

Irena Gąsior, Jolanta Klaja, Anna Przelaskowska
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Opracowanie modeli matematycznych do określania parametrów zbiornikowych skał w rejonie Załazia

Wstęp

Ważnymi parametrami niezbędnymi do pełnego opisu własności zbiornikowych skał i przepływu mediów przez ośrodek skalny są: przepuszczalność oraz nasycenie wodą nieredukowalną. Wielkości te, wraz z porowatością, określają własności zbiornikowe formacji skalnej oraz pozwalają prognozować intensywność i rodzaj przepływających mediów. Szczególnie wielkość nasycenia wodą nieredukowalną w znaczący sposób wpływa na właściwości zbiornikowe i filtracyjne skał, gdyż woda nieredukowalna zajmuje na stałe część przestrzeni porowej, uniemożliwiając akumulację węglowodorów. Prawdopodobnie wyznaczona wielkość nasycenia wodą nieredukowalną pozwala w sposób wiarygodny określić własności zbiornikowe skał i jest wykorzystywana do szacowania zasobów złóż gazu ziemnego oraz ropy. Znajomość tego parametru wpływa także na zwiększenie wiarygodności wyników interpretacji profilowań geofizycznych pod kątem wyznaczania poziomów perspektywicznych. Metodą, która pozwala

wyznaczyć zawartość wody nieredukowalnej w sposób najbardziej wiarygodny jest metoda magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR). Rozdzielenie wody nieredukowalnej od wody wolnej umożliwia pomiar czasu relaksacji poprzecznej – T_2 . Kluczowym parametrem wykorzystywanym w interpretacji jest tzw. „czas graniczny” – T_{2G2} . W opracowaniach z zakresu magnetycznego rezonansu jądrowego często dla piaskowców przyjmuje się średnią wartość T_{2G2} równą 33 ms [2, 6] i choć w wielu przypadkach wartość ta jest prawidłowa, bywa jednak, że znacznie odbiega od rzeczywistych wielkości T_{2G2} , które mogą zmieniać się w szerokich granicach. Potwierdza to konieczność wyznaczania rzeczywistych wartości tego parametru dla każdego zbiornika oddzielnie. Wyznaczenie średniej wartości czasu granicznego T_{2G2} dla badanych skał było zatem jednym z głównych zadań niezbędnych do opracowania modeli matematycznych, umożliwiających określenie nasycenia wodą nieredukowalną i przepuszczalności.

Materiał badawczy

Badania przeprowadzono na materiale rdzeniowym reprezentującym utwory miocenu, pochodzącym z dwóch otworów wiertniczych: Z-2 oraz Z-3, odwierconych w rejonach przedgórza Karpat. Badania te obejmowały: ilościową analizę rentgenowską składu mineralogicznego, analizę

przestrzeni porowej metodą magnetycznego rezonansu jądrowego, pomiary gęstości, gęstości objętościowej oraz porowatości ogólnej i przepuszczalności absolutnej, pomiary elektrycznych parametrów skał, pomiary przepuszczalności absolutnej i fazowej oraz pomiary porozymetrii rtęciowej.

Wyznaczenie średniej wielkości czasu granicznego T_{2G2} dla skał miocenu i kambru z badanego rejonu

Wyznaczenie parametru T_{2G2} dla danego zbiornika umożliwia odniesienie do rozkładów T_2 wyników badań wykonanych metodą porozymetrii rtęciowej [8].

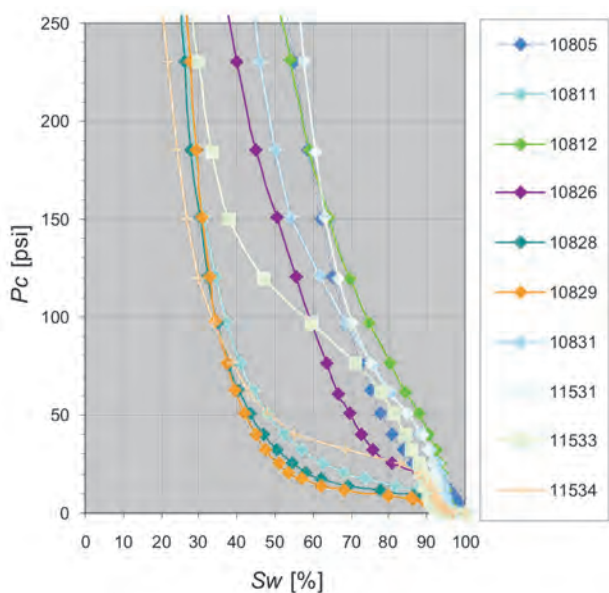
Badania wykonano dla 10 próbek skał, charakteryzujących się zróżnicowanymi własnościami zbiornikowymi (Kp_{NMR} : 8,86÷22,42%; Kpr : 0,15÷16,49 mD). Wielkości

ciśnienia kapilarnego wyznaczone dla układu powietrze-rtęć przeliczono na wielkości ciśnienia kapilarnego odpowiadające układowi powietrze-solanka według wzoru Leverett'a [3] (rysunek 1).

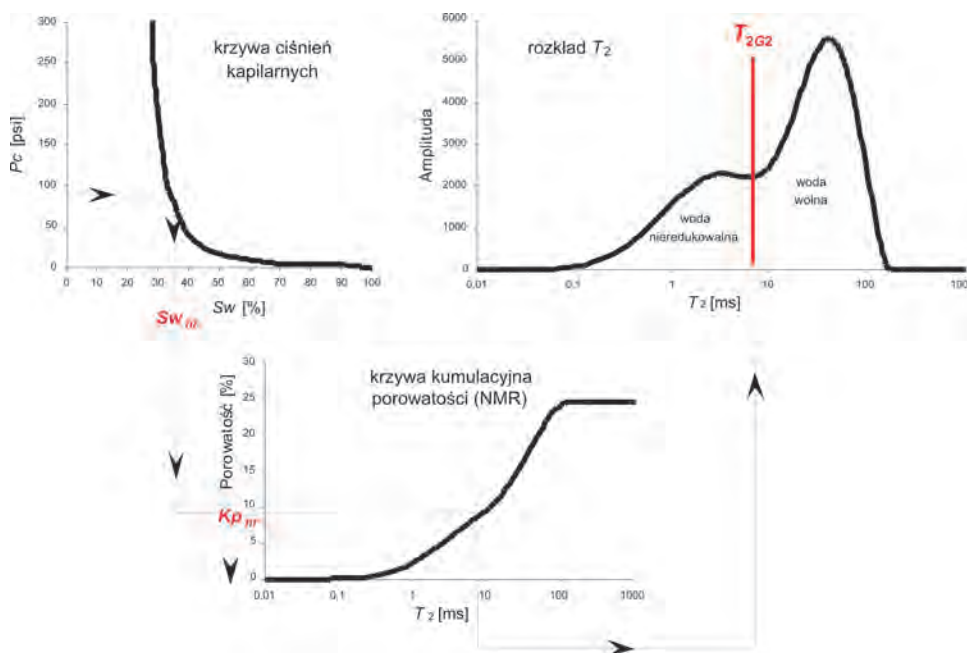
$$P_{c(pow.-sol.)} = P_{c(pow.-Hg)} \frac{(\tau \cdot \cos \Theta)_{pow.-sol.}}{(\tau \cdot \cos \Theta)_{pow.-Hg}} \quad (1)$$

gdzie:

- τ – napięcie powierzchniowe,
- Θ – kąt kontaktu.



Rys. 1. Krzywe ciśnień kapilarnych badanych próbek



Rys. 2. Wyznaczanie parametru T_{2G2} na podstawie krzywych ciśnień kapilarnych

Sw_{nr} – nasycenie wodą nieredukowalną wyznaczone z krzywej $Pc(Sw)$, Kp_{nr} – wielkość przestrzeni porowej zajętej wodą nieredukowalną ($Kp_{nr} = Sw_{nr} \cdot Kp_{NMR}$)

Tablica 1. Wartości T_{2G2} , wraz z parametrami wykorzystanymi w obliczeniach

Numer próbki	Sw_{nr} [%]	Kp_{nr} [%]	T_{2G2} [ms]
10805	68,0	14,04	2,1
10811	48,0	10,50	2,1
10812	74,0	14,29	2,6
10826	59,5	9,72	1,7
10828	44,0	8,36	1,9
10829	42,0	8,70	3,6
10831	62,0	9,39	2,3
11531	70,0	15,69	3,2
11533	58,0	5,14	1,9
11534	48,5	8,73	3,2

Objaśnienia:

Sw_{nr} – nasycenie wodą nieredukowalną,

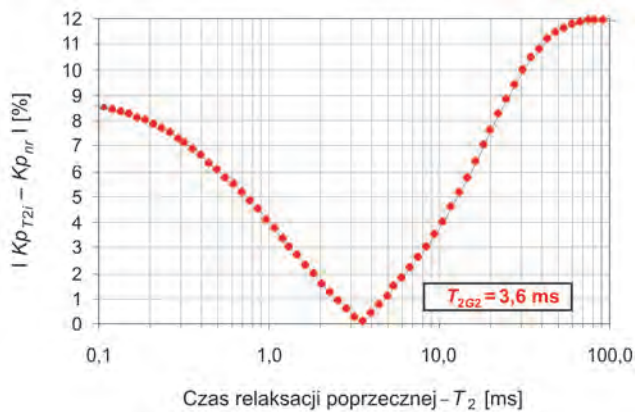
Kp_{nr} – wielkość przestrzeni porowej zajętej wodą nieredukowalną,

T_{2G2} – czas graniczny.

Na podstawie uzyskanych krzywych dla każdej próbki wyznaczono wielkość nasycenia wodą nieredukowalną (Sw_{nr}). Przyjęto powszechnie stosowane kryterium, według którego próbka osiąga stan resztkowego nasycenia wówczas, gdy pomimo wzrostu ciśnienia nasycenie nie maleje w znaczącym stopniu. Znajomość parametru Sw_{nr} oraz porowatości całkowitej (Kp_{NMR}) umożliwiła obliczenie wielkości przestrzeni porowej zajętej wodą nieredukowalną (parametr Kp_{nr}), którą odniesiono do krzywych kumulacyjnych porowatości NMR, celem

wyznaczenia parametru T_{2G2} (rysunek 2, tablica 1). Czas relaksacji, dla którego różnica porównywanych porowatości osiąga najmniejszą wartość jest szukany parametrem T_{2G2} (rysunek 3). Wartość średnia T_{2G2} dla skał z badanego rejonu wynosi 2,60 ms i tą zastosowano w interpretacji rozkładów T_2 .

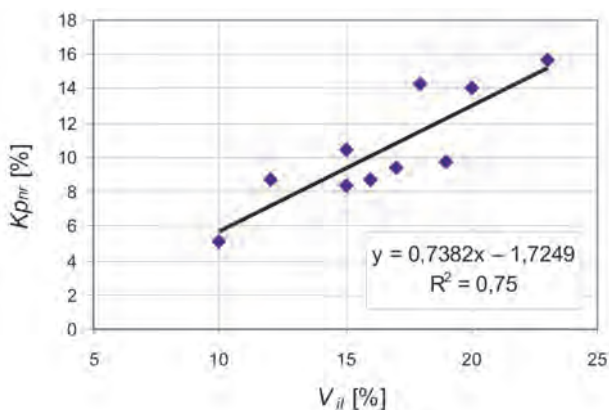
W badaniach NMR czas relaksacji T_2 równy ok. 2,8 ms [8] jest wykorzystywany do wyznaczania przestrzeni porowej zajętej wodą związaną z minerałami ilastymi. Pozostała część przestrzeni porowej stanowi porowatość efektywną. Zestawienie parametru Kp_{nr} , określonego eks-



Rys. 3. Przykład określenia wielkości parametru T_{2G2}

Kp_{T2i} – porowatość obliczona z krzywej kumulacyjnej porowatości NMR dla danego T_{2i} , Kp_{nr} – wielkość przestrzeni porowej zajętej wodą nieredukowalną

perymentalnie, z wielkością zailenia V_{il} wykazuje wyraźny trend – co wskazuje, że nasycenie wodą nieredukowalną jest związane przede wszystkim z minerałami ilastymi (rysunek 4). W tej sytuacji przyjęto, że wielkość przestrzeni porowej wyznaczonej z badań NMR, dla której $T_2 > T_{2G2} = 2,6$ ms oznacza porowatość efektywną (Kp_{ef}), zaś część przestrzeni porowej zajętej wodą nieredukowalną oznaczono symbolem Kp_{nr} .

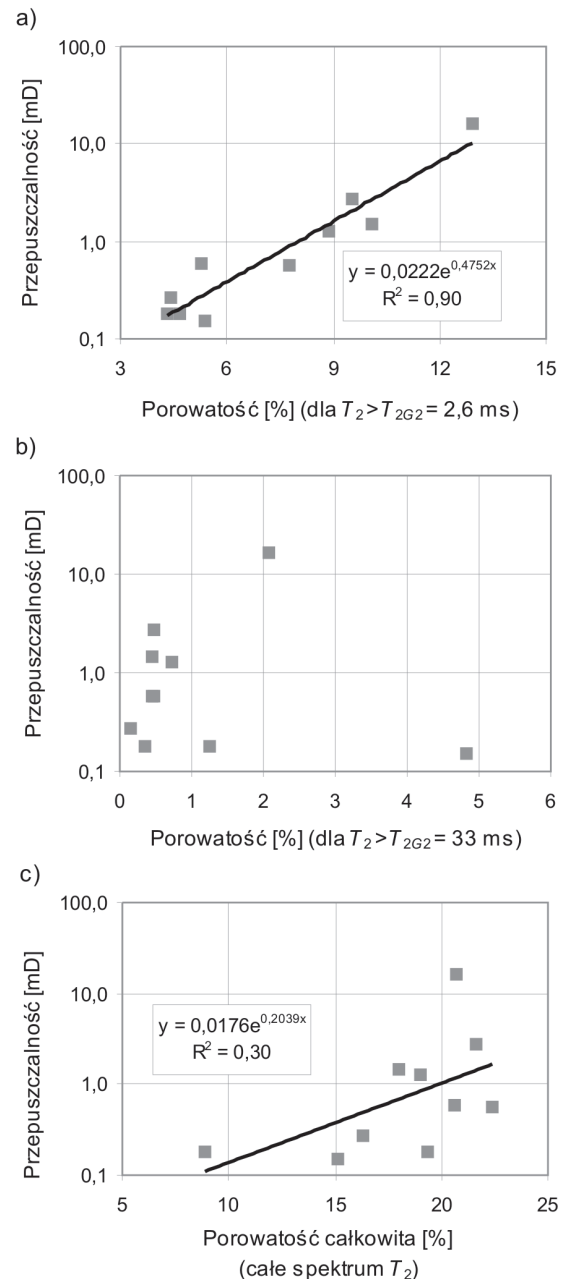


Rys. 4. Zestawienie wielkości przestrzeni porowej zajętej wodą nieredukowalną (Kp_{nr}), z zaileniem (V_{il})

Weryfikacja wyznaczonej średniej wartości czasu granicznego – T_{2G2}

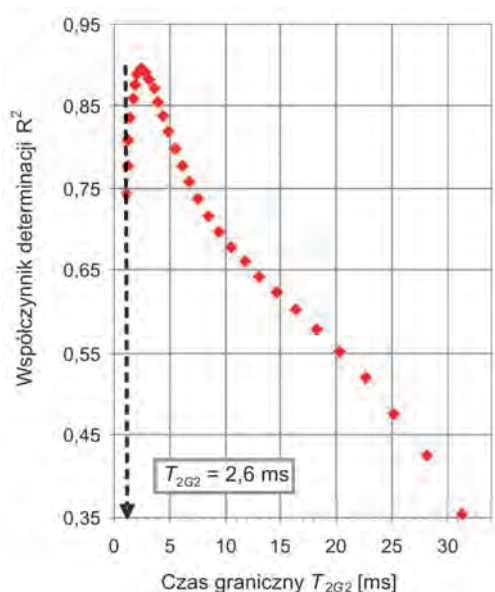
Właściwe oszacowanie czasu granicznego T_{2G2} pozwala na poprawne określenie zawartości wody nieredukowalnej, a co za tym idzie – wielkości przestrzeni porowej, w której możliwy jest przepływ płynów złożowych. Tym samym należy się spodziewać, że porowatość wyznaczona na podstawie wiarygodnej wielkości T_{2G2} będzie dobrze korelowała z przepuszczalnością. Wykonana korelacja potwierdza poprawność wyznaczenia czasu granicznego T_{2G2}

dla badanego rejonu. Porowatość obliczona dla parametru T_{2G2} wyznaczonego eksperymentalnie koreluje z przepuszczalnością znacznie lepiej niż porowatość całkowita czy porowatość określona dla T_{2G2} równego 33 ms (rysunek 5).



Rys. 5. Korelacja przepuszczalności z porowatością, wyznaczoną na podstawie: a) $T_{2G2} = 2,6$ ms, b) $T_{2G2} = 33$ ms, oraz c) z porowatością całkowitą

Wartość T_{2G2} równą 2,6 ms potwierdził również eksperyment, w którym badano, jak z przepuszczalnością koreluje porowatość wyznaczona z pomiarów NMR dla zakresu T_{2G2} od 0,9 ms do 33 ms. Wynik tego eksperymentu przedstawiono na rysunku 6. Najlepszy współczynnik determinacji uzyskano dla T_{2G2} równego 2,6 ms.



Rys. 6. Zmiana współczynnika determinacji (R^2) dla różnych wartości czasu granicznego T_{2G2}

Opracowanie modeli geofizycznych do określenia ilości wody niereducowalnej oraz przepuszczalności absolutnej i względnej

W pracy przedstawiono modele matematyczne do określania takich parametrów zbiornikowych skał jak: nasycenie wodą niereducowalną (Sw_{nr}), przepuszczalność absolutna (Kpr) oraz względna dla wody i gazu (Kr_w, Kr_g). Modele skonstruowano oddzielnie dla utworów miocenu i kambru.

Współczynnik nasycenia skał wodą niereducowalną – Sw_{nr}

Do określania nasycenia skał wodą niereducowalną (Sw_{nr}) wykorzystano zailenie i porowatość, wyznaczone laboratoryjnie. Skonstruowane modele teoretyczne mają postać:

$$Sw_{nr} = V_{il}^a \cdot (1 - Kp_{ef})^b \quad (2)$$

przy założeniu: $Sw_{nr} \leq Sw$, jeśli: $Sw_{nr} > Sw$ to: $Sw_{nr} = Sw$

gdzie:

Sw_{nr} – nasycenie wodą niereducowalną, wyrażone w ułamku jedności,

V_{il} – zailenie, w ułamku jedności,

Kp – porowatość, wyrażona w ułamku jedności,

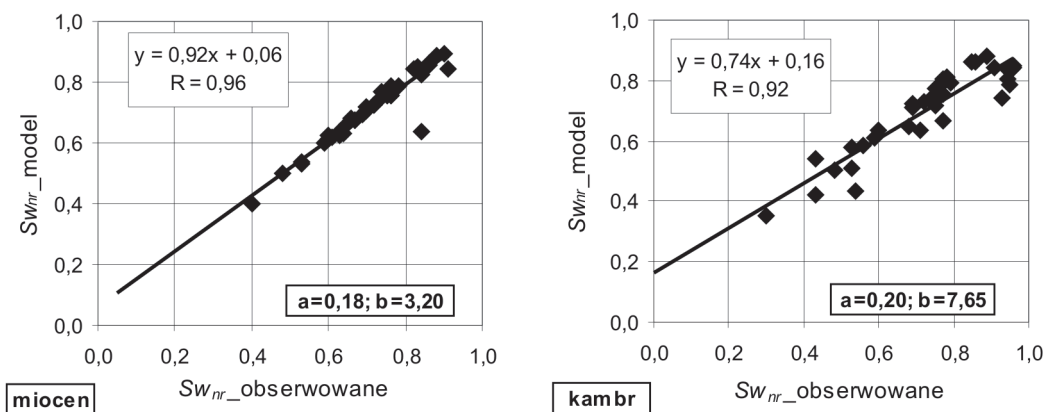
a, b – stałe, które należy wyznaczyć.

Do kalibracji powyższego równania wykorzystano dane laboratoryjne: zailenie z analizy rentgenowskiej, a porowatość oraz nasycenie wodą niereducowalną – z pomiarów NMR. Parametry powyższych modeli interpretacyjnych zamieszczono w tabelicy 2, natomiast korelacje wartości nasycenia wodą niereducowalną (określonych dla poszczególnych utworów w oparciu o modele oraz laboratoryjnie) przedstawiono na rysunku 7.

Przeanalizowano również zależność wykładniczą wody niereducowalnej Sw_{nr} od współczynnika porowatości efektywnej Kp_{ef} (tabela 3, rysunek 8).

Tabela 2. Parametry modeli matematycznych do określania nasycenia wodą niereducowalną Sw_{nr} { $Sw_{nr} = V_{il}^a \cdot (1 - Kp_{ef})^b$ }

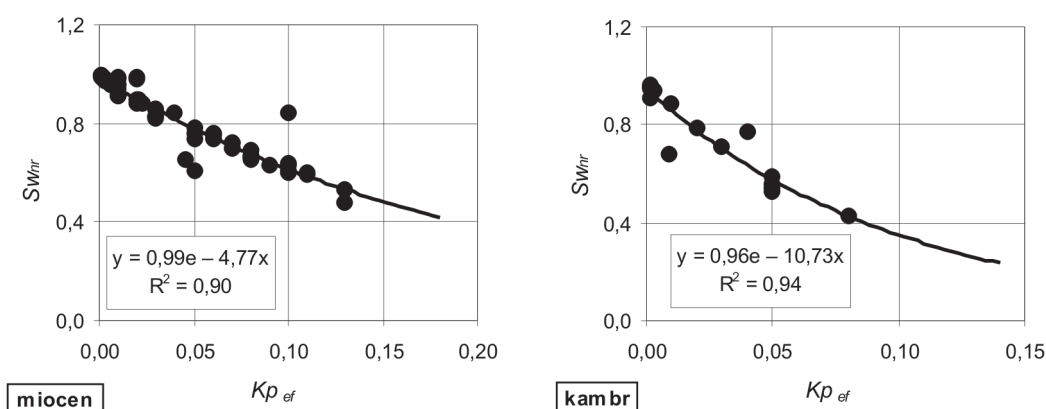
Seria stratygraficzna	Parametry modelu		Współczynnik korelacji
	a	b	R
Miocen	0,18	3,20	0,96
Kambr	0,20	7,65	0,92



Rys. 7. Wartości nasycień wodą niereducowalną (Sw_{nr}) – przewidywanych, względem laboratoryjnych {model: $Sw_{nr} = V_{il}^a \cdot (1 - Kp_{ef})^b$ }

Tablica 3. Parametry modeli matematycznych do określania nasycenia wodą nieredukowalną $S_{w_{nr}}$ $\{S_{w_{nr}} = a \cdot \exp(b \cdot Kp_{ef})\}$

Seria stratygraficzna	Parametry modelu		Współczynnik korelacji
	a	b	R
Miocen	0,99	-4,77	-0,95
Kambr	0,96	-10,73	-0,97



Rys. 8. Zależność wykładniczą współczynników nasycenia wodą nieredukowalną ($S_{w_{nr}}$) od porowatości efektywnej (Kp_{ef})

Przepuszczalność absolutna – Kpr

Dla określenia przepuszczalności absolutnej (Kpr) opracowano następujące modele teoretyczne:

$$Kpr = C \cdot Kp_{ef}^{m+1} \cdot (1 - S_{w_{nr}})^2 \quad (3)$$

$$Kpr = C \cdot Kp_{ef}^a / S_{w_{nr}}^2 \quad (\text{równanie Timura}) \quad (4)$$

gdzie:

Kpr – przepuszczalność absolutna [mD],

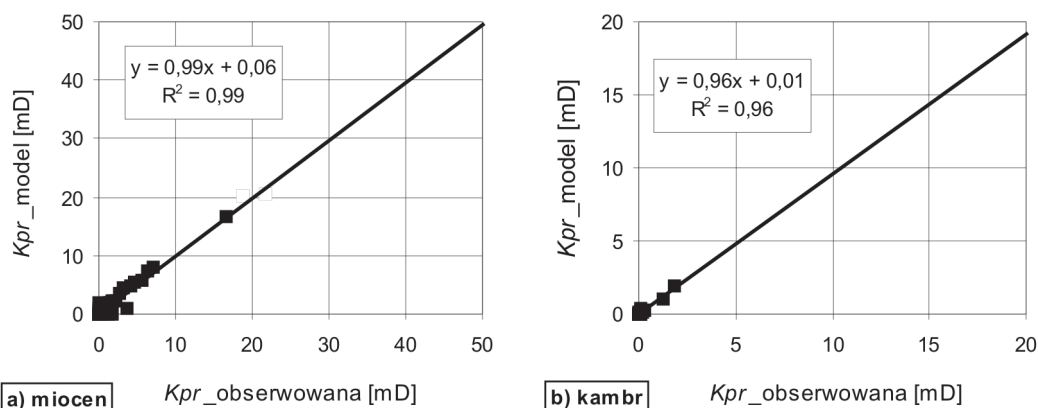
Kp_{ef} – porowatość efektywna, wyrażona w ułamku jednościi,
 $S_{w_{nr}}$ – nasycenie wodą nieredukowalną, wyrażone w ułamku jednościi,
 m – wskaźnik struktury porowej,
 C, a – stałe, które należy wyznaczyć poprzez kalibrację empiryczną powyższych równań.

W przypadku kalibracji modelu (3), za „ m ” przyjęto wartość średnią z badań elektrycznych tego parametru,

Tablica 4. Parametry modelu matematycznego $Kpr = C \cdot Kp_{ef}^{m+1} \cdot (1 - S_{w_{nr}})^2$

Seria stratygraficzna	C	m+1	R*
Miocen	24 183	2,83	0,99
Kambr	65 026	2,88	0,98

*R – współczynnik korelacji

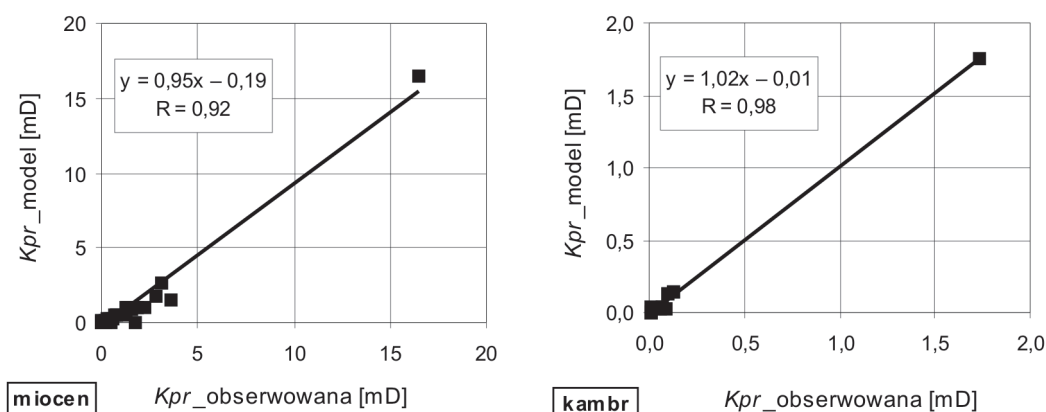


Rys. 9a, b. Korelacje przepuszczalności: przewidywanych i laboratoryjnych, dla utworów miocenu oraz kambru

Tablica 5. Parametry wzoru Timura

$$\text{Model: } Kpr = C \cdot Kp_{ef}^a / Sw_{nr}^2$$

Seria stratygraficzna	C	A	R
Miocen	10 564	4,0	0,92
Kambr	16 375	3,5	0,98



Rys. 10. Korelacje przepuszczalności: przewidywanych (wzór Timura) i laboratoryjnych

równą odpowiednio: 1,83 dla utworów miocenu oraz 1,88 dla utworów kambru.

W tablicach 4 i 5 zestawiono parametry opracowanych modeli matematycznych (C, a). Przykłady korelacji przepuszczalności absolutnej Kpr – przewidywanych (obliczonych na podstawie modeli) i obserwowanych (wyznaczonych laboratoryjnie) – zaprezentowano na rysunkach 9 i 10.

Przepuszczalność względna dla wody (Kr_w) i gazu (Kr_g)

Do obliczenia przepływu mieszanin wielofazowych przez ośrodek porowaty niezbędnym parametrem jest przepuszczalność względna. W tym celu wykorzystano prace Brooks’a i Corey’a [1]. Do określenia przepuszczalności względnych wspomniani autorzy wykorzystywali ciśnienie kapilarne (Pc). Zaobserwowali oni, że na wykresie [$Pc = f(Sw^*)$] o skalach logarytmicznych krzywa zależności Pc od Sw^* jest linią prostą. Zależność tę można przedstawić w następującej postaci:

$$Pc = a \cdot (Sw^*)^{-1/\lambda} \tag{5}$$

gdzie:

$$Sw^* = (Sw - Sw_{nr}) / (1 - Sw_{nr})$$

Sw – współczynnik nasycenia skały wodą (wyrażony w ułamku jednośc),

Sw_{nr} – współczynnik nasycenia skały wodą nieredukowalną (wyrażony w ułamku jednośc),

a – stała,

λ – parametr zależny od litologii, wyznaczony na podstawie ciśnień kapilarnych.

Znając wielkość parametru λ dla badanego rejonu, można określać współczynniki przepuszczalności względnych dla wody i gazu, według następujących zależności:

$$Kr_w = (Sw^*)^{(2+3\lambda)/\lambda} \tag{6}$$

$$Kr_g = (1 - Sw^*)^2 \cdot (1 - Sw^{*(2+\lambda)/\lambda}) \tag{7}$$

gdzie:

$$Sw_{nr} < Sw \text{ (dla } Sw < Sw_{nr}: Kr_w = 0; Kr_g = 1)$$

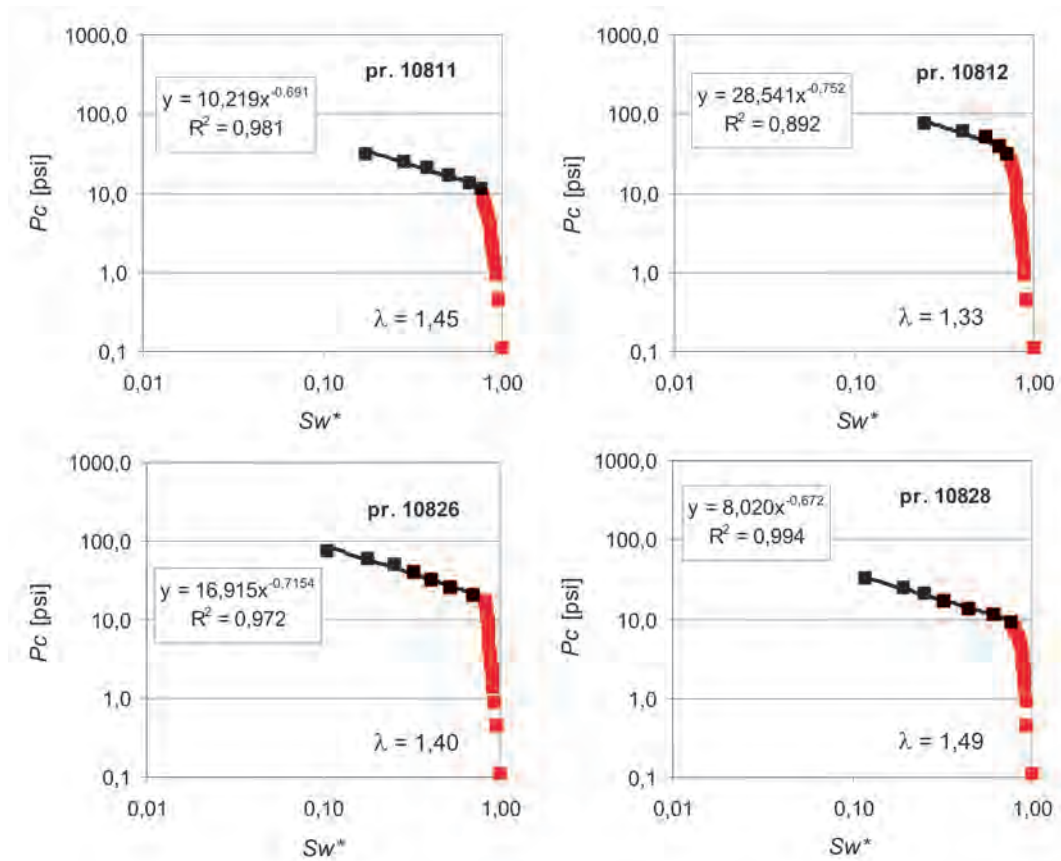
Kr_w – współczynnik przepuszczalności względnej dla wody (wyrażony w ułamku jednośc),

Kr_g – współczynnik przepuszczalności względnej dla gazu (wyrażony w ułamku jednośc),

Do wyznaczenia parametru λ wykorzystano pomiary porozymetrii rtęciowej wykonane na próbkach skał pochodzących z badanego rejonu. Przykłady uzyskanych wyników przedstawiono na rysunku 11. W rezultacie przeprowadzonych badań ustalono, że współczynnik λ dla omawianych skał jest równy 1,41.

Zgodnie z teorią wspomnianych autorów, skały o dobrych właściwościach zbiornikowych (dobrze wysortowane, o wysokiej przepuszczalności Kpr i niskich nasyceniach wodą nieredukowalną Sw_{nr}) mają zwykle wyższe wartości λ , podczas gdy skały o gorszych właściwościach zbiornikowych charakteryzują się niższymi wartościami tego parametru.

Aby ocenić poprawność wyznaczonego współczynnika λ (w myśl autorów Brooks’a i Corey’a) przeprowa-

Rys. 11. Wyznaczanie parametru λ

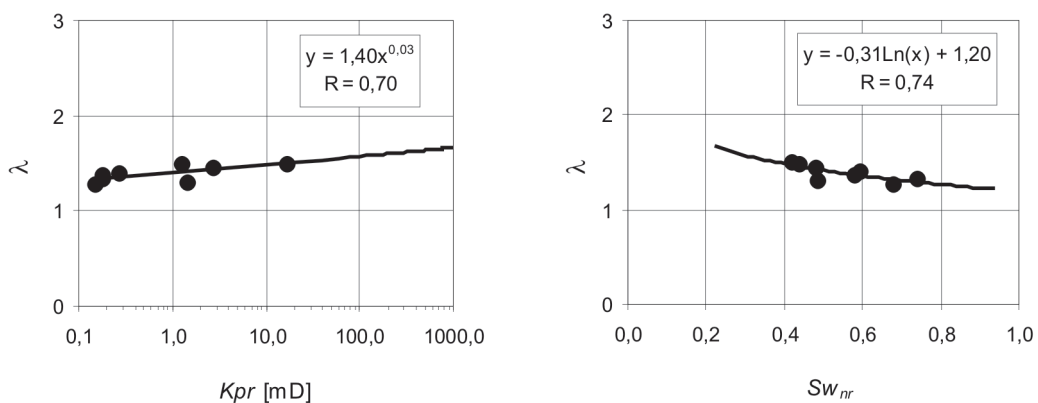
dzono analizę korelacyjną pomiędzy ww. parametrami. Przedstawione na rysunku 12 wyniki analizy potwierdzają poprawność wyznaczenia parametru λ .

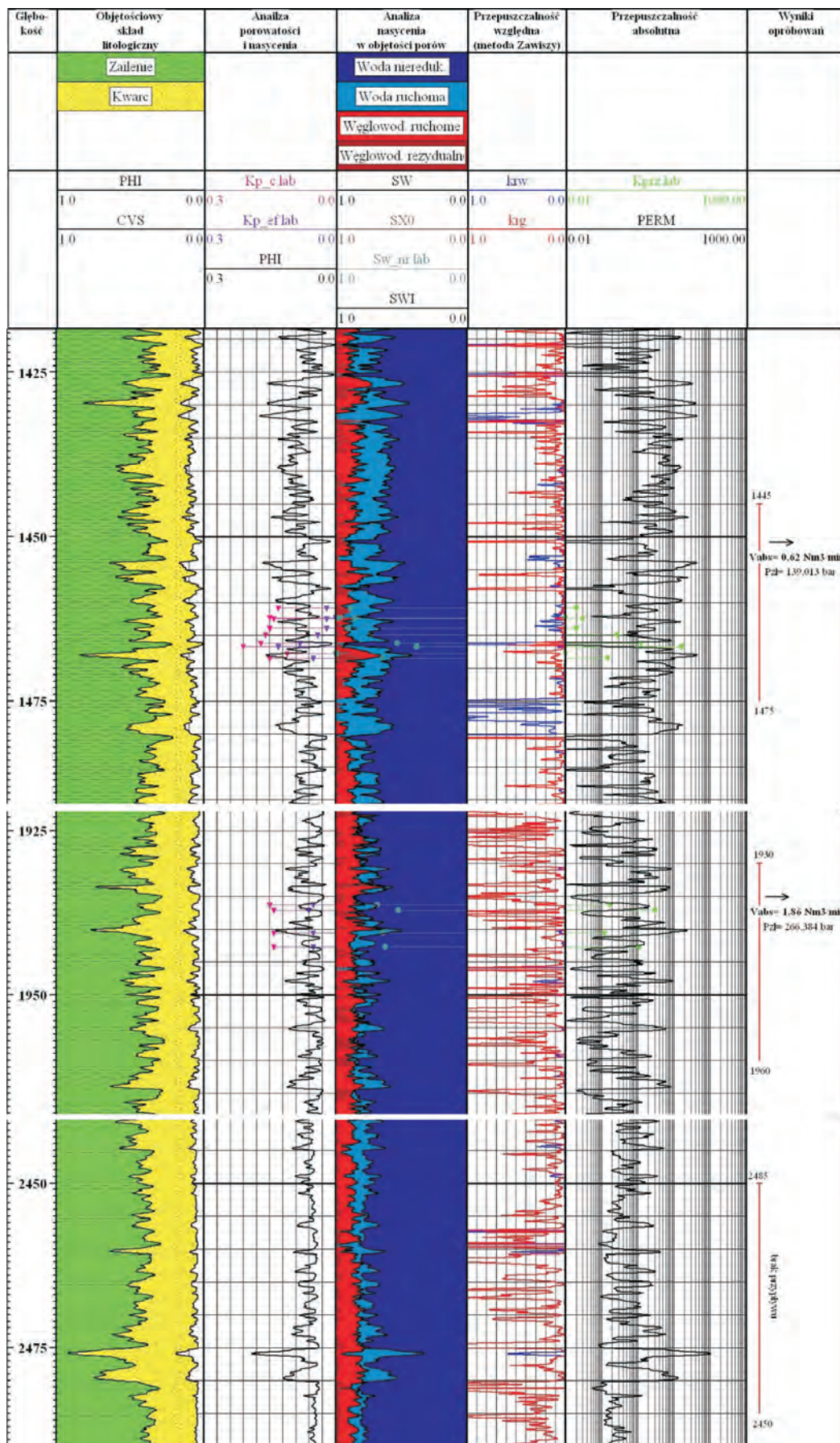
Modele matematyczne do określania przepuszczalności względnych dla wody i gazu (Kr_w , Kr_g) przyjmują następującą postać:

$$Kr_w = (Sw^*)^{4,42} = [(Sw - Sw_{nr}) / (1 - Sw_{nr})]^{4,42} \quad (8)$$

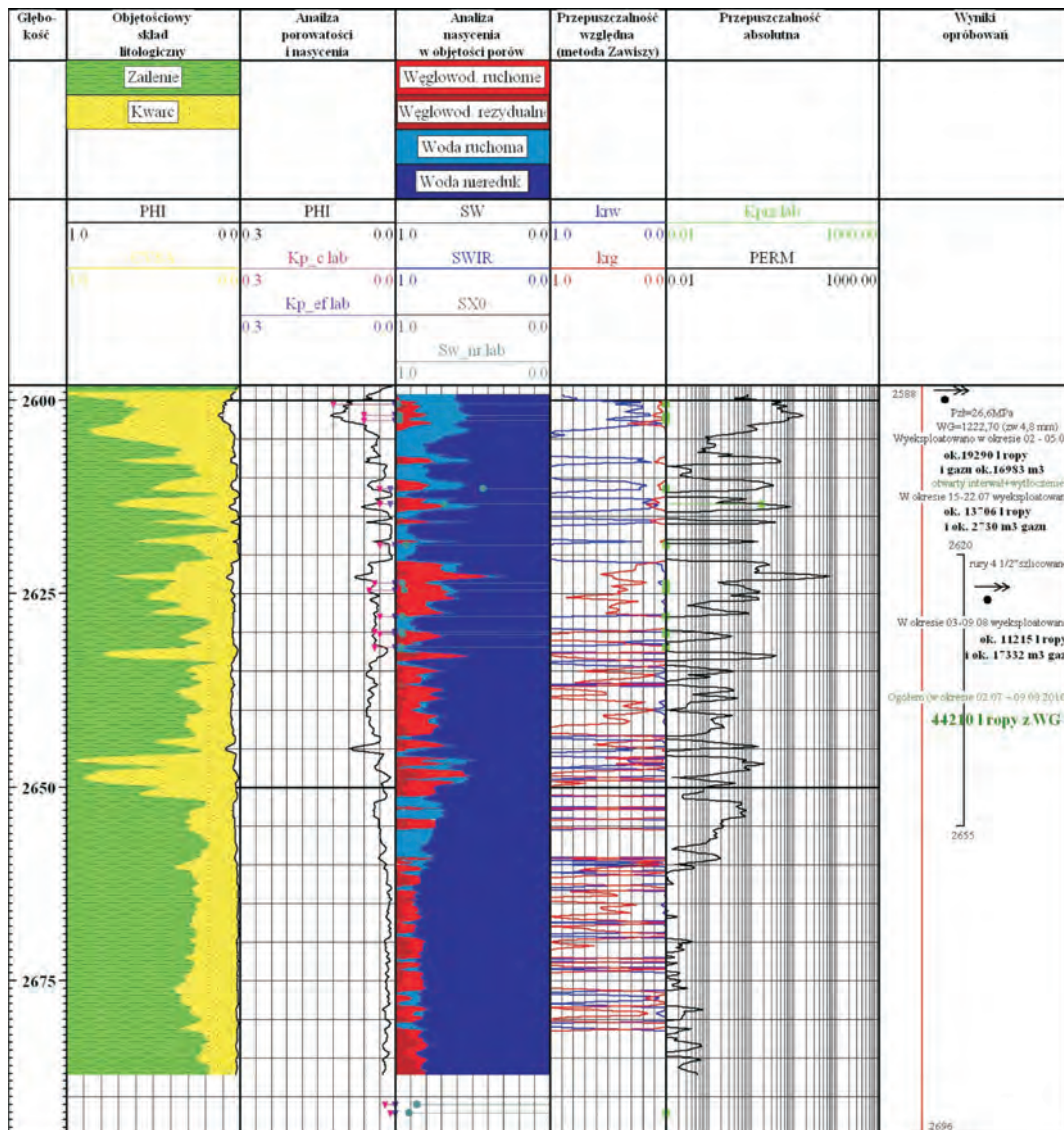
$$Kr_g = [(1 - Sw) / (1 - Sw_{nr})]^2 \cdot [1 - \{(Sw - Sw_{nr}) / (1 - Sw_{nr})\}^{2,42}] \quad (9)$$

W oparciu o skonstruowane modele, wykorzystując aplikację INTERLOG w systemie GeoWin, przeprowadzono interpretację profilowań geofizycznych w otworze wiertniczym Z-3 dla utworów miocenu i kambry (rysunki 13 i 14).

Rys. 12. Korelacja współczynnika λ z innymi parametrami geofizycznymi



Rys. 13. Wyniki interpretacji danych otworowych w otworze wiertniczym Z-3 przy wykorzystaniu opracowanych modeli matematycznych (utwory miocenu)



Rys. 14. Wyniki interpretacji danych otworowych w otworze wiertniczym Z-3 przy wykorzystaniu opracowanych modeli matematycznych (utwory kambru)

Analiza wyników

Weryfikację uzyskanych rezultatów przeprowadzono w oparciu o badania laboratoryjne oraz wyniki prób złożowych. Wartości współczynników nasycenia skał wodą nieredukowalną oraz przepuszczalności – wyznaczonych laboratoryjnie i określonych na podstawie pomiarów geofizyki wiertniczej z wykorzystaniem wyżej omawianych modeli w utworach miocenu – wykazują w miarę dobrą zgodność. Zdarza się, że wyniki badań laboratoryjnych odbiegają od wartości parametrów wyznaczonych na podstawie danych otworowych. Przyczyną takiej rozbieżności może być fakt, że badania laboratoryjne prowadzone są na materiale rdzeniowym i stanowią pomiary punktowe, natomiast profilowania geofizyczne odzwierciedlają uśrednione wartości z określonej objętości ośrodka skalnego,

co związane jest z zasięgiem radialnym i pionowym danego typu sondy. Takie efekty szczególnie zaznaczają się w ośrodkach cienkowarstwowych.

Poprawność zastosowanych modeli matematycznych można zweryfikować także wynikami prób złożowych. Z interwału 1960-1930 w otworze Z-3 uzyskano słaby przyływ suchego gazu; $V_{abs} = 1,86 \text{ Nm}^3/\text{min}$. W opróbowanym interwale zawartość wody nieredukowalnej uzupełnia do jedności nasycenie gazem. Z interwału 1475-1445 również uzyskano słaby przyływ gazu; $V_{abs} = 0,62 \text{ Nm}^3/\text{min}$. Z interpretacji wynika natomiast, że powinniśmy uzyskać słaby przyływ gazu z wykładnikiem wodnym. Właściwości zbiornikowe w ww. interwale są gorsze, dlatego woda wypełniająca pory mogła się „nie przebić”.

Z opróbowanego interwału 2485-2450 m nie uzyskano przyływu – mimo że analizując wyniki interpretacji można się było spodziewać niewielkiego przyływu mediów.

Generalnie, wartość obliczonej przepuszczalności w utworach miocenu prawidłowo odzwierciedla wielkości przyływu medium do otworu. Większa przepuszczalność ułatwia i pozwala na większy przyływ medium, zaś niska – wyraźnie go ogranicza.

W utworach kambru wartości współczynników nasycenia skał wodą nieredukowalną oraz wartości przepuszczalności wyznaczonych laboratoryjnie wynoszą odpowiednio:

- współczynnik nasycenia wodą nieredukowalną – ok. 0,9,
- przepuszczalność – ok. 0,01 mD.

Gdyby cały zbiornik charakteryzował się ww. parametrami, wskazałoby to na brak własności zbiornikowych utworów kambru. Jednak z interpretacji pomiarów geo-

fizyki wiertniczej wynika, że interwał ten charakteryzuje się dobrymi własnościami zbiornikowymi. Mułowcowo-piaszczyste osady są silnie zeszcelinowane i posiadają zdolność do magazynowania oraz przewodzenia węglowodorów – co potwierdzają próby złożowe.

Interwał 2696-2588 m został opróbowany próbnikiem złoża. Uzyskano w nim przyływ gazu i ropy. Następnie zapuszczono rury i sferforowano interwał 2655-2620, z którego wyeksploatowano ok. 44,21 tys. litrów ropy z wykładnikiem gazowym.

Z jednej próbki pobranej z rdzenia, zawierającej mikroszczelinę, uzyskano przepuszczalność 1,73 mD oraz współczynnik nasycenia wodą nieredukowalną 0,68. Próbka ta może być wzorcową dla ww. skał szczelinowatych, a jej parametry mogą odzwierciedlać średnie parametry złożowe utworów kambru.

Podsumowanie

Celem przedstawionej pracy była konstrukcja modeli matematycznych umożliwiających szacowanie parametrów zbiornikowych skał: nasycenia wodą nieredukowalną oraz przepuszczalności absolutnej, względnej i fazowej w badanym rejonie.

Dla prawidłowego określenia nasycenia wodą nieredukowalną konieczne było wyznaczenie średniej wielkości czasu granicznego T_{2G2} dla skał z badanego rejonu. Średnia wartość wyznaczonego eksperymentalnie parametru T_{2G2} dla tego rejonu wynosi 2,6 ms, a więc znacząco odbiega od średniej wartości podawanej w literaturze dla utworów klastycznych (33 ms). Wyznaczona eksperymentalnie wartość czasu granicznego jest z pewnością bardziej zbliżona do wartości rzeczywistej. Potwierdza to fakt, że porowatość obliczona dla $T_{2G2} = 2,6$ ms koreluje z przepuszczalnością znacznie lepiej ($R^2 = 0,90$) niż ta sama wielkość obliczona dla $T_{2G2} = 33$ ms ($R^2 < 0,30$).

W oparciu o wyniki badań laboratoryjnych opracowano modele interpretacyjne do wyznaczenia ww. parametrów zbiornikowych skał w profilu otworów wiertniczych. Modele te skonstruowano dla utworów miocenu i kambru. Weryfikację modeli przeprowadzono dla otworu wiertniczego Z-3, w wybranych interwałach głębokościowych utworów

miocenu i kambru, w oparciu o badania laboratoryjne oraz wyniki prób złożowych. Uzyskano wyniki tworzące spójny zbiór danych, logicznie wpasowanych w strukturę złoża, pozostających w zadowalającej zgodności zarówno z danymi laboratoryjnymi, wynikami prób, jak i składem mediów przyływających do otworów.

Wykonana kalibracja pozwala na poszerzenie i uaktualnienie istniejącej bazy parametrów wykorzystywanej w systemie GEOWIN do kompleksowej interpretacji profilowań geofizycznych.

Uzyskane wyniki interpretacji profilowań geofizycznych pozwoliły zauważyć, że pobrane i badane próbki rdzeniowe nie zawsze są reprezentatywne dla przewierconego profilu litologicznego. Takie zjawisko obserwujemy w wielu otworach, w których po opróbowaniu wytypowanych interwałów uzyskuje się przemysłowe przyływy gazu, natomiast badania laboratoryjne nie potwierdzają dobrych parametrów zbiornikowych.

Jedynie zwiększenie interwału rdzeniowania oraz gęsty krok pobierania materiału do badań laboratoryjnych pozwoli na szczegółowe określenie parametrów petrofizycznych skał oraz przybliżenie ich wielkości do rzeczywistych.

Artykuł nadesłano do Redakcji 21.07.2011 r. Przyjęto do druku 6.09.2011 r.

Literatura

- [1] Brooks R.H., Corey A.T.: *Properties of Porous Media Affecting Fluid Flow*. Journal Irrigation and Drainage Division, ASCE, vol. 92, 1966.

- [2] Coates G., Xiao L., Prammer M.: *NMR Logging Principles & Applications*. Haliburton Energy Services, USA, 1999.
[3] Dastidar R.: *Integrating NMR with other Petrophysical Parameters to Characterize a Turbidite Reservoir*, 2004.

Recenzent: prof. zw. dr hab. inż. Andrzej Kostecki

- [4] Eberl D.D.: *User's Guide to Rockjock – a Program for Determining Quantitative Mineralogy from Powder X-ray Diffraction Data*. U.S. Geological Survey Open-File Report 03-78, Boulder, Oklahoma, 2003.
- [5] Kenyon B., Kleinberg R., Straley C., Gubelin G., Morriss C.: *Nuclear magnetic Resonance Imaging Technology for the 21st Century*. Oilfield Review, 7, 3, 1995.
- [6] Kenyon W.E.: *Petrophysical Principles of Applications of NMR Logging*. The Log Analyst, 2, 1997.
- [7] Klaja J.: *Wykorzystanie gradientu pola magnetycznego w badaniach skał miocenijskich metodą magnetycznego rezonansu jądrowego*. Nafta-Gaz, nr 9, 2004.
- [8] Martin P., Dacy J.: *Effective Ov by NMR core tests*. SPWLA 45th Annual Logging Symposium, June 6-9, 2004.
- [9] Ostroff G.M., Shorey D.S., Georgi D.T.: *Integration of NMR and conventional LOG data for improved petro-physical evaluation of shaly sands*. SPWLA 40th Logging Symposium May 30 – June 3, 1999.
- [10] Straley C., Morriss C.E., Kenyon W.E., Howard J.J.: *NMR in Partially Saturated Rocks: Laboratory Insights on Free Fluid Index and Comparison with Borehole Logs*. The Log Analyst, 1, 1995.



Mgr Irena GĄSIOR – absolwentka Wydziału Matematyki UJ. Zajmuje się opracowywaniem nowych metod 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 inż. Jolanta KLAJA – ukończyła studia na wydziale Geologiczno-Poszukiwawczym Akademii Górniczo-Hutniczej w zakresie górnictwa i geologii, specjalność – geofizyka stosowana. W Instytucie Nafty i Gazu w Krakowie zajmuje się badaniem własności petrofizycznych skał metodami laboratoryjnymi, w szczególności metodą magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR).



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

- 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

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

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

E-mail: jadwiga.zalewska@inig.pl

