

Irena Gąsior, Anna Przelaskowska
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Charakterystyka parametrów termicznych skał mezopaleozoicznych z rejonu Kraków-Dębica

Wstęp

Współczynnik przewodności cieplnej i gęstość powierzchniowego strumienia ciepłego Ziemi to parametry o zasadniczym znaczeniu dla termicznej charakterystyki basenów sedymentacyjnych. Głównymi komponentami strumienia ciepłego są: ciepło pochodzące z płaszcza Ziemi oraz ciepło radiogeniczne, związane z radioaktywnymi pierwiastkami skoncentrowanymi w granitoidach.

Są one położone na tyle głęboko, że zróżnicowanie gęstości powierzchniowego strumienia ciepłego związane jest głównie z wartościami współczynnika przewodności cieplnej, ruchem roztworów porowych oraz lokalnymi zjawiskami magmowymi. Rozkład wartości współczynnika przewodności cieplnej ma więc bezpośredni wpływ na rozkład temperatur w basenie sedymentacyjnym.

Wyniki badań laboratoryjnych

Wykonano pomiary współczynnika przewodności cieplnej skał mezopaleozoicznych z 5 otworów wiertniczych z rejonu Kraków-Dębica: Z-8k, Ż-47, O-3, P-2 i Zg-2. Wartości przewodności cieplnej z otworów Z-8k, Ż-47 pomierzone zostały dla próbek suchych [2, 5], natomiast pomiary próbek z otworów O-3, P-2 i Zg-2 przeprowadzono w ramach projektu własnego pn.: „Wykorzystanie sieci neuronowych oraz metod statystyki matematycznej do określenia ciepła radiogenicznego skał mezopaleozoicznych zapadliska przedkarpackiego w rejonie Tarnów-Dębica”. Badania wykonano dla próbek suchych i nasyconych. Przebadano skały węglanowe reprezentujące kredę górną (wapienie margliste, margle), jurę górną (wapienie, wapienie dolomityczne i margliste, dolomity), trias górny (wapienie, margle), karbon dolny (wapienie) i dewon (dolomity, margle) oraz skały silikoklastyczne jury środkowej (piaskowce drobno- i średnioziarniste) i triasu środkowego (piaskowce, mułowce).

Pomiary współczynnika przewodności cieplnej λ wykonano przy pomocy miernika FOX50 firmy LaserComp. Inc na próbkach o średnicy/boku 5 cm i grubości ok. 15–20 mm, w temperaturze 25°C, przy ustalonym przepływie ciepła. Dla wartości współczynnika λ pomierzonego dla

próbek suchych wprowadzono poprawkę na nasycenie skały, według wzoru [4]:

$$\lambda_{nas} = \lambda_s \times (\lambda_p / \lambda_w)^{K_p \times S}$$

gdzie:

λ_{nas} – przewodność cieplna próbki nasyconej [W/mK],

λ_s – przewodność cieplna próbki suchej [W/mK],

λ_p – przewodność cieplna powietrza [W/mK],

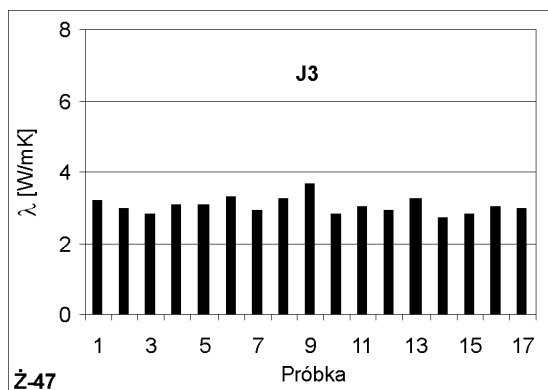
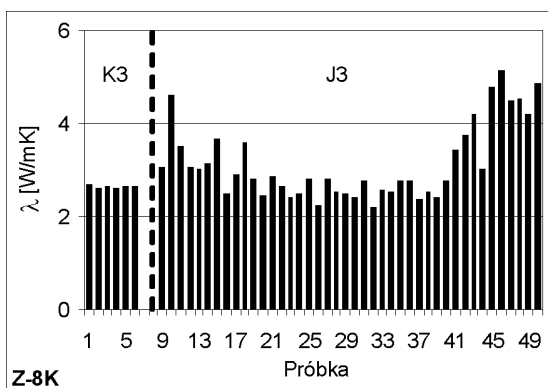
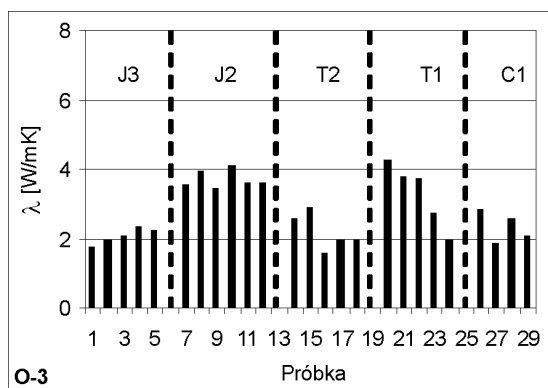
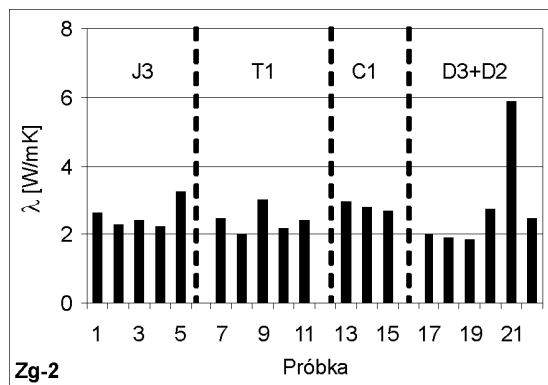
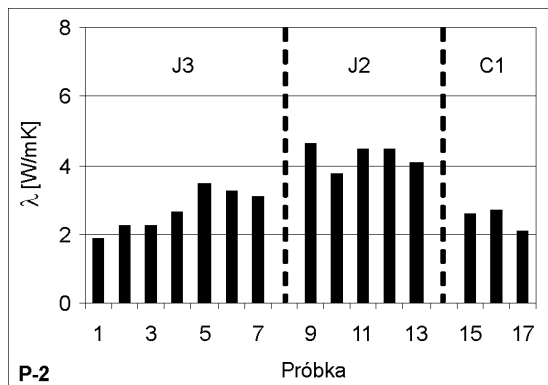
λ_w – przewodność cieplna wody [W/mK],

K_p – współczynnik porowatości,

S – współczynnik nasycenia wodą.

Wartości współczynnika λ dla skał węglanowych mieszczą się w przedziale 1,58–5,12 W/mK (śr. $\lambda = 2,85$ W/mK), natomiast dla skał silikoklastycznych – w przedziale 1,88–5,87 W/mK (śr. $\lambda = 3,50$ W/mK). Rozkład wartości współczynnika przewodności cieplnej dla poszczególnych serii litostratygraficznych w analizowanych otworach wiertniczych przedstawiono na rysunkach 1–5.

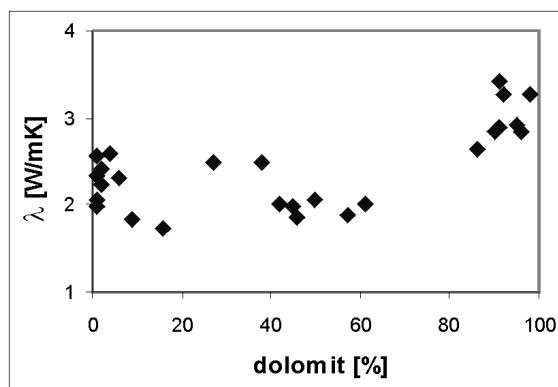
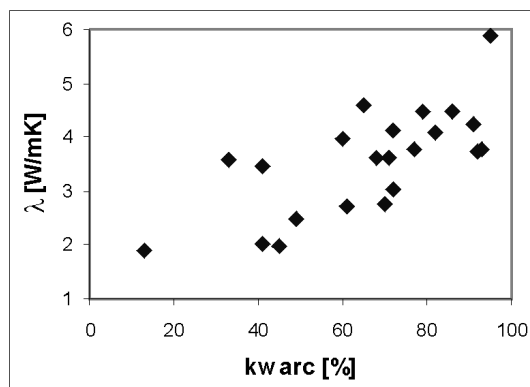
Wartość współczynnika λ zależy od wielu petrofizycznych parametrów skał, takich jak: porowatość, gęstość, uziarnienie czy skład mineralny [1, 3, 6, 7]. Dla próbek skał



Rys. 1–5. Rozkład współczynnika przewodności cieplnej w analizowanych otworach wiertniczych z podziałem na serie litostratigraficzne

z otworów O-3, P-2 i Zg-2 wykonano (w ramach projektu pn.: „Wykorzystanie sieci neuronowych oraz metod statystyki matematycznej do określenia ciepła radiogenicznego skał mezopaleozoicznych zapadliska przedkarpaccyckiego w rejonie Tarnów-Dębica”) analizę składu mineralnego przy pomocy dyfraktometru rentgenowskiego X’Pert MPD firmy Philips.

Przeprowadzona analiza korelacyjna pomiędzy współczynnikiem λ a składem mineralnym badanych skał potwierdziła zależność λ od kwarcu i minerałów ilastych; dla piaskowców λ rośnie ze wzrostem zawartości kwarcu (rysunek 6a) i maleje wraz ze wzrostem zawartości minerałów ilastych. W skałach węglanowych stwierdzono większe wartości λ w próbkach o wysokiej zawartości dolomitu (rysunek 6b).



Rys. 6a, b. Wpływ zawartości kwarcu na przewodność cieplną skał silikoklastycznych (a), wpływ zawartości dolomitu na przewodność cieplną skał węglanowych (b)

Określenie gęstości powierzchniowego strumienia ciepłego q

Gęstość strumienia ciepłego q określono w oparciu o prawo Fouriera:

$$q = -\lambda \text{ grad } T$$

gdzie:

$\text{grad } T$ – gradient geotermiczny [$^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$].

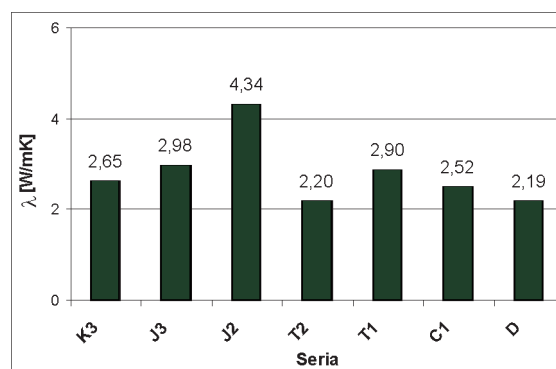
Wartości gradientu geotermicznego dla poszczególnych serii litostratygraficznych (tablica 1) z badanego rejonu

Tablica 1. Gradienty geotermiczne w poszczególnych seriach litostratygraficznych

| Seria litostratygraficzna | Gradient [$^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$] |
|---------------------------|---|
| Kreda górna (K3) | 2,65 |
| Jura górna (J3) | 2,23 |
| Jura środkowa (J2) | 2,60 |
| Trias (T) | 2,41 |
| Karbon (C) | 2,49 |
| Dewon (D) | 2,39 |

wyznaczono metodą regresji liniowej, na podstawie wartości temperatur zawartych w bazie danych termicznych GEOBAZA, opracowanej w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej INiG.

Wyznaczone na podstawie gradientów termicznych i średnich wartości przewodności cieplnej λ (rysunek 7) wartości gęstości strumienia ciepłego q przedstawiono w tablicy 2.



Rys. 7. Średnie wartości współczynnika przewodności cieplnej w badanych seriach litostratygraficznych

Tablica 2. Wartości gęstości powierzchniowego strumienia ciepłego w badanych otworach wiertniczych

| Otwór wiertniczy | Seria litostratygraficzna | Wartość średnia λ [W/mK] | Strumień ciepły Q [mWm $^{-2}$] |
|------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| O-3 | J3 | 2,07 | 46,16 |
| | J2 | 2,85 | 74,10 |
| | T2 | 2,20 | 53,02 |
| | T1 | 3,30 | 79,53 |
| | C1 | 2,26 | 56,27 |
| P-2 | J3 | 2,69 | 59,99 |
| | C1 | 2,47 | 61,50 |
| Z-8K | K3 | 2,65 | 70,23 |
| | J3 | 3,15 | 70,25 |
| Zg-2 | J3 | 2,92 | 65,12 |
| | T1 | 2,42 | 58,32 |
| | C1 | 2,69 | 66,98 |
| | D | 2,94 | 70,27 |
| Ż-47 | J3 | 3,24 | 72,25 |

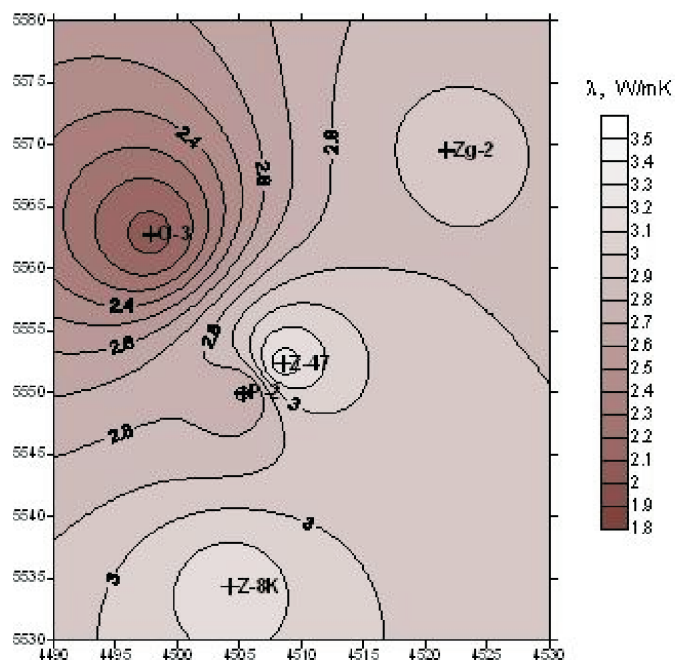
Mapy rozkładu przestrzennego parametrów termicznych skał w rejonie Tarnów-Dębica

Na podstawie wyznaczonych średnich wartości współczynnika przewodności cieplnej λ i gęstości powierzchniowego strumienia ciepłego q opracowano mapy prze-

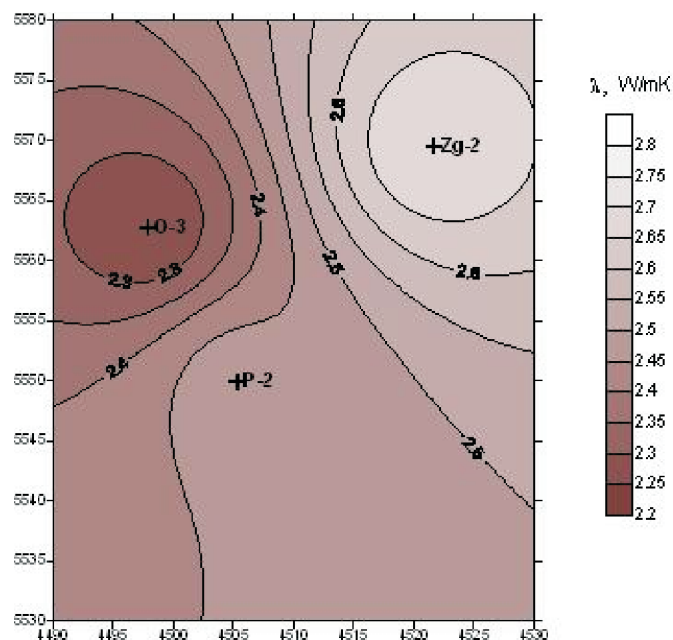
strzennego rozkładu tych parametrów dla dwóch serii litostratygraficznych: jury górnej (J3) i karbonu dolnego (C1). Do opracowania map wykorzystano program Surfer.

Symulację rozkładu średnich wartości badanych parametrów wykonano w wielu wariantach, stosując kilka różnych metod interpretacyjnych (*inverse distance to a power*, krigingu, minimalnej krzywizny, funkcji radialnej, Sheperd'sa oraz metodę odwrotnych odległości).

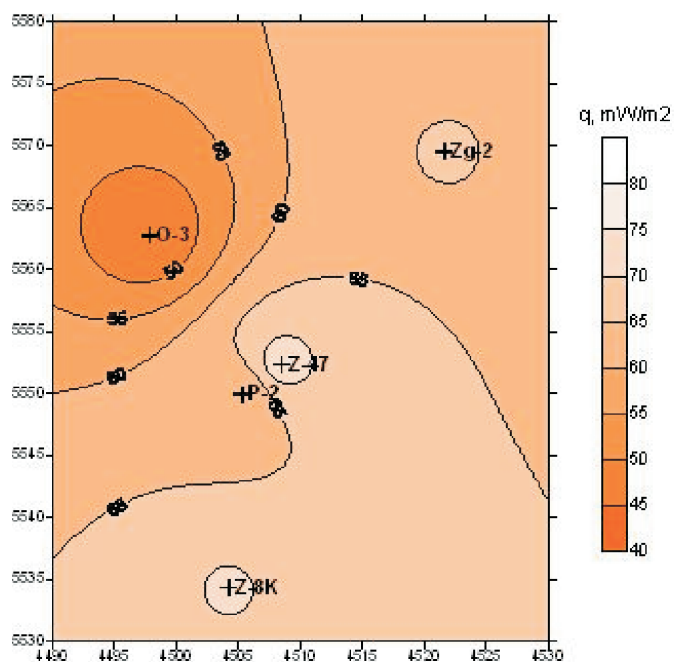
Z kilku wersji map wybrano te, które z dużym prawdopodobieństwem przybliżają rzeczywisty rozkład średnich wartości współczynnika λ i strumienia cieplnego q w utworach jury górnej (J3) oraz karbonu dolnego (C1) (rysunki 8–11).



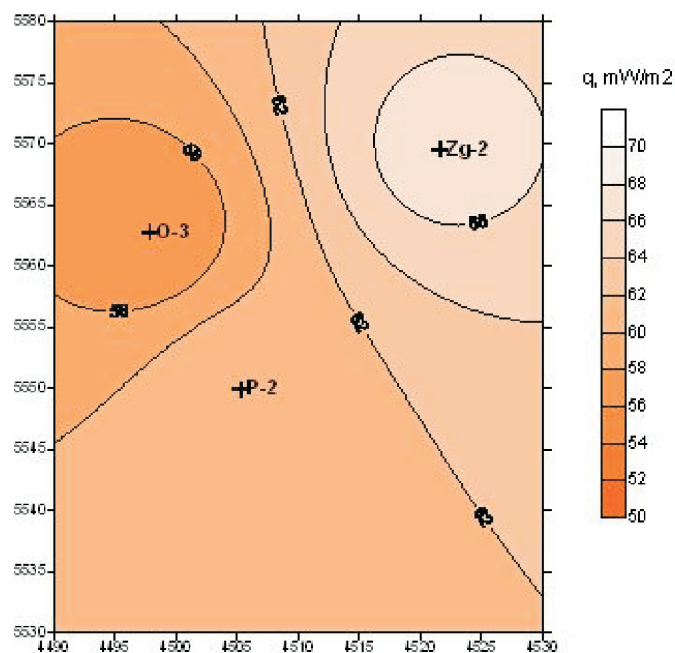
Rys. 8. Obraz zmian współczynnika przewodności cieplnej λ w utworach jury górnej na obszarze Tarnów-Dębica



Rys. 9. Obraz zmian współczynnika przewodności cieplnej λ w utworach karbonu dolnego na obszarze Tarnów-Dębica



Rys. 10. Obraz zmian gęstości powierzchniowego strumienia cieplnego q w utworach jury górnej na obszarze Tarnów-Dębica



Rys. 11. Obraz zmian gęstości powierzchniowego strumienia cieplnego q w utworach karbonu dolnego na obszarze Tarnów-Dębica

Podsumowanie

W ramach przedstawionej pracy przebadano mezopaleozoiczne skały węglanowe i silikoklastyczne, które charakteryzują się dużym zróżnicowaniem wartości współczynnika λ (wartości tego współczynnika dla skał węglanowych mieszczą się w przedziale 1,58–5,12 W/mK, natomiast dla skał silikoklastycznych – w przedziale 1,88–5,87 W/mK). Zmienność ta wiąże się ze zróżnicowaniem litologii i składu mineralnego. Najwyższe wartości λ zaobserwowano dla skał jury środkowej, reprezentowanych przez piaskowce o stosunkowo wysokiej zawartości kwarcu, a najniższe – dla skał triasu

środkowego (wapienie, wapienie margliste) oraz dla utworów dewońskich (rysunek 7). W oparciu o gradienty geotermiczne uzyskane z geofizycznej bazy danych GEOBAZA oraz średnie wartości przewodności cieplnej, dla poszczególnych serii litostratygicznych wyliczono gęstość powierzchniowego strumienia cieplnego. Mapy przestrzennego rozkładu parametrów termicznych wykreślone dla utworów jury górnej i karbonu dolnego (rysunki 8–11) pozwalają zaobserwować regionalne zróżnicowanie zarówno wartości współczynnika przewodności cieplnej, jak i strumienia cieplnego.

Artykuł nadesłano do Redakcji 8.04.2010 r. Przyjęto do druku 18.05.2010 r.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Andrzej Kostecki

Literatura

- [1] Brigaud F., Chapman D.S., Le Douran S.: *Estimating Thermal Conductivity in Sedimentary Basins Using Lithologic Data Geophysical Well Logs*. AAPG, vol. 74 nr 9, s. 1459–1477, 1990.
- [2] Ciecchanowska M. i in.: *Ocena termicznych właściwości skał oraz ciepła radiogenicznego emitowanego przez nie, jako czynników wpływających na kształtowanie się skały macierzystej – dla trzech wytypowanych otworów z rejonu przedgórze Karpat i Karpat*. Archiwum INiG, 1999.
- [3] Gašior I., Przelaskowska A.: *Ocena współczynnika przewodności cieplnej na podstawie danych geofizycznych*. Nafta-Gaz, nr 5, s. 217–221, 2006.
- [4] He L., Xiong L., Wang L.: *Heat flow and thermal modeling of the Yinggehai basin, South China Sea*. Tectonophysics, 351, s. 245–253, 2002.
- [5] Kobylecka A.: *Charakterystyka przewodności cieplnej skał z rejonu przedgórze Karpat i Karpat*. Nafta-Gaz, nr 7-8, s. 385–394, 2000.
- [6] Midttomme L., Roaldset E., Aagard P.: *Thermal Conductivity of Selected Claystones and Mudstones from England*. Clay Minerals, vol. 33, s. 131–145, 1998.
- [7] Plewa M., Plewa S.: *Petrofizyka*. Wyd. Geol., Warszawa, 1992.



Mgr Irena GAŠIOR – absolwentka Wydziału Matematyki UJ. Zajmuje się opracowywaniem nowych metodyk pomiarowo-interpretacyjnych profilowań geofizyki wiertniczej. Jest autorką m.in. programów komputerowych do interpretacji profilowań geofizyki wiertniczej oraz oprogramowania dla geofizycznego systemu GEOBAZA i GEOBANK. Współautorka systemu GeoWin.



Mgr Anna PRZELASKOWSKA – ukończyła studia na wydziale Biologii i Nauk o Ziemi Uniwersytetu Jagiellońskiego, na kierunku Geologia, specjalizacji Mineralogia i Geochemia. W Instytucie Nafty i Gazu w Krakowie zajmuje się analizą rentgenowską składu mineralnego skał oraz badaniem własności petrofizycznych, w tym pomiarach przewodności cieplnej.