

Jolanta Klaja, Grażyna Łykowska

Institut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Wyznaczenie typów petrofizycznych skał czerwonego spągowca z rejonu południowo-zachodniej części niecki poznańskiej na podstawie analizy statycznej wyników pomiarów laboratoryjnych

Analiza pomiarów NMR wykonanych dla skał czerwonego spągowca pochodzących z rejonu SW części niecki poznańskiej pozwoliła, w powiązaniu z badaniami porozymetrycznymi i mineralogicznymi, na wydzielenie czterech grup skał o odmiennych własnościach petrofizycznych. W przestrzeni porowej skał o najslabszych właściwościach zbiornikowych i filtracyjnych dominują mikropory. Najlepszymi właściwościami zbiornikowymi i filtracyjnymi charakteryzują się jednorodnie piaskowce o stosunkowo wysokiej zawartości kwarcu i niskiej minerałów ilastych, z systemem dość dużych porów (przewaga porów powyżej 1 μm). Zaobserwowane zróżnicowanie własności petrofizycznych odzwierciedla zmienność litologiczną skał czerwonego spągowca.

Słowa kluczowe: czerwony spągowiec, analiza skupień, własności zbiornikowe.

Assignment of types of Rotliegend sandstones from the southwestern part of the Poznań Basin based on static analysis results of laboratory measurements

Four groups of rocks from the southwestern part of the Poznań basin displaying different petrophysical properties were distinguished on the basis of the NMR measurements, mercury porosimetry and microscopic observations. The pore space of rocks representing the poorest reservoir and filtration properties is dominated by micropores. The best reservoir and filtration properties are represented by the homogenous sandstones containing high amounts of quartz and low quantities of clay minerals. The observed differentiation in the petrophysical properties reflect the litological diversity of the rotliegendes sandstones.

Key words: Rotliegend sandstone, reservoir properties, cluster analysis.

Wprowadzenie

Badania metodą magnetycznego rezonansu jądrowego pozwalają na scharakteryzowanie przestrzeni porowej skał [2, 4, 5, 8]. Powiązanie badań NMR z porozymetrią rtęciową, obserwacjami mikroskopowymi oraz analizą rentgenowską składu mineralnego umożliwia wyróżnienie typów skał o odmiennych własnościach petrofizycznych [1, 3]. Pomiary zostały wykonane w Zakładach Geofizyki Wiertniczej oraz

Geologii i Geochemii INiG – PIB. Przy pomocy analizy skupień [7] wydzielono cztery grupy skał czerwonego spągowca. Materiał badawczy stanowiła seria 63 próbek skał reprezentujących utwory czerwonego spągowca z rejonu SW części niecki poznańskiej, z następujących otworów wiertniczych: Bonikowo-2, Cicha Góra-7, Cicha Góra-9, Czarna Wieś-4, Paproć-28, Parzęczewo-1.

Analiza skupień

Analiza skupień umożliwia organizowanie obserwowanych danych w spójne struktury lub grupy danych. Obejmuje ona kilka algorytmów klasyfikacji, do których należą między innymi:

- metoda aglomeracji – ma na celu łączenie obiektów w coraz większe grupy, z zastosowaniem pewnej miary odległości; wynikiem tego typu grupowania jest drzewo hierarchiczne;
- metoda k -średnich – w metodzie tej tworzonych jest k różnych, możliwie odmiennych skupień (grup), następnie bada się średnie dla każdego skupienia w każdym wymiarze (cecha), aby oszacować, na ile utworzone grupy są od siebie różne. Procedura ta polega na przesuwaniu obiektów z grupy do grupy w celu zminimalizowania wariancji wewnątrz grup i zmaksymalizowania wariancji między grupami.

Algorytmy dostępne w analizie skupień wymagają oszacowania odległości między skupieniami a obiektami. Przy obliczaniu odległości należy zdecydować o skali danych cech. W przypadku gdy poszczególne parametry wyrażone są w różnych skalach, należy je przed zastosowaniem analizy skupień wystandaryzować. W wyniku standaryzacji zmiennych każda z nich przyjmuje średnią wartość 0 i odchylenie standardowe 1. Bardzo istotne jest, aby wymiary zmiennych, które są wykorzystywane do obliczenia odległości między obiektami, miały porównywalne wartości. W przeciwnym wypadku analiza byłaby obciążona i opierałaby się na wymiarach, które mają największy zakres wartości.

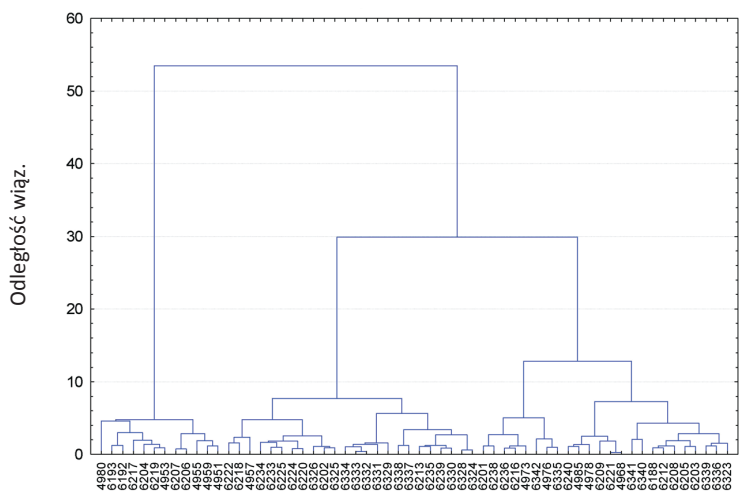
W przeprowadzonej analizie skupień wykorzystano parametry najlepiej różnicujące właściwości badanych skał, wyznaczone:

- metodą jądrowego rezonansu magnetycznego NMR: Kp – porowatość całkowita; Kp_3 – wielkość przestrzeni porowej zajęta przez wodę wolną; Sw_1 – współczynnik nasycenia wodą nieredukowalną; Sw_3 – współczynnik nasycenia wodą wolną;
- metodą ilościowej analizy rentgenowskiej: q – zawartość kwarcu; il – zawartość minerałów ilastych;
- metodą porozymetrii rtęciowej, takie jak: $por > 1$ – ilość porów o średnicy powyżej 1 μm ; sr_prog – średnica progowa.

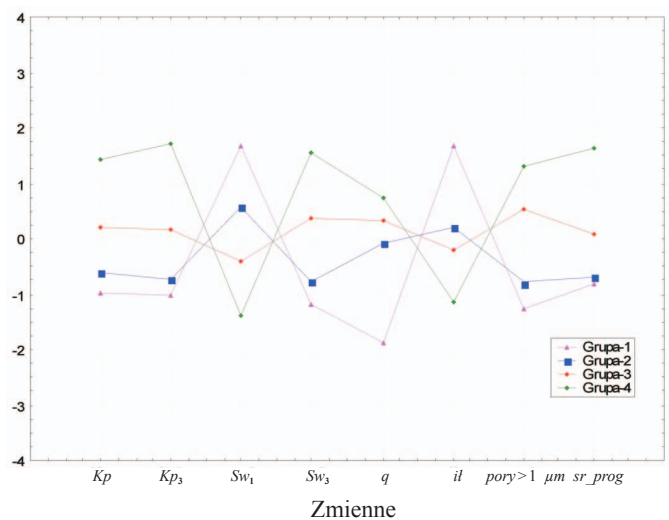
W celu sprawdzenia, na ile ewentualnych skupień można podzielić badaną populację, przeprowadzono analizę aglomeracyjną. Wynika z niej, przyjmując odległość wiązania równą 10, że najbardziej prawdopodobna liczba skupień wynosi 4 (rysunek 1).

Taki podział potwierdza inna z metod dostępna w analizie skupień – metoda k -średnich. Przeprowadzono badania dla

Metoda Warda
Odległość euklidesowa



Rys. 1. Drzewo hierarchiczne uzyskane metodą aglomeracji



Rys. 2. Średnie wartości standaryzowanych parametrów dla poszczególnych grup (metoda k -średnich, $k = 4$)

Kp – współczynnik porowatości całkowitej; Kp_3 – wielkość przestrzeni porowej zajęta przez wodę wolną; Sw_1 , Sw_3 – współczynniki nasycenia, odpowiednio: wodą nieredukowalną, wodą wolną; q – zawartość kwarcu; il – zawartość minerałów ilastych; $por > 1$ – ilość porów o średnicy powyżej 1 μm ; sr_prog – średnica progowa

różnych wartości k i najlepsze rezultaty otrzymano w przypadku $k = 4$. Na rysunku 2 przedstawiono efekty grupowania standaryzowanych parametrów metodą k -średnich na podstawie euklidesowej miary odległości.

W tabelicy 1 przedstawiono wykaz próbek reprezentujących poszczególne skupiska skał wydzielone w wyniku zastosowania algorytmu k -średnich, zaś w tabelicy 2 – zakresy zmian oraz średnie wartości parametrów w zidentyfikowanych grupach.

Tablica 1. Wykaz próbek skał zakwalifikowanych do poszczególnych grup na podstawie analizy skupień (metoda k -średnich, $k = 4$)

Grupa	Liczba	Nr próbki
I	7	4976, 6216, 6236, 6342, 6335, 6201, 4973
II	22	4978, 4985, 6323, 6328, 6336, 6240, 6341, 4968, 6208, 6209, 6188, 6221, 6238, 6330, 6203, 6205, 6212, 6339, 6340, 6235, 6239
III	21	4957, 6324, 6325, 6326, 6329, 6331, 6332, 6333, 6334, 6202, 6213, 6218, 6220, 6222, 6224, 6225, 6233, 6234, 6337, 6338, 6217
IV	11	4951, 4953, 4955, 4959, 4980, 6204, 6206, 6207, 6192, 6193, 6219

Wskaźnik zbiornikowy

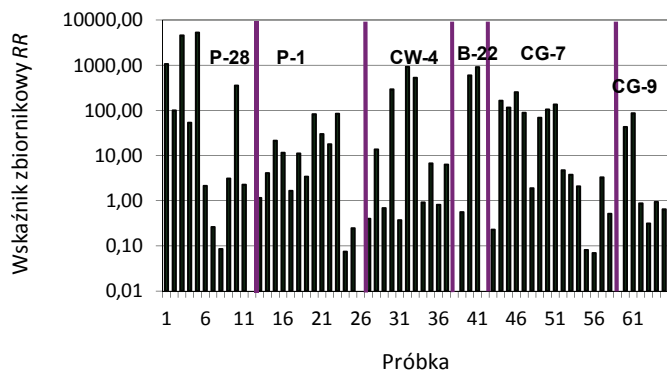
Wskaźnik zbiornikowy jest iloczynem współczynników porowatości i przepuszczalności [6]. Nie charakteryzuje on żadnej fizycznej cechy skały, stanowi natomiast miarę jej potencjału zbiornikowego. Wykorzystując ten wskaźnik, podjęto próbę wyróżnienia grup próbek o różnych właściwościach zbiornikowych w celu potwierdzenia poprawności wykonanej analizy skupień. Wartości wskaźnika zbiornikowego RR badanych próbek skał przedstawiono na rysunku 3. Wyniki klasyfikacji próbek na podstawie tego wskaźnika zobrazowano na wykresie zależności współczynników przepuszczalności Kpr od porowatości Kp (rysunek 5), zaś w tablicy 3 zestawiono numery próbek w poszczególnych grupach.

Wydzielono pięć grup skał różniących się wartościami wskaźnika zbiornikowego (rysunki 4 i 5). Najwięcej próbek należy do grup o niskich i bardzo niskich wartościach wskaźnika RR . Bardzo dobre właściwości zbiornikowe ($RR > 1000$) wykazują 3 próbki z grupy V. Cztery próbki z grupy IV (zaznaczone) charakteryzują się również wysoką wartością wskaźnika RR . Dla próbek: 6207 i 6192 przyjmuje on wartości 522÷600, a w przypadku próbek: 6206 i 6193 – powyżej 900.

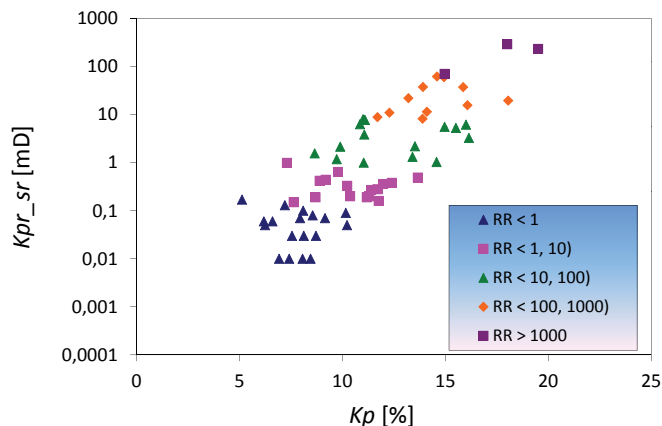
Należy podkreślić, że grupy wydzielone na podstawie wskaźnika zbiornikowego pokrywają się w dużej mierze z grupami uzyskanymi na bazie analizy skupień. Próbki o najwyższym wskaźniku zbiornikowym (grupa V i częściowo grupa IV) zostały, również na podstawie analizy skupień, zaliczone do grupy o najlepszych właściwościach zbiornikowych (grupa IV). Natomiast próbki reprezentujące grupy I i II (złe i bardzo niskie właściwości zbiornikowe, wskaźnik RR) pokrywają się w większości przypadków z grupami I i II wyznaczonymi na podstawie analizy skupień.

Tablica 2. Zakresy zmian i średnie wartości wybranych parametrów w poszczególnych grupach wydzielonych na podstawie analizy skupień

Parametr	Zakres zmian parametru		Średnia wartość parametru	Odchylenie standardowe
	od	do		
Grupa I				
Kp [%]	6,60	9,15	7,99	0,87
Kp_3 [%]	0,10	0,82	0,36	0,29
Sw_1 [%]	68,41	89,29	78,04	8,18
Sw_3 [%]	1,07	9,91	4,58	3,61
Kpr [mD]	0,01	0,07	0,03	0,02
q [%]	48,00	61,00	52,86	4,14
H [%]	16,00	29,00	23,00	5,26
$Por > 1$ [%]	9,00	21,00	16,29	4,15
Sr_{prog} [μ m]	0,10	1,00	0,47	0,38
Grupa II				
Kp [%]	5,12	13,66	9,17	2,25
Kp_3 [%]	0,13	2,58	1,18	0,77
Sw_1 [%]	41,27	84,84	57,71	9,45
Sw_3 [%]	1,66	22,03	11,91	6,15
Kpr [mD]	0,01	0,49	0,16	0,12
q [%]	57,00	85,00	69,52	7,07
H [%]	11,00	21,00	15,57	2,68
$Por > 1$ [%]	7,00	50,00	26,95	10,47
Sr_{prog} [μ m]	0,40	3,00	1,78	0,70
Grupa III				
Kp [%]	8,65	16,14	11,86	2,22
Kp_3 [%]	1,95	5,17	3,60	0,93
Sw_1 [%]	29,80	48,34	40,48	4,77
Sw_3 [%]	18,01	43,76	30,43	6,11
Kpr [mD]	0,38	11,46	3,97	3,40
q [%]	61,00	83,00	73,38	6,76
H [%]	7,00	20,00	13,48	3,39
$Por > 1$ [%]	40,00	81,00	56,33	9,44
Sr_{prog} [μ m]	2,00	20,00	8,81	6,87
Grupa IV				
Kp [%]	13,20	19,50	15,92	1,92
Kp_3 [%]	6,01	10,38	7,97	1,59
Sw_1 [%]	19,22	26,79	22,51	2,57
Sw_3 [%]	40,26	61,38	50,04	7,93
Kpr [mD]	6,18	233,25	69,10	75,22
q [%]	70,00	87,00	77,27	5,27
H [%]	6,00	12,00	8,73	2,33
$Por > 1$ [%]	63,00	82,00	73,91	6,91
Sr_{prog} [μ m]	20,00	35,00	22,73	5,18



Rys. 3. Wartość wskaźnika zbiornikowego RR dla poszczególnych próbek skał w badanych otworach wiertniczych



Rys. 4. Klasyfikacja skał zbiornikowych ze względu na wielkość wskaźnika zbiornikowego RR w badanych otworach wiertniczych

Tablica 3. Wykaz próbek skał zakwalifikowanych do poszczególnych grup na podstawie wskaźnika zbiornikowego RR

Grupa	Wskaźnik RR	Właściwości zbiornikowe	Liczba	Nr próbki
I	< 1	złe	18	6238, 6335, 6236, 4976, 6216, 6336, 4973, 6340, 6205, 6201, 6240, 6188, 6342, 6203, 6212, 6339, 6208, 6341
II	< 1, 10)	bardzo słabe	14	6323, 6328, 6221, 6235, 4968, 4985, 4978, 6239, 6330, 6234, 6324, 6233, 6213, 6209
III	< 10, 100)	słabe	14	6329, 6326, 6202, 6333, 6325, 6332, 6337, 4957, 6222, 6331, 6334, 6338, 6220, 4953
IV	< 100, 1000)	dobrze	11	6224, 6218, 6225, 6217, 6219, 6204, 4980, 6207, 6192, 6193, 6206
V	> 1000	bardzo dobre	3	4951, 4955, 4959

Charakterystyka grup wydzielonych na podstawie analizy skupień

Grupa I

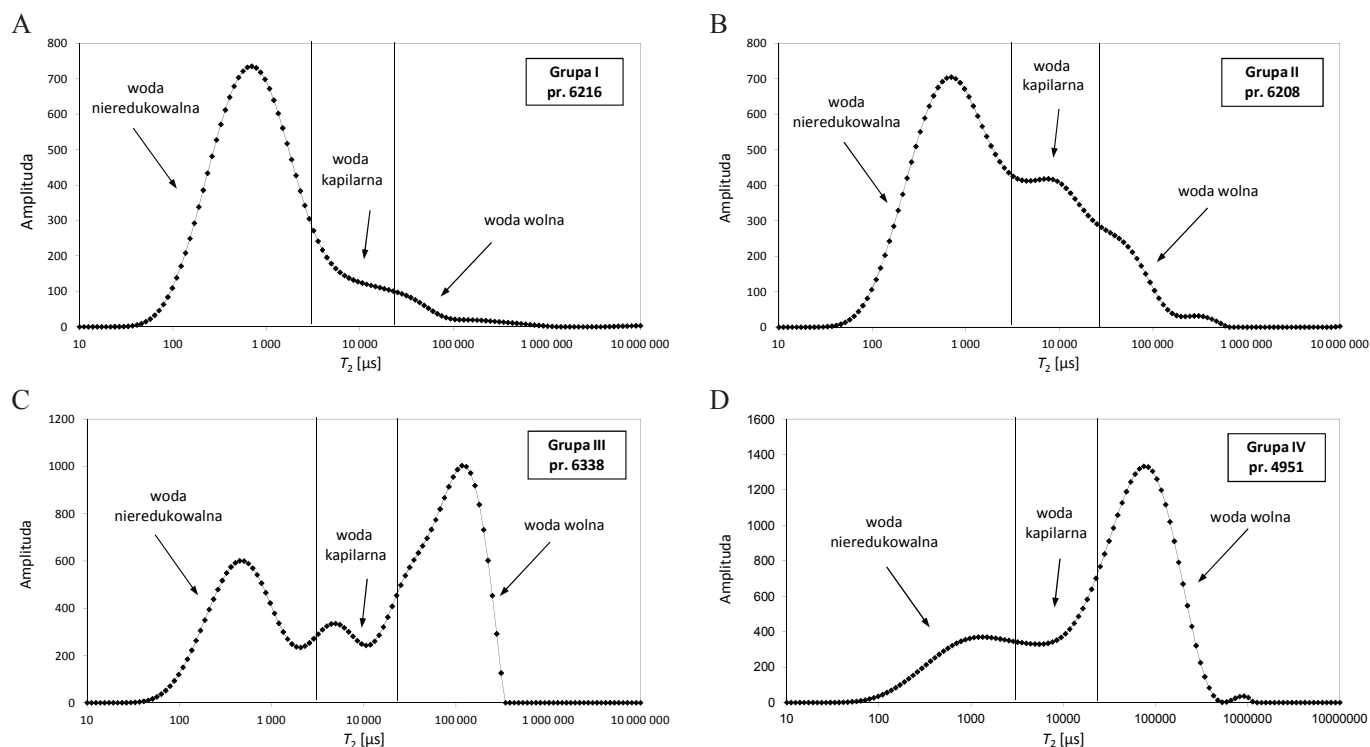
Grupa I jest najmniej liczna ($N = 7$) i wykazuje najslabsze właściwości zbiornikowe i filtracyjne. Należące do niej skały charakteryzują się najniższymi współczynnikami porowatości: $K_p \in (6,60 \div 9,15\%)$, śr. 7,99% i przepuszczalności: $K_{pr} \in (0,01 \div 0,07 \text{ mD})$ spośród wszystkich wydzielonych grup. Zawartość porów $> 1 \mu\text{m}$ wynosi $9 \div 21\%$, a wartość średnicy progowej $0,1 \div 1 \mu\text{m}$. Widać tutaj zdecydowaną przewagę wody nieredukowalnej: $S_{w1} \in (68,41 \div 89,29\%)$, śr. 78,04%. Udział wody wolnej jest bardzo niewielki: $S_{w3} \in (1,07 \div 9,91\%)$, śr. 4,58%. Kształt krzywej rozkładu czasów poprzecznej relaksacji T_2 skał grupy I wskazuje na przewagę mikroporów w przestrzeni porowej (rysunek 5A). Do grupy tej należą zlepieńce i piaskowce zlepieńcowate ze wszystkich przebadanych otworów (oprócz otworu Bonikowo-2). Charakteryzują się one stosunkowo niską zawartością kwarcu, średnio 52,86%. Przykład obserwacji w mikroskopie optycznym i skaningowym dla skały reprezentującej grupę I przedstawiono na rysunku 6.

Grupa II

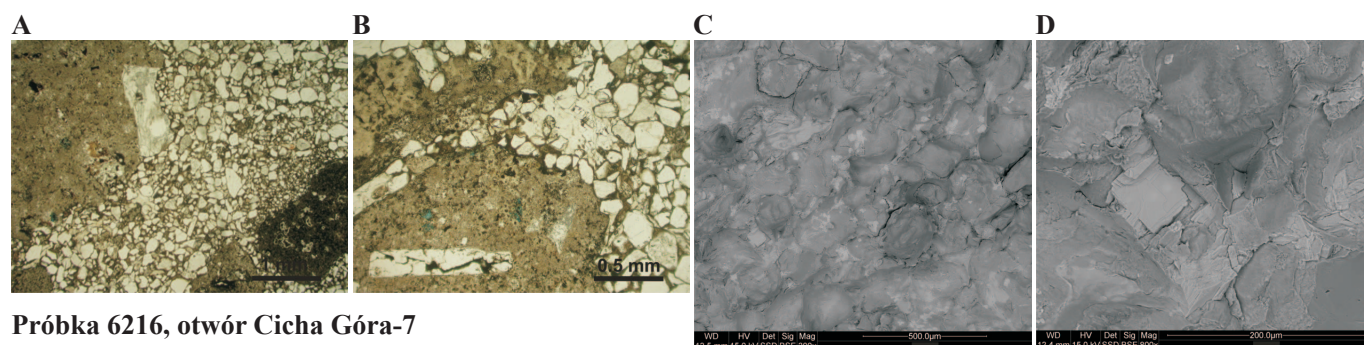
Do grupy II należą próbki o nieco lepszych własnościach zbiornikowych: $K_p \in (5,12 \div 13,66\%)$, śr. 9,17%, ale równie słabych własnościach filtracyjnych: $K_{pr} \in (0,01 \div 0,49 \text{ mD})$. Jest to związane z wysoką ilością wody nieredukowalnej: $S_{w1} \in (41,27 \div 84,84\%)$, śr. 57,71%. Zawartość porów $> 1 \mu\text{m}$ wynosi $7 \div 50\%$, a wartość średnicy progowej $0,4 \div 0,3 \mu\text{m}$. Tak jak w skałach grupy I – widać tutaj przewagę mikroporów w przestrzeni porowej (rysunek 5B). Próbki tej grupy występują we wszystkich badanych otworach i reprezentują różne typy litologiczne (zlepieńce, piaskowce zlepieńcowate, piaskowce jednorodne). Obserwacje w mikroskopie optycznym i skaningowym dla piaskowca z grupy II przedstawia rysunek 7.

Grupa III

Grupa III jest najliczniejsza i najbardziej zróżnicowana. Wartości współczynnika porowatości są zbliżone do wartości dla skał grupy II: $K_p \in (8,65 \div 16,14\%)$, śr. 11,86%, natomiast



Rys. 5. Zestawienie przykładowych rozkładów T_2 dla próbek należących do poszczególnych grup: A – grupa I, B – grupa II, C – grupa III, D – grupa IV



Próbka 6216, otwór Cicha Góra-7

Litologia: piaskowiec zlepieńcowaty
 Skład mineralny: 53% Q, 26% Sk, 1% C, 2% D, 5% A, 1% Ha, 19% Σ il (Ch, M)
 Grupa: I
 Kp_{NMR}/Kpr : 7,55% / 0,03 mD

- A) Widok ogólny. Drobnziarnisty szkielet ziarnowy i duże klasty wulkanitów.
 B) Wtórna porowatość w obrębie klastów wulkanitów.
 C) Przestrzeń porowa całkowicie wypełniona cementami.
 D) Cement anhydrowy.

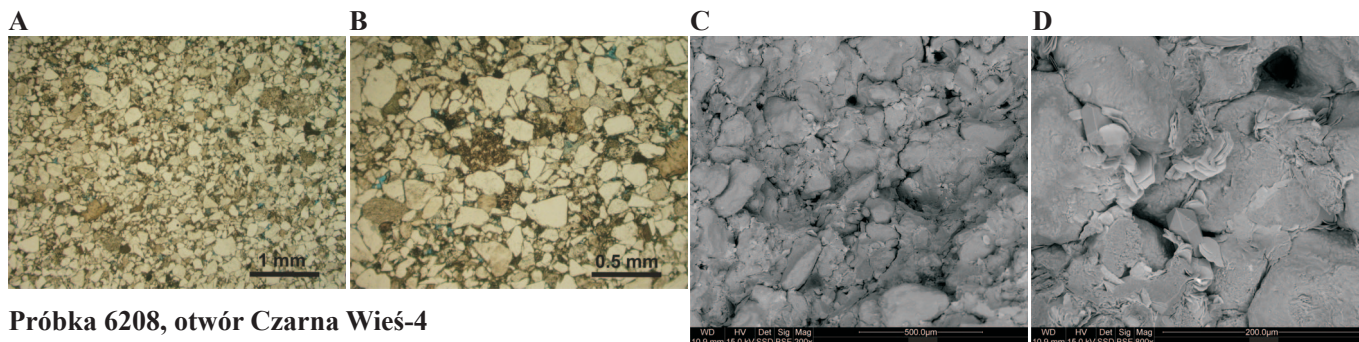
Rys. 6. Obserwacje w mikroskopie optycznym (A, B) i skaningowym (C, D) dla skały reprezentującej grupę I

współczynnik przepuszczalności przyjmuje wartości wyższe: $Kpr \in (0,38 \div 11,46 \text{ mD})$. Jest to związane z wyraźnym zmniejszeniem się ilości mikroporów w przestrzeni porowej: $Sw_1 \in (29,80 \div 48,34\%)$. Zawartość porów $> 1 \mu\text{m}$ wynosi $40 \div 81\%$, a wartość średnicy progowej $2 \div 20 \mu\text{m}$. Krzywe T_2 próbek z tej grupy są często wielomodalne (rysunek 5C), co sugeruje obecność systemów porów o różnych rozmiarach oraz słabsze wysortowanie materiału. Próbki z tej grupy

reprezentowane są przez piaskowce i występują głównie w otworach Paręczewo-1 i Cicha Góra-7 (rysunek 8).

Grupa IV

Najkorzystniejszymi właściwościami zbiornikowymi charakteryzuje się grupa IV, do której zakwalifikowano 11 próbek. Próbki te wykazują najlepsze właściwości zbiornikowe: $Kp \in (13,20 \div 19,50\%)$ i filtracyjne: $Kpr \in (6,18 \div 233,25 \text{ mD})$.

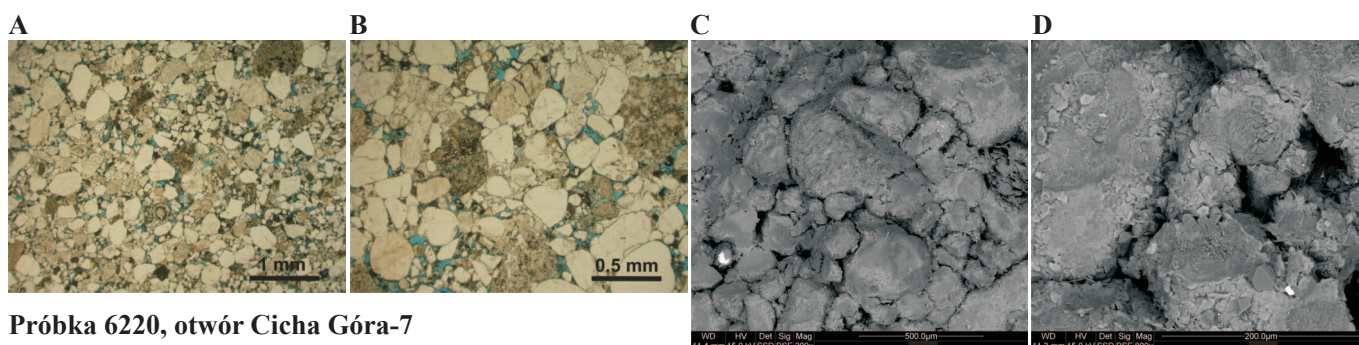


Próbka 6208, otwór Czarna Wieś-4

Litologia: piaskowiec
 Skład mineralny: 71% Q, 15% Sk, 17% Σ il (Ch, M)
 Grupa: II
 Kp_{NMR}/Kpr : 10,17% / 0,09 mD

- A) Widok ogólny. Drobnodziarnisty szkielet ziarnowy.
- B) Nieliczne duże pory.
- C) Ziarna detrytyczne silnie upakowane.
- D) Chloryty narastające na ziarnach detrytycznych i idiomorficzne kryształy kwarcu.

Rys. 7. Obserwacje w mikroskopie optycznym (A, B) i skaningowym (C, D) dla skały reprezentującej grupę II



Próbka 6220, otwór Cicha Góra-7

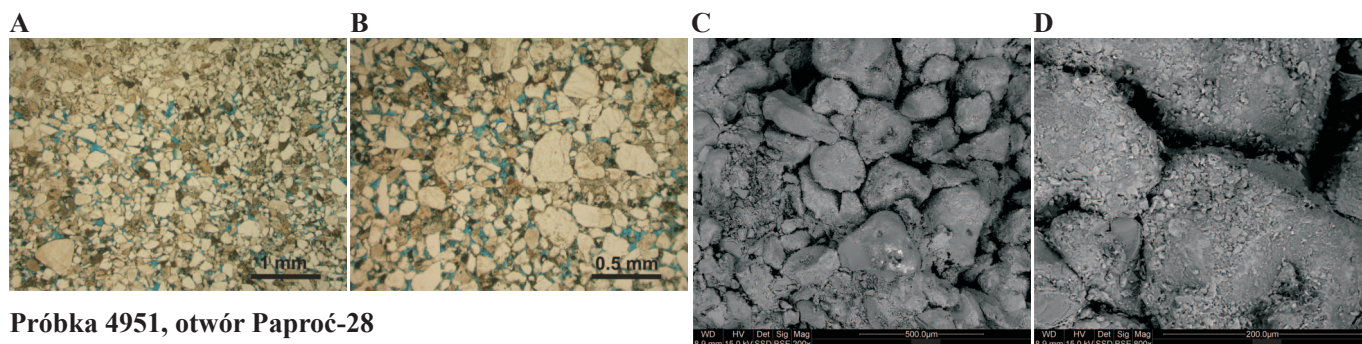
Litologia: piaskowiec
 Skład mineralny: 68% Q, 18% Sk, 5% C, < 1% D, 11% Σ il (Ch, M)
 Grupa: III
 Kp_{NMR}/Kpr : 11,00% / 8,01 mD

- A) Widok ogólny. Uziarnienie wybitnie bimodalne.
- B) Bimodalny rozkład wielkości porów.
- C) Wtórna porowatość w obrębie klastów wulkanicznych.
- D) Chloryty narastające na ziarnach detrytycznych. Rozpuszczanie skaleni.

Rys. 8. Obserwacje w mikroskopie optycznym (A, B) i skaningowym (C, D) dla skały reprezentującej grupę III

Zawartość porów $> 1 \mu\text{m}$ wynosi $63\pm 82\%$, a wartość średnicy progowej $20\div 35 \mu\text{m}$. Woda wolna przeważa w przestrzeni porowej i jej ilość jest najwyższa spośród wszystkich wyróżnionych typów: $S_{w3} \in (40,26\div 61,38\%)$, śr. $50,04\%$. Zawartość wody nieredukowalnej jest najniższa: $S_{w1} \in (19,22\div 26,79\%)$, śr. $22,51\%$. Kształt krzywej T_2 (wyraźny pik w zakresie wysokich czasów T_2) świadczy o występowaniu systemu dość dużych porów (rysunek 5D). Próbki z tej grupy występują w otworach Paproć-28, Bonikowo-2 i Czarna Wieś-4 oraz

Cicha Góra-7 (jedna próbka). Są to jednorodne piaskowce o stosunkowo wysokiej zawartości kwarcu ($70\div 87\%$) i niskiej mineralów ilastych ($6\div 12\%$) oraz węglanów ($0\div 4\%$). Charakteryzują się luźnym szkieletem ziarnowym złożonym głównie z kwarcu i skaleni z niewielkim udziałem klastów wulkanitów (rysunek 9). Ziarna detrytyczne o średnicy od 100 do $350 \mu\text{m}$ charakteryzują się słabym obtoczeniem i wysortowaniem. W skale obecne są strefy o porowatości znacznie zredukowanej przez cementację węglanową.



Próbka 4951, otwór Paproć-28

Litologia: piaskowiec
 Skład mineralny: 77% Q, 23% Sk, 3% D, 1% C, 6% Σ il (Ch, M)
 Grupa: IV
 K_{pNMR}/K_{pr} : 14,96% / 70,44 mD

- A) Widok ogólny. W lewym górnym rogu strefa cementacji węglanowa.
 B) Słabe wysortowanie ziarn detrytycznych. Szkielet rozproszony.
 C) Rozpuszczanie skaleni.
 D) Ziarna detrytyczne z narastającymi blaszkami chlorytów i romboedrami dolomitu.

Rys. 9. Obserwacje w mikroskopie optycznym (A, B) i skaningowym (C, D) dla skały reprezentującej grupę IV

Podsumowanie

Wszystkie badane skały charakteryzują się bardzo skomplikowanym sposobem wykształcenia przestrzeni porowej. Wiązać to można z małą dojrzałością materiału detrytycznego budującego szkielet ziarnowy, co z kolei jest wynikiem bliskości obszarów źródłowych (wał wolsztyński). W trakcie krótkotrwałego transportu materiał detrytyczny nie został wysortowany i obtoczony. Bardzo duży udział w szkielecie ziarnowym zajmują klasty skał wulkanicznych (głównie riolitów) oraz skalenie, które najprawdopodobniej dopiero w trakcie diagenety uległy degradacji (rozpuszczaniu i zastępowaniu przez minerały ilaste, przede wszystkim illit).

Zastosowanie analizy skupień umożliwiło wydzielenie czterech grup skał o różnych własnościach petrofizycznych. W przestrzeni porowej skał o najsłabszych własnościach zbiornikowych i filtracyjnych, reprezentowanych przez zle-

pieńce i piaskowce zlepioncowate, dominują mikropory (skały z grupy I). Najlepszymi właściwościami zbiornikowymi i filtracyjnymi charakteryzują się jednorodne piaskowce o stosunkowo wysokiej zawartości kwarcu i niewielkich ilościach minerałów ilastych, zawierające system dość dużych porów (skały z grupy IV). Zaobserwowane zróżnicowanie własności petrofizycznych odzwierciedla zmienność litologiczną skał czerwonego spągowca. Szczególny wpływ na zróżnicowanie przestrzeni porowej mają takie zjawiska jak: rozpuszczanie skaleni, słabe obtoczenie materiału ziarnowego i nierównomierna cementacja węglanami.

Zastosowanie wskaźnika RR opartego na współczynnikach porowatości oraz przepuszczalności może być przydatnym narzędziem w ocenie skał pod względem właściwości zbiornikowych.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 11, s. 757–764

Artykuł powstał na podstawie pracy pt. *Korelacja pomiarów NMR z badaniami wykonanymi na porozymetrze rtęciowym dla utworów czerwonego spągowca z rejonu południowo-zachodniej części niecki poznańskiej* – praca INiG na zlecenie PGNiG; nr zlecenia: 602/SW, nr archiwalny: DK-4100-107/2006.

Literatura

- [1] Bowers M. C., Ehrlich R., Howard J. J., Kenyon W. E.: *Determination of porosity types from NMR data and their relationship to porosity types derived from thin section*. Journal of Petroleum Science and Engineering 1995, vol. 13, pp. 1–14.
- [2] Coates G., Xiao L., Prammer M.: *NMR Logging Principles & Applications*. Halliburton Energy Services, USA, 1999.
- [3] Dastidar R.: *Integrating NMR with Other Petrophysical Parameters to Characterize a Turbidite Reservoir*. University of Oklahoma, 2004.
- [4] Klaja J.: *Zastosowanie metody magnetycznego rezonansu jądrowego do wyznaczania kretosci porow*. Nafta-Gaz 2012, nr 9, s. 575–584.

- [5] Klaja J., Kulinowski P.: *Wykorzystanie zjawiska samodyfuzji do badania przestrzeni porowej piaskowcow metoda magnetycznego rezonansu jądrowego*. *Nafta-Gaz* 2009, nr 10, s. 760–767.
- [6] Poszytek A.: *Analiza zmienności właściwości zbiornikowych gornego czerwonego spagowca z wykorzystaniem wskaźnika zbiornikowego (RR)*. Konferencja Geopetrol 2006, Zakopane.
- [7] *STATISTICA PL dla Windows*. Tom III. *Statystyki II*. StatSoft, 1997.
- [8] Straley C., Rossini D., Vinegar H. J., Tutunjian P., Morriss C. E.: *Core Analysis by Low-Field NMR*. *The Log Analyst* 1997, vol. 38, no. 2, March–April, pp. 84–94.



Mgr inż. Jolanta KLAJA
Specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25A
31-503 Kraków
E-mail: klaja@inig.pl



Mgr inż. Grażyna ŁYKOWSKA
Asystent w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej;
kierownik ds. Jakości Laboratorium Geofizycznych Parametrów Skał i Płynów Złożowych.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25A, 31-503 Kraków
E-mail: lykowska@inig.pl

OFERTA

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;
- profilowanie rdzeni wiertniczych (bezpośrednio na otworze) w celu określenia całkowitej energii promieniowania gamma emitowanego przez naturalne pierwiastki promieniotwórcze (U+Th+K) – metodą spektrometrii gamma (Gamma Logger).



Kierownik: dr inż. Marek Dohnalik
Adres: ul. Bagrowa 1, 30-733 Kraków
Telefon: 12 617-74-70
Faks: 12 653-16-65
E-mail: marek.dohnalik@inig.pl

