/2	400	210	1,197	0,696	0,696	0,454	0,454
Warstwy siodłowe	Knurów	504	550	211	1,235	0,673	0,487	0,416	0,301
		505	550	212	1,239	0,650	0,487	0,403	0,302
	Sośnica	510	550	213	1,181	0,673	0,592	0,487	0,428
		510	550	214	1,256	0,534	0,499	0,337	0,315
		501	550	215	1,256	0,568	0,441	0,301	0,234
	Jastrzębie	502	520	216	1,185	0,603	0,429	0,369	0,262
		504/1	520	217	1,197	0,510	0,371	0,336	0,244
		504/2	520	218	1,156	0,626	0,383	0,430	0,263
		504	520	219	1,126	1,032	0,244	0,490	0,116
Warstwy porębskie	Knurów	617	650	220	1,197	0,661	0,499	0,472	00,356
		617	650	221	1,206	0,673	0,592	0,450	0,396
		617	650	222	1,202	0,673	0,603	0,463	0,415

Równanie regresji

$Y_{\lambda'} = 0{,}007 \quad X_c$ $\qquad$ $Y_{\lambda'} = 0{,}001 \; X_{pł}$

$y_{\lambda'} = 0{,}007 \; x_c + 0{,}057$ $\qquad$ $y_{\lambda'} = 0{,}001 \; x_{pł} + 0{,}542$

Udział części lotnych

$\bar{x}_{cl} = 30{,}50$ $\qquad$ $\bar{y}_{\lambda'} = 0{,}549$

$$\sigma_x = 4{,}798$$

$$\sigma_y = 0{,}145$$

$$r_{xy} = 0{,}356$$

$$a = -0{,}011$$

Równanie regresji

$$Y_{\lambda'} = -0{,}011 \; X_{cl}$$

$$y_{\lambda'} = -0{,}011 \; x_{cl} + 0{,}884$$

gdzie:

cl i pł - dotyczy części (cl) lotnych i popiołu (pł) w węglu.

Liczby korelacji wykazują, że istnieje nieduża zależność liniowa współczynnika przewodzenia ciepła węgli od udziału w nich pierwiastka C, popiołu i części lotnych. Nie widać tutaj wyraźnej i zdecydowanej zależności. Ze wzrostem udziału pierwiastka C wzrasta w niewielkim procencie przewodność ciepła. Liczba korelacji (r_{xy}) względem udziału części lotnych jest ujemna, na co wskazuje, że istnieje tutaj odwrotna zależność.

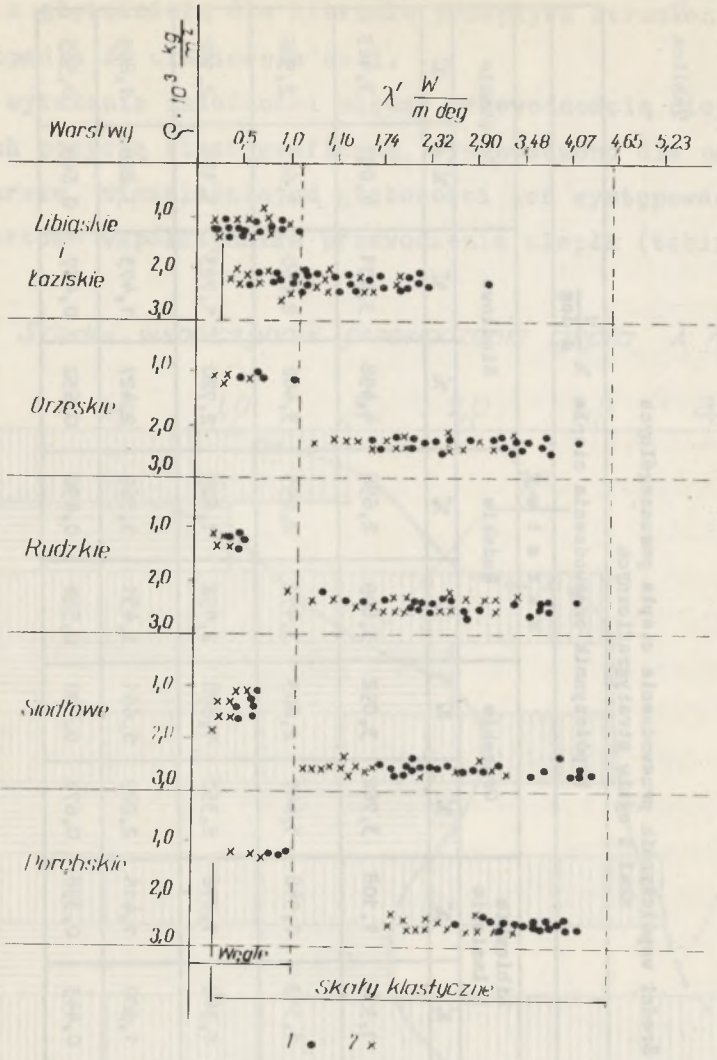
Węgle odznaczające się dużym udziałem pierwiastka C ujawniają współczynnik przewodzenia ciepła mieszczący się w przedziale $\lambda' = 0{,}366 \div 1{,}32 \frac{W}{m\ deg}$ i $\lambda'' = 0{,}338 \div 0{,}581 \frac{W}{m\ deg}$ (tablica 15, 26).

Przewodność cieplna skał w zależności od głębokości ich występowania

Badane skały i węgle występujące w warstwach libiąskich, łaziskich, orzeskich, rudzkich, siodłowych i porębskich odznaczają się zmiennym współczynnikiem przewodzenia ciepła. Jest to między innymi związane z głębokością występowania danej skały. Na rysunku (rys. 12) przedstawiono współczynnik przewodzenia ciepła dla poszczególnych ogniw stratygraficznych i gęstości przestrzennej.

Łatwo z wykresu odczytać, że największą gęstością przestrzenną a zarazem mniejszymi wartościami współczynnika cechują się skały i węgle występujące w warstwach libiąskich i łaziskich, stratygraficznie najmłodszych. Większym współczynnikiem przewodzenia ciepła i na ogół mniejszym rozrzutem wartości mierzonych odznaczają się skały i węgle występujące stratygraficznie w warstwach starszych (porębskich). Zależność tę należy jednak łączyć z głębokością występowania danych skał. Czasem skały młodsze wiekowo, a występujące na znacznej głębokości mogą ujawniać wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła wyższe.

W. de Braaf [9] ustalił, że piaskowce, mułowce i iłowce, pochodzące z większych głębokości, cechują się z reguły większym współczynnikiem przewodzenia ciepła. Według tego autora wartości współczynnika wyraźnie wzrastają dla kierunku przepływu strumienia ciepła zgodnego z uławiceniem skały. Maleją



Rys. 12. Wpływ gęstości przestrzennej skał i węgli na ich przewodność cieplną

1 - równolegle do uwarstwienia, 2 - prostopadle do uwarstwienia skał

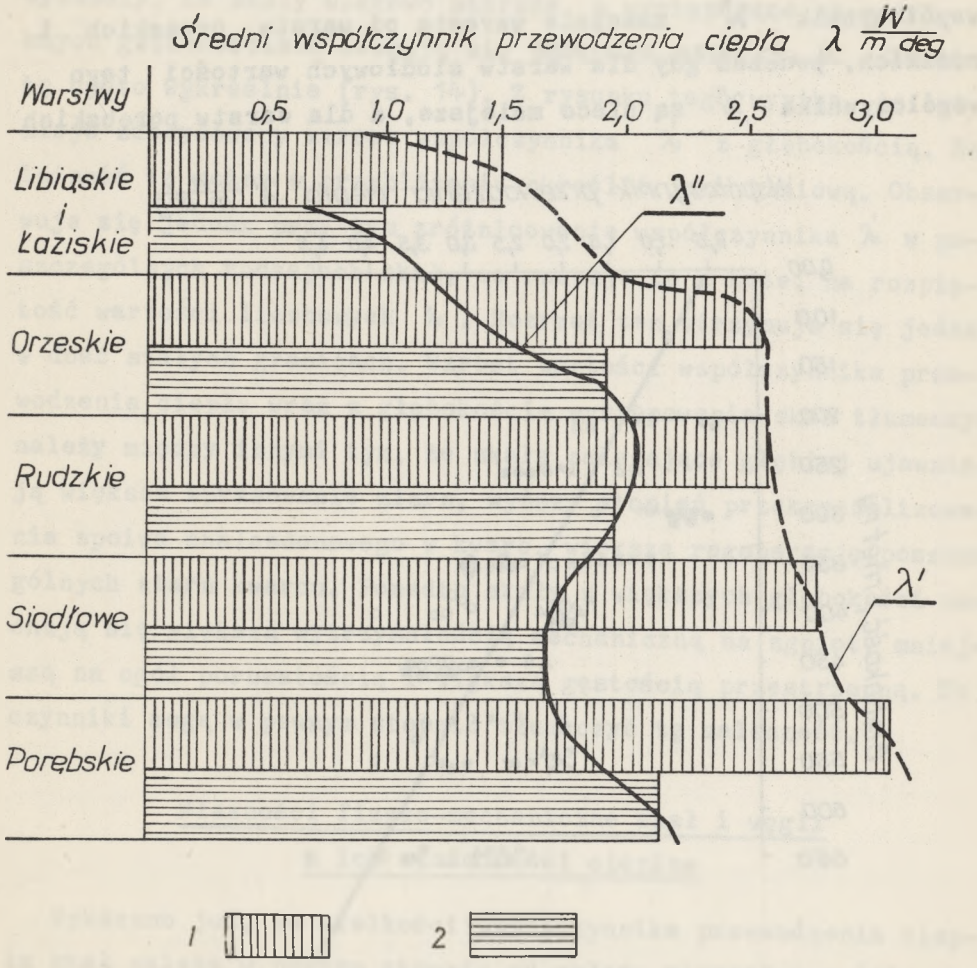
Tablica 27

Średni współczynnik przewodzenia ciepła poszczególnych skał i ogniw stratygraficznych

Rodzaj skały	Współczynnik przewodzenia ciepła $\lambda \frac{W}{m \cdot deg}$									
	W a r s t w y									
	Libiąskie i łaziskie		Orzeskie		Rudzkie		Siodłowe		Porębskie	
	λ'	λ''	λ'	λ''	λ'	λ''	λ'	λ''	λ'	λ''
Żwirowce i piaskowce gruboziarniste	1,937	1,108	3,762	3,092	3,849	2,698	4,498	3,231	4,051	3,463
Piaskowce średnio i drobnoziarniste	1,313	0,948	3,447	2,605	3,479	2,695	3,402	2,660	3,685	2,506
Mułowce i iłowce piaszczyste	1,348	1,276	2,353	1,858	2,452	1,629	2,720	1,723	3,155	2,192
Iłowce i iłowce węglowe	1,980	1,416	2,229	1,661	2,431	1,569	2,427	1,473	3,228	1,885
Węgle kamienne	0,443	0,398	0,673	0,490	0,528	0,490	0,652	0,437	0,669	0,565

natomiast z głębokością dla kierunku przepływu strumienia ciepła prostopadle do uławicenia skał.

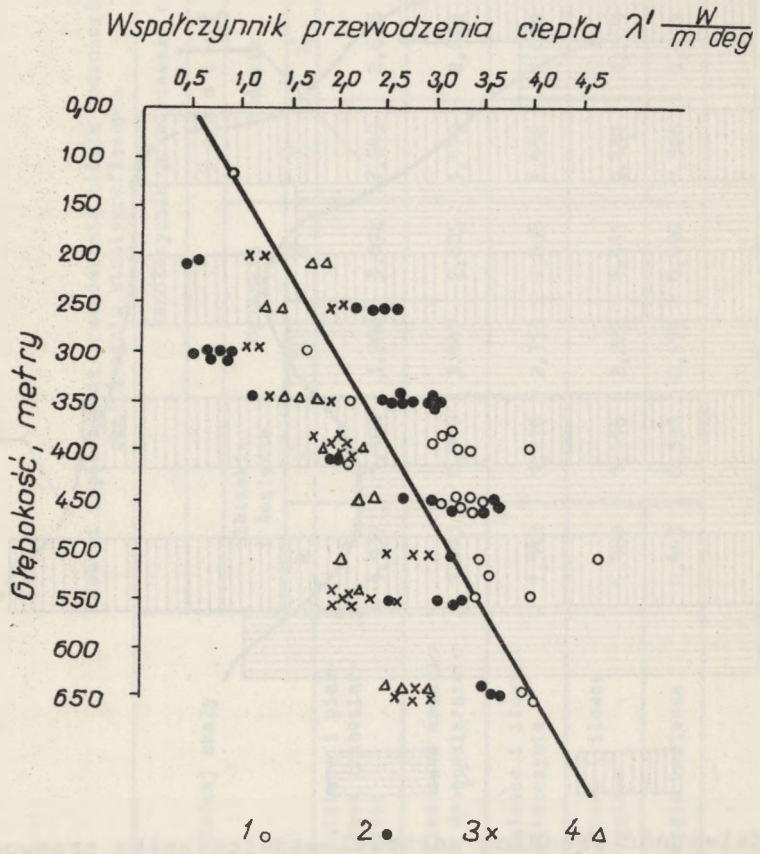
W celu wykazania zależności między przewodnością cieplną skał, a ich pozycją stratygraficzną, wyprowadzono dla poszczególnych warstw, niezależnie od głębokości ich występowania, średnią wartość współczynnika przewodzenia ciepła (tablica 27).



Rys. 13. Zależność średnich wartości współczynnika przewodzenia ciepła od ogniw stratygraficznych skał

1 - średnie wartości współczynnika λ' mierzone w kierunku równoległym, 2- w kierunku prostopadłym λ'' do uwarstwienia skał

Wartości liczbowe tego współczynnika wzrastają w kierunku równoległym i prostopadłym do uławicenia od warstw stratygraficznie młodszych od starszych. Wzrost współczynnika λ wyraźniej zaznacza się wykreślenie (rys. 13). Z rysunku można odczytać, że współczynnik λ' w kierunku uwarstwienia wzrasta mniej więcej równomiernie od stratygraficznie warstw młodszych od starszych. Dla kierunku prostopadłego do uwarstwienia współczynnik λ'' znacznie wzrasta od warstw orzeskich i rudzkich, podczas gdy dla warstw siodłowych wartości tego współczynnika λ'' są nieco mniejsze, a dla warstw porębskich



Rys. 14. Zależność między współczynnikiem przewodzenia ciepła, a głębokością zalegania skał

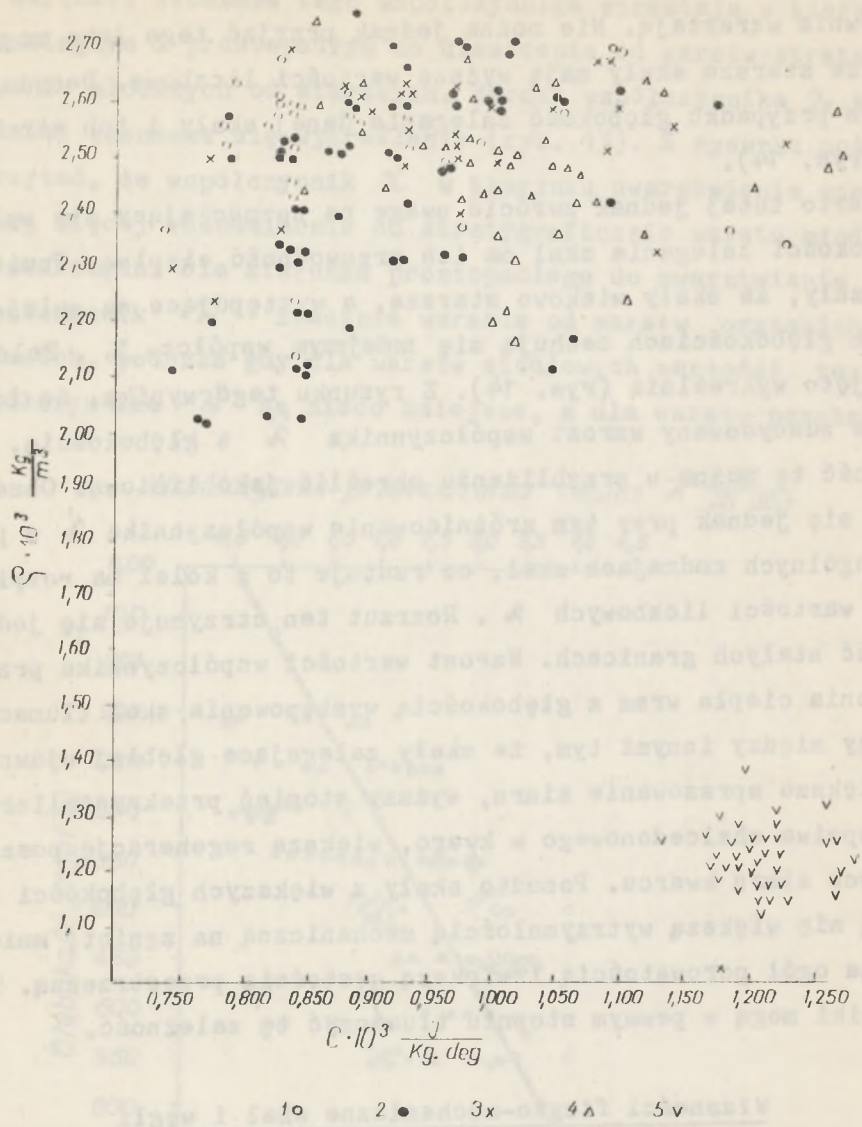
1 - żwirowce, 2 - piaskowce, 3 - mułowce, 4 - iłowce

ponownie wzrastają. Nie można jednak przyjąć tego jako reguły, że starsze skały mają wyższe wartości liczbowe. Decyduje w tym przypadku głębokość zalegania danej skały i ich struktura (rys. 14).

Warto tutaj jednak zwrócić uwagę na zaznaczający się wpływ głębokości zalegania skał na ich przewodność cieplną. Pomiary wykazały, że skały wiekowo starsze, a występujące na mniejszych głębokościach cechują się mniejszym współcz. λ . Zależność tę ujęto wykreślnie (rys. 14). Z rysunku tego wynika, że istnieje zdecydowany wzrost współczynnika λ' z głębokością. Zależność tę można w przybliżeniu określić jako liniową. Obserwuje się jednak przy tym zróżnicowanie współczynnika λ' w poszczególnych rodzajach skał, co rzutuje to z kolei na rozpiętość wartości liczbowych λ . Rozrzut ten utrzymuje się jednak w dość stałych granicach. Wzrost wartości współczynnika przewodzenia ciepła wraz z głębokością występowania skał tłumaczyć należy między innymi tym, że skały zalegające głębiej ujawniają większe sprasowanie ziarn, wyższy stopień przekrystalizowania spoiwa chalcedonowego w kwarc, większą regenerację poszczególnych ziarn kwarcu. Ponadto skały z większych głębokości cechują się większą wytrzymałością mechaniczną na zgniot, mniejszą na ogół porowatością i większą gęstością przestrzenną. Te czynniki mogą w pewnym stopniu tłumaczyć tę zależność.

Własności fizyko-mechaniczne skał i węgli a ich właściwości cieplne

Wykazano już, że wielkości współczynnika przewodzenia ciepła skał zależą w pewnym stopniu od składu mineralnego (dla węgli od charakteru chemicznego) i głębokości zalegania (tablica 4, 7, 13, 15, 16). Pewien wpływ na przewodność cieplną skał i węgli wywierać muszą własności fizyczne i mechaniczne skał



Rys. 15. Właściwa pojemność cieplna i gęstość przestrzenna skał i węgli

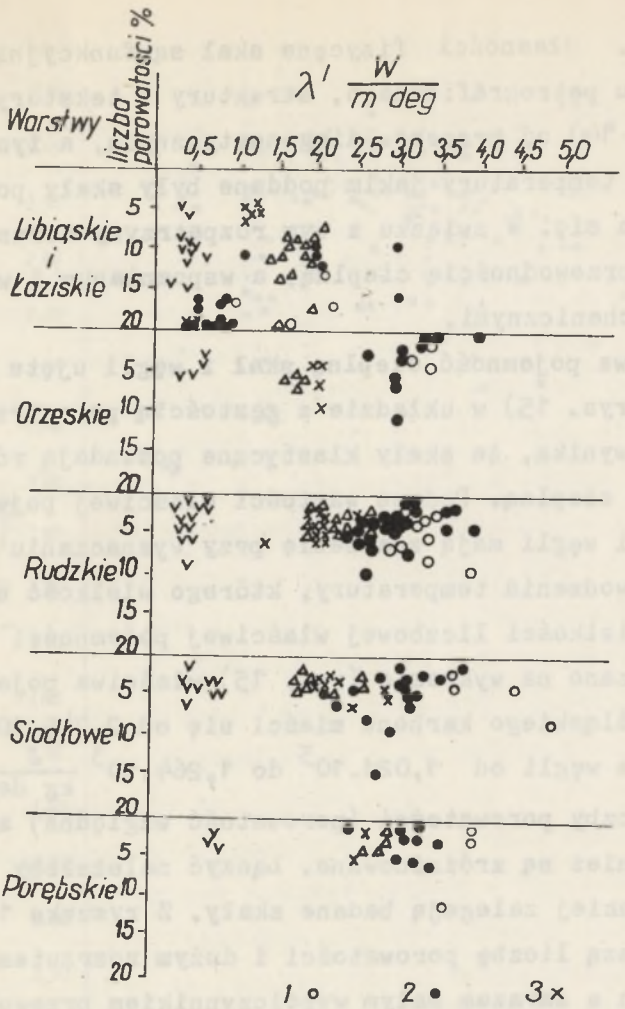
1 - żwirowce, 2 - piaskowce, 3 - mułowce, 4 - iłowce, 5 - węgle

(tablica 6, 9, 12). Własności fizyczne skał są funkcyjnie zależne od ich składu petrograficznego, struktury i tekstury (tablica 5, 8, 11, 14) od procesów diagenestycznych, a tym samym od ciśnienia i temperatury jakim poddane były skały podczas ich formowania się. W związku z tym rozpatrzymy teraz te zależności między przewodnością cieplną, a wspomnianym i własnościami fizyko-mechanicznymi.

Ustalona właściwa pojemność cieplna skał i węgli ujęta została graficznie (rys. 15) w układzie z gęstością przestrzenną. Z rysunku 15 wynika, że skały klastyczne posiadają różną właściwą pojemność cieplną. Podane wartości właściwej pojemności cieplnej skał i węgli mają znaczenie przy wyznaczaniu współczynnika przewodzenia temperatury, którego wielkość uzależniona jest od wielkości liczbowej właściwej pojemności cieplnej. Jak wykazano na wykresie (rys. 15) właściwa pojemność cieplna skał śląskiego karbonu mieści się od $0{,}745.10^3$ do $1{,}264.10^3 \frac{J}{kg\ deg}$, a węgli od $1{,}021.10^3$ do $1{,}264.10^3 \frac{J}{kg\ deg}$.

Pod względem liczby porowatości (porowatość względna) analizowane skały również są zróżnicowane. Łączyć należałoby to z głębokością na jakiej zalegają badane skały. Z rysunku 16 wynika, że największą liczbę porowatości i dużym rozrzutem punktów pomiarowych a zarazem małym współczynnikiem przewodzenia ciepła odznaczają się jednak skały i węgle stratygraficznie młodsze, zalegające na mniejszych głębokościach. Skały występujące w warstwach siodłowych i porębskich, a zalegające na głębokościach większych ujawniają mniejszą liczbę porowatości, a tym samym większe wartości współczynnika przewodzenia ciepła.

Skały bardziej zwięzłe, wykazujące mniejszą liczbę porowatości i nasiąkliwości, mają z reguły większy współczynnik przewodzenia ciepła. Wzrost współczynnika przewodzenia ciepła następuje tutaj przy spadku liczby porowatości.



Rys. 16. Wpływ liczby porowatości (porowatości względnej) skał na przewodność cieplną

1 - żwirowce, 2 - piaskowce, 3 - mułowce, 4 - iłowce, 5 - węgle

Wykonana na porozymetrze analiza wielkości i ilości porów zamkniętych niektórych skał wykazała, że najwięcej porów zamkniętych (10%) posiadają piaskowce warstw libiąskich. Piaskowce z warstw porębskich o większym stopniu zdiagenezowania wy-

kazują maksymalną ilość porów zamkniętych nie wynoszącą około 2%.

W celu znalezienia zależności między liczbą porowatości a współczynnikiem przewodzenia ciepła wyprowadzono liczby korelacji i równania regresji liniowej.

Żwirowce

$\bar{x}_{pr}$ = 6,550 $\bar{y}_{\lambda'}$ = 3,658

σ_x = 4,910

σ_y = 0,930

r_{xy} = 0,671

a = 0,127

$Y_{\lambda'}$ = - 0,127 X_{pr}

$y_{\lambda'}$ = - 0,127 x_{pr} + 4,489

Piaskowce

$\bar{x}_{pr}$ = 6,980 $\bar{y}_{\lambda'}$ = 2,993

σ_x = 5,508

σ_y = 1,091

r_{xy} = - 0,865

a = - 0,171

$Y_{\lambda'}$ = - 0,171 X_{pr}

$y_{\lambda'}$ = - 0,171 x_{pr} + 4,186

Mułowce

$\bar{x}_{pr}$ = 4,525 $\bar{y}_{\lambda'}$ = 2,402

σ_x = 1,387

σ_y = 0,591

r_{xy} = - 0,166

a = - 0,071

$Y_{\lambda'}$ = - 0,071 X_{pr}

$y_{\lambda'}$ = - 0,071 x_{pr} + 2,723

Iłowce

$\bar{x}_{pr}$ = 6,150 $\bar{y}_{\lambda'}$ = 2,334

σ_x = 3,692

σ_y = 0,429

r_{xy} = - 0,582

a = - 0,068

$Y_{\lambda'}$ = - 0,068 X_{pr}

$y_{\lambda'}$ = - 0,068 x_{pr} + 2,752

Węgle

$\bar{x}_{pr}$ = 7,03 $\bar{y}_{\lambda'}$ = 0,549

σ_x = 4,841

σ_y = 0,145

$$r_{xy} = - 0,379$$

$$a = - 0,011$$

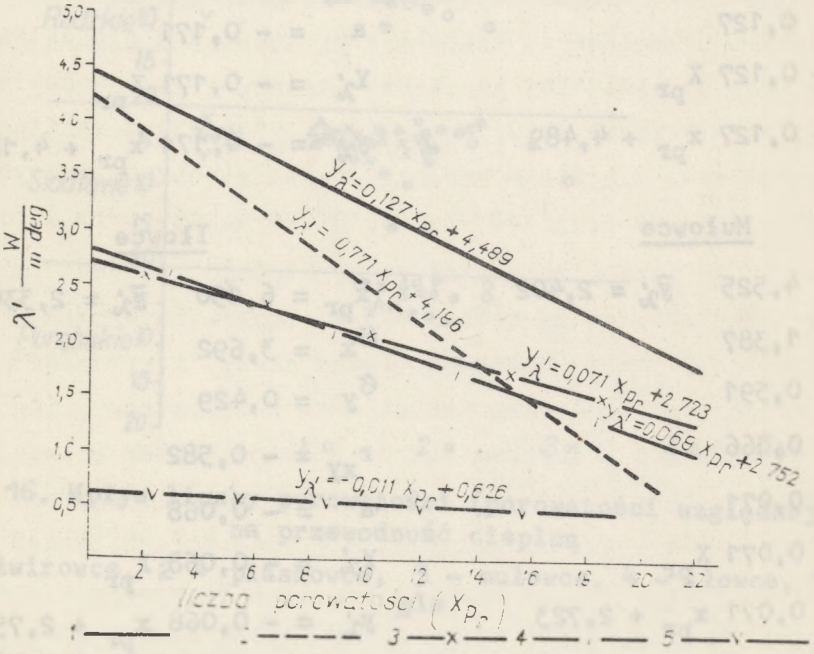
$$Y_{\lambda'} = - 0,011\ X_{pr}$$

$$y_{\lambda'} = - 0,011\ x_{pr} + 0,626$$

gdzie:

$_{pr}$ - dotyczy liczby porowatości skały.

Przedstawione liczby korelacji λ względem porowatości wskazują na istnienie pewnej liniowej zależności między wy-



Rys. 17. Diagram zależności liniowej λ' od liczby porowatości względnej

1 - żwirowce, 2 - piaskowce, 3 - mułowce, 4 - iłowce, 5 - węgle

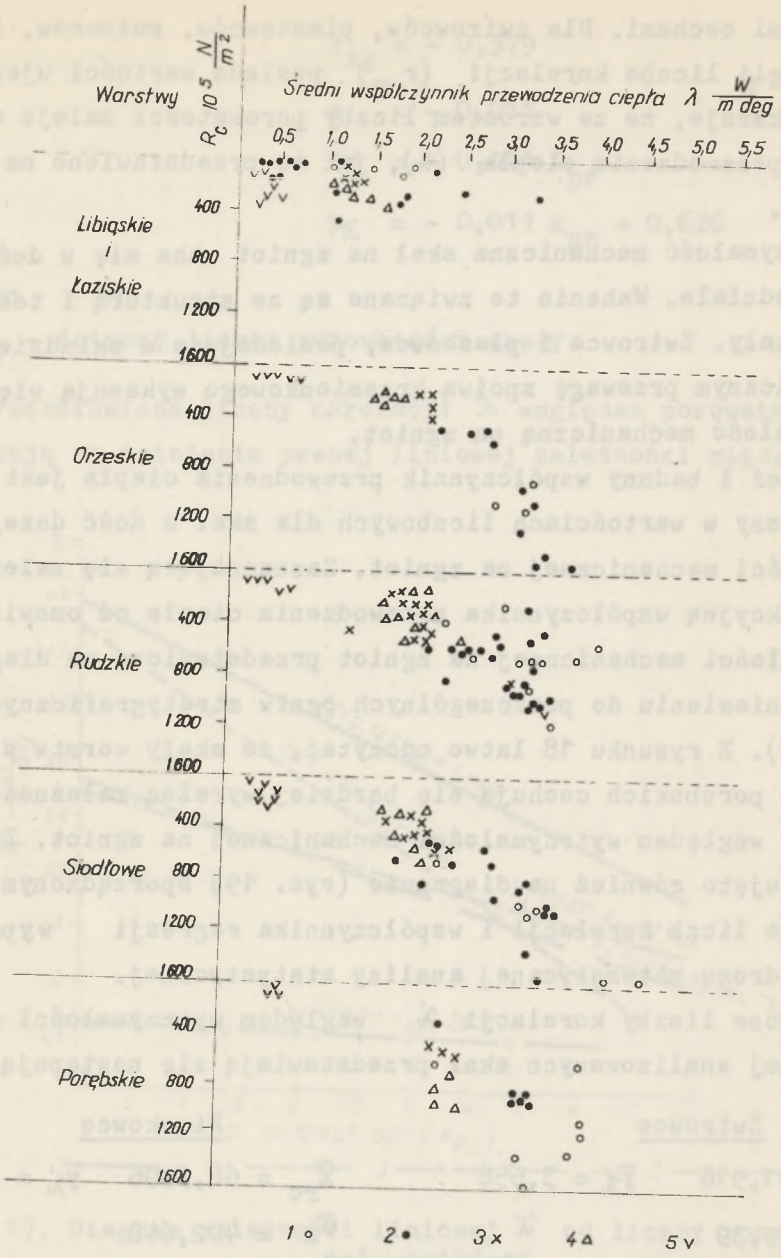
mienionymi cechami. Dla żwirowców, piaskowców, mułowców, iłowców i węgli liczba korelacji (r_{xy}) posiada wartości ujemne na co wskazuje, że ze wzrostem liczby porowatości maleje współczynnik przewodzenia ciepła (λ), jak to przedstawiono na rysunku 17.

Wytrzymałość mechaniczna skał na zgniot waha się w dość dużym przedziale. Wahania te związane są ze strukturą i teksturą danej skały. Żwirowce i piaskowce, posiadające w składzie petrograficznym przewagę spoiwa krzemionkowego wykazują większą wytrzymałość mechaniczną na zgniot.

Również i badany współczynnik przewodzenia ciepła jest na ogół wyższy w wartościach liczbowych dla skał o dość dużej wytrzymałości mechanicznej na zgniot. Zaznaczającą się zależność funkcyjną współczynnika przewodzenia ciepła od omawianej wytrzymałości mechanicznej na zgniot przedstawiono na diagramie w odniesieniu do poszczególnych ogniw stratygraficznych (rys. 18). Z rysunku 18 łatwo odczytać, że skały warstw siodłowych i porębskich cechują się bardziej wyraźną zależnością liniową, względem wytrzymałości mechanicznej na zgniot. Zależność tę ujęto również na diagramie (rys. 19) sporządzonym na podstawie liczb korelacji i współczynnika regresji wyprowadzonych drogą matematycznej analizy statystycznej.

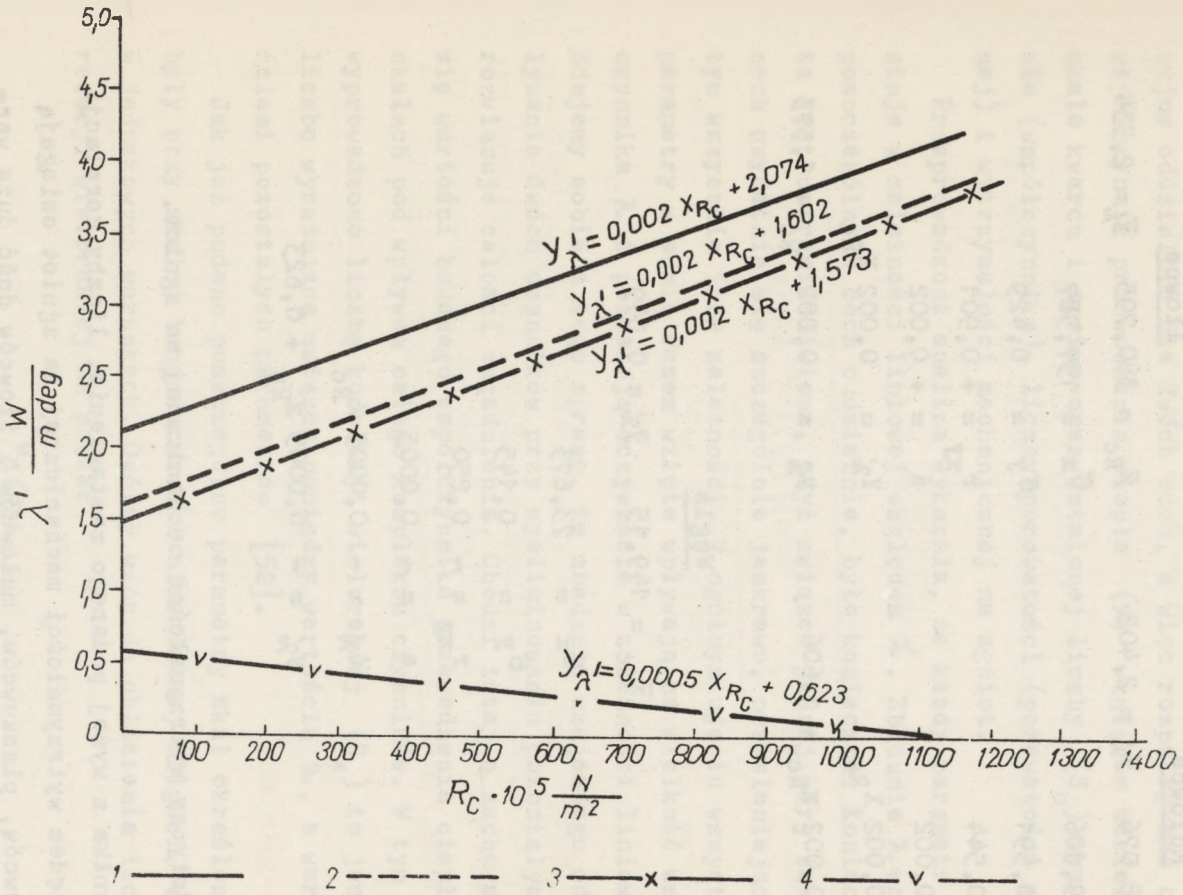
Ustalone liszby korelacji λ' względem wytrzymałości mechanicznej analizowanych skał przedstawiają się następująco:

Żwirowce		Piaskowce	
$\bar{x}_{rc} = 791{,}916$	$\bar{y}_{\lambda'} = 3{,}658$	$\bar{x}_{rc} = 68{,}5596$	$\bar{y}_{\lambda'} = 2{,}993$
$\sigma_x = 429{,}39$		$\sigma_x = 402{,}648$	
$\sigma_y = 0{,}93$		$\sigma_y = 1{,}091$	
$r_{xy} = + 0{,}82$		$r_{xy} = + 0{,}730$	
$a = + 0{,}002$		$a = + 0{,}002$	



Rys. 18. Wpływ wytrzymałości mechanicznej na zgniot na średnią wartość współczynnika λ skał i węgli

1 - żwirowce, 2 - piaskowce, 3 - mułowce, 4 - iłowce, 5 - węgle



Rys. 19. Zależnosc wartości współczynnika λ od wytrzymałości mechanicznej na ściskanie skał i węgli

1 - żwirowce, 2 - piaskowce, 3 - iłowce, 4 - węgle

$Y_{\lambda'} = 0{,}002\ X_{Rc}$

$y_{\lambda'} = 0{,}002\ x_{Rc} + 2{,}073$

$Y_{\lambda'} = 0{,}002\ X_{Rc}$

$y_{\lambda'} = 0{,}002\ x_{Rc} + 1{,}602$

Mułowce

$\bar{x}_{Rc} = 398{,}076 \quad \bar{y}_{\lambda'} = 2{,}402$

$\sigma_x = 169{,}106$

$\sigma_y = 0{,}591$

$r_{xy} = + 0{,}544$

$a = + 0{,}002$

$Y_{\lambda'} = 0{,}002\ X_{Rc}$

$y_{\lambda'} = 0{,}002\ x_{Rc} + 1{,}606$

Iłowce

$\bar{x}_{Rc} = 380{,}795 \quad \bar{y}_{\lambda'} = 2{,}334$

$\sigma_x = 197{,}587$

$\sigma_y = 0{,}429$

$r_{xy} = + 0{,}901$

$a = + 0{,}002$

$Y_{\lambda'} = 0{,}002\ X_{Rc}$

$y_{\lambda'} = 0{,}002\ x_{Rc} + 1{,}573$

Węgle

$\bar{x}_{Rc} = 149{,}15 \quad \bar{y}_{\lambda'} = 0{,}549$

$\sigma_x = 73{,}673$

$\sigma_y = 0{,}145$

$r_{xy} = - 0{,}250$

$a = - 0{,}0005$

$Y_{\lambda'} = - 0{,}0005\ X_{Rc}$

$y_{\lambda'} = - 0{,}0005\ x_{Rc} + 0{,}623$

gdzie:

$_{Rc}$ - dotyczy wytrzymałości mechanicznej na zgniot.

Jak wynika z wyżej podanego zestawienia, liczby korelacji r_{xy} względem wytrzymałości mechanicznej na zgniot osiągają dla żwirowców, piaskowców, mułowców i iłowców dość dużą wartość zbliżającą się do jedności. I tak dla żwirowców osiągają

liczby + 0,820, dla iłowców + 0,901. Dla węgli liczba ta wykazuje wartość ujemną i odbiegającą od jedności.

Omówiliśmy dotychczas zależność funkcyjną i związek korelacyjny oddzielnie dla dwóch cech, a więc rozpatrywano osobno współczynnik przewodzenia ciepła (λ) względem udziału w skale kwarcu i spoiwa oraz ustalonej liczby (S_o) wysortowania (współczynnika), liczby porowatości (porowatości względnej) i wytrzymałości mechanicznej na zgniot.

Przeprowadzona analiza wykazała, że każdy parametr pozostaje w zależności liniowej względem λ. Zbadanie λ względem poszczególnych cech oddzielnie, było konieczne. Konieczność ta jest usprawiedliwiona, gdyż związek jednej pary takich cech uwydatnia się szczególnie jaskrawo, przesłaniając przy tym wszystkie inne zależności. W ogólnym ujęciu wszystkie parametry w sumie razem wzięte wpływają na wielkość współczynnika λ i pozostają oczywiście w zależności liniowej. Zdajemy sobie z tego sprawę, że zbadanie wzajemnego oddziaływania dwóch czynników przy wyeliminowaniu pozostałych nie rozwiązuje całości zagadnienia. Chodzi tutaj o zachowanie się wartości badanego współczynnika przewodzenia ciepła w skałach pod wpływem całego kompleksu czynników. W tym celu wyprowadzono liczbę korelacji wielorakiej (R_w) to jest liczbę wyrażającą związek pomiędzy wartością λ, a wartościami pozostałych parametrów [52].

Jak już podano poszczególne parametry skał określone były przy stałej temperaturze i niezmiennej wilgoci, to jest w jednakowych warunkach. Ogólny wzór do obliczenia liczby korelacji wielorakiej ma postać

$$R_{w1(234..n)} = \sqrt{1-(1-r_{12}^2)(1-r_{13(2)}^2)(1-r_{14(23)}^2)\ldots(1-r_{1n(234\ldots n-1)}^2)} \quad (30)$$

gdzie:

$r_{1\,2}$, $r_{1\,3}$, $r_{1\,4}$ - liczby korelacji pierwszej cechy względem drugiej, pierwszej względem trzeciej i pierwszej względem czwartej.

W naszym przypadku dla żwirowców i piaskowców liczba (R_w) korelacji λ', względem pozostałych zmiennych ma postać

$$R_{w\lambda'(K\ Sp\ So\ Pr\ Rc)} =$$

$$= \sqrt{\frac{1-(1-r^2_{\lambda' k})\ (1-r^2_{\lambda' Sp(K)})\ (1-r^2_{\lambda' So(K\ Sp)})(1-r^2_{\lambda' Pr(K\ Sp\ So)})}{(1-r^2_{\lambda' Rc(K\ Sp\ So\ Pr)})}} \qquad (31)$$

gdzie:

r_k, r_{Sp}, r_{So}, r_{pr}, r_{Rc} - liczby korelacji (r_{xy}) wyprowadzone przy omawianiu zależności względem poszczególnych parametrów (K-kwarc, Sp-spoiwo, So-liczba (współczynnik) wysortowania, Pr-liczba porowatości, Rc-wytrzymałość na zgniot).

Żwirowce

$$R_{w\lambda'(K\ Sp\ So\ Pr\ Rc)} =$$

$$= \sqrt{1-(1-0,0110)\ (1-0,0096)\ (1-0,1883)\ (1-0,4502)\ (1-0,6432)}$$

$$R_{w\lambda'(K\ Sp\ So\ Pr\ Rc)} = 0,992$$

Piaskowce

$$R_{w\lambda'(K\ Sp\ So\ Pr\ Rc)} = 0{,}915$$

Dla mułowców i iłowców wzór przybiera postać

$$R_{w\lambda'(K\ Pr\ Rc)} = \sqrt{1-(1-r^2_{\lambda'K})\ (1-r^2_{\lambda'Pr(K)})\ (1-r^2_{\lambda'Rc(K\ Pr)})} \qquad (32)$$

Mułowce

$$R_{w\lambda'(K\ Pr\ Rc)} = 0{,}585$$

Iłowce

$$R_{w\lambda'(K\ Pr\ Rc)} = 0{,}936$$

Dla węgli stosujemy wzór

$$R_{w\lambda'(c\ pł\ cl\ pr\ Rc)} =$$

$$= \sqrt{\frac{1-(1-r^2_{\lambda'c})\ (1-r^2_{\lambda'pł(c)})(1-r^2_{\lambda'cl(c\ pł)})\ (1-r^2_{\lambda'pr(c\ pł\ cl)})}{(1-r^2_{\lambda'Rc(cpł\ cl\ pr)})}} \qquad (33)$$

gdzie:

$_c$ - dotyczy udziału pierwiastka w węglu, $_{pł}$ - popiołu, $_{cl}$ - części lotnych, $_{pr}$ - liczby porowatości, $_{Rc}$ - wytrzymałości mechanicznej na zgniot.

$$R_{w\lambda}(c\ pł\ cl\ pr\ Rc) = \sqrt{0,397675} = 0,630$$

Przedstawione liczby korelacji względem pozostałych zmiennych, zbliżają się prawie do jedności. Mniejszą liczbę R_w odznaczają się mułowce (0,585) i węgle (0,630). Żwirowce, piaskowce i iłowce wykazują liczbę (R_w) korelacji λ, względem pozostałych parametrów od 0,936 do 0,992. Wartości te wykazują, że R_w zbliża się do jedności, a tym samym istnieje wyraźna funkcyjna zależność współczynnika przewodzenia ciepła od pozostałych razem wziętych parametrów omówionych już uprzednio.

Wpływ temperatury pomiarów na wielkość współczynnika przewodzenia ciepła

Omówiony współczynnik przewodzenia ciepła skał i węgli na tle składu petrograficznego, własności fizycznych wyznaczony został w ustalonych warunkach termicznych przy średniej temperaturze 20°C, ponieważ z tą temperaturą najczęściej mamy do czynienia w kopalniach, temperatura grzania (ϑ_g) wynosiła 35, 45, 55 i 65°C, chłodzenia (ϑ_c) odpowiednio 25, 35, 45 i 55°C. Najpierw ustalono temperaturę w ultratermostatach. Następnie wkładano próbkę do aparatu, włączając grzejnik w aparacie.

Jednak dla pełniejszego naświetlenia kształtowania się wartości współczynnika przewodzenia ciepła zbadano dodatkowo skały, pod względem ich przewodności cieplnej, przy średniej temperaturze 30, 40, 50 i 60°C. Dla wybranych niektórych próbek wyznaczono współczynnik zarówno dla kierunku przepływu strumienia ciepła równoległego, jak i prostopadłego do uwarstwienia skał. Wybrane próbki w ogólnym ujęciu charakteryzują karbońskie odmiany skalne. Z tablicy 28 wynika, że przy wzro-

Tablica 28

Wpływ temperatury na wielkość współczynnika λ

Rodzaj skały	Numer próbki	Średnia temperatura, °C									
		20		30		40		50		60	
		λ'	λ''	λ'	λ''	λ'	λ''	λ'	λ''	λ'	λ''
Żwirowce i piaskowce gruboziarniste	5	3,61	2,97	4,08	2,99	5,25	3,09	5,35	3,45	5,71	3,67
	9	3,92	3,25	4,07	3,42	4,40	3,56	5,28	3,91	5,64	4,11
	16	3,96	2,33	4,27	2,42	4,58	3,38	4,94	3,72	5,31	4,01
	30	4,57	3,26	4,65	3,72	4,81	3,97	5,09	4,51	5,34	4,64
Piaskowce średnio i drobnoziarniste	31	0,70	0,48	0,73	0,70	1,07	0,94	1,21	1,14	2,33	1,46
	40	2,35	2,20	2,78	2,32	3,45	3,11	4,00	3,48	4,54	3,82
	48	3,50	3,04	4,14	3,55	4,94	4,05	6,00	5,70	6,10	5,80
	69	3,43	2,46	3,60	2,70	3,71	3,02	4,84	4,40	4,87	4,35
Mułowce i iłowce piaszczyste	112	1,54	1,14	1,81	1,72	2,06	1,86	2,74	2,20	4,09	3,51
	119	2,33	1,60	2,60	2,38	3,71	3,40	4,41	2,46	4,65	4,40
Iłowce i iłowce węglowe (łupki węglowe)	133	1,66	1,43	1,69	1,62	1,74	1,51	2,19	1,97	2,67	2,33
	136	2,03	1,28	2,34	2,32	3,07	2,45	3,38	2,76	3,79	3,03
	165	2,31	1,43	2,46	2,33	2,59	2,35	2,85	2,31	3,46	2,64
Węgle kamienne	179	0,24	0,24	0,59	0,37	0,78	0,58	0,96	0,87	1,03	1,06
	204	0,56	0,53	0,56	0,43	0,64	0,53	0,67	0,66	0,81	0,80
	214	0,53	0,50	0,60	0,39	0,82	0,73	0,89	0,81	1,16	1,08

ście temperatury wzrastają wartości współczynnika λ, przy czym wartości te są dla skał większe aniżeli dla węgli. Największym wzrostem wartości współczynnika przewodzenia ciepła, przy wzroście temperatury, cechują się jednak żwirowce i piaskowce gruboziarniste; natomiast mułowce i iłowce ujawniają mniejszy wzrost wartości λ. Węgle przy wyższej temperaturze wykazują również wzrost współczynnika przewodzenia ciepła, lecz wzrost ten następuje bardziej powoli aniżeli przy skałach klastycznych. Jak z tego wynika (tablica 28) wzrost współczynnika λ dla skał i węgli zależny jest od temperatury przy jakiej był dokonywany pomiar. Współczynnik wzrasta zatem liniowo zarówno przy przepływie strumienia ciepła równolegle do uwarstwienia, jak też prostopadle. Dla mułowców średnie wartości współczynnika λ są zbliżone do wartości iłowców. Żwirowce ujawniają wartości współczynnika przewodzenia ciepła między kierunkiem równoległym, a prostopadłym przepływie strumienia ciepła dość dużą różnicę w średnich wartościach. Mniejszą natomiast rozpiętość w wartościach liczbowych wykazują piaskowce.

Wpływ wilgoci skał na współczynnik przewodzenia ciepła

W warunkach kopalnianych często skały są nasiąknięte wodą gruntową. Nasiąkliwość skał jest równa i zależna jest ona tutaj od liczby porowatości, która osiąga dla pewnych odmian skalnych 10,85% (tablica 6). Występująca woda w skale ma pewien wpływ na wielkość współczynnika przewodzenia ciepła. Dla stwierdzenia wpływu wody chemicznie w skałach nie związanej na przewodność cieplną, określono współczynnik przewodzenia ciepła na próbkach (krążkach) nawilgoconych oraz na próbkach (krążkach) wysuszonych w suszarce przy temperaturze 105°C. W tym

celu wytypowano do badań takie próbki, które reprezentują wydzielone typy skalne. Najpierw próbki wysuszono w suszarce przy temperaturze 105°C. Po wysuszeniu próbki włożono do eksykatora w celu zabezpieczenia próbek przed wilgocią z powietrza i obniżenia ich temperatury do temperatury otoczenia. Następnie na tych próbkach badano współczynnik przewodzenia ciepła. Po zbadaniu λ próbki nawilgocano przez 2 godziny, mocząc je w wodzie przy temperaturze 25°C, po czym po obtarciu z wody bezpośrednio wkładano do aparatu i wyznaczano ich współczynnik przewodzenia ciepła. Wyniki ujęto w tablicy 29. Węgli w tym kierunku nie badano, gdyż próbki węgla po nawilgoceniu rozsypywały się.

Tablica 29

Charakterystyka współczynnika przewodzenia ciepła skał o różnej wilgoci przy ustalonej średniej temperaturze pomiaru 20°C

Rodzaj skały	λ próbek po wysuszeniu w 105°C	Próbki w stanie higroskopijnym		Próbki po nawilgoceniu wodą	
		Wilgoć %	λ'	Wilgoć %	λ'
Żwirowce i piaskowce gruboziarniste	3,49 3,58 3,65	0,35 0,27 0,42	3,61 3,92 4,28	1,02 1,16 1,23	4,23 4,54 4,98
Piaskowce średnio i drobnoziarniste	2,67 2,67 2,68	0,23 0,36 0,51	3,03 3,36 3,91	0,42 0,62 0,70	3,78 3,92 3,96
Mułowce i iłowce piaszczyste	1,18 1,91 2,12	0,07 0,19 0,37	1,53 2,38 3,06	0,47 0,39 1,01	2,08 2,61 4,23

Jak wynika z danych liczbowych (tablica 29) wilgoć ma pewien wpływ na wielkości współczynnika przewodzenia ciepła

skał. Skały wysuszone w temperaturze 105°C wykazują znacznie mniejszy współczynnik aniżeli skały w stanie higroskopijnym. Wynika stąd zależność między wilgocią złożową a przewodnością cieplną. Należy zatem przyjąć, że wilgoć skał w warunkach kopalnianych powinna się mieścić między wartościami próbki w stanie higroskopijnym, a w stanie nawilgoconym. Wobec tego współczynnik przewodzenia ciepła powinien utrzymywać się mniej więcej w tych dwóch skrajnych wartościach podanych w tablicy 29. Jednak należy tu zaznaczyć, że ustalenie rzeczywistych wartości λ na próbkach nawilgoconych nie jest łatwe, ponieważ przy nagrzewaniu próbek w czasie badania woda znajdująca się w porach skały przy temperaturze 25°C (temperatura grzania) będzie parować, co może wpływać na niedokładność w określaniu wartości λ. Biorąc ten fakt pod uwagę wartość λ próbek nawilgoconych podana w tablicy 29 należy traktować jako dane orientacyjne.

Charakterystyka współczynnika przewodzenia (wyrównania) temperatury w skałach Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

Na podstawie przedstawionych badań przewodności cieplnej próbek skalnych górnośląskiego karbonu można dla badanych skał wyznaczyć współczynnik przewodzenia temperatury z równania

$$a = \frac{\lambda}{c\varrho} \quad \frac{m^2}{s} \tag{34}$$

gdzie:

λ - współczynnik przewodzenia ciepła wyznaczony laboratoryjnie, $\frac{W}{m\ deg}$,

a - współczynnik przewodzenia (wyrównania) temperatury, $\frac{m^2}{s}$,

ϱ - gęstość przestrzenna wyznaczona laboratoryjnie, $\frac{kg}{m^3}$,

c - właściwa pojemność cieplna wyznaczona laboratoryjnie, $\frac{J}{kg\ deg}$.

Współczynnik przewodzenia (wyrównania) temperatury jest zmienny i jest zależny od współczynnika przewodzenia ciepła, gęstości przestrzennej i właściwej pojemności cieplnej. Wartość jego wyznaczono dla kierunku równoległego ($a^{\wedge}$) i prostopadłego (a") do uwarstwienia skał. W tablicy 30 przedstawiono średnio wartości współczynnika "a" dla wydzielonych typów skalnych i warstw stratygraficznych.

Skały warstw libiąskich posiadają najmniejszą średnią wartość współczynnika (a) przewodzenia (wyrównania) temperatury (tablica 30). Największym jednak współczynnikiem (a) cechuje się skały warstw porębskich. Żwirowce i piaskowce gruboziarniste odznaczają się jednak wśród nich największą wartością współczynnika (tablica 20). Piaskowce średnio i drobnoziarniste z warstw orzeskich wykazują na ogół wyrównany (tablica 21) współczynnik (a). Ogólnie można powiedzieć, że przewodzenie (wyrównanie) temperatury jest większe w kierunku równoległym do uwarstwienia skał i węgli aniżeli w kierunku prostopadłym. W kierunku prostopadłym przewodzenie temperatury jest prawie około 25% niższe aniżeli w kierunku równoległym (tablica 20, 21, 22, 23). Mułowce i iłowce posiadają mniejszy współczynnik przewodzenia temperatury. Związane to jest oczywiście z mniejszą wartością współczynnika [illegible]. W odniesieniu do ogniw stratygraficznych, żwirowce, piaskowce i mułowce oraz iłowce z warstw libiąskich, łaziskich posiadają przybliżone wartości współczynnika (a). Skały z tych warstw ujawniają na ogół nieduży współczynnik przewodzenia (wyrównania) temperatury. Większymi wartościami liczbowymi współczynnika a cechują się skały geologicznie starsze zalegające na większych głębokościach.

Tablica 30

Sredni współczynnik przewodzenia (wyrównywania) temperatury

Rodzaj skały	Warstwy									
	Libiąskie i łaziskie		Orzeskie		Rudzkie		Siodłowe		Porębskie	
	a'	a''	a'	a''	a'	a''	a'	a''	a'	a''
Żwirowce i piaskowce gruboziarniste	1,044	0,601	1,423	1,166	1,693	1,197	1,988	1,429	1,939	1,659
Piaskowce średnio i drobnoziarniste	0,615	0,467	1,533	1,156	1,461	1,130	1,443	1,161	1,616	1,102
Mułowce i iłowce piaszczyste	0,721	0,683	0,982	0,769	1,002	0,664	1,098	0,696	1,124	0,779
Iłowce i iłowce węglowe (łupki węglowe)	0,749	0,583	0,897	0,667	0,967	0,625	0,924	1,561	1,157	0,679
Węgle kamienne	0,312	0,280	0,460	0,333	0,341	0,316	0,397	0,274	0,462	0,389

a' - współczynnik wyznaczony równolegle do uwarstwienia skał

a'' - współczynnik wyznaczony prostopadle do uwarstwienia skał

PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ ORAZ WNIOSKI

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki badań pozwalają na wyciągnięcie ogólnych wniosków dotyczących przewodności cieplnej karbońskich skał Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Znajomość współczynnika przewodzenia ciepła skał i węgli ma duże znaczenie przy przechodzeniu z eksploatacją na głębsze poziomy, a to ze względu na dobór odpowiednich metod przewietrzania kopalni. W związku z tym konieczna jest tutaj szersza znajomość współczynników cieplnych skał. Ustalenie warunków klimatycznych w wyrobiskach górniczych bez dokładnej znajomości rzeczywistych wartości tych parametrów cieplnych skał nie jest łatwe. Z praktyki wiadomo, że doprowadzono powietrze do wyrobisk górniczych ogrzewa się w wyniku przepływu strumienia ciepła od wyższej temperatury (w skałach) do niższej (w powietrzu kopalnianym), a więc skały występujące w ociosie wyrobisk oddają ciepło przepływającemu powietrzu. Może też zdarzyć się w kopalni, że ciepło będzie przepływać z powietrza do skał.

K. Patteisky [48, 49] na podstawie obserwacji i szczegółowych badań, zwraca uwagę na duży wpływ lokalnych czynników geologicznych na warunki klimatyczne w kopalni. Podkreśla on przy tym, że znaczny wpływ na wielkość współczynnika przewodzenia ciepła ma skład mineralny i charakter petrograficzny skał.

Ustalenie metod przewietrzania oraz całokształtu warunków klimatycznych dla głębokich poziomów bez znajomości współczynnika przewodzenia ciepła skał, i bez uwzględnienia ilości poszczególnych rodzajów skał i ich wzajemnego stosunku w górotworze, nie zawsze daje należyte rezultaty.

Opieranie się przy projektowaniu przewietrzania kopalń tylko na podstawie stopnia geotermicznego prowadzić może często do

niewłaściwych rozwiązań klimatycznych w wyrobiskach [2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 16, 18, 19, 22, 32, 38, 45].

Badania parametrów cieplnych skał karbońskich wykazały, że ich współczynnik przewodzenia ciepła jest zależny od wielu czynników, charakteryzujących dane skały. Podamy tutaj próbę wyjaśnienia pewnych zależności istniejących między poszczególnymi parametrami własności fizycznych a współczynnikiem przewodzenia ciepła przez karbońskie skały Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

Jak wykazały badania, współczynnik przewodzenia ciepła skał płonnych i węgli zależny jest od wielu czynników. Stwierdzono, że zależy on od składu mineralnego skał, struktury i tekstury, głębokości zalegania danej skały oraz od jej diagenezy. Zależny jest on. również od własności fizyko-mechanicznych jak: gęstości przestrzennej, porowatości, wytrzymałości mechanicznej na zgniot temperatury i kierunku badania.

Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, że żwirowce i piaskowce występujące w karbonie Górnego Śląska posiadają ilościowo zmienny skład mineralny (tablica 4, 7). Ta zmienność w składzie mineralnym powoduje często wahania współczynnika przewodzenia ciepła. Obserwacje mikroskopowe potwierdziły, że duże ziarna, przy dobrze zachowanych ich formach krystalograficznych, przy szczelnie przylegających do siebie, bez masy spajającej i przy minimalnej ilości mikrospękań, powodują wzrost współczynnika przewodzenia ciepła. Dla tak zbudowanej skały λ osiąga wartość około 5,75 $\frac{W}{m\ deg}$ (równolegle do uwarstwienia) i 4,57 $\frac{W}{m\ deg}$ (prostopadle do uwarstwienia). Na podstawie analizy statystycznej wyprowadzono współczynniki korelacji λ względem ilości kwarcu wskazują na istnienie związku funkcyjnego między tymi cechami.

Wyprowadzone proste regresji pozwalają stwierdzić, że współczynnik przewodzenia ciepła przy temperaturze 20°C i przy 100% ziarn kwarcu dla badanych żwirowców i piaskowców może maksymalnie osiągać wartość liczbową około 6,0 $\frac{W}{m\ deg}$ (rys. 7) przy wyeliminowaniu oczywiście innych parametrów.

Ze wzrostem udziału skaleni i minerałów ilastych oraz węglanów obniża się wartość współczynnika przewodzenia ciepła (rys. 8). Wyższym współczynnikiem przewodzenia ciepła odznaczają się jednak żwirowce i piaskowce posiadające przewagę spoiwa chalcedonowo-kwarcowego (krzemionkowego).

Wartości współczynnika przewodzenia ciepła dla tych odmian skalnych w których notuje się przewagę illitu, węglanów, opalu i chalcedonu oraz skaleni mocno skaolinizowanych będą niskie. Wynika to z niskiej przewodności cieplnej samych minerałów.

Badania laboratoryjne ujawniły, że uziarnienie skał ma również wpływ na wartość współczynnika przewodzenia ciepła (tablica 5, 8, 11, 14). Skała wykazująca przewagę ziarn o większej średnicy, i o formach słabo zaokrąglonych, bardziej sprasowanych, ujawni lepszą przewodność cieplną aniżeli skała zbudowana z drobnych (poniżej 0,1 mm) ziarn i okrągłych oraz owalnych (tablica 24).

Tekstura skał również wpływa na wahania wielkości współczynnika przewodzenia ciepła. Ma to swoje odbicie w wartościach λ, gdzie w kierunku równoległym do uwarstwienia współczynnik ten wykazuje wyższe wartości aniżeli w kierunku prostopadłym. Wynika to oczywiście między innymi ze stopnia diagenezy. Skały poddane większemu ciśnieniu jednokierunkowemu wskutek głębokości ich zalegania wykazują w kierunku uwarstwienia większe sprasowanie ziarn, większą ilość spoiwa przekrystalizowanego oraz mniejszą ilość porów między ziarnami. Tym należałoby między innymi tłumaczyć zwiększone wartości λ.

Średnie wartości tego parametru cieplnego dla poszczególnych rodzajów skał, w zależności od kierunku badania, przedstawiają się następująco:

	Równolegle	Prostopadle	Różnica
Żwirowce i piaskowce gruboziarniste	$\lambda' = 3{,}658 \frac{W}{m\ deg}$	$\lambda'' = 2{,}697 \frac{W}{m\ deg}$	$0{,}961 \frac{W}{m\ deg}$
Piaskowce średnio i drobnoziarniste	2,993	2,257	0,736
Mułowce i iłowce piaszczyste	2,402	1,696	0,706
Iłowce i iłowce węglowe	2,334	1,543	0,791
Węgle kamienne	0,549	0,456	0,093

Żwirowce, piaskowce i mułowce wykazują zmienne średnie wartości współczynnika przewodzenia ciepła w zależności od kierunku badania i tak: w kierunku równoległym około 20% wyższe, iłowce około 30%, mułowce około 35%.

Uziarnienie skał ma też pewien wpływ na ich przewodność cieplną. Wskazuje na to wyprowadzona liczba korelacji λ względem liczby wysortowania (rys. 9), gdzie ze wzrostem tej cechy wzrastają wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła. W skałach o strukturze pelitowej, przy większej zawartości SiO_2, nie wzrastają zbytnio wartości liczbowe współczynnika λ (tablica 24).

Przy małym udziale ziarn o średnicy poniżej 0,06 mm współczynnik przewodzenia ciepła wykazuje wartości wyższe, na przykład przy udziale tej frakcji średnio 3,6% (gramowy) współczynnik wykazuje wartość około $3{,}658 \frac{W}{m\ deg}$ (tablica 24), przy zawartości 9,8 frakcji poniżej 0,06 mm, wartość λ spada do 2,56

a przy 60,55% wynosi już tylko 2.993 przy 98,4% wartości tego współczynnika spadają do 2,334 $\frac{W}{m\ deg}$. Z fizycznego punktu widzenia jest to wytłumaczalne, ponieważ im drobniejsze ziarna tym większa jest powierzchnia styku międzyziarnowego, co powoduje znów zwiększenie oporów cieplnych w przepływie strumienia ciepła przez daną skałę. Istotnym czynnikiem wpływającym na wielkość współczynnika przewodzenia ciepła jest głębokość zalegania skał (rys. 14). Badania wykazały, że wartość współczynnika przewodzenia ciepła ogólnie biorąc (rys. 13) wzrasta od najmłodszych warstw zalegających płyciej do starszych zalegających głębiej i to dla wszystkich odmian skalnych przebadanych laboratoryjnie bez uwzględnienia ewentualnych gazów jakie mogły występować w próbkach.

W tym celu wyprowadzono średni współczynnik przewodzenia ciepła skał i węgli dla poszczególnych stratygraficznych warstw.

Warstwy	Równolegle	Prostopadle
libiąskie i łaziskie	$\lambda' = 1{,}310\ \frac{W}{m\ deg}$	$\lambda'' = 0{,}967\ \frac{W}{m\ deg}$
orzeskie	2,780	2,128
rudzkie	2,523	1,833
siodłowe	2,651	1,868
porębskie	3,185	2,259

Jak wynika z wyżej podanego zestawienia średnia wartość współczynnika przewodzenia ciepła skał wzrasta od warstw najmłodszych do starszych wiekowo. Należy jednak mieć na uwadze, że skały tego samego typu petrograficznego, a należące do tych samych poziomów stratygraficznych, zalegające prawie na tej samej głębokości od powierzchni terenu mogą, w niektórych przypadkach wykazywać zbliżone wartości liczbowe współczynnika

przewodzenia ciepła. Dla przykładu możemy podać, że żwirowce i piaskowce gruboziarniste należące do różnych ogniw stratygraficznych, a zalegające na głębokości od 300 do 385 m wykazują wartości współczynnika przewodzenia ciepła 1,914÷3,712 (tablica 20) na głębokości 450 m 3,492÷3,956 $\frac{W}{m\ deg}$. Podobnie zauważa się tę zmienność w piaskowcach średnio i drobnoziarnistych. I tak piaskowce (tablica 21) zalegające na głębokości 260 m wykazują wartości liczbowe współczynnika λ 2,413÷3,782, na głębokości 450 m 3,028÷4,547 na głębokości 550 m 2,842÷4,106, na głębokości 650 piaskowce te wykazują wartości λ=3,967-4,536 m $\frac{W}{m\ deg}$. Również mułowce i iłowce ujawniają odpowiedni wzrost λ z głębokością zalegania. Ogólnie biorąc zbadane skały odznaczają się pewną rozpiętością w wartościach liczbowych współczynnika λ dla tego samego typu skały. Można jednak w przybliżeniu ująć wyniki badań tej cechy cieplnej w przedziały charakteryzujące minimalne i maksymalne wartości dla danej skały.

Rozpatrzmy teraz wpływ własności fizyko-mechanicznych na przewodność cieplną skał i węgli, w odniesieniu do ich pozycji stratygraficznych.

J. Kuhl [6, 7] wykazał, że wytrzymałość na zgniot skał należących do różnych poziomów stratygraficznych występujących na jednakowych głębokościach, udostępnionych robotami górniczymi, nie wykazuje poważniejszych zmian.

M. Borecki i A. Kidybiński [8] stwierdzili, że gęstość przestrzenna i wytrzymałość na zgniot skał i węgli wzrasta liniowo wraz z głębokością zalegania. Podobną zależność stwierdzono również w przewodności cieplnej skał i węgli, analogicznie jak między innymi S. Batzel [2, 3] T. Boldiszar [5, 6,] W. de Braaf [9], G. Mücke [45].

W ogólnym ujęciu, wraz ze wzrostem gęstości przestrzennej powinien wzrastać współczynnik przewodzenia ciepła (rys. 12). Badania wykazały jednak, że zależność ta nie zawsze jest potwierdzona eksperymentalnie (tablica 6, 9, 12, 16, 20, 21, 22, 23). Istnieją przypadki, że skała o gęstości przestrzennej małej ujawnia większe wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła niż wynikałoby to z podanej prawidłowości. Decyduje tu wielkość i ilość porów znajdujących się w skale. Jeśli wyeliminować wpływ spoiwa i zmienność (tablica 4, 7, 10, 13, 15) składu mineralnego skały, to przy stałej gęstości przestrzennej wartości liczbowe współczynnika przewodzenia ciepła powinny się utrzymywać w stałych granicach lub zmniejszać wraz ze wzrostem ilości porów i ich rozmiarów.

W miarę zwiększenia gęstości przestrzennej, co jest wyraźnie widoczne ze wzrostem głębokości zalegania skał (rys. 14) wpływ wielkości por znacznie się zmniejsza. Należy to tłumaczyć zmniejszeniem ilości porów w jednostce objętości wraz ze zwiększeniem gęstości przestrzennej wskutek większej diagenezy skał, a co za tym idzie - zmniejszeniem udziału ich wpływu na ogólną wartość współczynnika przewodzenia ciepła.

Zależność korelacyjna λ względem liczby porowatości potwierdza związek przyczynowy między porowatością, a współczynnikiem przewodzenia ciepła. Linie regresji wskazują, że ze wzrostem liczby porowatości maleją wartości liczbowe współczynnika λ liniowo (rys. 17).

Analiza wyników w tym zakresie wykazała, że badane skały stratygraficznie starsze, zalegają głębiej, posiadają wyższą gęstość przestrzenną, małą porowatość i dużą wytrzymałość mechaniczną na zgniot, a dość duże i na ogół wyrównane wartości współczynnika przewodzenia ciepła. Skały młodsze, zalegające głębiej, wykazują również współczynnik przewodzenia ciepła wyż-

szy. Widoczne jest to na wykresie (rys. 17) przedstawionym w części analitycznej; na przykład skały warstw siodłowych zalegające niekiedy płyciej mają współczynnik λ zbliżony do skał z warstw orzeskich.

Zmienność współczynnika przewodzenia ciepła wraz ze zmianą temperatury uwarunkowana jest strukturą i składem mineralnym skały [45]. Badane skały wykazują wzrost współczynnika wraz ze wzrostem temperatury. Omówione uprzednio badania współczynnika w różnych temperaturach wskazują, że współczynnik przewodzenia ciepła może wzrastać wraz z temperaturą. O ile żwirowce w temperaturze 20°C ujawniają współczynnik od 3,61 do 4,57 (tablica 28), to przy temperaturze 60°C od 5,34 do 5,71 $\frac{W}{m\ deg}$ (równolegle do uwarstwienia).

Piaskowce przy temperaturze 20°C wykazują wartość od 0,70 do 3,50 a przy temperaturze 60°C od 2,33 do 6,10 $\frac{W}{m\ deg}$, (tablica 28). Mułowce przy temperaturze 20°C od 1,54 do 2,33 $\frac{W}{m\ deg}$ a przy temperaturze 65°C współczynnik wynosi 4,09 do 4,65 $\frac{W}{m\ deg}$. Podobnie proporcjonalny wzrost współczynnika w danych temperaturach ujawnia się dla iłowców i węgli. Należy tu jeszcze wspomnieć o wpływie wilgoci na wielkość współczynnika przewodzenia ciepła. Przeprowadzone wstępne badania w tym kierunku wykazały, że współczynnik przewodzenia ciepła wykazuje pewien wzrost ze wzrostem wilgoci w stosunku do próbki w stanie higroskopijnym o około 10%. Porównując ze sobą analizowane parametry składu mineralnego, własności fizycznych i współczynnik przewodzenia ciepła różnych typów skalnych z łatwością można stwierdzić, że przewodność cieplna karbońskich skał Górnego Śląska jest zależna od tych wymienionych parametrów. Potwierdzają to liczby korelacji wielorakiej względem udziału w skale kwarcu, spoiwa oraz stopnia wysortowania materiału skalnego, liczby porowatości, gęstości przestrzennej. Liczba korelacji

wielorakiej wskazuje na istnienie zależności funkcyjnej względem pozostałych cech ziemnych. Wartość tej liczby jest wysoka i zbliża się prawie do jedności. A zatem potwierdza ona słuszność i konieczność analizowania przy wyznaczaniu λ własności petrograficznych i fizycznych skał. Własności te mają istotne znaczenie na wielkość współczynnika przewodzenia ciepła.

UWAGI DOTYCZĄCE PRZYJĘTYCH W PRACY OZNACZEŃ ORAZ SPOSOBU PRZELICZEŃ Z UKŁADU TRADYCYJNEGO NA MIĘDZYNARODOWY UKŁAD JEDNOSTEK MIAR

W sedymentologii nauk geologicznych często są używane tak zwane współczynniki wysortowania materiału skalnego. Współczynnik, podobnie jak większość wielkości fizycznych składa się z wartości liczbowej oraz jednostki i to bez względu na stosowany układ jednostek miar [25]. W istocie rzeczy współczynniki te nie są współczynnikami lecz liczbą, ponieważ są one liczbami bezwymiarowymi. Dlatego w pracy współczynnik wysortowania S_o skał określono jako liczbę, a nazwę współczynnik wzięto w nawias. Podobnie porowatość względną scharakteryzowano liczbą oraz współczynniki [52] korelacji nazwano w pracy liczbami, gdyż są one też bezwymiarowe. Jeśli chodzi o własności fizyczne i właściwości cieplne skał również w pracy zastosowano nowe określenie i tak: Zamiast ciężaru objętościowego w $\frac{G}{cm^3}$ zastosowano gęstość przestrzenną w $\frac{kg}{m^3}$, zamiast ciężaru właściwego w $\frac{G}{cm^3}$ przyjęto gęstość masy w $\frac{kg}{m^3}$, zamiast ciepła właściwego skały $\frac{kcal}{kg\ ^oC}$ zastosowano właściwą pojemność cieplną $\frac{J}{kg\ deg}$

Dane liczbowe otrzymane z badań laboratoryjnych przeliczone zostały na międzynarodowy układ SI jednostek miar. Poniżej podano sposob postępowania przy zmianie układu jednostek (tablica 6, próbka 1 i tablica 20 próbka 1).

1) Gęstość przestrzenna (zamiast ciężar objętościowy)

$$\varrho = 2{,}42 \frac{G}{cm^3} = 2{,}42 \frac{g}{cm^3} \frac{1\ kg}{1000\ g} \frac{10^6 cm^3}{m^3} = 2{,}42.10^3 \frac{kg}{m^3}$$

2) Gęstość masy (zamiast ciężar właściwy)

$$\gamma = 2{,}760 \frac{Co}{cm^3} = 2{,}760 \frac{1\ kg}{1000\ g} \frac{10^6 cm^3}{m^3} = 2{,}760.10^3 \frac{kg}{m^3}$$

3) Wytrzymałość mechaniczna na zgniot

$$R_c = 145 \frac{kG}{cm^2} = 145 \frac{kp}{cm^2} \frac{9.81N}{1\ kp} \frac{10^4 cm^2}{m^2} = 145\ 9{,}81.10^4 \frac{N}{m^2}$$

$$R_c = 142{,}196\ 10^5 \frac{N}{m^2}$$

$$1 \frac{N}{m^2} 10^5 = 1\ bar$$

$$R_c = 142{,}196\ bar$$

W pracy pozostawiono jednak $\frac{N}{m^2}$ ze względu na istotę siły działającej na m^2 skały.

4) Właściwa pojemność cieplna (ciepło właściwe dotychczas przyjmowane w geologii dla skał).

Właściwa pojemność cieplna w układzie SI, podobnie jak praca jest wyrażona za pomocą dżula (J). Jest to jednostka bardzo mała w stosunku do dotychczas używanej kilokalorii

$$1\ J = \frac{1}{4186,8}\ kcal, \quad \text{stąd} \quad 1\ kcal = 4186,8\ J$$

$$c = 0,211\ \frac{kcal}{kg\ deg}\ \frac{4186,8J}{k\ cal} = 883,41\ \frac{J}{kg\ deg}$$

możemy napisać

$$c = 0,883\ .\ 10^3\ \frac{J}{kg\ deg} = 0,883\ \frac{kJ}{kg\ deg}$$

5) Współczynnik przewodzenia ciepła

Współczynnik przewodzenia ciepła w materiale skalnym dotychczas wyrażany był w $\frac{kcal}{mh^oC}$, w układzie międzynarodowym ma jednostkę $\frac{W}{m\ deg}$. We współczynniku tym w tak zwanym układzie technicznym figuruje $\frac{kcal}{h}$. Jeśli przeliczymy kcal i h(godzinę) na jednostki układu międzynarodowego SI otrzymamy

$$1\ \frac{kcal}{h} = 1\ \frac{kcal}{h}\ 4186,8\ \frac{J}{kcal}\ \frac{h}{3600s} = 1,1630\ \frac{J}{s} = 1,163\ W$$

Stąd możemy współczynnik przeliczyć z $\frac{kcal}{mh^oC}$ na międzynarodowy układ jednostek

$$\lambda = 2,01\ \frac{kcal}{mh^oC}\ \frac{1,163W}{1\ \frac{kcal}{h}} = 2,332\ \frac{W}{m\ deg}$$

LITERATURA

[1] Banthaus F.: Die Gebirgstemperatur im Grubenfeld der Gewerkschaft Auguste Victoria Marl. Glückauf, Bergmännische Zeitschrift Jahrgang 95 H. 14. Essen 1959.

[2] Batzel S.: Die Ermittlung thermischer Werte im Grubenbauen und ihre Verwendung für die mathematische Lösung klimatischer Probleme Bergbau - Archiv. 13. 1952.

[3] Batzel S.: Planung und Betrieb von Klimaanlagen für Abbaubetriebe. Glückauf 95. 1959.

[4] Beck A., Jaeger, Newstead G.: The measurment of the thermal condictivities of rocks by observations in boreholes. Austr. Journ. Physics 9. 1956.

[5] Boldizsar T.: Einfluss des Temperaturfeldes der Erdkruste auf die Wettererwärmung in tiefen Gruben Banyaszati Lapok, H. 9/10. 1956.

[6] Boldizsar T.: Calkulation of the temperature rise of mine air flow with regard to the effect of its vapour content. Acta Techn. Hung. 21. 1958.

[7] Boldizsar T.: Warming up mine air in general, condidering rock heat and linear calorie effects. Acta Techn. Hung. 22. 1958.

[8] Borecki M., Kidybiński A.: Warunki geotechniczne eksploatacji węgla z dużych głębokości. Przegląd Górniczy 5. 1966.

[9] de Braaf W.: L'echauffement de l'air ventilation dans les puits et les voies d'entree d'air. Geol. Mijnb. 13. 1951.

[10] Bridgman P.W.: The thermal conductivity and compressibility of several rocks under high pressures. Am. Jours. Sci. Vd VII. 1924.

[11] Buch L.: Die bedeutung der Wettererwärmung für die Bestimmung der zur Klimatisierung vom Abbaubetrieben im Steinkohlenbergbau erforderlichen Kalteleistung. Bergbau Archiv. 16 H. 2. 1955.

[12] Brudnik J.: Geothermische Tiefenstufe im OKR (Ostrauer-Karwiner-Revier) Uhli 12. 1957.

[13] Cammerer J.S.: Bezeichnungen und Berechnungsverfahren für Diffusionsvorgänge im Bauwesen. Kalte-technik, 8. 1956.

[14] Carslaw H.S., Jaeger J.C.: Some two-dimensional problems in conduction of heat with circular symmetry. Proc. Lond. Math. Soc. 46. 1940.

[15] Carslaw H.S., Jaeger J.C.: Conduction of heat in solides. Clarendon Press. Oxford. 1959.

[16] 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.

[17] D'Ans J., Lax E.: Taschenbuch für Chemiker und Physiker. 2 Aufl. Berlin, Göttingen, Heidelberg. Springer - Verlag. 1949.

[18] Dachnow W.N., Djakonow D.I.: Tiermiczeskije issliedowanja skważin. Gostoptiechnistad. 1952.

[19] Djadkin J.D.: Usłowija tiepłoobmienia w oczistinch zawodach głubokich szacht. kak osnowanjie dla wybora reżima ochłażdienija rudnicznogo wozducha. Lieningradskij Górnij Institut. 1956.

[20] Diergunow N.D.: Mietodika gieotiermiczieskich isliedowanij. Problemy gieotermi. Cz. I. Moskwa. 1963.

[21] Fritz W., Moser H.: Spezifische Wärme-und Temperaturleitfähigkeit von Steinkohle, Holzkohle und Koks. Feuerungstechnik 1940.

[22] Frycz A.: Wpływ warunków klimatycznych w kopalniach głębokich na wybór systemów eksploatacji (praca doktorska niepublikowana) Politechnika Śląska Gliwice 1963.

[23] Gawrońskij A.A.: Puti eniergieticzueskogo i kompliekśnogo ispolżowanija prorodonogo tiepła ziemli. Problemy gieotiermi. Cz. I. 1963.

[24] Gerstein L.: Die Probleme des Abbaus in grossen Tiefen in Südafrikanischen Goldbergbau 1957.

[25] Górniak H., Gundlach W., Ochęduszko S.: Zastosowanie międzynarodowego układu jednostek miar w energetyce cieplnej. PWN. Warszawa-Wrocław 1965.

[26] Grober H., Erk S., Grigull U.: Die Grundgesetze der Wärmeübertragung. Aufl. Berlin, Göttingen, Heidelberg. Springer - Verlag 1957.

[27] Hanot Ch.: Le probleme de la chaleur et de l'humidite dans les exploitations charbonnieres a grand profondeur. Revue Universelle des Mins. Vol. XVIII. Serie 8, nr 3. 1941.

[28] Haussler W.: Über die Temperaturprofile beiderseits einer Verdunstenden Wasseroberfläche. Die Technik 12. 1957.

[29] Heidersdorf G.: Gerbigstemperaturmessungen im Betriebsfeld der Schachtenlage 1/2 der Gewerkschaft Auguste Victoris Marl. Geol. Meldearbeit 1955.

[30] Hiramatsu I., Kokado J.: Eine Untersuchung über die Künlung von Gruben durch den Wetterstrom. Bergbau - Archiv. 19. 1958.

[31] Hobler T.: Ruch ciepła i wymienniki. PWT, Warszawa 1959.

[32] Jahns H.: Die Vorarbeiten zur Ermittlung der natürlichen Gebirgstemperatur in den Bergwerken des niederrheinisch-westfällischen Steinkohlenbezirks. Mitteilungen aus dem Markscheider. 63. 1956.

[33] Jagielski A.N.: Tieplowyje rasczioty wientiljacionnogo wozducha wyrabotok z tupikarnym zabojem w głubokich ugolnych szachtach. Gostortiechichdat - Moskwa 1960.

[34] Koch B.: Grundlagen des Wärmeaustauches (Stoffwerke) Dissen, T.W.: H. Beucke und Söchne 1950.

[35] Krischer O., Esdorn K.: Die Wärmeübertragung in fauchten, porigen Stoffen verschiedener Struktur. Forsch. Ing. Wes. 22. 1956.

[36] Kuhl J.: Niektóre własności fizyko-mechaniczne skał karbońskich Górnego Śląska. Przegląd Geologiczny 10. 1955.

[37] Kuhl J.: Petrograficzna klasyfikacja skał towarzyszących pokładom węgla w Zagłębiu Górnego Śląska. Prace GIG, Seria A, Komunikat nr 171, Katowice 1955.

[38] Koczniew K.W.: Tieplowoie Kondicinonierowanie rudniczio-go wozducha Izdatielstwo Akademii Nauk SSSR. 1960.

[39] Litwiniszyn J.: Temperatura powietrza w pionowych wyrobiskach kopalnianych. Przegląd Górniczy 12. 1948.

[40] Litwiniszyn J.: Wpływ temperatury skał na temperaturę powietrza kopalnianego. Biuletyn Instytutu Górniczego, Kom. 26. 1949.

[41] Lomax G.: Thermal constans of Coal Measurerocks. Ph. D. Thesis. Nottingham University. 1957.

[42] Maas W., Sadee C.: Die Erwärmung der Grubenwetter in Bandstrecken. Geol. Minjnb. 20. 1958.

[43] Madejski J.: Teoria wymiany ciepła. PWN, Warszawa-Poznań 1963.

[44] Missenard A.: Coun superieur de chauffage. Ventilation et conditionnement de l'air. Editions Eyrolles-Paris 1962.

[45] Mücke G.: Untersuchungen über die Warmeleitfähigkeit von Karbongesteinen und ihre beeinflussung durch Feuchtigkeit im Zusammenhang mit der Wärmeübertragung des Steinkohlengebirges und die Grubenwetter. (Dissertation), Bochum 1964.

[46] Ochęduszko S.: Wdrażanie układu jednostek MKS w Politechnice Śląskiej, Referat na zjeździe Jednoimiennych Katedr Termodynamiki Gliwice 1961.

[47] Ochęduszko S.: Termodynamika stosowana. WNT. 1964.

[48] Patteisky K.: Die geologischen Grundlagen des Grubenklimas im Steinkohlenbergbau. Glückauf 9/10. 1952.

[49] Patteisky K.: Verschlechterung des Grubenklimas durch das Astreten von Thermalsole Abwehr ihrer Einflüsse, Bergbauwiss. 2. 1955.

[50] Smith L.P.: Hear flow in an infinits solid bounded internally by a cylinder. J. Appl. Pys. 8. 1937.

[51] Sočes B., Černik B.: Bekampfung hohen Gebirgstemperaturen. Berlin 1931.

[52] Szulc S.: Metody statystyczne. PWE, Warszawa 1963.

[53] Szczerbań A.N., Kremniew O.A.: Sliedowanija koiefficientow tiepłootdarczi w modielnych szachtnych wyrabotkach. Izdatielstwo AN U SSR Kijew 1951.

[54] Szczerbań A.N., Kremniew O.A., Czernobylskij A.J., Uczastkin P.W., Tietiewnikow B.N., Jagielskij A.N.: Ochłażdenie i osuszenie wozducha w głubokich ugolnych szachtach. Izdatielstwo ANU SSR Kijew 1956.

[55] Stodulski E.: Stopień geotermiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (praca doktorska niepublikowana). Zakład Petrografii Stosowanej, GIG, Katowice 1966.

[56] Scott D.R.: The cooling of underground galleries. Trans. Instn. Engrs. 118. 1959.

[57] Wacławik J.: Temperatura powietrza w wyrobiskach górniczych. Arch. Górn. Tom IX. z. 4. 1964.

OZNACZENIA I JEDNOSTKI WIELKOŚCI FIZYCZNYCH

Lp.	Oznaczenia (symbol)	Znaczenie symbolu	Jednostka
1	A	Pole powierzchni	m^2
2	a	Współczynnik wyrównania (przewodzenia) temperatury	$\frac{m^2}{s}$
3	C	Udział pierwiastka C w węglu	% gramowy
4	c	Właściwa pojemność cieplna	$\frac{J}{kg\ deg}$
5	cl	Udział części lotnych w węglu kamiennym	% gramowy
6	I	Natężenie prądu elektrycznego	A
7	k	Udział kwarcu w skałach	% objętościowy

Lp.	Oznaczenia (symbol)	Znaczenie symbolu	Jednostka
8	l	Długość walca próbki	m
9	n	Ilość pomiarów	-
10	p	Poprawka wyprowadzona dla aparatu SPM-1	-
11	pł	Udział popiołu w węglu kamiennym	% gramowy
12	pr	Liczba porowatości (porowatość względna)	%
13	Q, $\dot{Q}$	Ilość ciepła, ciepło w strumieniu	J, $\frac{J}{s} = W$
14	$\dot{q}$	Zagęszczenie ciepła w strumieniu	$\frac{W}{m^2}$
15	R	Opór cieplny	$\frac{W}{m\ deg}$
16	R_c	Wytrzymałość mechaniczna skał na zgniot	$\frac{N}{m^2}$
17	R_w	Liczba korelacji wielorakiej określającej związek przyczynowy między współczynnikiem przewodzenia ciepła a pozostałymi wartościami mierzonymi cech skały	-
18	r_1 v r_2	Promienie kuli próbki	m
19	r_{xy}	Liczba korelacji współczynnika przewodzenia ciepła względem mierzonych wartości	-
20	S	Średni błąd standartowy mierzonych wielkości współczynnika przewodzenia ciepła	$\frac{W}{m\ deg}$

Lp.	Oznaczenia (symbol)	Znaczenie symbolu	Jednostka
21	s_p	Udział spoiwa w żwirowcach i piaskowcach	% objętościowy
22	S_o	Liczba wysortowania materiału skalnego	-
23	U	Napięcie prądu elektrycznego	V
24	x	Udział wartości mierzonych (kwarc, spoiwo, liczba wysortowania, liczba porowatości, wytrzymałość mechaniczna na zgniot, udział pierwiastka C, popiołu i części lotne)	%, $\frac{N}{m^2}$
25	y	Wartości mierzone współczynnika przewodzenia ciepła	$\frac{W}{m\ deg}$
26	α	Poziom ufności w rachunku prawdopodobieństwa	-
27	β	Poziom ufności błędu przypadkowego	-
28	γ	Gęstość masy	$\frac{kg}{m^3}$
29	δ	Grubość próbki	m
30	ϑ	Temperatura próbki na skali Celsjusza	^oC
31	$\Delta\vartheta$	Przyrost temperatury	deg
32	λ	Współczynnik przewodzenia ciepła	$\frac{W}{m\ deg}$
33	λ'	Współczynnik przewodzenia ciepła mierzony równolegle do uwarstwienia skał	$\frac{W}{m\ deg}$

Lp.	Oznaczenia (symbol)	Znaczenie symbolu	Jednostka
34	λ''	Współczynnik przewodzenia ciepła mierzony prostopadle do uwarstwienia skał	$\frac{W}{m\ deg}$
35	ϱ	Gęstość przestrzenna	$\frac{kg}{m^3}$
36	σ_y	Odchylenia standartowe wartości mierzonych współczynnika przewodzenia ciepła	$\frac{W}{m\ deg}$
37	σ_x	Odchylenia standartowe wartości mierzonych, poszczególnych cech skały, kwarc, spoiwo, liczba wysortowania, liczba porowatości, wytrzymałość mechaniczna na zgniot, pierwiastek C, popiół, części lotne	-
38	$r_{xy} \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$	Współczynnik regresji współczynnika przewodzenia ciepła względem pozostałych mierzonych wartości cech skały	$\frac{W}{m\ deg}$

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ГОРНЫХ ПОРОД И КАМЕННЫХ УГЛЕЙ КАРБОНА ВЕРХНЕЙ СИЛЕЗИИ

Р е з ю м е

В статье указан метод определения коэффициента теплопроводности горных пород и углей в термостационарных условиях. Описана аппаратура и способ измерения коэффициента λ .

Приведены значения этого параметра для температуры $20^{o}C$ и для температуры: 30, 40, 50 и $60^{o}C$. В результате проведенных исследований по теплопроводности горных пород и углей верхние силезского карбона были определены некоторые зависимости между физико-механическими свойствами горных пород и углей, а их теплопроводностью.

Установлено также, что коэффициент λ изменяется в зависимости от рода горной породы. Доказано, что значения λ зависят от степени диагенеза, а также от глубины залегания в отдельных стратиграфических горизонтах.

THERMAL CONDUCTIVITY OF ROCKS AND COALS

S u m m a r y

The studies of thermal properties of Carboniferous rocks have shown that their thermal conductivity depends on many factors chara cterizing these rocks. This thermal conductivity is the function of many parameters. The trial will be described of characterizing some relations egzisting between sepurt parameters and thermal conductivity of rocks and coals of Upper Silesian Coal Mining Basin.

According to the results of laboratory investigations thermal conductivity of rocks and coals depends on many factors. First of all, depends on mineralogical compositions of rocks and chemical compositions of coals, petrographie character (structure and texture, and homogenity of components), geologie factors (such as the depth of deposition of rocks, the stratygraphic position and diagenezis) and physical properties (density of rocks, porosity and mechanical strength), fersther physical factors such as temperature, termodynamic conditions of heat flow as vellas the methods of measuremants and the extent of precisions in preparation of test pices.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA Gliwice

ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ
ukazują się w następujących seriach:

A. AUTOMATYKA
B. BUDOWNICTWO
Ch. CHEMIA
E. ELEKTRYKA
En. ENERGETYKA
G. GÓRNICTWO
IS. INŻYNIERIA SANITARNA
MF. MATEMATYKA-FIZYKA
M. MECHANIKA
NS NAUKI SPOŁECZNE

Dotychczas ukazały się następujące zeszyty serii G:

Górnictwo z. 1, 1956 r., s. 134, zł 20,—
Górnictwo z. 2, 1959 r., s. 96, zł 17,10
Górnictwo z. 3, 1961 r., s. 130, zł 21,—
Górnictwo z. 4, 1962 r., s. 134, zł 10,95
Górnictwo z. 5, 1963 r., s. 158, zł 11,90
Górnictwo z. 6, 1963 r., s. 154, zł 8,50
Górnictwo z. 7, 1963 r., s. 129, zł 6,80
Górnictwo z. 8, 1964 r., s. 175, zł 10,20
Górnictwo z. 9, 1964 r., s. 133, zł 10,50
Górnictwo z. 10, 1964 r., s. 157, zł 8,75
Górnictwo z. 11, 1964 r., s. 221, zł 13,10
Górnictwo z. 12, 1964 r., s. 304, zł 15,20
Górnictwo z. 13, 1965 r., s. 145, zł 8,40
Górnictwo z. 14, 1965 r., s. 78, zł 5,—
Górnictwo z. 15, 1966 r., s. 79, zł 5,—
Górnictwo z. 16, 1966 r., s. 91, zł 7,—
Górnictwo z. 17, 1966 r., s. 113, zł 8,—
Górnictwo z. 18, 1966 r., s. 291, zł 16,—
Górnictwo z. 19, 1966 r., s. 150, zł 11,—
Górnictwo z. 20, 1966 r., s. 84, zł 5.—

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
Politechniki Śląskiej
P 3351/68