

POLE CIEPLNE GÓRNOŚLĄSKIEGO ZAGŁĘBIA WĘGLOWEGO

THE GEOTHERMAL FIELD OF THE UPPER SILESIA COAL BASIN

SŁOWA KLUCZOWE: Górnośląskie Zagłębie Węglowe (GZW), gęstość powierzchniowego strumienia ciepłego, gradient geotermiczny, właściwa przewodność cieplna skał

KEY WORDS: Upper Silesian Coal Basin (USCB), heat flow, geothermal gradient, thermal conductivity.

STRESZCZENIE

Obszar Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) należy do najlepiej zbadanych rejonów w Polsce w aspekcie oceny rzeczywistej temperatury górotworu. Badania prowadzono w latach ubiegłych dla potrzeb górnictwa węglowego, stąd zakres głębokości większości zrealizowanych odwiertów ogranicza od dołu przewidywana głębokość eksploatacji górniczej (1000-2000 m). Poniżej tej głębokości temperatury geotermiczne mogą być oszacowane w oparciu o wyniki obliczeń gęstości powierzchniowego strumienia ciepłego Ziemi. Wartości strumienia ciepłego zmieniają się od 50 mW/m² do ponad 90 mW/m², średnia wartość obliczona dla 158 otworów wynosi 70,4±8,5 mW/m². Anomalie dodatnie występują w sąsiedztwie stref uskokowych o rozciągłości równoleżnikowej, Żory – Jawiszowice oraz Bzie-Dębina – Czechowice, których reaktywacja tektonotermiczna miała miejsce prawdopodobnie w fazach młodoalpejskich. Stwierdzone w tym rejonie występowanie relatywnie wysokich temperatur geotermicznych na głębokościach dostępnych wierceniami stwarza korzystne warunki dla pozyskania energii geotermicznej dla celów energetycznych.

* * *

1. WPROWADZENIE

Systematyczne badania gęstości powierzchniowego strumienia ciepłego Ziemi są prowadzone od 1963 roku pod auspicjami Międzynarodowej Unii Geodezji i Geofizyki (International Union of Geodesy and Geophysics). W Polsce prekursorem tych badań był S. Plewa (Plewa, 1966).

Dla oznaczenia gęstości strumienia ciepłego Ziemi niezbędne jest wykonanie pomiarów temperatury w głębokich odwiertach w warunkach ustalonej równowagi cieplnej oraz zbadanie właściwej przewodności cieplnej skał w badanym profilu litostratygraficznym. Istotnym elementem wpływającym na dokładność obliczeń jest określenie warunków transferu ciepła, zwłaszcza ocena udziału składowej konwekcji.

Przeprowadzono analizę dostępnych pomiarów temperatury górotworu wykonanych w głębokich

ABSTRACT

The area of the Upper Silesian Coal Basin (USCB) is one of the best geothermally explored areas in Poland. Due to extensive coal exploration drilling the thermal field of the basin has been directly established down to the depth of 1000 – 2000 m. Below this depth the field is estimated basing on results of calculations of the heat flow density. The values of heat flow in the basin vary from 50 mW/m² – 90 mW/m². Positive heat flow anomalies have been identified in the neighborhood of faults parallel to latitude. They are situated in the Żory – Jawiszowice and Bzie-Dębina – Czechowice zones, where tectonotermic reactivation was active during the early alpine orogenic phases. The relatively high geothermal temperatures, measured within the depth reached by boreholes, are perspective in respect of exploitation of the geothermal energy.

* * *

1. INTRODUCTION

Methodical studies of the surface heat flow density have been conducted since 1963 under the auspices of the International Union of Geodesy and Geophysics. In Poland, such investigations were initiated by S. Plewa (Plewa, 1966).

Heat flow density can be calculated after a series of temperature measurements in deep boreholes under conditions of thermal equilibrium, and thermal conductivity measurements of rocks. An essential element that affects the accuracy of such calculations is determination of conditions under which the heat flow transfer proceeds, in particular estimates of contribution of the convection component.

Temperature data measured in deep boreholes, and thermal conductivity measurements performed in the laboratory, have been analysed. A special

od- wiertach oraz laboratoryjnych pomiarów własności cieplnych skał, ze szczególnym uwzględnieniem badań wykonanych w parametrycznych otworach PIG OG Sosnowiec, które zostały zaprojektowane w węzłowych, dla rozpoznania budowy geologicznej, punktach zagłębia. W wymienionych otworach równolegle z szerokim zakresem badań geologicznych zostały wykonane badania geotermiczne (profilowanie temperatury w warunkach ustalonej równowagi cieplnej i badania laboratoryjne własności cieplnych skał).

Do chwili obecnej w omawianym obszarze obejmującym około 5500 km² powierzchni wykonano ponad 5000 odwiertów, w tym ciągłe profilowanie temperatury zostało zrealizowane w około 600 otworach wiertniczych. Otwory wiertnicze z pomiarami temperatury są rozmieszczone nierównomiernie, ich lokalizacja pozostaje w ścisłym związku z rejonizacją obszarów dokumentowania złóż węgla kamiennego, głębokość penetracji do końca lat siedemdziesiątych na ogół tylko nieznacznie przekraczała 1000 m i podyktowana była zainteresowaniem górnictwa wydobywaniem węgla maksymalnie do tej głębokości. W latach osiemdziesiątych bezpośrednie rozpoznanie wiertnicze głębokich poziomów karbonu produktywnego prowadzono do głębokości 2000 m. Pomiary temperatury wykonano przy zachowaniu szerokiego zakresu zmian kryterium stabilizacji pola temperatur w sąsiedztwie otworu wiertniczego (od pomiarów bezpośrednio po płukaniu, do pomiarów wykonanych po kilkunastodobowej stójce; średnia stójka 120 h). Pomiary temperatury realizowano termometrami elektrooporowymi o bezwzględnej dokładności pomiaru $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$. W spągu odcinków pomiarowych prowadzono dodatkowo punktowe pomiary temperatury, wykonane termometrami maksymalnymi. Stwierdzone różnice nie przekraczają $0,5^{\circ}\text{C}$. Na ogół błąd oceny rzeczywistej temperatury górotworu jest znacznie większy i jest związany z obecnością dodatkowych bodźców termodynamicznych uruchomionych w procesie wiercenia (Karwasiecka, Rychlicki, 1988).

Ocena parametrów geotermicznych górotworu została przeprowadzona dla termogramów zarejestrowanych w warunkach zbliżonych do quasistacjonarnych. Podstawowym kryterium weryfikacji pomiaru temperatury były: czas zatrzymania odwiertu od chwili zakończenia wszelkich prac instrumentacyjnych do chwili pomiaru - "stójka" odwiertu, temperatura zarejestrowana na poziomie neutralnym, gdzie zanikają wpływy związane z insolacją, oraz monotoniczny charakter zmian temperatury z głębokością.

Pomiary przewodności cieplnej skał były realizowane z wykorzystaniem metody stacjonarnego pomiaru oraz z zastosowaniem wzorców, kryształu kwarcu wyciętych wzdłuż osi optycznych, do kalibracji aparatury. Badania laboratoryjne zostały wykonane w Zakładzie Petrofizyki Przedsiębiorstwa Badań Geofizycznych (PBG) w Warszawie. Próby przed wykonaniem pomiaru były suszone do stałej wagi, w suszarce próżniowej w temperaturze $105-110^{\circ}\text{C}$, następnie nasycone 5%

attention was paid to investigations carried out in boreholes drilled by the Upper Silesian Branch of the Polish Geological Institute in Sosnowiec. The boreholes were located at key sites in respect to the geological structure of the area, and they have yielded a broad range of both geological and geothermal data (temperature logging performed under conditions of thermal equilibrium and measurements of thermal properties of rocks made in the laboratory).

Until now, over 5000 boreholes have been drilled in an area of approximately 5500 sq. km. Permanent temperature loggings were run in approximately 600 boreholes. Boreholes, in which temperature measurements were made, are not distributed uniformly. Their location is constrained by the regionalization of areas of hard coal documenting. By the end of 1970s the area was penetrated down to a depth of just below 1000 m, due to coal exploitation that commonly performed to these depths. In the 1980s, direct drilling exploration of deeply buried coal-bearing Carboniferous series reached a depth of 2000 m. Temperature values were measured in a broad range of conditions of temperature field stabilization around drillholes (including measures made just after a sweep as well as measures recorded after a long drilling break; with average drilling break 120 h). Temperatures were measured using resistance thermometers (with accuracy of measurement $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$). At the base of measuring intervals additional points were selected for temperature measurements with the use of maximum reading thermometers. The observed divergencies between measurements did not exceed 0.5°C . Commonly, the estimation error of real temperature is considerably greater and is related to the occurrence of additional thermodynamic factors induced by the drilling process (Karwasiecka, Rychlicki, 1988).

Estimates of geothermal parameters of the massif were performed for thermograms recorded under quasistationary conditions. The basic criteria for verification of temperature measurements were the following: drilling break duration from the completion of fishing job until the moment of measure, temperature recorded on neutral horizon (where influences associated with the insolation process obsolete), and monotonous character of variations in temperature versus depth.

Measurements of the thermal conductivity of rocks were made using the method of stationary measurement and with the use of standard quartz crystal, cut out along optical axes, to calibrate the devices. Laboratory studies were carried out at the Department of Petrophysics of the Geophysical Exploration Company in Warsaw. Before measure the samples were dried in a vacuum dryer, at temperatures of $105-110^{\circ}\text{C}$, as long as they achieved a constant weight, and then saturated with 5% NaCl solution.

A total number of 2212 samples, representing main lithotypes of a barren rock in the lithostratigraphic column, were collected from 20 boreholes and then examined.

roztworem soli NaCl.

Przebadana kolekcja skał dotyczyła 2212 prób pobranych z 20 odwiertów reprezentujących podstawowe litotypy skał płonych występujące w profilu litostratygraficznym. Przedmiotem analizy były próby wycięte w kierunku równoległym do osi rdzenia. Ciępną przewodność węgla kamiennego przyjęto wg danych literaturowych (Chmura, 1970; Chmura, Chudek, 1992; M. Plewa, S. Plewa, 1999).

2. WYNIKI BADAŃ GĘSTOŚCI POWIERZCHNIOWEGO STRUMIENIA CIEPLNEGO ZIEMI

Wartość gęstości powierzchniowego strumienia ciepłego Ziemi obliczono wykorzystując fenomenologiczne równanie Fouriera

$$\vec{q} = -K * \overrightarrow{gradT}$$

Wyznaczona wartość gęstości strumienia ciepłego zależy do przyjętego sposobu aproksymacji pionowego gradientu temperatury oraz zastosowanego modelu strukturalnego ośrodka dla oszacowania efektywnej przewodności cieplnej skał.

Gradient geotermiczny jako pierwsza pochodna temperatury względem głębokości jest parametrem czułym na fluktuacje temperatury, zarówno te związane z rzeczywistym stanem górotworu, jak również wynikające z rejestracji przypadkowych "szumów". Dokładność obliczenia gradientu zależy od dokładności pomiaru temperatury, a także długości interwału obliczeniowego (efekt skali). W omawianym rejonie z uwagi na brak pomiarów temperatury wykonanych techniką termistorową umożliwiającą wyznaczenia temperatur z dokładnością rzędu $\pm 0,01^\circ\text{C}$, zastosowano dla obliczenia gradientu geotermicznego metodę ruchomego – "kroczącego okna". Obliczenia prowadzono w odcinkach 200 m z zachowaniem "okna" o długości 50 m. Zastosowana metoda pozwala na wygładzenie rejestrowanych zmian temperatury.

Gradient geotermiczny w profilu litostratygraficznym badanych odwiertów w obszarze GZW zmienia się w szerokich granicach od $2,0^\circ\text{C}/100\text{ m}$ do ponad $4,5^\circ\text{C}/100\text{ m}$ (Karwasiecka, 1996). W planie powierzchniowym zmiany pionowego gradientu geotermicznego charakteryzuje generalny trend obniżania wartości w kierunku z południowego-zachodu na południowy-wschód (rys. 1). Geometria powierzchniowego rozkładu pionowego gradientu geotermicznego wykazuje strefowy układ izolinii. W centralnym obszarze niecki głównej obserwuje się obniżone wartości gradientu geotermicznego, który na wschodzie zagłębia w okolicach Chrzanowa przyjmuje wartości rzędu $2,0^\circ\text{C}/100\text{ m}$ oraz na zachodzie, w okolicach Rybnika, rzędu $3,0^\circ\text{C}/100\text{ m}$. Dodatnie anomalie charakteryzujące się gradientem powyżej $3,5^\circ\text{C}/100\text{ m}$ występują na południe od strefy uskokowej Żory - Jawiszowice oraz na

The objects of analysis were samples cut out perpendicular to the core axis. Values of thermal conductivity of coals were taken from literature data (Chmura, 1970; Chmura, Chudek, 1992, M. Plewa, S. Plewa, 1999).

2. RESULTS OF HEAT FLOW DENSITY STUDIES

Values of the surface heat flow density were calculated using the phenomenological Fourier equation:

$$\vec{q} = -K * \overrightarrow{gradT}$$

The calculated heat flow density value is dependent on both the assumed method of approximation of the vertical temperature gradient and the structural model, employed to estimate the effective thermal conductivity of rocks.

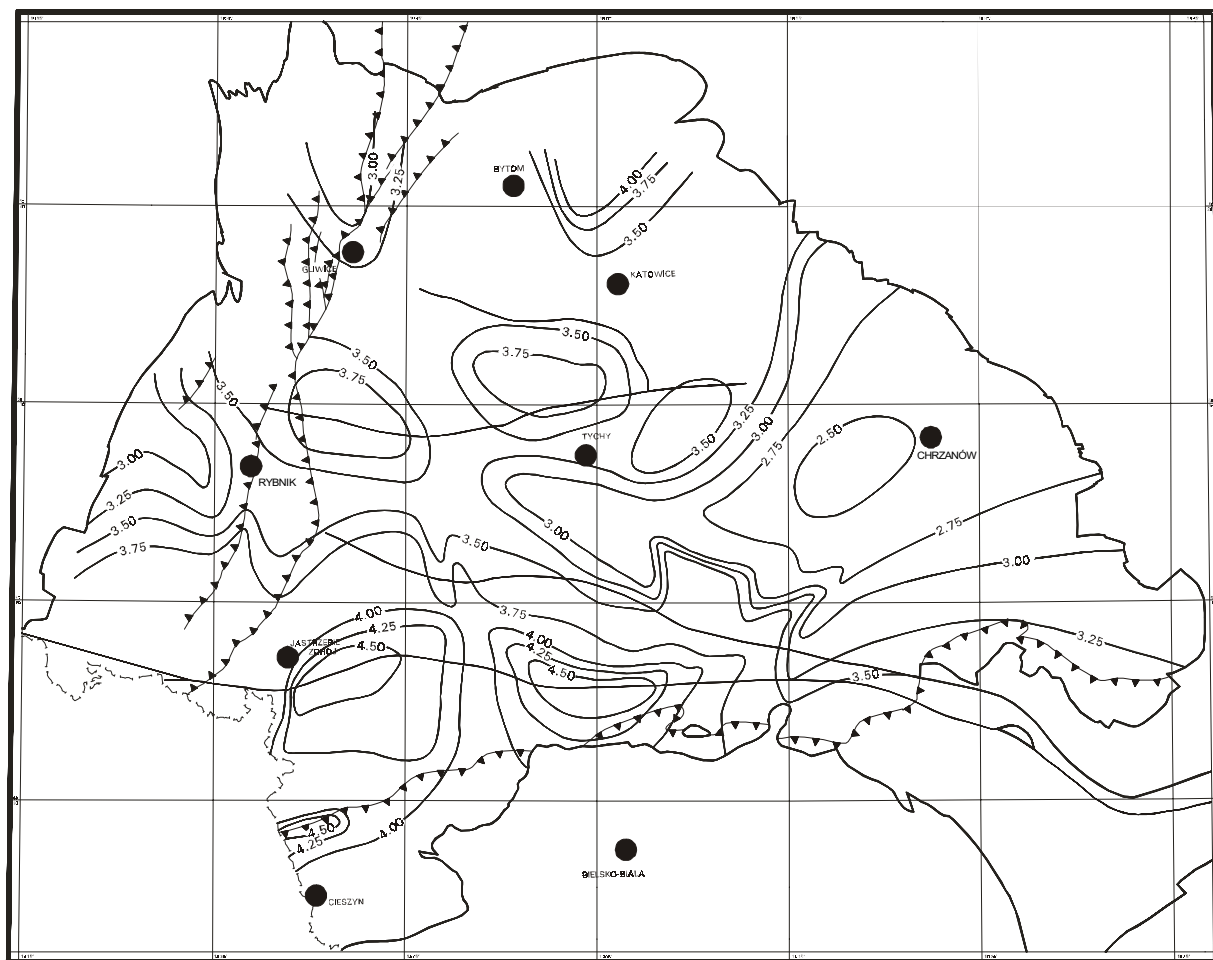
The geothermal gradient, as the first derivative of temperature versus depth, is a parameter very sensitive to temperature fluctuations, both these related to the real state of the massif and those resulting from random noises.

Calculation accuracy of the gradient value is dependent on both the accuracy of temperature measurements and length of measuring interval (scale effect).

In the area of interest the "moving window" method was employed to calculate the geothermal gradient, because there is a lack of temperature measurements, made using a technique which could allow the accuracy of measurements of $\pm 0.01^\circ\text{C}$.

The calculations were made along 200 m-long intervals with 50 m-long "window". This method allows to smooth the recorded temperature variations. The geothermal gradient in the boreholes from the Upper Silesian Coal Basin varies within broad limits from $2.0^\circ\text{C}/100\text{ m}$ to over $4.5^\circ\text{C}/100\text{ m}$ (Karwasiecka, 1996).

In a surface plan, variations of the geothermal gradient are characterized by a general trend of decreasing values from the southwest towards southeast (Fig. 1). Geometry of surface distribution of the vertical geothermal gradient shows a zonal pattern of isolines. In the central area of the main trough geothermal gradient values are lower. In the eastern part of the Upper Silesian Coal Basin near Chrzanów, the values reach $2.0^\circ\text{C}/100\text{ m}$, whereas in the west, near Rybnik - $3.0^\circ\text{C}/100\text{ m}$. Positive anomalies, characterized by a gradient value $> 3.5^\circ\text{C}/100\text{ m}$, are observed south of the Żory - Jawiszowice fault zone and in the northern part of the area. Local anomalies observed at Bziedębiny and Czechowice (with geothermal gradient $> 4.5^\circ\text{C}/100\text{ m}$) are also seen within the positive anomaly in SE part of the Upper Silesian Coal Basin. The relatively lowest geothermal gradients are observed within the area of the occurrence of the Kraków Sandstone Series, composed mostly of thick-bedded sandstones whose contribution in the section ranges from



Ryc. 1. Mapa gradientu geotermicznego na obszarze Górnosląskiego Zagłębia Węglowego. Izolinie gradientu w $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

Fig. 1. Geothermal gradient of the Upper Silesian Coal Basin. Isolines in $^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

północy w rejonie siodła głównego. W obrębie dodatkowej anomalii w SE części GZW występują lokalne anomalie Bzie-Dębiny oraz Czechowic (gradient geotermiczny powyżej $4,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$). Relatywnie najniższe gradienty geotermiczne obserwowane są w obszarze występowania utworów krakowskiej serii piaskowcowej zbudowanej głównie z piaskowców gruboławicowych, których udział w profilu waha się w granicach od 75 do 92% ogólnej miąższości. Wymieniony kompleks utworów z uwagi na wysoką porowatość i przepuszczalność oraz korzystne warunki zasilania tworzy najsilniej wodonośną część karbonu produktywnego (Różkowski i in., 1992; Wagner, 1998). Zasilanie poziomów wodonośnych ma miejsce bezpośrednio na wychodniach, bądź przez przepuszczalne utwory czwartorzędu (infiltrujące wody atmosferyczne). Permanentne ochładzanie poprzez infiltrujące wody jest w omawianym regionie w dużym stopniu przyczyną anormalnego rozkładu pola temperatur.

Ekstrapolacja temperatur w profilu głębokościowym poniżej poziomu bezpośrednich obserwacji w oparciu o gradient temperatury może prowadzić do znaczących błędów. Parametrem, który efektywnie charakteryzuje

75 to 92% of the total thickness. This complex, due to its high porosity and permeability and favourable water circulation conditions, is the most prominent water-bearing horizon of the coal-bearing Carboniferous (Różkowski et al., 1992; Wagner, 1998).

The supply of water-bearing horizons takes place either directly at outcrops or through permeable Quaternary deposits (infiltrating rainfall waters). Permanent cooling by the infiltrating waters is one of the most important reason of anomalous distribution of the temperature field in this area.

Extrapolation of temperatures in the vertical profile beneath the interval of direct observations, made on the basis of the temperature gradient, can lead to serious errors. The inner heat of the Earth is effectively characterized by the surface heat density flow which acquires a constant value (assuming the absence of inner heat sources and, at least, quasistationary geothermal field).

Values of the geothermal gradient, measured beneath the active formation water circulation (600-800 m below the surface), and laboratory measurements of thermal conductivity of rocks, made on sam-

wewnętrzne ciepło Ziemi jest gęstość powierzchniowego strumienia ciepłego, który przyjmuje wartość stałą (przy założeniu nieobecności wewnętrznych źródeł ciepła oraz co najmniej quasistacjonarnego pola cieplnego).

Dla obliczenia gęstości powierzchniowego strumienia ciepłego wykorzystano wartości gradientu geotermicznego obliczone poniżej aktywnego obiegu wód złożowych (600-800 m od powierzchni ziemi), oraz pomiary laboratoryjne przewodności cieplnej skał wykonane dla prób zorientowanych w kierunku równoległym do osi otworu. Wartość gęstości strumienia ciepłego Ziemi w omawianym rejonie, dla 20 odwiertów, została wyznaczona w oparciu o wyniki badań gradientu geotermicznego i laboratoryjne pomiary właściwej przewodności cieplnej skał pobrane w profilu tego samego odwiertu. Dla pozostałych odwiertów wykorzystano wyniki badań analizy statystycznej, w oparciu o które estymowano średnie wartości przewodności cieplnej dla odpowiednich litotypów skał (Karwasiecka, 2001). Dla obliczenia gęstości powierzchniowego strumienia ciepłego założono model strukturalny ośrodka składający się z płasko-równoległych warstw o zróżnicowanej litologii i odpowiednio zróżnicowanych własnościach cieplnych skał. Obliczenia prowadzono przy założeniu, że transport ciepła ma miejsce w kierunku powierzchni Ziemi i jest realizowany na drodze kondukcji. Wyznaczona wartość gęstości strumienia ciepłego charakteryzuje jego składową pionową.

Zasadnicze znaczenie dla oceny zdolności do przewodzenia energii cieplnej w rzeczywistych ośrodkach skalnych ma zdefiniowanie ekwiwalentnego modelu strukturalnego, który pozwoli na przyporządkowanie efektywnych wartości przewodności cieplnej na podstawie zbadanych dyskretnie parametrów. Wieloskładnikowy ośrodek skalny zastąpiono układem płasko-równoległych warstw reprezentowanych przez występujące w profilu litostratygraficznymi litotypy skał. Poszczególnym wydzielonym warstwom przyporządkowano wartość przewodności cieplnej zmierzoną w warunkach laboratoryjnych, bądź prognozowaną w oparciu o statystyczne opracowanie zebranej kolekcji skał (Karwasiecka, 2001).

Dla modelu, w którym transport ciepła realizowany jest w kierunku prostopadłym do uwarstwienia uśredniona przewodność cieplna została obliczona jako średnia ważona harmoniczna zgodnie z zasadami estymacji właściwości fizycznych o charakterze tensorowym

$$Kef_p = \frac{1}{\sum \frac{n_i}{n} * \frac{1}{K_i}}$$

gdzie:

n_i i K_i odpowiednio miąższość występujących jednorodnych warstw litologicznych oraz przewodność cieplna skał

n – miąższość analizowanego interwału głębokościowego

ples oriented parallel to the borehole axis were employed to calculate the surface heat flow density.

The surface heat flow density in the area was defined for 20 boreholes basing on the study results of the geothermal gradient and measurements of thermal conductivity of rocks from the same borehole.

For other boreholes, results of the statistical analysis was employed. The results were used for estimates of mean thermal conductivity for each lithotype (Karwasiecka, 2001).

A structural model, consisting of flat- and parallel-lying layers of different lithologies and diversified thermal properties, was assumed to calculate the surface heat flow density. The calculations were made with the assumption that the heat transfer proceeds towards the Earth's surface through the conduction process. The determined value of the surface heat flow density characterizes its vertical component.

A definition of the equivalent structural model has an essential importance for the estimates of ability to conduct thermal energy in real rocks. Such a model allows to assign effective values of thermal conductivity on the basis of parameters discretely tested.

A multiple rock body has been replaced by flat- and parallel-lying layers represented by lithotypes occurring in the real lithostratigraphic profile. Values of thermal conductivity, measured in the laboratory or prognosticated from the statistical analysis of the rock samples collection, were assigned to individual layers (Karwasiecka, 2001).

Mean thermal conductivity was calculated, for a model in which the heat transfer proceeds along the axis perpendicular to bedding planes, was calculated as the harmonic weighted mean according to estimation principles of physical properties of tensor nature.

$$Kef_p = \frac{1}{\sum \frac{n_i}{n} * \frac{1}{K_i}}$$

where:

n_i and K_i denote thickness of homogenous lithologic layers and thermal conductivity of rocks, respectively

n – thickness of the analysed depth interval

For conditions under which the heat transfer is proceeds along the axis parallel to bedding planes, mean thermal conductivity was calculated as the arithmetic weighted mea.

$$Kef_r = \sum \frac{n_i}{n} K_i$$

The value of the equivalent parameter of thermal conductivity, calculated along the axis perpendicular to

Dla warunków, kiedy transport ciepła realizowany jest w kierunku równoległym do uwarstwienia uśredniona przewodność cieplna została obliczona jako średnia ważona arytmetyczna

$$K_{ef} = \sum \frac{n_i}{n} K_i$$

Wartość ekwiwalentnego parametru przewodności cieplnej obliczona w kierunku prostopadłym do uwarstwienia jest mniejsza od przewodności cieplnej obliczonej w kierunku równoległym do uwarstwienia. Wyznaczone wartości stanowią dolną i górną granicę efektywnej przewodności cieplnej skał dla ośrodków wieloskładnikowych. Różnice są szczególnie istotne dla ośrodków, w których poszczególne składniki charakteryzują się istotnie różnymi wartościami analizowanych parametrów. Dla profilu litostratygraficznego obejmującego utwory karbonu węglonośnego na efektywną przewodność cieplną kompleksu w sposób szczególnie istotny wpływa węglonośność, ponieważ węgle charakteryzują się o rząd niższą przewodnością cieplną od skał płynych. Z uwagi na powyższe, nawet nieduża procentowa węglonośność profilu, rzadko przewyższająca 10% (Kwarciński i in. 1999) w sposób istotny wpływa na wartość obliczonej efektywnej przewodności w zależności od przyjętego sposobu obliczania średniej. Graficzną ilustrację zmian efektywnej przewodności cieplnej w profilu utworów karbonu produktywnego w zależności od procentowego udziału poszczególnych składników litologicznych przedstawiono na wykresie (rys. 2). Obliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem metody regresji wielowymiarowej oraz programu komputerowego "Statistica".

Profil litologiczny w obrębie badanych odcinków odtworzono w oparciu o makroskopowy opis rdzenia oraz analizę krzywych profilowania geofizycznego. Na ogół treść litologiczną, z uwagi na pełne rdzeniowanie, szeroki zakres wykonanych badań geofizycznych oraz skalę rejestracji (podstawowe badania 1:200, detaliczne 1:50) można było odtworzyć z bardzo dużą rozdzielczością. Miąższość wydzielonych warstw wynosiła od 0,2 m do kilkudziesięciu metrów.

Gęstość strumienia cieplnego, obliczona w profilu 158 odwiertów, zmienia się w szerokich granicach od 53,0-95,7 mW/m², średnia wartość wynosi 70,4±8,5 mW/m². Obliczony niezależnie dla czeskiej części zagłębia, w rejonie ostrawsko-karwińskim strumień cieplny wynosił 82±16 mW/m², po korekcie uwzględniającej udział w profilu utworów fitogenicznych 70±8 mW/m² (Kubik, Čermak, 1986).

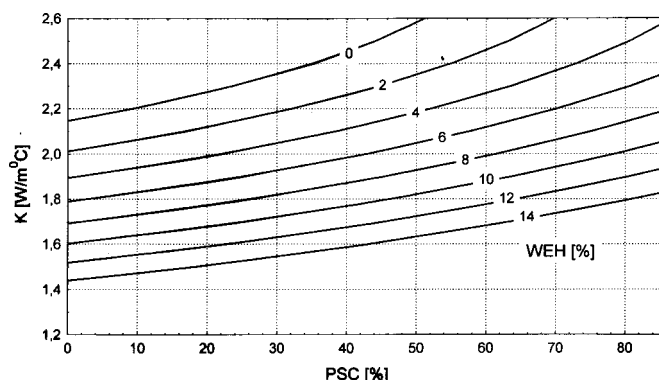
Wyznaczone w poszczególnych otworach wyniki oznaczeń gęstości strumienia cieplnego porównano z publikowanymi badaniami przeprowadzonymi w latach ubiegłych (S. Plewa, 1976; M. Plewa, 1988; M. Plewa, S. Plewa, Sroka, Śmiszek, 1995). Bardzo dużą zgodność wyników uzyskano w odniesieniu do otworów Bzie Dębina 3 oraz Goczałkowice IG1, gdzie

bedding planes, is lesser than thermal conductivity calculated parallel to bedding planes.

The calculated values are the bottom and top limit of effective thermal conductivity of multiple rock bodies. Differences are especially high in rock bodies where the components are characterized by significantly different values of various parameters.

Effective thermal conductivity of the coal-bearing Carboniferous is highly influenced by its coal-prone nature, because coals are characterized by thermal conductivity values lower by an order of magnitude than barren rocks. Even small percentage of coal-bearing strata in the profile, rarely exceeding 10% (Kwarciński i in., 1999), significantly influences the calculated thermal conductivity, depending on the manner of calculation.

A graphic illustration of changes in effective thermal conductivity in the coal-bearing Carboniferous complex, according to the percentage contribution of individual lithological components, is shown in the chart (Fig. 2). The calculations were made using the multiple regression method and "Statistica" software.



Ryc. 2. Zależność przewodności cieplnej skał od składu litologicznego.

Fig. 2. Dependence of thermal conductivity upon lithologies.

Lithological sections of the analysed profiles have been reconstructed on the basis of both drillcore studies on a macro scale and analysis of gamma-ray logging. The lithologies were commonly very easy to be determined owing to complete coring, broad range of well loggings and large recording scales (1:200, 1:50). Thicknesses of individual beds vary from 0.2 m to several tens of metres.

The heat flow density, calculated for 158 boreholes, varies in a broad range from 53.0 to 95.7 mW/m², with 70.4±8.5 mW/m² on the average. Heat flow values, calculated independently for the Ostrava-Karvina region in the Czech Republic, is 82±16 mW/m² and 70±8 mW/m² if corrected for the presence of phytogenic layers in the profile (Kubik, Čermak, 1986).

The results of heat flow density from individual boreholes were compared with data published in

odpowiednie wartości mieszczą się w granicach błędu oszacowania.

Obliczone wartości gęstości powierzchniowego strumienia ciepłego Ziemi zostały wykorzystane do konstrukcji mapy w omawianym obszarze (rys. 3). Powierzchniowy rozkład zmian analizowanego parametru wskazuje, że omawiany rejon nie może być traktowany jako homogeniczny z punktu widzenia charakterystyki pola ciepłego.

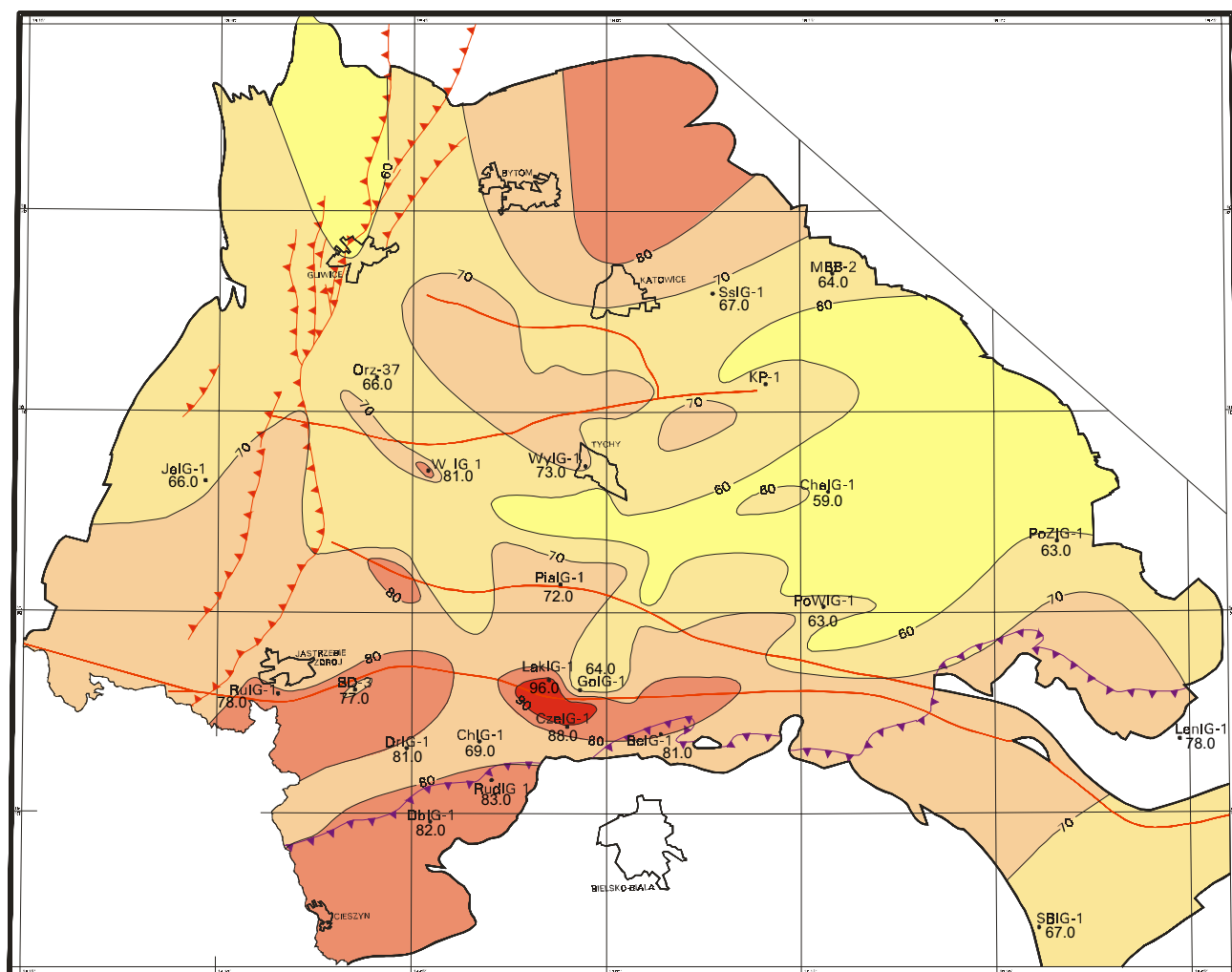
Niskie wartości strumienia ciepłego obserwujemy, w NW części GZW (rejon fałdów gliwickich). Gęstość strumienia ciepłego w tym rejonie przyjmuje wartość rzędu 60 mW/m² i rośnie w kierunku na SE przyjmując wartości bliskie 70 mW/m² w rejonie Szczygłowic i Dębieńska. Podobne wyniki dla tego rejonu podają K. Probierz i M. Lewandowska (Probierz, Lewandowska, 1998) oraz M. Plewa (Plewa, 1988).

Dodatnie anomalie pola ciepłego (powyżej 80 mW/m²) występują w SW rejonach GZW w sąsiedztwie stref uskokowych Żory – Jawiszowice i Bzie-Dębina – Czechowice oraz na północy w rejonie siodła głównego w sąsiedztwie uskoku kłodnickiego.

previous years (S. Plewa, 1976; M. Plewa, 1988; M. Plewa, S. Plewa, Sroka, Śmiszek, 1995). Similar results have been obtained for the Bzie Dębina 3 and Goczałkowice IG1 boreholes, where calculated values fall within the limit of error. The calculated values of the surface heat flow density have been employed to construct a map of the area (Fig. 3). Surface distribution of changes of this parameter shows that this region cannot be considered a homogenous area in terms of geothermal field characteristics.

Low heat flow values are observed in the northwestern part of the Upper Silesian Coal Basin (Gliwice folds). The heat flow density amounts to approximately 60 mW/m² in that area, increasing southeastwards to 70 mW/m² near Szczygłowice and Dębieńsko. Similar results are cited for that area by K. Probierz & M. Lewandowska (Probierz, Lewandowska, 1998) and M. Plewa (Plewa, 1988).

Positive anomalies of the geothermal field (over 80 mW/m²) are observed in the southwestern areas of the Upper Silesian Coal Basin close to the Żory – Jawiszowice and Bzie-Dębina – Czechowice fault zones,



Ryc. 3. Mapa gęstości powierzchniowego strumienia ciepłego na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Izolinie strumienia w mW/m².

Fig. 3. Surface heat flow density of the Upper Silesian Coal Basin. Isolines in mW/m².

Wspomniane strefy uskokowe wykazują generalnie równoleżnikowy kierunek rozciągłości, są zakorzenione w głębokim podłożu bloku górnośląskiego, ich reaktywacja miała miejsce w okresie orogenezy alpejskiej (Kotas, 1985). W świetle niektórych poglądów uskoki te wykazują aktywność do czasów współczesnych (Aleksandrowicz, 1964; Kowalczyk, 1972; Teper, 1998).

Młoda aktywizacja tektonotermiczna, stwierdzone występowanie relatywnie wysokich temperatur geotermicznych na głębokościach dostępnych wierceniami stwarza korzystne warunki dla pozyskania energii geotermicznej dla celów energetycznych (Karwasiecka, 1996; 2000; Małolepszy, 1999; Twardowski, 2000; S. Plewa (red.), 2001).

W strefie dodatnich anomalii pola temperatur geotermicznych charakteryzujących SW część GZW potencjalne horyzonty wodonośne związane mogą być z utworami górnośląskiej serii piaskowcowej, zalegającymi w tym rejonie na głębokościach rzędu 1400-2000 m. Prognozowane temperatury geotermiczne wynoszą odpowiednio 60-85°C. Czynnikiem utrudniającym pozyskanie energii geotermalnej z utworów karbonu produktywnego jest niska przepuszczalność skał oraz wysoka mineralizacja płynów złożowych.

Należy natomiast rozważyć możliwość pozyskania energii geotermalnej z węglanowych utworów zalegających w spągu serii węglonośnych oraz energii cieplnej zakumulowanej w wodach wypełniających wyrobiska poeksploatacyjne zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego.

3. WNIOSKI

1. Analizę gęstości powierzchniowego strumienia ciepłego Ziemi w obszarze GZW opracowano na podstawie 158 otworów, w których pomiary temperatury zostały wykonane w warunkach quasistacjonarnych (średnia stójka 170 h) oraz wyników laboratoryjnych pomiarów własności cieplnych skał dla 2212 prób reprezentujących podstawowe litotypy i pobranych z 20 odwiertów.
2. Wartość gęstości powierzchniowego strumienia ciepłego Ziemi zmienia się w obszarze GZW w szerokich granicach od 50 mW/m² do ponad 90 mW/m² średnia wartość wynosi 70,4±8,5 mW/m². Wyrażna dodatnia anomalia występująca w rejonie południowo-zachodnim, jest zbieżna z anomaliami pola temperatur na wszystkich analizowanych poziomach oraz polem jakości złóż węgla. W obrębie tej anomalii wyróżniono lokalne anomalie Suszca, Bzia-Dębiny oraz Czechowic.
3. Ujemna anomalia pionowego gradientu temperatury obserwowana we wschodnich rejonach GZW pozostaje w wyraźnym związku z obszarem występowania krakowskiej serii piaskowcowej, który znajduje się w odkrytym hydrogeologicznie rejonie.

as well as in the north near the Kłodnica fault. These fault zones show a general longitudinal strike and they are rooted in a deep basement of the Upper Silesian Block. They were reactivated during the Alpine orogeny (Kotas, 1985).

Some authors claim that the faults have been active until now (Aleksandrowicz 1964; Kowalczyk, 1972; Teper, 1998).

Young tectonothermal activity and the occurrence of relatively high geothermal temperatures at depth attainable by drillings create favourable conditions for winning of geothermal energy (Karwasiecka 1996, 2000; Małolepszy, 1999; Twardowski 2000; S. Plewa (ed.), 2001).

Potential water-bearing horizons, which occur in the area of positive anomalies of the geothermal temperature field and are characteristic of SW part of the Upper Silesian Coal Basin, can be associated with the Upper Silesian sandstone series, lying in this area at depths of 1400-2000 m.

Expected geothermal temperatures range from 60 to 85°C. The factors that makes it difficult to win geothermal energy from the coal-bearing Carboniferous deposits are low permeability of rocks and high mineralization of brines.

Other sources of geothermal energy, that should be considered, are carbonate deposits occurring at the base of coal-bearing series and waters filling old excavations of closed coal mines.

3. CONCLUSIONS

1. The analysis of the surface heat flow density of the Upper Silesian Coal Basin has been performed on both material derived from 158 boreholes, in which temperature measurements were made under quasistationary conditions (with average drilling break 170 h), and results of laboratory measurements of thermal parameters of 2212 rock samples collected from 20 boreholes, and representing main lithotypes.
2. The values of surface heat flow in the Upper Silesian Coal Basin vary within broad limits from 50 mW/m² to over 90 mW/m², with the average value of 70.4±8.5 mW/m². A distinct positive anomaly is observed in the southwestern area. It corresponds to both temperature field anomalies, recorded at all the analyzed horizons, and the field of coal quality. Local anomalies at Suszec, Bzie-Dębiny and Czechowice occur within the positive anomaly.
3. A negative anomaly of the vertical temperature gradient, observed in the eastern area of the Upper Silesian Coal Basin, is associated with the area of the occurrence of the Kraków Sandstone Series.

LITERATURA

- ALEKSANDROWICZ S., 1964 - Przejawy tektoniki mioceńskiej w Zagłębiu Górnośląskim. *Acta Geol. Pol.* 12, 2.
- CHMURA K., 1970 – Własności fizyko-termiczne skał niektórych zagłębi górniczych. *Wyd. Śląsk. Katowice.*
- CHMURA K., CHUDEK M., 1992 – Geotermika górnicza. Pol. Śl. Skrypty Uczelniane nr 1596. Gliwice.
- KARWASIECKA M., RYCHLIKI S., 1988 – Ocena wpływu warunków pomiaru na wartość rejestrowanej temperatury w otworach wiertniczych. *Mat. IV Krajowej Konferencji Geofizyki Wiertniczej "Kierunki modernizacji geofizyki wiertniczej w Polsce"*. Drzonków.
- KARWASIECKA M., 1996a – Atlas Geotermiczny Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Wydawnictwo Kartograficzne Polskiej Agencji Ekologicznej S.A.* Warszawa.
- KARWASIECKA M., 1996b – Perspektywy pozyskania energii geotermicznej w obszarze GZW. *Tech. Posz. Geol. Geosynoptyka i Geotermia*, nr 3-4, Kraków.
- KARWASIECKA M., 2000 – Niektóre uwarunkowania wykorzystania energii geotermicznej w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. *XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Nowe Metody i Technologie w Geologii Naftowej, Wiertnictwie, Eksploatacji Otworowej i Gazownictwa.* Kraków.
- KARWASIECKA M., 2001 – Wyniki badań właściwości ciepłych skał w obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *XII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Nowe Metody i Technologie w Geologii Naftowej, Wiertnictwie, Eksploatacji Otworowej i Gazownictwa.* Kraków.
- KOTAS A., 1985 – Structural evolution of the Upper Silesian Coal Basin (Poland). *10 Congr. Int. Strat. Geol. Carbon. Madrid Compt. Rend.* 3: 459-469. Madrid.
- KOWALCZYK Z., 1972 - Badanie ruchów tektonicznych na terenie Śląska metodami geodezyjnymi. *Problemy geodynamiki i tąpnięć*. 1. Kom. Górn. PAN Kraków.
- KUBIK J., Čermak V., 1986 – Heat flow in the Upper Silesian Coal Basin: re-evaluation of data with special attention to the lithology. *Studia geoph. Et geol.*, 30: 376-393.
- MAŁOLEPSZY Z., 1999 – Energia geotermalna w kopalniach węgla kamiennego w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. *Technika Poszukiwań Geologicznych, Geosynoptyka i Geotermia*, 38, 3: 57-70. PAN, Kraków.
- PLEWA M., 1988 – An Analysis of the Density Changes of the Surface Heat Flow of the Earth in Poland. *Zesz. Nauk. AGH nr 1218, Geof. Stos. Z.* 1, 109-124. Kraków.

REFERENCES

- PLEWA M., PLEWA S., SROKA K., ŚMIESZEK R. (presented by R. Ney), 1995 - New Determination of the Terrestrial Heat Flow in Poland. *Bull. Of the Polish Academy of Sciences, Earth Sciences*, Vol. 43, No 4.
- PLEWA M., PLEWA S., 1999 – Wyniki badań termicznych własności skał Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *10 Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Nowe Metody i technologie w Geologii Naftowej, Wiertnictwie, Eksploatacji Otworowej i Gazownictwie.* 24-25 czerwiec 1999. Kraków. 103-111.
- PLEWA S., 1966 – Regionalny obraz parametrów geotermicznych obszaru polski. *Pr. Geof. i Geol.* Kraków. 1-88.
- PLEWA S., 1976 – The New Results of Surface Heat Flow Investigations of Earth Crust Performed in Karpaty Mountains. *Publ. Geoph. Pol. Acad. Sci.* A-2 (101).
- PLEWA S., 2001 – Zagadnienie jakości krzywych profilowania w otworach wiertniczych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. S. Plewa (red.) *Rozpoznanie pola ciepłego Ziemi w obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego dla potrzeb górnictwa i ciepłownictwa* (praca złożona do druku).
- PLEWA S. (red.), 2001 – Rozpoznanie pola ciepłego Ziemi w obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego dla potrzeb górnictwa i ciepłownictwa (praca złożona do druku).
- PROBIERZ K., LEWANDOWSKA M., 1998 – Ziemiński strumień ciepła w północno-zachodniej części GZW. *Prace Naukowe GIG. Seria Konferencje*, *Konf. Nt. Problemy geologii w ekologii i górnictwie podziemnym.* 24: 339-348.
- RÓŻKOWSKI A., WITKOWSKI A., CHMURA A., GAJOWIEC B., WAGNER J., ROGOŹ M., 1992 – Charakterystyka hydrogeologiczna poziomów wodonośnych karbonu produktywnego. *IV Konferencja "Postęp naukowy i techniczny w geologii górniczej węgla kamiennego"*. Szczyrk 7-10 października 1992 r. SITG GIG Komisja Nauk Geologicznych. Oddz. PAN. Katowice.
- TEPER L., 1998 - Wpływ nieciągłości podłoża karbonu na sejsmotektonikę północnej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Wyd. UŚl.*, Katowice: 1-106.
- TWARDOWSKI K., 2000 – Wykorzystanie likwidowanych kopalń do tworzenia podziemnych magazynów gazu i wód termalnych. *Mat. Konf. Szkoły Eks. Podziemnej.* Szczyrk 21-25 luty 2000.
- WAGNER J., 1998 – Charakterystyka hydrogeologiczna karbonu produktywnego niecki głównej Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Biul. Państw. Inst. Geol.* 383. 55-96.