

Maciej Kozłowski, Krzysztof Wolański, Agnieszka Chmielowiec-Stawska

PGNiG S.A., Oddział w Zielonej Górze

Jadwiga Zalewska

Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Opracowanie wykształcenia litologicznego oraz kalibracja modeli służących do określania parametrów zbiornikowych skał w rejonie złoża Radoszyn

W ramach pracy wykonano pomiary laboratoryjne właściwości rdzeni wiertniczych, obejmujące następujące badania: porozymetryczne, przepuszczalności absolutnej i fazowych skał dla wody i gazu, składu mineralnego skał na podstawie analiz rentgenowskich, rozkład nasycenia wodą przestrzeni porowej metodą NMR, zawartości pierwiastków promieniotwórczych uranu, toru i potasu oraz parametrów elektrycznych skał. Na podstawie otrzymanych wyników badań laboratoryjnych przeprowadzono kalibrację geofizycznych modeli interpretacyjnych, której efektem końcowym była kompleksowa interpretacja pomiarów geofizyki wiertniczej dla poszczególnych otworów. W oparciu o wyniki badań laboratoryjnych i interpretację materiałów geofizyki wiertniczej podjęto próbę konstrukcji teoretycznych kształtów stref przejściowych ropa-woda złożowa oraz przedstawiono procedurę obliczania zawadnienia ze znormalizowanych ciśnień kapilarnych.

Study of lithological formation and model calibration necessary to describe reservoir parameters of rocks in Radoszyn field region

Within frameworks of the study laboratory measurements of drilling cores properties have been done, including: porosimetric testing, absolute and phase permeabilities of rocks for water and gas, mineral composition of rocks on the grounds of X-ray analyses, distribution of pore space water saturation with use of NMR method, contents of uranium, thorium and potassium radioactive elements, electrical parameters of rocks. On the grounds of obtained laboratory tests results, complex calibration of geophysics interpretation models was performed, resulting finally in complex interpretation of well logging for individual boreholes. Based on laboratory tests results and interpretation of geophysics well logging materials an attempt has been made to construct theoretical shapes of oil – reservoir water transition zones.

Wstęp

Podstawę interpretacji pomiarów geofizyki wiertniczej stanowią modele petrofizyczne i ostatnio geochemiczno-mineralogiczne. Przez model petrofizyczny rozumiana jest zależność pomiędzy mierzalnymi geofizycznie parametrami fizycznymi (np. opornością elektryczną), a parametrami zbiornikowymi (np. porowatość czy nasycenie wodą przestrzeni porowej). Przez model geochemiczno-mineralogiczny rozumiana jest zależność pozwalająca przeliczać skład chemiczny lub kompleksowe parametry geofizyczne na skład mineralny szkieletu skały. Generalnie modele te są

dobrze znane geofizykom i geologom naftowym, niemniej jednak wymagają one weryfikacji dla konkretnej formacji geologicznej czy konkretnego rejonu.

Powiązanie wskazań sondy pomiarowej z interesującą własnością skały musi być prowadzone poprzez odpowiednie, specjalistyczne pomiary doświadczone na próbkach skał, a procedura prowadząca do określenia tego związku nazywa się kalibracją sondy. Tego typu kalibracja możliwa jest do wykonania jedynie w warunkach laboratoryjnych [3].

Badania laboratoryjne

Badania przeprowadzono na 70 rdzeniach wiertniczych reprezentujących utwory dolomitu głównego, pochodzące z ośmiu otworów wiertniczych: Radoszyn-2, 3, 4K, Ołobok-1 oraz Gryżyna-2, 3, 4K. Badania przepusz-

czalności fazowych i porozymetrii rtęciowej wykonano w Zakładzie Geologii i Geochemii Instytutu Nafty i Gazu, a pozostałe pomiary – w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej INiG.

Próbki charakteryzowały się porowatością w zakresie od 0,11 do 24,70%, przy średniej wartości 6,84%. Najwyższe średnie wartości porowatości zaobserwowano w otworze Radoszyn-2, 3. Współczynnik przepuszczalności absolutnej wykazywał zmienność w zakresie od 0 do 1233,03 mD. Najwięcej (90%) próbek charakteryzowało się przepuszczalnością absolutną z przedziału od 0 do 5 mD. Najwyższe wartości tego współczynnika posiadały próbki z otworu Ołobok-1 (śr. $K_{prz} = 88,61$ mD).

Pomiary przepuszczalności fazowej w układzie woda-ropa zostały przeprowadzone w symulowanych warunkach złożowych, z zastosowaniem oryginalnej ropy oraz zrekombinowanej wody złożowej pochodzącej z analizowanych odwiertów. Przebadane próbki skał podzielono na pięć grup, pod względem ich możliwości transportu płynów złożowych:

- dobrze transportujące ropę, wodo-zwilżalne skały, K_w dla ropy $> 0,6$; K_w dla wody $< 0,3$;
- dobrze transportujące płyny złożowe skały o lekko mieszanej charakterystyce zwilżalności, K_w dla ropy $> 0,6$; K_w dla wody = 0,3-0,4;
- skały o mieszanej zwilżalności, K_w dla wody $> 0,4$ i obniżona wartość K_w dla ropy;

Kalibracja geofizycznych modeli interpretacyjnych do wyników badań laboratoryjnych na rdzeniach wiertniczych

Kalibrację geofizycznych modeli interpretacyjnych wykonano wykorzystując badania laboratoryjne przeprowadzone na rdzeniach wiertniczych. Spośród danych laboratoryjnych wybrano te, które są najbardziej istotne dla modeli petrofizycznych:

- objętość dolomitu z skałą (VDOL), wyznaczoną na podstawie dyfraktometrii rentgenowskiej,
- porowatość (CPHIE), określoną metodą magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR),

Ustalenie jakości pomiarów laboratoryjnych zawartości uranu i gęstości objętościowej

Dobra korelacja i jakość danych pomiarowych geofizycznych i laboratoryjnych jest warunkiem dokładności danych interpretacyjnych; w przypadku gęstości objętościowej będzie to porowatość, ale pośrednio także zawodnienie i skład mineralny.

W celu sprawdzenia jakości pomiarów laboratoryjnych dokonano korelacji pomiędzy gęstością objętościową uzyskaną z badań laboratoryjnych, a gęstością objętościową wyznaczoną z profilowań geofizycznych (RHOB

- skały o silnym tłumieniu przepływów fazowych, K_w dla obu płynów złożowych $< 0,2$;
- skały nie biorące udziału w przepływie [2].

Współczynnik porowatości efektywnej wyznaczony metodą jądrowego rezonansu magnetycznego zawierał się w przedziale $K_{p_{ef_NMR}} 0,95-27,65\%$, przy czym najwyższe jego wartości posiadały próbki z rejonu Radoszyna. Na uwagę zasługuje fakt, że niemal wszystkie próbki charakteryzowały się bardzo niskimi wartościami nasycenia wodą nieredukowalną.

Na podstawie dyfraktometrii rentgenowskiej stwierdzono, że badane próbki to głównie dolomity, z niewielkim udziałem wapieni.

Elektryczne parametry skał wyrażone poprzez wskaźnik struktury porowej m i zwilżalności n zmieniały się w przedziale ($m \in 1,19-2,70$, $n \in 1,20-2,37$), przy czym najwyższymi wartościami charakteryzowały się próbki rejonu Radoszyna.

Koncentracje naturalnego pierwiastka promieniotwórczego – potasu, w poszczególnych otworach były do siebie zbliżone i zmieniały się w niewielkim zakresie (od 0,23% do 0,28%). Średnie stężenie uranu przyjmowało wartości z przedziału 1,76-9,11 ppm, natomiast średnie stężenia toru to zakres od 1,69 do 2,51 ppm.

- przepuszczalność (CKRG), zbadaną metodą gazową,
- zawodnienie nieredukowalne (CSWIC) z metody NMR,
- zawartość uranu (U), na podstawie spektrometrii gamma,
- gęstość objętościową (CRHOB), z porozymetrii helowej.

W celu poprawnej analizy zastosowano korektę głębokościową na danych laboratoryjnych (miara wiertnicza) do danych geofizycznych (miara geofizyczna).

[g/cm³]) oraz zawartością uranu laboratoryjną i geofizyczną (URAN [ppm]). Zauważono, że dla małych zawartości uranu (do 6 ppm) istnieje wyraźna korelacja pomiędzy danymi geofizyki wiertniczej i laboratoryjnymi. Natomiast dla zawartości uranu powyżej 6 ppm (złoże Gryżyna) dane laboratoryjne są znacząco większe. Wysokie wskazania zawartości uranu (materia organiczna) na złożu Gryżyna należy wiązać z facją głębokowodną dolomitu głównego, uważaną za macierzystą.

Ustalenie i kalibracja składu mineralnego

Kolejnym krokiem było ustalenie i kalibracja składu mineralnego badanych skał. Kalibrację, pomiędzy procentową objętością dolomitu wyznaczonego z badań laboratoryjnych a geofizyczną, przeprowadzono poprzez zmianę pozornych parametrów matrycy skalnej, zmieniając objętość dolomitu tak, aby odpowiadał on wartościom laboratoryjnym. Ponieważ laboratoryjna zawartość dolomitu dotyczy matrycy skalnej, a geofizyczna objętości skały, należało dane laboratoryjne pomnożyć przez porowatość.

Wyznaczenie i kalibracja porowatości efektywnej

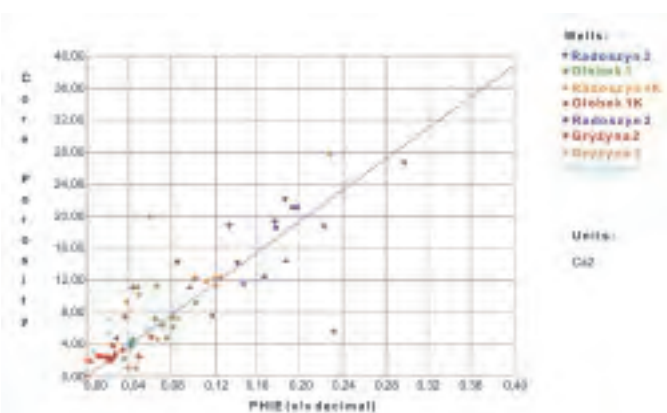
Następnym krokiem było wyznaczenie poprawnej porowatości efektywnej. W dotychczasowej praktyce porowatość efektywna była kalibrowana do wyników badań z porozymetru helowego. Ponieważ dysponowano również wynikami porowatości z metody NMR, w pierwszej kolejności dokonano korelacji pomiędzy porowatościami z porozymetru helowego, a porowatością z metody NMR. Dane cechowała dobra korelacja. Ostatecznie dokonano kalibracji porowatości efektywnej do wyników uzyskanych metodą NMR. Korelacja danych laboratoryjnych i geofizycznych była zadowalająca (rysunek 1).

Wyznaczenie współczynników m i n oraz zawodnienia

Jednym z kluczowych zagadnień interpretacyjnych na złożach Radoszyn, Ołobok i Gryżyna było wyznaczenie właściwego zawodnienia. Na wyżej wymienionych złożach mamy do czynienia z wodą podścielającą złożę. W szczególności na odwiertach Radoszyn-4K i Ołobok-1 w czasie testów produkcyjnych pojawiła się podwyższona zawartość chlorków w ropie. Stwierdzono również obecność wody złożowej na spodzie odwiertu Radoszyn-4K, po zakończeniu testu produkcyjnego. Z powodu przyływu wody złożowej do odwiertu ze strefy zeszcelinowanej zdecydowano się na skrzywienie odwiertu i odwiercenie otworu Ołobok-1K.

Podstawowym równaniem geofizyki wiertniczej służącym do obliczania zawodnienia jest równanie Archiego. Jest ono podstawą interpretacji profili oporności i wyznaczania parametrów zbiornikowych. Wprawdzie w praktyce geofizyki wiertniczej stosuje się równania bardziej skomplikowane (poprawka na ility, węglowodory etc.), jednak istota równania pozostaje niezmienna.

Zauważono niezgodności występujące na złożu Radoszyn. Wykres gęstości objętościowej z porowatością neutronową w skali wapienia wyraźnie wskazywał na wysoką objętość kalcytu, tymczasem z pomiaru rentgenowskiego wynikała dominująca rola dolomitu w matrycy skalnej, udział wapienia był zmienny, średnio na poziomie 15%, udział anhydrytu niewielki i raczej punktowy oraz pomijalnie mały udział zailenia. Niezgodności te mogą wynikać prawdopodobnie z niedokładności pomiaru geofizycznego, profilowania neutron-neutron.



Rys. 1. Korelacja pomiędzy porowatością NMR – oś X, a geofizyczną – oś Y

Laboratoryjne pomiary elektrycznych parametrów skał, struktury porowej m i zwilżalności n dawały pewność właściwego obliczenia zawodnienia. Na wszystkich analizowanych odwiertach parametr m charakteryzował się dużą zmiennością, od wartości 1,5 na złożu Ołobok, do ok. 2,1 na złożu Radoszyn. Na wszystkich odwiertach parametr n posiadał wartości mniejsze od dwóch, które są charakterystyczne dla skał wodo-zwilżalnych. Najbardziej poprawną metodą byłoby wprowadzenie krzywej M i N do interpretacji, jednak zbyt mała ilość próbek nie pozwala na takie rozwiązanie.

Graficznym przedstawieniem równania Archiego jest wykres Picketta. Posługiwano się nim najpierw stosując mikrooporność (bliska strefa filtracji – około 100% zawodnienia), aby skalibrować linię 100% wody na wykresie Picketta używając parametrów m i R_{xo} (oporność filtratu płuczki). Następnie zamieniano oporność na daleką (R_t) i ustalano zawodnienie w funkcji parametru n i R_w . Analizę taką przeprowadzano dla każdego złoża osobno.

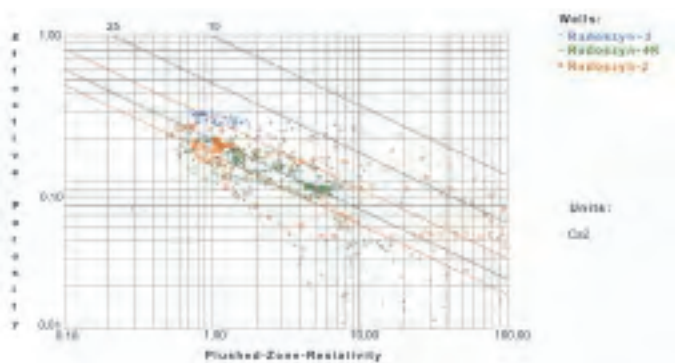
Złoże Radoszyn

Dla złoża Radoszyn, średnie wartości wskaźników cementacji i zwilżalności wynosiły: $m = 2,1$; $n = 1,7$. Przyjęte wartości oporności: $R_w = 0,02 \Omega m$, $R_{xo} = 0,02 \Omega m$.

Wykonano wykres Picketta dla mikrooporności (rysunek 2), a następnie dla oporności skały (dalekiego zasięgu) (rysunek 3). Parametry laboratoryjne znakomicie graficznie rozwiązują równanie Archiego dla odwiertów Radoszyn-2 i 4K. Na rysunku 2 linia 100% zawodnienia przecina się z chmurą punktów, gdzie zawodnienie w strefie przemytej wynosi 100%. Na rysunku 3 przy zadanych parametrach zauważono bliskość kontaktu (60% zawodnienia) na odwiertach Radoszyn-2, 4K. Brak było natomiast spodziewanej strefy przejściowej od kontaktu

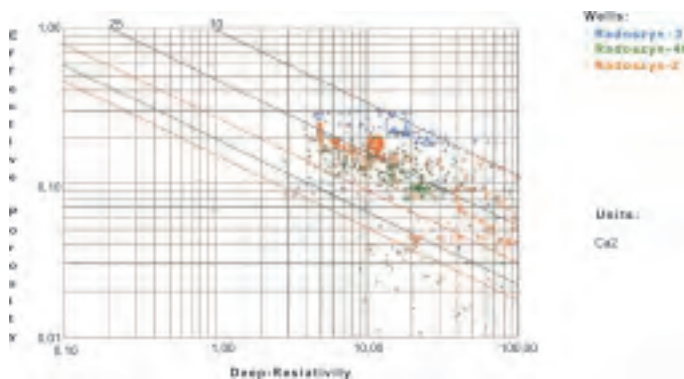
ropa-woda do pełnego nasycenia ropą na odwiercie Radoszyn-4K. Obecność strefy przejściowej uzasadniają wyniki testu produkcyjnego (woda złożowa na dnie odwiertu). Aby wyjaśnić ten problem zdecydowano się na analizę ciśnień kapilarnych.

Na rysunkach 2 i 3 zauważono, że odwiert Radoszyn-3 pomimo zbliżonej pozycji strukturalnej posiada inne nasycenia (niebieskie punkty na wykresie). Ustalono i zawnioskowano, że wartości porowatości efektywnej mogą być zaniżone w związku ze słabą jakością pomiarów oporności wykonanej na tym odwiercie. Dlatego przy obliczeniu zawodnienia użyto innych parametrów oporności wody złożowej i filtratu płuczki: $R_w = 0,04$, $R_{xo} = 0,04$.



Rys. 2. Złoże Radoszyn. Wykres Picketta: mikrooporność – oś X, porowatość efektywna – oś Y

Nalozone linie oznaczają zawodnienie. Od lewej: pierwsza czerwona linia – 100% zawodnienia, druga czerwona linia – 50% zawodnienia



Rys. 3. Złoże Radoszyn. Wykres Picketta: oporność skały – oś X, porowatość efektywna – oś Y

Złoże Ołobok

Średnie wartości elektrycznych parametrów skał wyznaczonych na podstawie badań laboratoryjnych dla złoża Ołobok wynosiły: $m = 1,8$; $n = 1,5$. Przyjęte oporności: $R_w = 0,02 \Omega m$, $R_{xo} = 0,02 \Omega m$.

Podobnie jak poprzednio wykonano wykres Picketta. Parametry laboratoryjne nie dawały dokładnego rozwiązania równania Archiego – uzyskano zbyt małe zawodnienia – dlatego też zdecydowano się na zmianę parametru $m = 1,8$ na $m = 2$. Przy takich parametrach wykres Picketta dla oporności skały znakomicie opisywał sytuację na od-

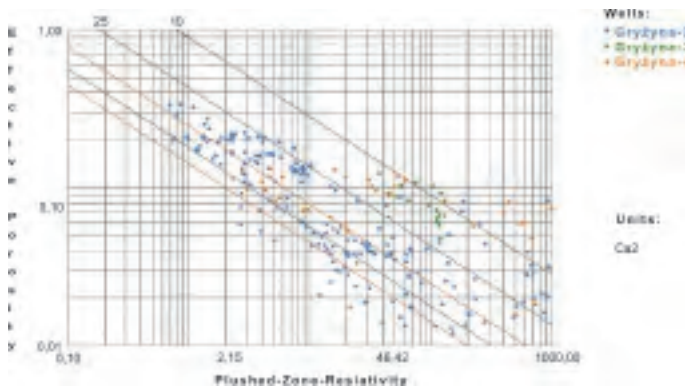
wiercie. Wydzielono strefę nasyconą wodą i ropą, strefę małych porowatości, gdzie duże zawodnienia związane są z zawodnieniem nieredukowalnym.

Na odwiercie Ołobok-1K z powodów technicznych nie wykonywano pomiaru oporności. Badając wskaźnik struktury porowej m otrzymano jego najniższe wartości z przedziału 1,31-1,42. Przeprowadzono pomiar sondą NNTE (neutron termiczny-epitermiczny) w rurach. Na podstawie jakościowych wskazań tej sondy ustalono, że zawodnienie całkowite będzie równe zawodnieniu nieredukowalnemu.

Złoże Gryżyna

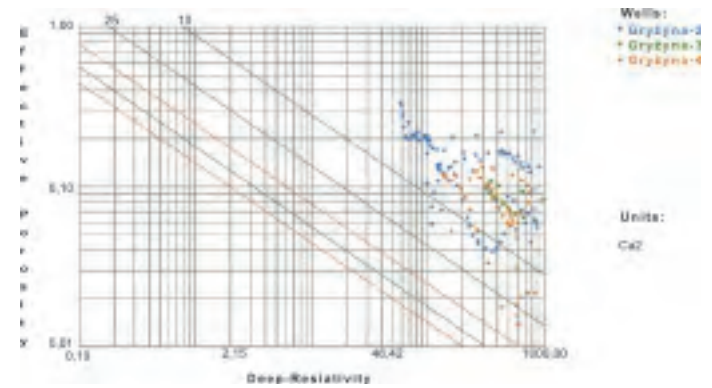
Dla złoża Gryżyna średnie wartości parametrów elektrycznych, uzyskane z badań laboratoryjnych, wynosiły: $m = 1,9$; $n = 1,5$. Przyjęte oporności: $R_w = 0,02 \Omega m$, $R_{xo} = 0,02 \Omega m$. Powtórnie wykonano wykres Picketta

dla mikrooporności (rysunek 4), a następnie dla oporności skały (dalekiego zasięgu) (rysunek 5). Rysunek 5 interpretujemy jako pełne nasycenie węglowodorami bez udziału wody ruchomej.



Rys. 4. Złoże Gryżyna. Wykres Picketta: mikrooporność – os X, porowatość efektywna – os Y

Nalozone linie oznaczają zawadnienie. Od lewej: pierwsza czerwona linia – 100% zawadnienia, druga czerwona linia – 50% zawadnienia



Rys. 5. Złoże Gryżyna. Wykres Picketta: oporność skały – os X, porowatość efektywna – os Y

Kalibracja modelu Zawiszy (woda nieredukowalna, przepuszczalność)

Na rysunku 6 zestawiono wartości wody nieredukowalnej uzyskane z badań metodą NMR, z wyliczonymi z modelu Zawiszy dla rafy wapiennej, według zależności: $SWIC = VSH^{0,013} \cdot (1-PHIE)^{14,65}$. Nasylenie wodą nieredukowalną określone metodą NMR wydawało się zbyt niskie, w stosunku do wartości wyliczonych metodą Zawiszy. Nawet przy porowatości bliskiej zeru (co widoczne jest również na profilach odwiertów) nasylenie wodą nieredukowalną z metody NMR wynosi do 10%. Woda nieredukowalna w skałach węglanowych (w rozumieniu modelu Zawiszy) stanowi wodę związaną z minerałami ilastymi i tę część wody kapilarnej, która znajduje się w małych porach. Wartości z obu metod powinny się pokrywać dla próbek z dobrymi własnościami zbiornikowymi, gdzie udział wody kapilarnej jest niewielki ($SWIC < 10\%$) (rysunek 6).

Następnie przystąpiono do kalibracji przepuszczalności całkowitej do wartości laboratoryjnych i oblicze-

nia przepuszczalności fazowych dla wody i węglodorów – rozpatrując każde złoże osobno.

W modelu Zawiszy przepuszczalność całkowita jest zmienną zailenia i porowatości. Ponieważ w utworach węglanowych omawianego rejonu zailenie jest bardzo małe (poniżej 5%); przepuszczalność można przybliżać funkcją porowatości. Utworzono wykresy: porowatość z porozymetru helowego – przepuszczalność z metody gazowej. Tak obliczoną krzywą przepuszczalności całkowitej KRG użyto jako wejściową do obliczenia przepuszczalności fazowych według modelu Zawiszy, uzyskując następujące relacje:

Złoże Radoszyn

$$KRG = 10^{(-1,8777 + 0,1322 \times PHIE \times 100)},$$

Złoże Ołobok

$$KRG = 10^{(-1,4982 + 0,2486 \times PHIE \times 100 - 0,003 \times (PHIE \times 100)^2)},$$

Złoże Gryżyna

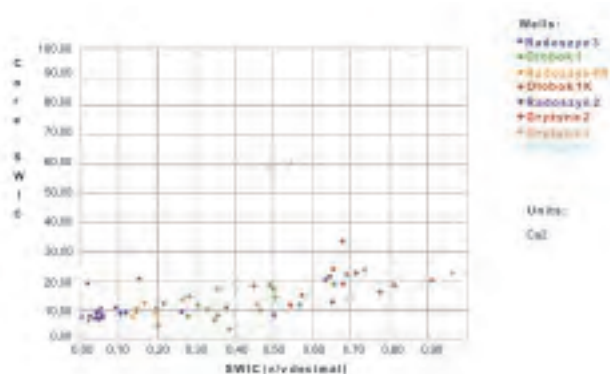
$$KRG = 10^{(-1,6337 + 0,2378 \times PHIE \times 100 - 0,004 \times (PHIE \times 100)^2)},$$

gdzie:

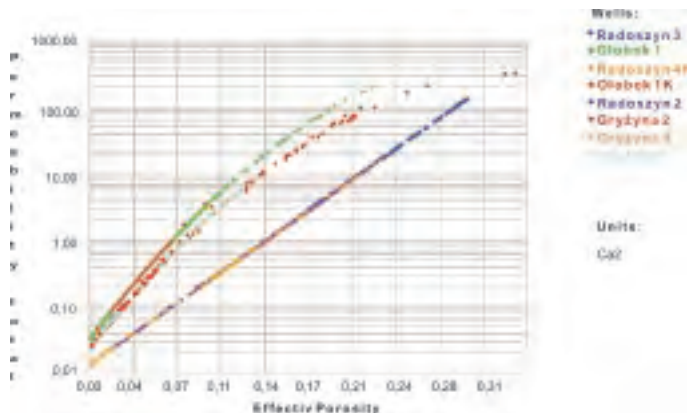
KRG – przepuszczalność całkowita,

PHIE – porowatość efektywna.

Na rysunku 7 przedstawiono wyliczone zależności: porowatość efektywna – przepuszczalność całkowita, dla wszystkich analizowanych odwiertów. Najlepsze wartości przepuszczalności występują na złożu Gryżyna



Rys. 6. Korelacja pomiędzy zawartością wody nieredukowalnej: z metody NMR – os X, a z modelu Zawiszy – os Y



i są porównywalne do wartości otrzymanych na złożu Ołobok. Najgorszymi wartościami przepuszczalności charakteryzuje się złożo Radoszyn. Wszystkie trendy przepuszczalności dążą do wspólnego punktu – przepuszczalność ok. 300 mD przy porowatości ok. 35%. Należy nadmienić, że obliczone przepuszczalności odnoszą się do systemu porów i nie obejmują znaczącego układu szczelin.

Rys. 7. Korelacja pomiędzy porowatością efektywną geofizyczną – oś X, a przepuszczalnością całkowitą – oś Y

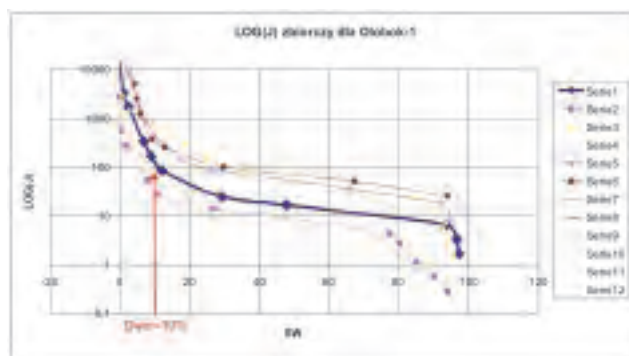
Obliczenie zawodnienia z krzywych ciśnień kapilarnych

Na podstawie wyników badań laboratoryjnych porozymetrii rtęciowej i rozkładu nasycenia przestrzeni porowej skał metodą jądrowego rezonansu magnetycznego oraz interpretacji materiałów geofizyki wiertniczej, podjęto próbę konstrukcji teoretycznych kształtów stref przejściowych ropa-woda złożowa.

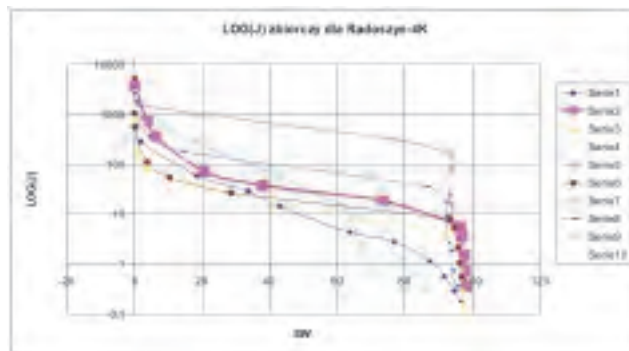
Z kształtu krzywych ciśnień kapilarnych można wysnuwać wnioski dotyczące rozkładu przestrzeni porowej. Ze zbiorczego wykresu krzywych ciśnień kapilarnych (P_c) w funkcji nasycenia (SW) dla otworów Radoszyn-4K i Ołobok-1 wynika, że utwory dolomitu głównego są bardzo heterogeniczne, a krzywe kapilarne mają różnorodne kształty. Dlatego w rozważaniach nie brano pod uwagę średniej z zawodnień, a jedynie wzięto „najbardziej środkowe” krzywe kapilarne – osobno dla otworu Radoszyn-4k, osobno dla otworu Ołobok-1. Te najbardziej typowe krzywe należały do próbki pochodzącej z głębokości 2388,50 m z otworu Radoszyn-4k oraz z głębokości 2481,10 m z otworu Ołobok-1 i zostały zaznaczone grubszymi liniami na rysunku 8 i 9.

Generalnie można powiedzieć, że zawodnienie nieredukowalne odczytane zostało jako asymptota, a praktycznie jako wystromienie krzywej ciśnień kapilarnych P_c , kiedy znaczne przyrosty ciśnienia nie powodują istotnych przyrostów objętości zatłaczanej rtęci. Zawodnienie wyznaczone z porozymetrii rtęciowej jest większe niż to z metody jądrowego rezonansu magnetycznego. Metoda NMR „widzi” wodę kapilarną na relatywnie dalekich czasach echa spinowego T_2 i część tej wody wchodzi w okno wody wolnej. Natomiast ze względu na praktyczny brak zailenia w dolomicie głównym nie ma związanej wody międzypakietowej.

Z porównania znormalizowanych do Rock Quality Index RQI krzywych ciśnień kapilarnych, czyli funkcji J (rysunek 8 i 9), wynika, że utwory dolomitu główne-



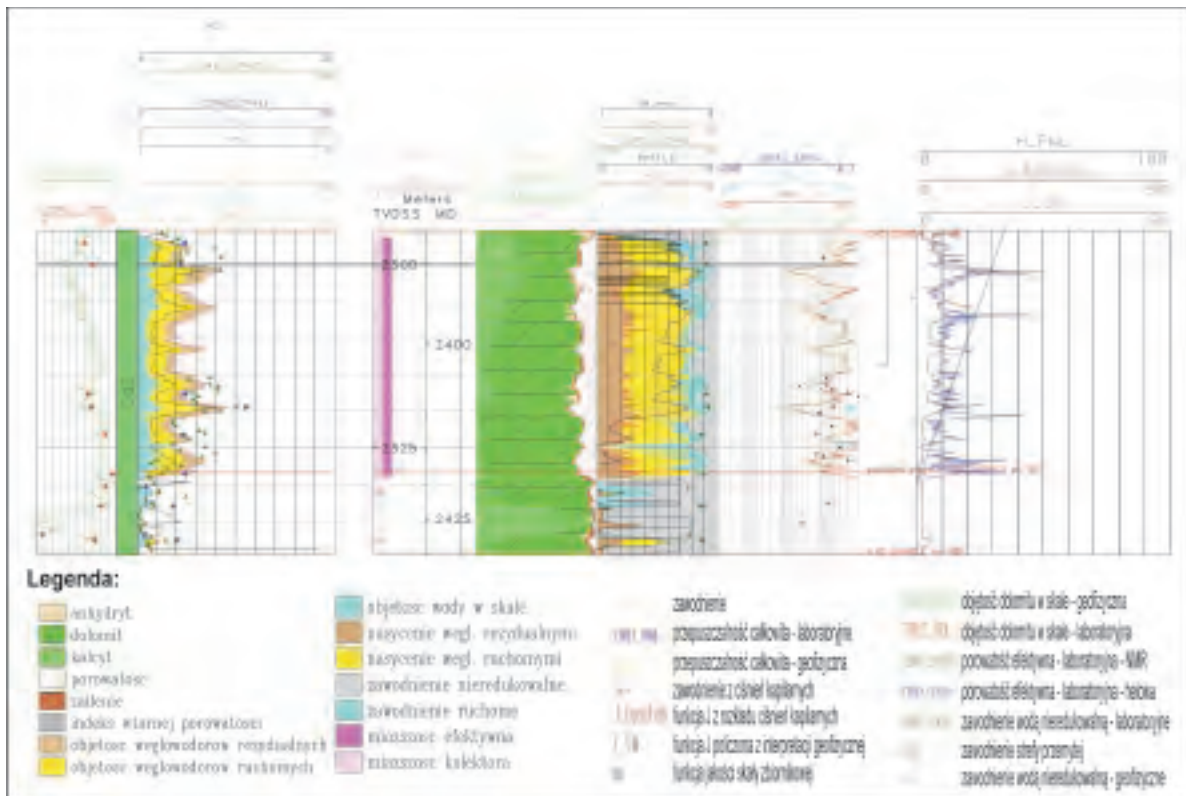
Rys. 8. Zbiorczy wykres logarytmu funkcji J od nasycenia $\text{Log}(J) = F(SW)$ dla próbek z otworu Ołobok-1. Gruba granatowa linia oznacza „średnią próbkę”



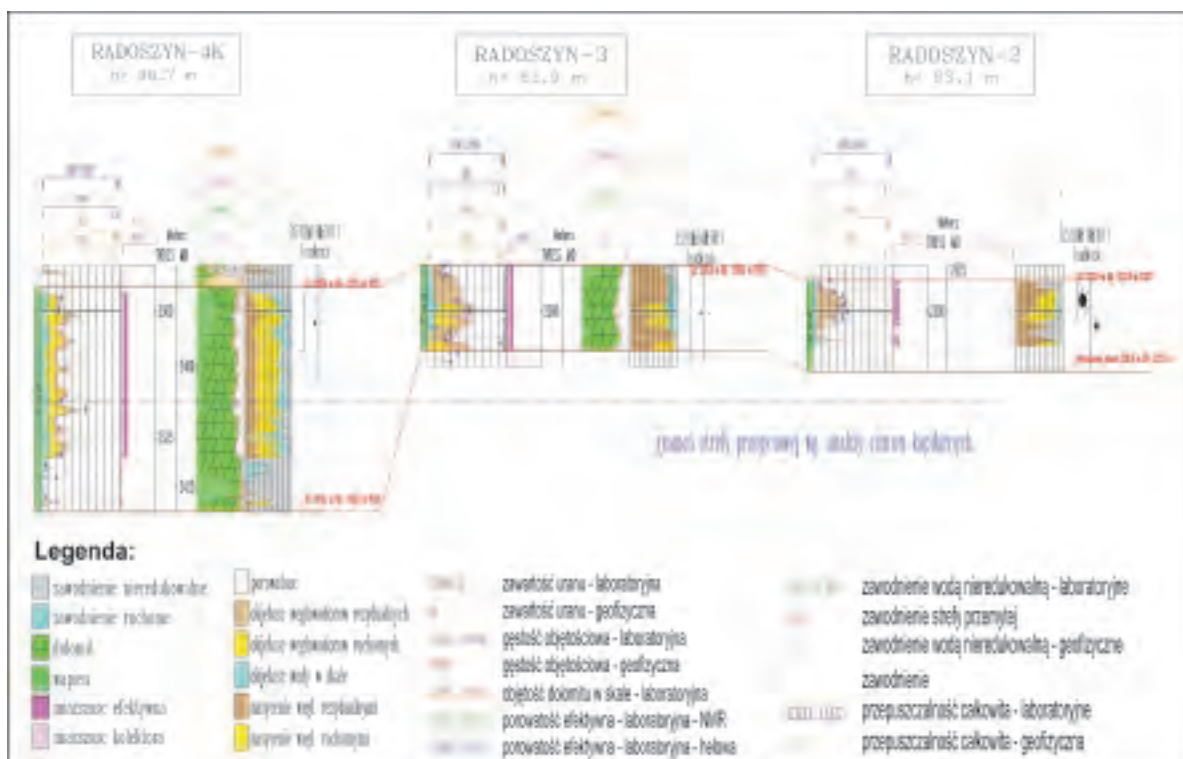
Rys. 9. Zbiorczy wykres logarytmu funkcji J od nasycenia $\text{Log}(J) = F(SW)$ dla próbek z otworu Radoszyn-4K. Gruba czerwona linia oznacza „średnią próbkę”

go na tych dwóch otworach mają podobne właściwości zbiornikowe, a najbardziej typowe rozkłady funkcji J potwierdzają tę tezę.

Ciśnienia kapilarne można przekształcić na wysokość podciągania kapilarnego. Rysunek 10 ukazuje, że dla rozpatrywanych utworów dolomitu głównego Ca_2 o właściwościach „najbardziej typowej” próbki ($Kp = 17\%$; $Kprz = 0,24$ mD; $RQI = 1,2$; $SWIC = 20\%$) J ok. 30 należy się liczyć ze strefą przejściową o miąższości 60 m! Biorąc



Rys. 12. Kompleksowa interpretacja pomiarów geofizycznych – otwór Radoszyn-4K



Rys. 13. Korelacja pomiędzy otworami złoża Radoszyn

Obliczone z uśrednionych krzywych kapilarnych teoretyczne zawodnienia zostały przedstawione na profilach z kompleksową interpretacją pomiarów geofizyki

wiertniczej dla odwiertów Ołobok-1 i Radoszyn-4K (rysunek 11-13). Istotą interpretacji było porównanie w kolumnie nasycenia SW – zawodnienia wyznaczone-

go na podstawie interpretacji profilowań geofizycznych oraz SW_J – teoretycznego zawodnienia obliczonego z ciśnień kapilarnych. Kolorem szarym zaznaczone jest pole zawodnienia nieredukowalnego $SWIC$ obliczonego z formuły Zawiszy i skalibrowane do zawodnień nieredu-

kowalnych wyznaczonych metodą NMR. Kolor niebieski – obejmujący pole od krzywej $SWIC$ do SW – przedstawia zawodnienie wodą ruchomą. Krzywa SW_J (purpurowa) generalnie jest pokryta przez czarną krzywą zawodnienia maksymalnego.

Podsumowanie

Kompleksowa interpretacja pomiarów geofizyki wiertniczej pozwoliła na postawienie wniosków:

- Na odwiercie Ołobok-1 (rysunek 11) krzywa SW_J znakomicie koreluje się z krzywą zawodnienia geofizycznego SW . Zawodnienia wyznaczone na podstawie ciśnień kapilarnych potwierdzają, że przyływ wody złożowej do odwiertu nastąpił ze szczeliny (ok. 2525 m).
- Na odwiercie Radoszyn-4K (rysunek 12) zauważono, że powyżej interpretowanego kontaktu ropa-woda krzywa SW_J wskazuje na wysokie nasycenia wodą złożową (do 90%) w interwale od (-)2328 m do (-)2318 m TVDSS. Jest to duże zaskoczenie, ponieważ klasyczna interpretacja zawodnienia, bazująca na opor-

nościach, wyznacza w tej strefie zawodnienie na poziomie 30-40%. Powyżej strefy przejściowej zawodnienie wyliczone z ciśnień kapilarnych stopniowo maleje, osiągając wartości zawodnienia geofizycznego w głębokości (-)2307 m TVDSS. Korelując granicę strefy przejściowej z innymi odwiertami na złożu Radoszyn (rysunek 13) widać, że strefa ta nie jest udostępniona żadnym odwiertem.

- W świetle powyższych wyników wydaje się być możliwe, że woda złożowa z odwiertu Radoszyn-4K nie pochodzi bezpośrednio ze strefy zawodnionej, czy strefy przejściowej. Jedynym wytłumaczeniem wyników złożowych jest występowanie szczelin podciągających wodę ze stref leżących poniżej.

Literatura

- [1] Avseth P., Mukerji T., Mavko G.: *Quantitative Seismic Interpretation. Applying Rock Physics Tools to Reduce Interpretation Risk*. Cambridge University Press, 2007.
- [2] Zalewska J. i in.: *Opracowanie wykształcenia litologicznego oraz kalibracja modeli służących do określania parametrów zbiornikowych skał w rejonie złoża Radoszyn*. Archiwum INiG, zlec. 650/SW, Kraków 2007.
- [3] Zorski T.: Informacja ustna, 2006

Recenzent: prof. dr hab. inż. Andrzej Kostecki

← Oferta →



ZAKŁAD GEOFIZYKI WIERTNICZEJ

Kierownik: Jadwiga Zalewska

31-855 Kraków, ul. Bagrowa 1 tel.: +48 012 653 25 12 wew.132

OFERUJEMY:

■ Określanie rozkładu nasycenia wodą przestrzeni porowej próbek skał metodą magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR)

Metoda NMR stała się w ostatnich latach bardzo pomocnym narzędziem przy precyzyjnym wyznaczaniu nasycenia przestrzeni porowej wodą, a także porowatości i przepuszczalności skał.

Na próbkach skał wyznacza się czas relaksacji poprzecznej T2. Na podstawie rozkładu tego czasu określa się wielkości przestrzeni porowej wypełnionej wodą nieredukowalną, wodą kapilarną, i wodą wolną oraz ocenia się współczynniki porowatości całkowitej i efektywnej oraz przepuszczalności.

Szczególnie ważnym parametrem (wyznaczanym tylko metodą NMR), z punktu widzenia oceny horyzontu perspektywicznego jest współczynnik nasycenia skały wodą nieredukowalną S_{wir} , który jest niezbędny do interpretacji materiałów geofizyki wiertniczej.



INSTITUT NAFTY I GAZU
ul. Łaska 25 A, 31-503 Kraków
tel.: +48 12 423 10 13 fax: +48 12 430 38 85
www.inig.pl office@inig.pl