

Irena Gąsior, Anna Przelaskowska  
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

## Wykorzystanie metod statystyki matematycznej do oceny ciepła radiogenicznego skał mezopaleozoicznych zapadliska przedkarpackiego rejonu Tarnów – Dębica

### Wstęp

Znajomość warunków termicznych panujących w danym basenie sedymentacyjnym dostarcza informacji dotyczących generacji, migracji i akumulacji węglowodorów. Wielkość powierzchniowego strumienia ciepłego Ziemi kształtowana jest przez ciepło pochodzące z jądra Ziemi oraz ciepło radiogeniczne związane z radioaktywnymi pierwiastkami promieniotwórczymi. Wielkość generowanego ciepła radiogenicznego ma bezpośredni wpływ na stopień dojrzałości węglowodorów.

Ciepło radiogeniczne wydzielane jest przy rozpadzie nietrwałych izotopów promieniotwórczych wchodzących w skład minerałów skałotwórczych i towarzyszących substancji organicznej. Największy wpływ na wielkość tego parametru mają rodziny promieniotwórcze U-238, U-235, Th-232 oraz izotop potasu K-40. Ilość ciepła emitowanego przez skały osadowe jest ściśle związana przede wszystkim z zawartością minerałów ilastych oraz innych minerałów o podwyższonej koncentracji potasu (skalenie, miki). Czyste, niezailone skały węglanowe zawierają znikome ilości pierwiastków promieniotwórczych.

Zagadnieniu ciepła radiogenicznego uwagę poświęciło wielu geologów i geofizyków [2, 4, 5, 10, 14, 15]. W Polsce tym problemem zajmowali się: Plewa M. [12], Plewa S. [13], Ciechanowska i Gąsior [6], Krawiec [8, 9], a ostatnio – Bała i Waliczek [3].

W celu określenia ilościowej oceny ciepła radiogenicz-

nego emitowanego przez ośrodek skalny należy wykorzystać następujący wzór Rybacha [2, 14]:

$$A = 0,01 \cdot \rho_b \cdot [9,52 U + 2,56 Th + 3,48 K] \quad (1)$$

gdzie:

$A$  – ciepło radiogeniczne [ $\mu\text{W}/\text{m}^3$ ],

$\rho_b$  – gęstość objętościowa skały [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ],

U, Th, K – zawartość w skale pierwiastków:

uranu U [ppm], toru Th [ppm], potasu K [%].

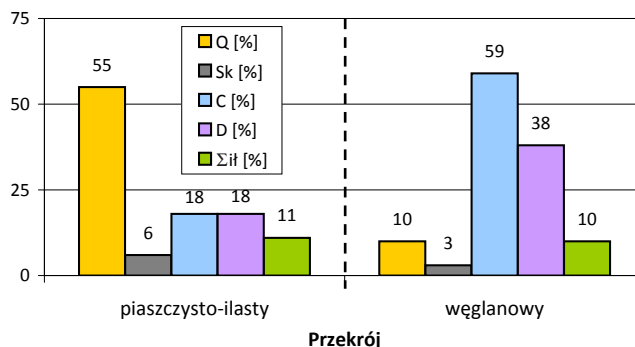
W oparciu o powyższy wzór można określić ciepło radiogeniczne, wykorzystując zarówno badania laboratoryjne (pomiar zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych: toru, uranu, potasu oraz gęstości objętościowej), co daje wyniki punktowe, jak i dane otworowe (spektrometryczne profilowanie gamma, profilowanie gęstościowe), co umożliwia ilościową ocenę ciepła w profilu otworu w sposób ciągły.

Wymienione profilowania nie są wykonywane we wszystkich otworach wiertniczych, czasem badane są tylko fragmenty profilu otworu. W związku z tym, istnieje konieczność konstrukcji modeli matematycznych uwzględniających zależność wydzielanego ciepła radiogenicznego od litologii skał, ich składu mineralnego i parametrów petrofizycznych, takich jak: porowatość, przewodność cieplna i prędkość propagacji fali sprężystej.

**Material badawczy**

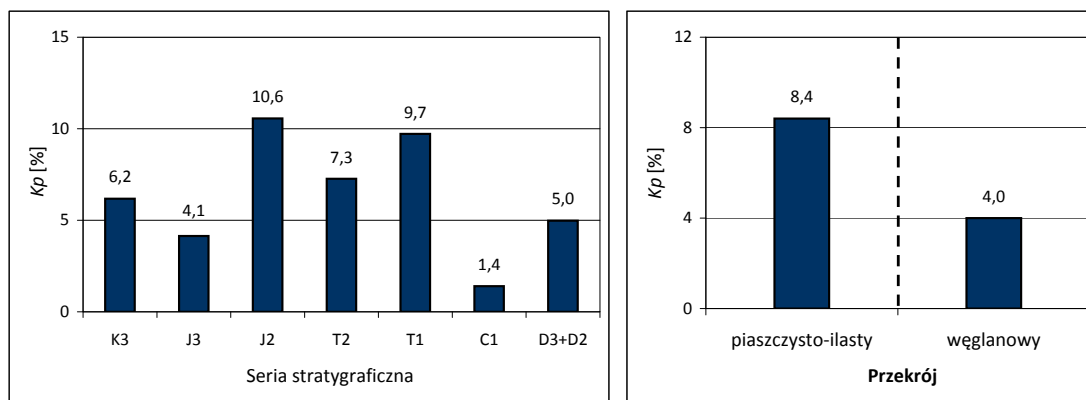
Wytypowane do badań próbki reprezentują skały mezopaleozoiczne zapadliska przedkarpackiego z rejonu Tarnów – Dębica i pochodzą z siedmiu otworów wiertniczych: G-3, Ł-1, Ł-2, O-3, P-2, Z-8K oraz Z-2. Wykonane na materiale rdzeniowym badania obejmowały: ilościową analizę rentgenowską składu mineralnego, pomiary gęstości właściwej, gęstości objętościowej oraz porowatości, pomiary przewodności cieplnej, pomiary prędkości propagacji fal podłużnych i poprzecznych oraz pomiary zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych: uranu, toru i potasu. Wyniki pomiarów zaprezentowano w postaci wartości średnich wyliczonych z serii pomiarowych wraz z wielkością niepewności, oszacowanej na podstawie odchylenia standardowego.

Badane skały charakteryzują się zróżnicowaną litologią, reprezentują przekrój piaszczysto-ilasty (utwory jury środkowej, triasu środkowego) oraz przekrój węglanowy (kreda górna, jura górna, trias górny, karbon dolny, dewon górny i środkowy). Na rysunku 1 przedstawiono średni skład mineralny dla wyróżnionych przekrojów litologicznych.

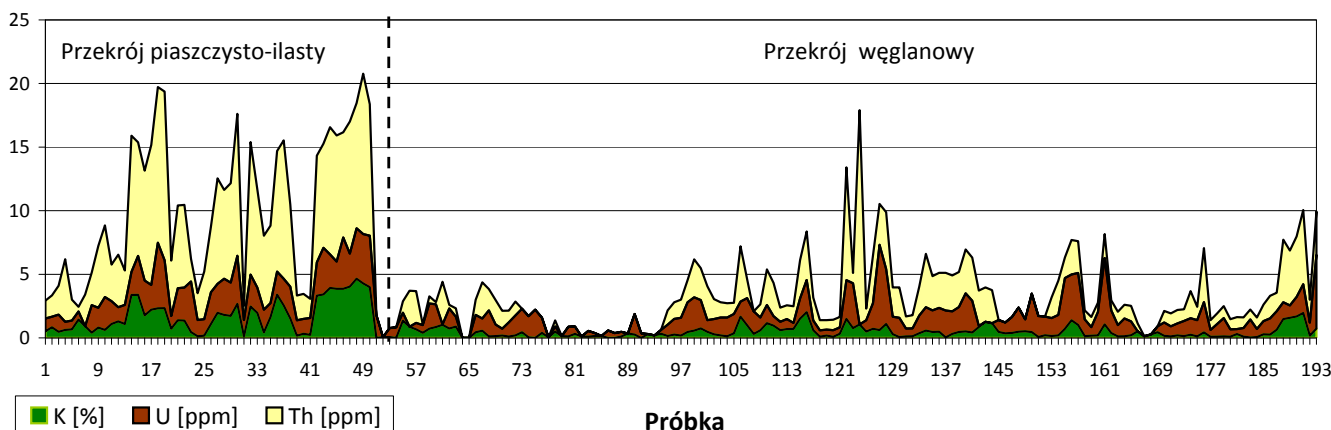


Rys. 1. Średnie zawartości poszczególnych minerałów skałotwórczych w różnych przekrojach litologicznych

Próbki skał reprezentujące przekrój piaszczysto-ilasty cechują się wyższą zawartością kwarcu, a skały węglanowe – wyższą zawartością kalcytu i dolomitu. Średnia zawartość skaleni jest niska dla obu przekrojów (śr. Sk = 3 ± (0,3) i 6 ± (1) %). Najwyższe wartości stwierdzono dla skał silikoklastycznych triasu dolnego (śr. Σit = 22 ± (6) %) i dewońskich skał węglanowych (śr. Σit = 17 ± (4) %).



Rys. 2. Średnie wartości porowatości Kp w poszczególnych seriach stratygraficznych i przekrojach litologicznych



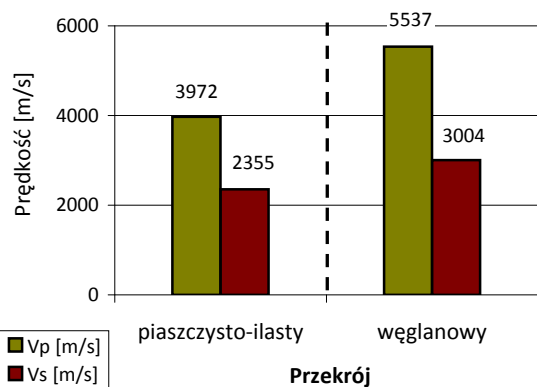
Rys. 3. Zawartości potasu, uranu i toru zmierzone na próbkach skał dla różnych przekrojów litologicznych

Analiza porowatości badanych skał wykazała, że najwyższymi wartościami tego parametru charakteryzują się utwory jury środkowej i triasu dolnego, a najniższymi – skały karbonu dolnego (rysunek 2).

Pomiary naturalnej aktywności pierwiastków promieniotwórczych: uranu, toru i potasu wykazały zdecydowanie wyższe zawartości tych pierwiastków w przekroju piaszczysto-ilastym niż węglanowym (rysunek 3). Jest to związane z wyższą zawartością minerałów ilastych w skałach silikoklastycznych.

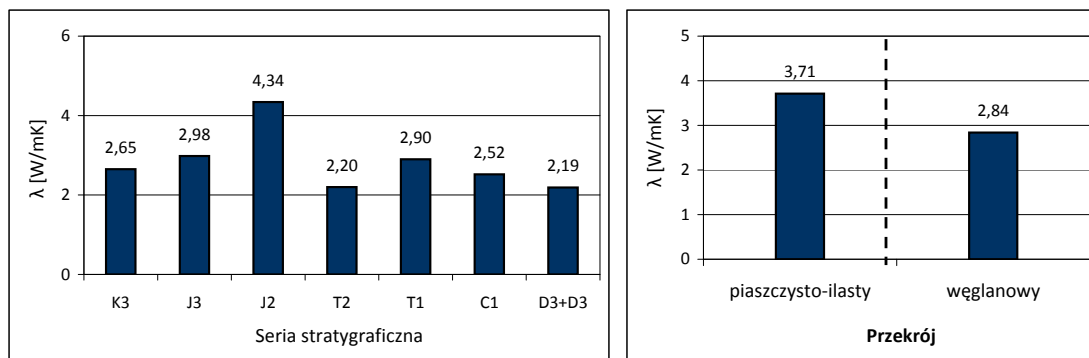
Średnie wartości propagacji fali podłużnej i poprzecznej są wyższe dla skał węglanowych niż dla przekroju piaszczysto-ilastego (rysunek 4).

Przebadane skały mezopaleozoiczne charakteryzują się zróżnicowaną wartością współczynnika przewodności cieplnej  $\lambda$  (wartości współczynnika  $\lambda$  dla skał węglanowych mieszczą się w przedziale 1,58÷5,12 W/mK, natomiast dla skał silikoklastycznych w przedziale 1,97÷6,80 W/mK).



Rys. 4. Średnie wartości prędkości propagacji fal podłużnych  $V_p$  i poprzecznych  $V_s$  w wyróżnionych przekrojach litologicznych

Zmienność ta wiąże się ze zróżnicowaniem litologii i składu mineralnego. Najwyższe wartości  $\lambda$  zaobserwowano dla skał jury środkowej, reprezentowanych przez piaszczewce o stosunkowo wysokiej zawartości kwarcu (rysunek 5).

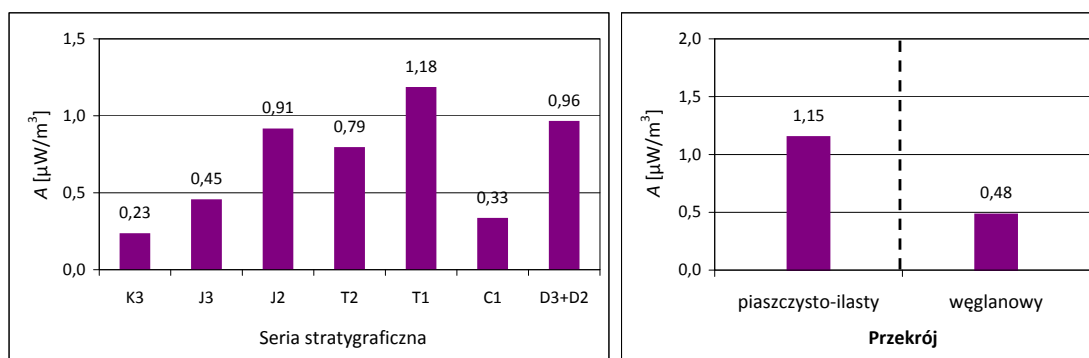


Rys. 5. Średnie wartości współczynnika przewodności cieplnej dla próbek skał w poszczególnych seriach stratygraficznych i przekrojach litologicznych

### Określenie wielkości ciepła radiogenicznego na podstawie wyników badań laboratoryjnych

Do obliczenia ciepła radiogenicznego  $A$  wykorzystano wyniki spektrometrycznych pomiarów zawartości uranu, toru i potasu oraz gęstość objętościową. Ilość ciepła radiogenicznego określono ze wzoru Rybacha (1).

Średnie wartości ciepła  $A$  wyznaczone z pomiarów laboratoryjnych zmieniają się w zakresie od 0,23 do 1,18  $\mu\text{W}/\text{m}^3$  (rysunek 6). Zróżnicowanie wartości tego parametru w badanych skałach wiąże się ze zmiennością składu mineralnego.



Rys. 6. Średnie wartości ciepła radiogenicznego  $A$  dla poszczególnych serii stratygraficznych i przekrojów litologicznych

Najwyższe wartości ciepła wykazują silikoklastyczne utwory triasu dolnego o wysokiej zawartości minerałów ilastych oraz skały jury środkowej, w których podwyższone wielkości

tego parametru związane są z zawartością skaleni. Wśród skał węglanowych podwyższone wartości ciepła radiogenicznego wykazują margliste utwory dewonu.

**Analiza zależności ciepła radiogenicznego skał od parametrów petrofizycznych wyznaczonych laboratoryjnie**

W przeprowadzonej analizie wykorzystano regresję liniową oraz estymację nieliniową. Badania wykonano zbiorczo dla wszystkich próbek skał mezopaleozoicznych oraz dla wyróżnionych przekrojów litologicznych (piaszczysto-ilastych i węglanowych). Badanymi zmiennymi były następujące, wyznaczone laboratoryjnie, parametry petrofizyczne:

- $A$  – ciepło radiogeniczne [ $\mu\text{W}/\text{m}^3$ ],
- $\rho_b$  – gęstość objętościowa [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ],
- $\Sigma\text{ił}$  – suma minerałów ilastych w ułamku jedności,
- $C, D, \text{Sk}$  – zawartość kalcytu, dolomitu i skaleni w ułamku jedności,
- $K, U, \text{Th}$  – zawartość potasu [%], uranu [ppm], toru [ppm],
- $\lambda$  – współczynnik przewodności cieplnej [ $\text{W}/\text{mK}$ ],
- $Vp$  – prędkość propagacji fali podłużnej [ $\text{m}/\text{s}$ ].

**Zastosowanie regresji liniowej**

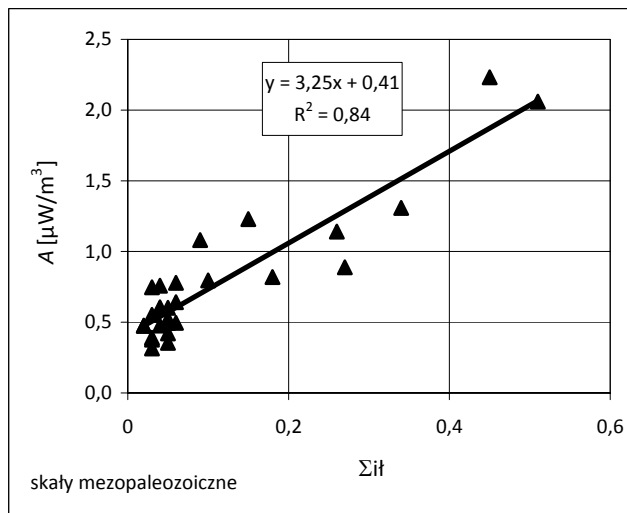
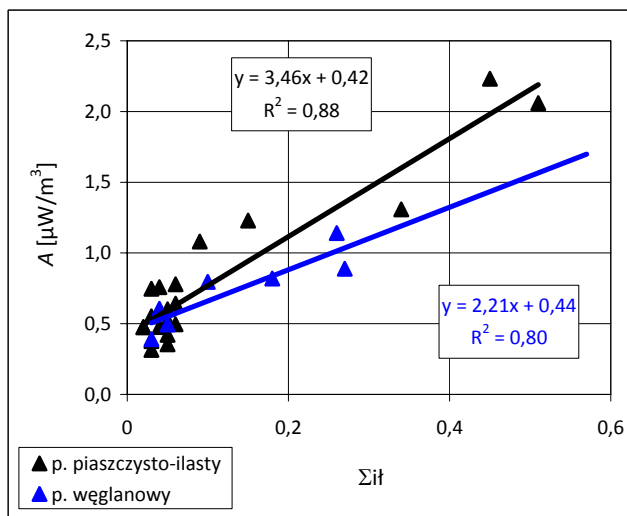
Wielkości współczynników korelacji liniowej  $R$  zależności ciepła radiogenicznego  $A$  od badanych właściwości petrofizycznych zestawiono w tabelicy 1. Czcionką pogrubioną zaznaczono współczynniki korelacji, których wartość nie jest niższa od 0,70.

Ciepło radiogeniczne najlepiej koreluje z zawartością minerałów ilastych i naturalnych pierwiastków promie-

Tablica 1. Współczynniki korelacji  $R$  zależności ciepła radiogenicznego  $A$  od badanych parametrów

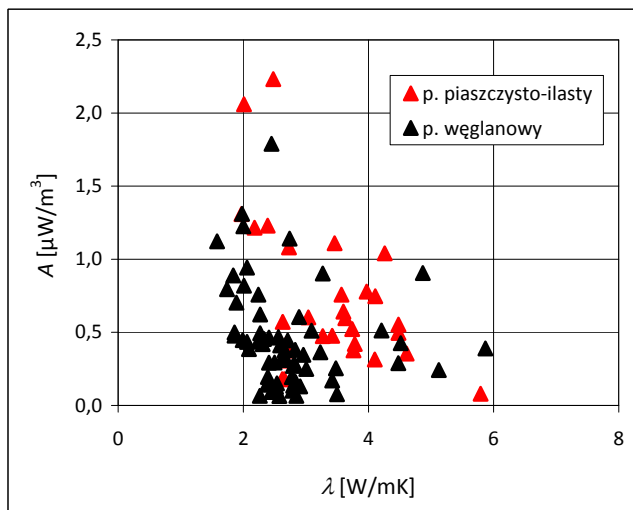
Parametr	Utwory piaszczysto-ilaste	Utwory węglanowe	Skały mezopaleozoiczne
$\rho_b$	0,23	-0,12	-0,01
$Q$	-0,21	0,28	0,17
$\text{Sk}$	-0,03	0,57	0,25
$C$	0,12	-0,39	-0,30
$D$	-0,28	0,16	-0,09
$\Sigma\text{ił}$	<b>0,94</b>	<b>0,89</b>	<b>0,92</b>
$K$	<b>0,80</b>	<b>0,75</b>	<b>0,78</b>
$U$	<b>0,86</b>	<b>0,90</b>	<b>0,90</b>
$\text{Th}$	<b>0,89</b>	0,66	<b>0,81</b>
$Vp$	0,06	-0,70	-0,38
$\lambda$	-0,53	-0,31	-0,28

niotwórczych (tablica 1, rysunek 7). Zatem parametrem niezależnym, który może posłużyć do określania ciepła radiogenicznego, jest zawartość minerałów ilastych (rysunek 7).



Rys. 7. Zależność ciepła radiogenicznego  $A$  od zawartości minerałów ilastych  $\Sigma\text{ił}$

Nie zaobserwowano związku wielkości ciepła radiogenicznego  $A$  z gęstością objętościową ( $\rho_b$ ) skały oraz z zawartością poszczególnych minerałów skałotwórczych ( $Q, C, D, \text{Sk}$ ). Nie zauważono też wyraźnej korelacji pomiędzy parametrami  $A$  i  $\lambda$ . Pewien trend zmienności zaznacza się dla skał piaszczysto-ilastych, ale nie jest on na tyle wyraźny, aby uogólniać go dla tego typu skał (rysunek 8). Brak korelacji pomiędzy ciepłem radiogenicznym



Rys. 8. Zestawienie wartości ciepła radiogenicznego  $A$  i współczynnika przewodności cieplnej  $\lambda$

a przewodnością cieplną skał potwierdzają przykłady przedstawione w literaturze [7, 14].

#### Zastosowanie regresji wielokrotnej

Metoda regresji nieliniowej dała najlepsze wyniki wtedy, gdy analizie poddano wszystkie zmienne wejściowe (współczynnik determinacji  $R^2 = 0,9996$ ). Wyniki takie uzyskano zarówno dla utworów piaszczysto-ilastych, jak i węglanowych.

Następnym krokiem było przeprowadzenie analizy przy odrzuceniu parametrów wchodzących do wzoru Rybacha ( $K$ ,  $U$ ,  $Th$ ,  $\rho_b$ ). Jako zmienne niezależne przyjęto

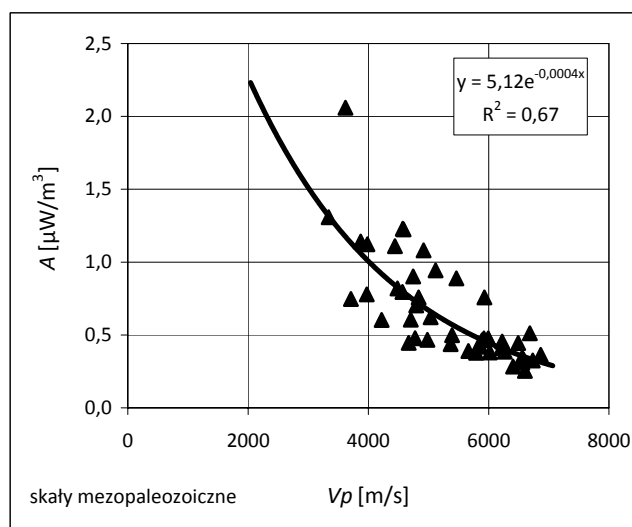
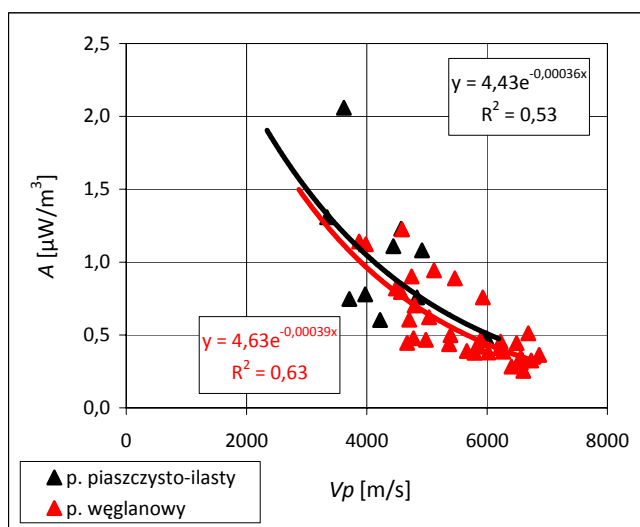
więc: porowatość ( $Kp$ ), skład mineralny ( $Q$ ,  $D$ ,  $C$ ,  $\Sigma il$ ) oraz prędkość fali podłużnej ( $Vp$ ). Podobnie jak w przypadku regresji liniowej istotnym parametrem okazała się zawartość minerałów ilastych ( $\Sigma il$ ), uzyskano wysokie współczynniki determinacji ( $R^2 = 0,88$  – dla przekroju piaszczysto-ilastego;  $0,80$  – dla utworów węglanowych;  $0,84$  – dla wszystkich skał mezopaleozoicznych).

#### Zastosowanie regresji nieliniowej

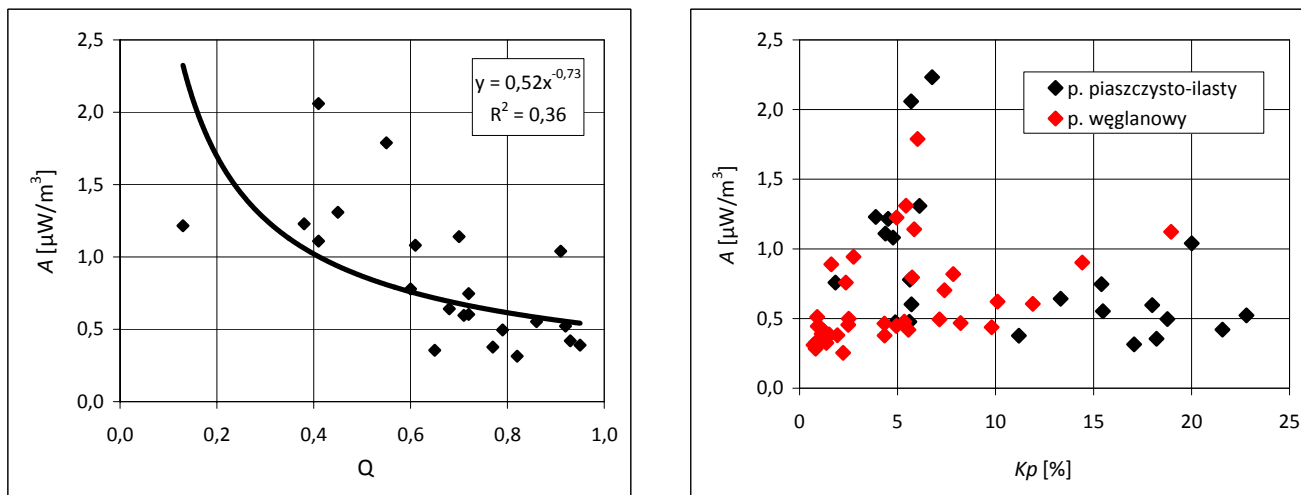
Estymacja nieliniowa wymaga znalezienia najlepiej dopasowanej zależności pomiędzy wartościami zmiennej zależnej a wartościami zbioru jednej lub większej liczby zmiennych niezależnych. W pracy tej, na podstawie danych laboratoryjnych, określono kilka modeli matematycznych, które wiążą ze sobą ciepło radiogeniczne  $A$  z innymi parametrami petrofizycznymi skał.

Wielu autorów sugeruje, że pomiędzy ciepłem  $A$  i prędkością fali  $Vp$  [11, 14] oraz kwarcem ( $Q$ )[1] istnieją zależności nieliniowe. W myśl tej sugestii, przebadano związki korelacyjne dla poszczególnych przekrojów, jak i zbiorczo – dla skał mezopaleozoicznych. Przeanalizowano również zależność ciepła od porowatości. Metoda estymacji nieliniowej pokazała zależność wielkości ciepła od prędkości propagacji fali podłużnej  $Vp$  i nieco gorszą jego korelację z zawartością kwarcu ( $Q$ ), nie zaobserwowano natomiast związku ciepła z porowatością (rysunki 9 i 10).

Stwierdzono ścisłą liniową zależność ciepła radiogenicznego od zawartości minerałów ilastych oraz nieliniowy związek z prędkością propagacji fali podłużnej.



Rys. 9. Korelacja ciepła radiogenicznego  $A$  z prędkością propagacji fali podłużnej  $Vp$  dla wyróżnionych przekrojów litologicznych i skał mezopaleozoicznych



Rys. 10. Korelacja ciepła radiogenicznego  $A$  z zawartością kwarcu  $Q$  i porowatością  $Kp$

### Wykorzystanie i weryfikacja opracowanych modeli na danych otworowych

Utworzone modele interpretacyjne zostały wykorzystane do ilościowej oceny ciepła radiogenicznego w profilach analizowanych otworów wiertniczych (G-3, K-1, Ł-1, 2, O-3, P-2, Z-7, 8K, Z-2) omawianego rejonu. Przy konstrukcji modeli uwzględniono litologiczne zróżnicowanie skał. Opracowano oddzielnie zależności dla profilu piaszczysto-ilastego i węglanowego.

Przekrój piaszczysto-ilasty:

$$A = 3,46 \cdot V_{il} + 0,42 \quad (2)$$

$$A = 4,43 \cdot e^{-0,00036 \cdot V_p} \quad (3)$$

Przekrój węglanowy:

$$A = 2,21 \cdot V_{il} + 0,44 \quad (4)$$

$$A = 4,63 \cdot e^{-0,00039 \cdot V_p} \quad (5)$$

gdzie:

$V_{il}$  – zailenie określone na podstawie profilowań geofizycznych; w ułamku jednościi,

$V_p$  – prędkość propagacji fali podłużnej z profilowania akustycznego.

Uzyskane wyniki zaprezentowano na rysunkach 11–14. W kolejnych kolumnach przedstawiono stratygrafię, profilowanie gamma, wielkość zailenia oraz prędkość propagacji fali podłużnej z profilowania akustycznego. W ostatniej kolumnie zestawiono ciepło radiogeniczne wyliczone ze wzoru Rybacha (1) oraz z modeli:  $A = f(V_{il})$ ,  $A = f(V_p)$ . W poszczególnych panelach zamieszczono także punktowe wyniki badań laboratoryjnych. W odwiercie O-3, w interwale 654–900 m nie było wykonywane spektrometryczne

profilowanie gamma, dlatego w interwale tym wygenerowano krzywą ciepła przy pomocy modelu  $A = f(V_{il})$ .

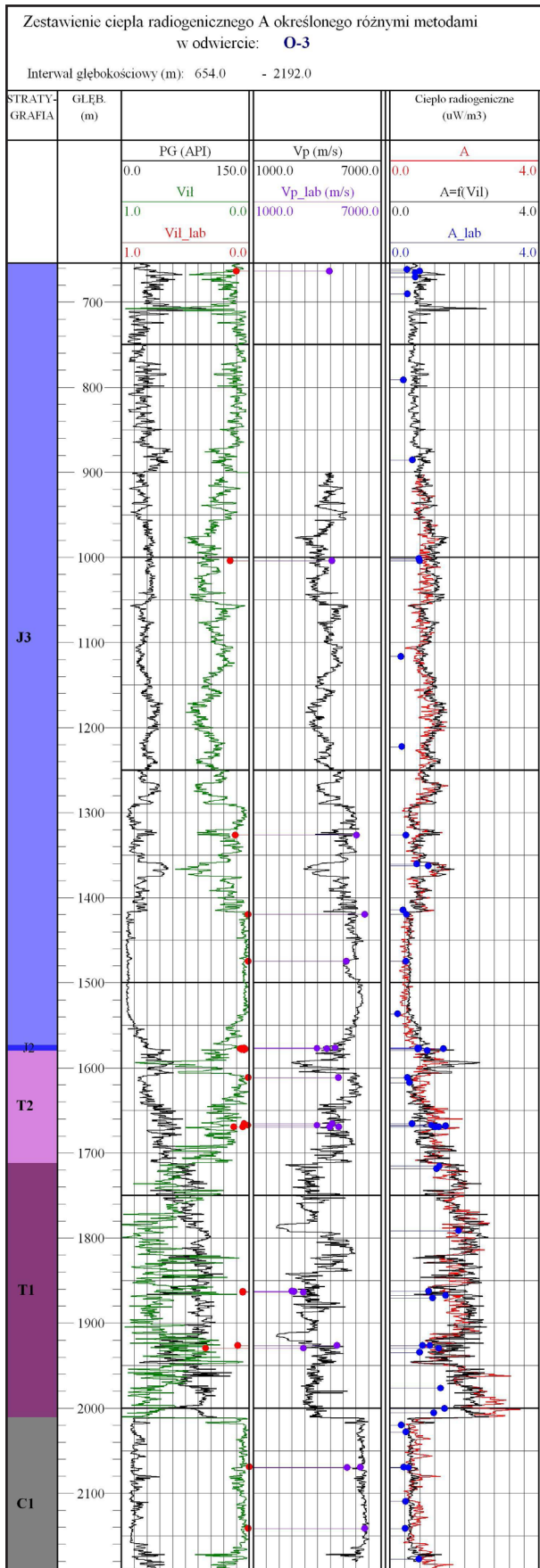
Weryfikację skonstruowanych modeli przeprowadzono w oparciu o punktowe dane laboratoryjne i krzywą ciepła radiogenicznego określonego ze wzoru Rybacha (1). Uzyskane wyniki wykazały dobrą jakość opracowanych modeli.

Współczynniki korelacji  $R$  pomiędzy wartościami ciepła uzyskanymi z modeli a danymi otworowymi (wzór Rybacha) są wysokie (tablica 2). W odwiertach O-3 i Z-2 najlepiej sprawdził się model  $A = f(V_{il})$  (rysunki 11 i 12), oparty na związku ciepła radiogenicznego z zawartością minerałów ilastych. W odwiertach tych występuje zarówno profil piaszczysto-ilasty, jak i węglanowy. Jeśli chodzi o drugi model wskazujący na zależność pomiędzy ciepłem a prędkością fali podłużnej ( $A = f(V_p)$ ), to najlepszy rezultat otrzymano w otworach G-3 i Z-7, w których dominuje profil węglanowy (rysunki 13 i 14).

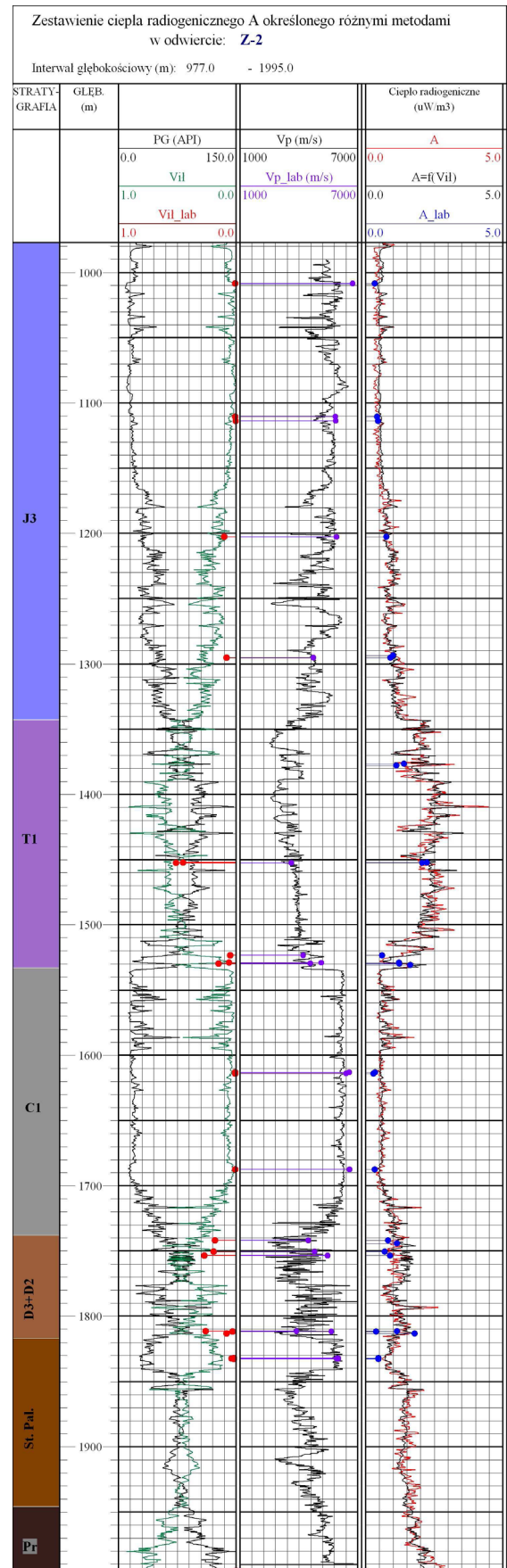
Stwierdzono również dość dobre dopasowanie punktowych danych laboratoryjnych do ciągłych profilowań ciepła, uzyskanych ze wzoru Rybacha (1) i z modelu  $A = f(V_{il})$  (rysunek 15), świadczą o tym wysokie wartości współczynników determinacji  $R^2$  (0,84÷0,91).

W niektórych przypadkach zauważa się pewne rozbieżności. Mogą one być spowodowane m.in. tym, że spektrometryczne profilowanie gamma odzwierciedla uśrednione zawartości Th, U i K z określonej objętości ośrodka skalnego, co związane jest z zasięgiem radialnym (15÷24 cm) i pionową rozdzielczością (24÷45 cm) danego typu sondy, natomiast badania laboratoryjne są badaniami punktowymi prowadzonymi na zmielonym materiale rdzeniowym o objętości ok. 80 cm<sup>3</sup> [6].

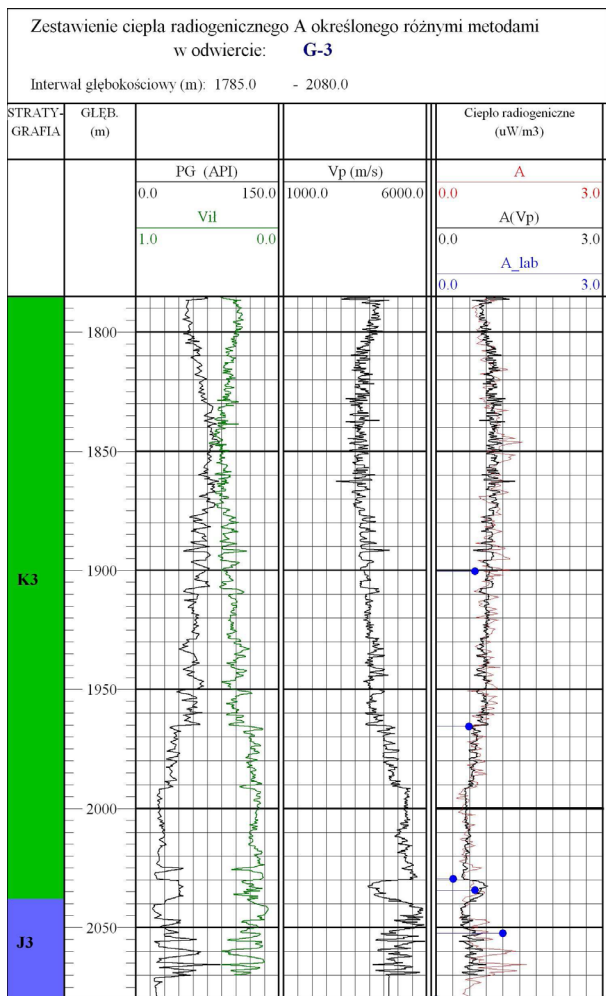




Rys. 11. Zestawienie ciepła radiogenicznego A określonego różnymi sposobami w odwiercie O-3; punkty oznaczają wartości parametrów wyznaczone z badań laboratoryjnych



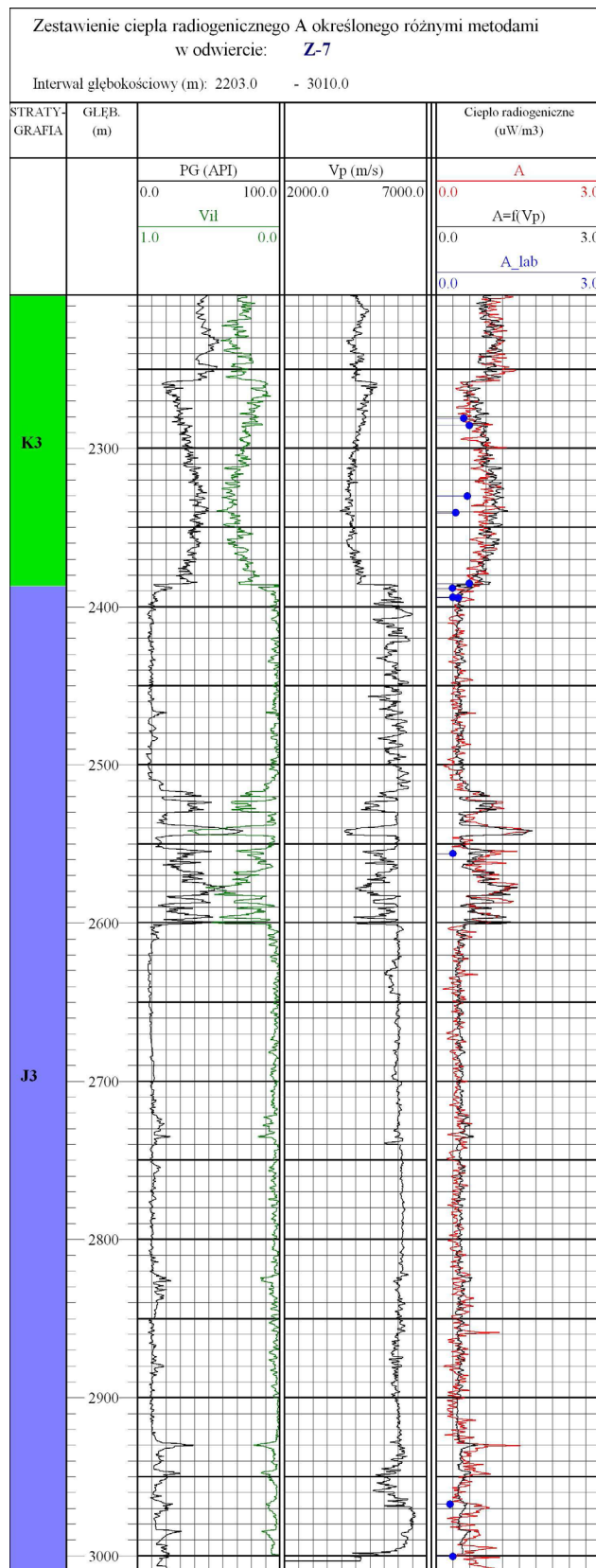
Rys. 12. Zestawienie ciepła radiogenicznego A określonego różnymi sposobami w odwiercie Z-2; punkty oznaczają wartości parametrów wyznaczone z badań laboratoryjnych



Rys. 13. Zestawienie ciepła radiogenicznego  $A$  określonego różnymi sposobami w odwiercie G-3; punkty oznaczają wartości parametrów wyznaczone z badań laboratoryjnych

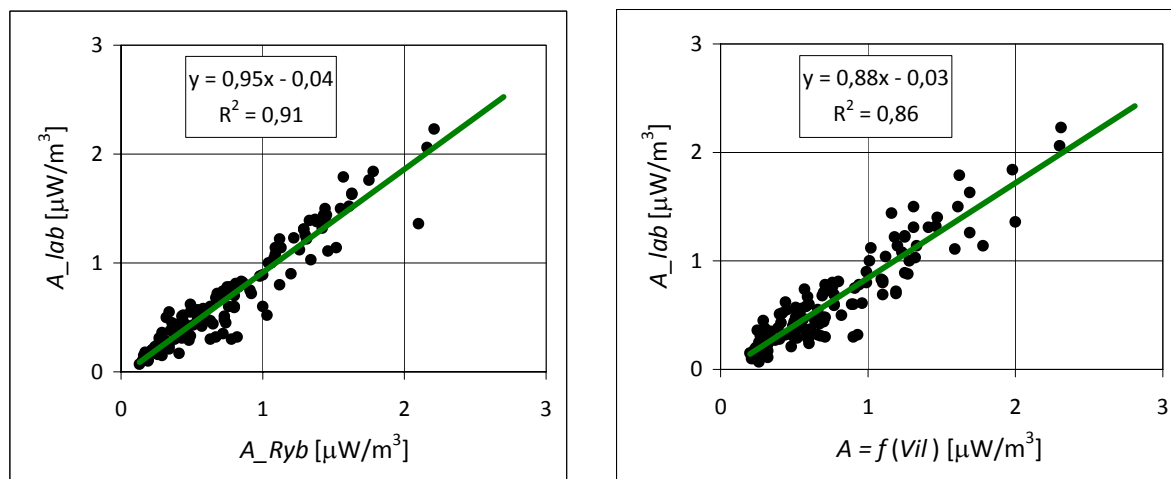
Tablica 2. Zestawienie współczynników korelacji  $R$  dla modeli interpretacyjnych

Otwór wiertniczy	Modele	
	$A = f(Vil)$	$A = f(Vp)$
G-3	0,74	0,84
K-1		0,78
Ł-1	0,71	< 0,70
Ł-2	0,77	0,70
O-3	0,88	< 0,70
P-2	0,80	< 0,70
Z-7	0,78	0,82
Z-8K	0,81	0,77
Z-2	0,93	< 0,70



Rys. 14. Zestawienie ciepła radiogenicznego  $A$  określonego różnymi sposobami w odwiercie Z-7; punkty oznaczają wartości parametrów wyznaczone z badań laboratoryjnych





Rys. 15. Korelacja wartości ciepła radiogenicznego  $A$  określonego różnymi metodami zbiorczo dla badanych otworów wiertniczych

### Podsumowanie

Celem pracy była konstrukcja modeli interpretacyjnych dla ilościowej oceny ciepła radiogenicznego skał mezopaleozoicznych zapadliska przedkarpackiego w oparciu o dane laboratoryjne. Modele takie są niezbędne przy ilościowej ocenie wielkości ciepła radiogenicznego, w przypadku braku spektrometrycznego profilowania gamma.

Badane utwory były zróżnicowane litologicznie. Wybrano dwa reprezentacyjne przekroje: piaszczysto-ilasty i węglanowy. Charakteryzowały się one zróżnicowanymi wartościami ciepła radiogenicznego: od 0,23 do 1,18  $\mu\text{W}/\text{m}^3$ . Najwyższe wartości ciepła wykazały silikoklastyczne utwory triasu dolnego, o wysokiej zawartości minerałów ilastych, oraz skały jury środkowej, w których podwyższone wielkości ciepła związane są z zawartością skaleni.

Przeprowadzona analiza korelacyjna wykazała ścisłą zależność liniową wielkości ciepła radiogenicznego od zawartości minerałów ilastych oraz jego nieliniowy związek z prędkością propagacji fali podłużnej. Modele

interpretacyjne opracowano oddzielnie dla profilu piaszczysto-ilastego i węglanowego.

Weryfikacja utworzonych modeli wykazała dobrą jakość uzyskanych wyników:

- korelacja wartości ciepła radiogenicznego uzyskanego ze wzoru Rybacha i z modeli jest dobra, zachowany został trend zmienności krzywych ciepła radiogenicznego,
- wysokie wartości współczynników determinacji  $R^2$  (0,84÷0,91) świadczą o dobrym dopasowaniu danych wyznaczonych laboratoryjnie i danych z profilowań geofizycznych.

Pozytywny wynik przeprowadzonych korelacji pozwala na szacowanie wielkości ciepła radiogenicznego na podstawie danych geofizycznych w rejonie Tarnów – Dębica. Trzeba przy tym uwzględnić zróżnicowanie litologiczne skał: dla profilu piaszczysto-ilastego należy zastosować model zależności ciepła od zailenia ( $A = f(Vil)$ ), a dla profilu węglanowego – zależność od prędkości propagacji fali podłużnej ( $A = f(Vp)$ ).

Opisane badania wykonane zostały w ramach pracy naukowej finansowanej ze środków na naukę w latach 2009–2012 jako projekt badawczy nr N N525 365537, pt.: „Wykorzystanie sieci neuronowych oraz metod statystyki matematycznej do określania ciepła radiogenicznego skał mezopaleozoicznych zapadliska przedkarpackiego w rejonie Tarnów – Dębica”.

### Literatura

- [1] Ali S., Orazulike D.M.: *Well Logs – Derived Radiogenic Heat Production in the Sediments of the Chad Basin, NE Nigeria*. „Journal of Applied Sciences” 2010, vol. 10 (10).
- [2] Bucker C., Rybach L.: *A simple method to determine heat production from gamma – ray logs*. „Marine and Petroleum Geology” 1996, vol. 13, No. 4.
- [3] Bała M., Waliczek M.: *Obliczanie ciepła radiogenicznego osadów cechsztynu i karbonu na podstawie danych geofizyki otworowej w rejonie rafy Brońsko*. „Przegląd Geologiczny” 2012, vol. 60, nr 3.
- [4] Birch F.: *Heat from radioactivity*. In *Nuclear geology*, (ed. H. Faul). Wiley & Sons. New York 1954, s. 148–174.

- [5] Boganik H.S.: *O roli radiogennej ciepła w forniowaniu geotermalnych pól*. „Geotermicheskie Issledowanija i ispolzowanije tiepla Zimli”. Izd. Nauka. Moskwa 1966.
- [6] Ciechanowska M., Gąsior I.: *Ciepło radiogeniczne emitowane przez utwory mioceńskie przedgórze Karpat*. „Nafta-Gaz” 2000, nr 56, s.197–208.
- [7] Horai K.I., Nur A.: *Relationship among terrestrial heat flow, thermal conductivity and geothermal gradient*. J. Geophys. Res. 75. 1970
- [8] Krawiec J.: *Ciepło radiogeniczne generowane przez mioceńskie utwory piaskowcowo-ilaste w rejonie złoża Husów*. „Nafta-Gaz” 2007, nr 63, s. 175–178.
- [9] Krawiec J.: *Correlation radiogenic heat production with presence of organic matter – qualitative analysis*. Proc. Near Surface 2007. 13th European meeting of environmental and engineering geophysics, 3–5 September 2007, Istanbul, Turkey. Extended abstracts & exhibitors catalogue.
- [10] Majorowicz J., Jessop M.M.: *Regional Heat Flow Patterns in the Western Canadian Sedimentary Basin*. „Tectonophysics” 1981, vol. 7.
- [11] Mukai M., Yamaguchi T., Komura K., Furumoto M., Nagao T.: *Measurement of radioactive heat generation in rocks by means of gamma ray spectrometry*. Proc. Japan Acad., 75, Ser. B. 1999.
- [12] Plewa M.: *Wyniki badań ciepła radiogenicznego skał obszaru Polski*. Zeszyty Naukowe AGH. „Geofizyka Stosowana” 1988, z. 1.
- [13] Plewa S.: *Rozkład parametrów geotermicznych na obszarze Polski*. Wyd. CPPGSM i PAN. Kraków 1994.
- [14] Rybach L.: *Radioactive Heat Production in Rocks and its Relation to other Petrophysical Parameters*. „Pageoph” 1976, vol. 114, Birkhäuser Verlag, Basel.
- [15] Rybach L.: *Wärmeproduktionsbestimmungen an Gesteinen der Schweizer Alpen*. „Beitrage zur Geologie der Schweiz” 1973, Lieferung 51, Zurich.



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



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.

## ZAKŁAD GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

Zakres działania:

- trójwymiarowa wizualizacja i analiza wewnętrznej struktury przestrzeni porowej skał metodą mikrotomografii rentgenowskiej (micro-CT);
- określanie rozkładu nasycenia wodą przestrzeni porowej próbek skał i kamienia cementowego metodą magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR);
- oznaczanie jakościowego i ilościowego składu mineralnego skał oraz wydzielonej frakcji ilastej na podstawie analizy rentgenowskiej;
- wyznaczanie zawartości naturalnych pierwiastków promieniotwórczych: uranu, toru i potasu w skałach, płuczkach wiertniczych i materiałach budowlanych;
- ocena elektrycznych parametrów skał (wskaźnika struktury porowej i zwilżalności);
- określanie zależności elektrycznej oporności właściwej płuczek wiertniczych od temperatury;
- ocena prędkości propagacji fal ultradźwiękowych w skałach, kamieniach cementowych i płuczkach wiertniczych;
- interpretacja profilowań geofizycznych w zakresie oceny stanu zacementowania rur okładzinowych w otworach.

**Kierownik:** mgr inż. Jadwiga Zalewska

**Adres:** ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków

**Faks:** 12 650-67-70, 12 653-16-65

**Telefon:** 12 653-25-12 w. 132 lub 165

**E-mail:** [jadwiga.zalewska@inig.pl](mailto:jadwiga.zalewska@inig.pl)