

**Monika Frydrych\***

## **ZASTOSOWANIE POMIARÓW OTWOROWYCH DO OPTIMALIZACJI PROCESU REWITALIZACJI ZŁÓŻ**

### **1. OBECNIE WYKORZYSTYWANE TECHNOLOGIE POMIAROWE**

Obecnie zastosowanie na szeroką skalę w badaniu wyeksploatowanych już złóż, w których poszukuje się dodatkowych pokładów perspektywnych, mają profilowania neutronowe wykonywane w otworach zarurowanych. Głównie wykorzystuje się w tym celu impulsowe profilowania neutronowe. Stalowe rury okładzinowe nie stanowią przeszkody dla tych pomiarów, ponieważ głównym moderatorem spowalniającym strumień neutronów w ośrodku skalnym jest wodór i chlor oraz niektóre pierwiastki ziem rzadkich o bardzo wysokich wartościach przekroju czynnego dla neutronów  $\Sigma_a$ . Po zarurowaniu otworu strefa filtracji stopniowo zanika i następuje powrót do pierwotnego ułożenia płynów złożowych w pobliżu ściany odwiertu, które pozwala lokalizować pominięte (nawet drobnowarstwowe) horyzonty oraz ocenić ich nasycenie węglowodorami. Pomiar neutronowy umożliwia również wyznaczenie położenia kontaktu gaz-woda i ropa-woda produktywnych, a także kontrolę produktywnych profili [5]. Wykonuje się je sondą z generatorem emitującym strumień szybkich, wysokoenergetycznych neutronów. Na podstawie zmierzonych intensywności można określić szybkość zaniku strumienia neutronów w formacji skalnej, spowodowanego wychwytem neutronów termicznych, a to z kolei pozwala określić parametry neutronowe charakteryzujące dany ośrodek. Parametrami tymi są czas życia neutronów termicznych  $\tau$  i przekrój czynny absorpcji neutronów termicznych  $\Sigma_a$ .

Na skutek zderzeń niesprężystych oraz wychwytu radiacyjnego neutronów termicznych emitowane są kwanty gamma. Pomiar kwantów powstałych w wyniku zderzeń niesprężystych umożliwia określenie stosunku węgla do tlenu, co natomiast jest bezpośrednim wskaźnikiem zawartości węglowodorów. Spektroskopowy pomiar kwantów gamma powstałych z wychwytu radiacyjnego pozwala na określenie składu litologicznego ośrodka.

---

\* Studia doktoranckie Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

Wykorzystanie wielofunkcyjnej aparatury do pomiaru nasycenia złoże RST (*Reservoir Saturation Tool*) umożliwia wyznaczenie intensywności strumienia neutronów oraz pomiar kwantów gamma. Na tej podstawie można wyznaczyć m.in. nasycenie złoże (ze stosunku C/O lub  $\Sigma_a$ ), litologię (na podstawie analizy spektroskopowej kwantów gamma z wychwytu radiacyjnego) oraz pomiar prędkości przepływu płynów w otworze [1].

Profilowanie neutronowe ma jednak niewielki zasięg radialny, w związku z czym wpływ płuczki w pewnych przypadkach uniemożliwia prawidłową ocenę występowania węglowodorów. Ponadto ma ono zastosowanie tylko do ośrodków wysoko- i średnioporowatych, a do wyznaczenia rozkładu neutronów termicznych wymagana jest dodatkowo obecność solanki w przestrzeni porowej.

Ograniczenia dotyczące profilowania jądrowego pokonane zostały wraz z rozwojem nowej aparatury do profilowania oporności w otworze zarurowanym. Pomiaru te mają większy zasięg radialny (od 2 m do 10 m) i znajdują zastosowanie zarówno w wypadku ośrodków niskoporowatych, jak i o niskim zasoleniu wód złożowych. Umożliwiają one identyfikację oraz ocenę niewydobytch węglowodorów w sytuacji, gdy niestabilne warunki otworu uniemożliwiają akwizycję danych w otworze niezarurowanym [2].

Prąd elektryczny generowany przez aparaturę rozchodzi się głównie w stalowych rurach okładzinowych. Niewielka część prądu jednak przedostaje się do ośrodka skalnego i jest ona przedmiotem rejestracji. Znając natężenie prądu oraz odpowiadające mu napięcie, można wyznaczyć oporność formacji. Podczas pomiaru prąd o natężeniu ok. 5 A przesyłany jest przez kable do elektrod prądowych, umieszczonych w odwiercie. Różnicę potencjałów, która jest proporcjonalna do przewodności ośrodka, mierzy się za pomocą elektrod potencjałowych. Technologia pomiaru wymaga aparatury umożliwiającej rejestrację bardzo małego sygnału (rzędu kilku nanowoltów). Bardzo ważne jest więc ograniczenie szumu poprzez zapewnienie jak najlepszego kontaktu elektrod pomiarowych z często skorodowaną obudową otworu.

Wyżej opisane profilowania w otworach zarurowanych dostarczają zatem informacji o zmianie nasycenia zarówno w strefie przyotworowej (profilowania neutronowe), jak i w pewnej odległości od otworu (profilowanie oporności).

W sytuacjach gdy proces rewitalizacji złoże powoduje zmiany w mechanizmie przemieszczania się wody, należy ocenić reakcję złoże na przepływ wody. Dotyczy to głównie procesu zwiększania wydobycia poprzez wtłaczanie wody do otworu. Przydatne są wówczas dane z profilowania indukcyjnego w otworze niezarurowanym. Pomiar ten dostarcza informacji o zmianach wywołanych przepływem wody, który zachodzi podczas filtracji płuczki do strefy przyotworowej. Parametry uzyskane z przetworzenia danych z profilowania indukcyjnego dotyczą nasycenia formacji: ropą nieruchomą, ropą ruchomą, wodą związaną, oraz informują o udziale wody w wydobywaniu. Są to główne parametry wykorzystywane do projektowania przepływu wody [4].

Wadą przedstawionych pomiarów jest fakt, że są one nieregularne, a do ich wykonania konieczne są nowe otwory lub powtórne wchodzenie do otworów już istniejących. Informacje uzyskane z tych pomiarów dostarczane są z pewnym opóźnieniem, uniemożliwiając szybką reakcję w sytuacjach zagrożenia, spowodowanych np. przedwczesnym przedostawaniem się wody do otworu. Takich wypadków można uniknąć, jeśli stosuje się stałe monitorowanie złoże, które dostarcza informacji o procesach zachodzących w złoże w czasie rzeczywistym.

## **Pole Naftowe Brend, Anglia**

Pole Naftowe Brend jest przykładem zastosowania technologii pomiarów neutronowych do określenia możliwości rewitalizacji złoża [4]. W roku 1980 zachodnie skrzydło pola poddane było systematycznym pomiarom impulsowego profilowania neutronowego. Zestawienie informacji z tych pomiarów wraz z danymi pomiarowymi w otworze niezarurowanym oraz danymi powierzchniowymi pozwoliło określić, jak przebiegało w każdym otworze przemieszczanie się ropy. Aby odtworzyć zmiany tego procesu w czasie, zestawiono pomiary prowadzone w różnych otworach w różnych latach. Na podstawie uzyskanych informacji pod koniec roku 1980 zbudowano model 3D złoża, który posłużył do identyfikacji pozostałych w złożu węglowodorów oraz do określenia możliwości ponownego udostępnienia złoża.

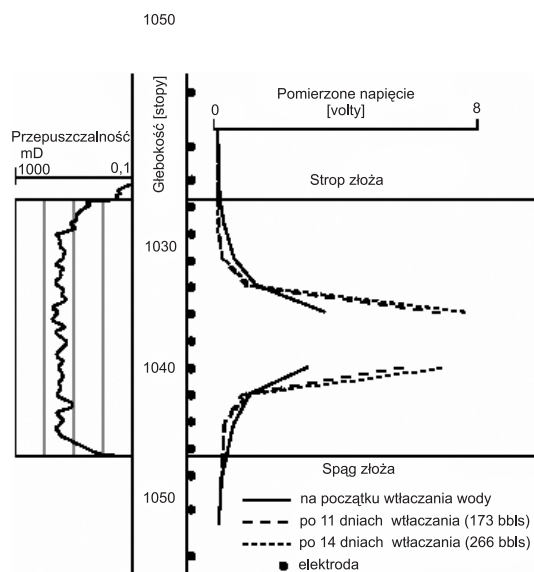
## **2. STAŁE MONITOROWANIE ZŁOŻA**

Rozwój technologii, którego efektem ma być zwiększenie efektywności wydobywania, związany jest z zastosowaniem inteligentnych otworów, w których prowadzone jest stałe monitorowanie złoża. Obecnie stałe obserwacje przeprowadza się przy wykorzystaniu czujników do pomiaru przepływów oraz ciśnienia w odwiercie. Taki system zarządzania złożem pozwala na reakcję w momencie niepożądanego przedostawania się wody do otworu, poprzez otwieranie lub zamykanie strefy produktywniej odwiertu. Nie pozwala on jednak na wcześniejsze wykrycie przepływu wody do formacji, przed jej przedostaniem się do otworu produktywnego [3]. W celu udoskonalenia systemu zarządzania złożem przeprowadzono testy z rozmieszczonymi w otworze czujnikami do pomiaru zmian oporności, monitorującymi przemieszczanie się płynów złożowych z dala od otworu.

### **Złoże Mansfield Sandstone, Indiana, USA**

Eksperyment został przeprowadzony na złożu Mansfield Sandstone w Indiana (USA). Produkcja na tym złożu odbywa się od 1980 roku. Ostatnio dla zwiększenia wydobywania stosowana jest tam technologia wtłaczania wody przez otwory zagęszczające. Przy stosowaniu takich metod zwiększania wydobywania istotne jest, w jaki sposób złoże reaguje na zmianę przepływu wody. Przeprowadzony eksperyment demonstruje użyteczność zastosowania stałego monitorowania przemieszczania się wody, pomiędzy otworem wtłaczającym a obserwacyjnym. Otwory (wtłaczający i obserwacyjny) zostały wyposażone w opornościowe układy pomiarowe złożone z 16 elektrod, które zacementowano w przestrzeni pierścieniowej otworu. Układ był symetryczny względem warstwy nasyconego piaskowca. Pomiar przeprowadzono w ten sposób, że w każdej elektrodzie po kolei był wzbudzany prąd a w pozostałych mierzone było powstałe napięcie [3]. Na rysunku 1 przedstawiony został układ pomiarowy oraz zapis woltomierza po 11 i 14 dniach wtłaczania wody do odwiertu.

Rezultat prowadzonych pomiarów wykazał, że zastosowanie stałego monitorowania za pomocą układu opornościowego daje możliwość śledzenia przepływu wody i określenia miejsca i czasu przedostawania się wody do otworu produkcyjnego.



Rys. 1. Opornościowy układ pomiarowy zastosowany w otworze obserwacyjnym

Dodatkowo otwór monitorujący wyposażony był w aparaturę do ciągłego pomiaru ciśnienia, która również dostarczała informacji o przedwczesnym przedostawaniu się wody do otworu. Aparatura ta odpowiadała na pulsowe ciśnienie w otworze włączającym i dostarczała ciągłych informacji o własnościach ośrodka pomiędzy otworami.

Podobny test przeprowadzony został na węglanowym złożu w Omanie, gdzie wykryte zostało przedwczesne przedostawanie się wody do otworu monitorującego [6].

### 3. PODSUMOWANIE

W powyższych przykładach przedstawione zostało zastosowanie pomiarów otworowych w celu optymalizacji procesu rewitalizacji złóż. Obecnie w tym celu wykorzystywane są głównie kablowe profilowania geofizyczne w otworach zarurowanych, które dostarczają informacji o zmianach nasycenia. Stosuje się profilowania neutronowe oraz stacjonarne profilowania oporności zwiększające zasięg penetracji. Początkowo umożliwiały one określenie rozkładu pozostałych w złożu węglowodorów, w późniejszym czasie pozwalały na wyznaczenie bezpośredniego miejsca ich występowania. Przedstawiono również zastosowanie stałego monitorowania złoża, które dostarcza informacji w czasie rzeczywistym i umożliwia sprawne zarządzanie złożem.

### LITERATURA

- [1] Albertin I., Darling H., Plasek R. *et al.*: *The many facets of pulsed neutron cased-hole logging*. Oilfield Review, 8, 1996, 28–41

- [2] Beguin P., Benimeli D., Boyd A. *et al.*: *Recent progress on formation resistivity measurement through casing*. Proceedings SPLWA 41st Annual Logging Symposium, June 4–7, Paper CC, 2000
- [3] Bryant I., Chen M.-Y., Raghuraman B. *et al.*: *Utility and reliability of cemented resistivity arrays in monitoring waterflood of the Mansfield Sandstone, Indiana, USA*. Paper SPE71710, 2001
- [4] Bryant I.D.: *Well-bore reservoir evaluation technologies to optimize Fidel revitalization*. Schlumberger Oilfield Services, 2002
- [5] Gądek W.: *Badania geofizyczne w odwiertach eksploatacyjnych*. 2006 (praca niepublikowana)
- [6] Kleef R., van Hakvoort R., Bhushan V. *et al.*: *Water flooding monitoring in an Oman carbonate reservoir using a downhole permanent electrode array*. Paper SPE68078, 2001
- [7] Maurer H.M., Hunziker J.: *Early results of through casing resistivity field tests*. Proceedings SPLWA 41st Annual Logging Symposium, June 4–7, Paper DD, 2000