

Stanisław Dubiel*

ZASTOSOWANIE RUROWYCH PRÓBNIKÓW ZŁOŻA FIRMY HALLIBURTON TYPU FUL-FLO W POSZUKIWANIACH NAFTOWYCH**

1. WSTĘP

Rurowe próbniki złoża (RPZ) są narzędziami pomiarowymi powszechnie stosowanymi w poszukiwaniach naftowych lub podczas testowania warstw wodonośnych w otworach geotermalnych. Umożliwiają szybkie, tanie i mało skomplikowane testowanie wydzielonych w profilu otworu wiertniczego warstw perspektywicznych w celu oceny ich produktywności oraz wpływu prac wiertniczych na przepuszczalność skał zbiornikowych w strefie przyotworowej.

W Polskim Górnictwie Naftowym i Gazownictwie (PGNiG) w latach 70. i 80. XX w. stosowano głównie próbniki złoża produkcji rosyjskiej typu KII-2M-GrozUfNII o średnicach nominalnych 146 mm i 95 mm. Próbnikami tymi wykonano w tym czasie kilka tysięcy jedno- i dwucyklowych testów złożowych, w nieorurowanych i orurowanych interwałach otworów wiertniczych, udanych pod względem technicznym i technologicznym. Ich zastosowanie przyniosło znaczne, wymierne i niewymierne efekty poszukiwań naftowych [1, 5].

W okresie tym sporadycznie stosowano również próbnik złoża produkcji amerykańskiej firmy Halliburton typu Standard o średnicy nominalnej 5". Począwszy od lat 90. ubiegłego wieku w PGNiG zaczęto stosować na dużą skalę próbniki firm amerykańskich: Halliburton typu Standard i Ful-Flo oraz Baker typu Inflatable (tab. 1). RPZ typu Ful-Flo mają obecnie szerokie zastosowanie w inżynierii naftowej [3, 6–8].

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Kraków

** Praca wykonana w ramach badań statutowych Katedry Inżynierii Naftowej Wydziału WNiG AGH

2. ZESTAWY PRÓBNIKOWE FIRMY HALLIBURTON TYPU FUL-FLO

Rurowy próbnik złoża typu Ful-Flo produkowany jest w dwu wersjach wymiarowych (5" i 3 7/8") (tab. 1). Składa się on z napowierzchniowego zagłowiczenia kolumny próbnikowej oraz wgłębnego zestawu [3, 6–8].

Tabela 1

Zestawienie porównawcze możliwości zapinania rurowych próbników złoża produkcji amerykańskiej w różnych warunkach technicznych otworów geologiczno-poszukiwawczych [3, 6–8]

Producent i typ próbnika	Do otworów nieorurowanych	Do otworów orurowanych
Halliburton 5" typu Standard dwucykłowy sterowany mechanicznie (średnica wewnętrzna 19 mm)	Średnica otworu: 216 mm; 308 mm; 311 mm	Średnica rur okładzinowych: 7"; 9 5/8"
	z jednym uszczelniaczem typu NR 7 1/2"÷7 3/4" i kotwicą rurową stawianą na dnie otworu lub korku cementowym	z uszczelniaczem typu RTTS 7", albo 9 5/8" ze szczękami hydraulicznymi zapinanymi w dowolnej głębokości orurowanego odcinka otworu wiertniczego
	z dwoma uszczelniaczami typu NR 7 1/2"÷7 3/4" i dystrybutorem ciśnienia oraz kotwicą rurową stawianą na dnie otworu lub korku cementowym	
Halliburton 3 7/8" typu Standard dwucykłowy, sterowany mechanicznie (średnica wewnętrzna 15,7 mm)	Średnica otworu wiertniczego: 152 mm; 157 mm	Średnica rur okładzinowych: 6 5/8"; 7"
	z jednym uszczelniaczem typu NR 4 1/2" lub 5 3/4" i kotwicą rurową stawianą na dnie otworu wiertniczego lub korku cementowym	z uszczelniaczem typu RTTS o średnicy nominalnej 6 5/8" lub 7" ze szczękami hydraulicznymi zapinanymi w dowolnej głębokości orurowanego odcinka otworu wiertniczego
	z dwoma uszczelniaczami typu NR 4 1/2" lub 5 3/4" oraz dystrybutorem ciśnienia i kotwicą rurową stawianą na dnie otworu wiertniczego lub korku cementowym	
Baker-Lynes 5" typu Inflatable wielocykłowy, sterowany mechanicznie i hydraulicznie (średnica wewnętrzna 19 mm)	Nominalna średnica otworu wiertniczego: 140 mm; 216 mm; 311 mm; 438 mm	Średnica rur okładzinowych: 6 5/8"; 7"; 11 3/4"; 9 5/8"; 13 3/8"; 18 5/8"
	dwa (lub rzadziej jeden) uszczelniacze hydrauliczne typu Inflatable 7 1/2" lub 10 1/2" zapinane w miejscu nieorurowanego (często bardzo skawernowanego) odcinka otworu wiertniczego	dwa (lub rzadziej jeden) uszczelniacze typu Inflatable 5 1/2" lub 7 1/2", zapinane hydraulicznie w dowolnym miejscu orurowanego odcinka otworu wiertniczego

Tabela 1 cd.

Halliburton 5" typu Ful-Flo wielocyklowy, sterowany mechanicznie i hydraulicznie (średnica wewnętrzna 57 mm)	–	Średnica rur okładzinowych: 7"; 9 5/8"; 13 3/8"
		z uszczelniaczem typu RTTS 7" lub 9 5/8" ze szczękami hydraulicznymi zapinanymi w dowolnej głębokości orurowanego odcinka otworu wiertniczego
Halliburton 3 7/8" typu Ful-Flo wielocyklowy, sterowany mechanicznie i hydraulicznie (średnica wewnętrzna 46 mm)	–	Średnica rur okładzinowych: 5"; 6 5/8"; 7"
		z uszczelniaczem typu RTTS 6 5/8"; 7" ze szczękami hydraulicznymi zapinanymi w dowolnej głębokości orurowanego odcinka otworu wiertniczego

Napowierzchniowe zagłowiczenie kolumny próbnikowej obejmuje pięć elementów:

- 1) **Łącznik manipulacyjny** służy do podwieszania całej kolumny próbnikowej na haku urządzenia wiertniczego.
- 2) **Pojemnik do podwieszania zbijaka** umożliwia wprowadzenie zbijaka do kolumny próbnikowej, który opadając w tej kolumnie w dół, otwiera zawór cyrkulacyjny podczas standardowego opróbowania, lub do uruchomienia głowicy odpalającej perforator, gdy perforację okładziny otworu wiertniczego wykonuje się podczas opróbowania perspektywicznej warstwy skał zbiornikowych w orurowanym odcinku otworu wiertniczego.
- 3) **Napowierzchniowy zawór bezpieczeństwa** jest zdalnie sterowany za pomocą pompy olejowej i utrzymuje się podczas opróbowania w pozycji otwartej. W razie stwierdzenia nieszczelności instalacji napowierzchniowej otworu wiertniczego odpuszcza się ciśnienie pompy sterującej, a w wyniku tego następuje natychmiastowe jego zamknięcie.
- 4) **Głowica obrotowa** służy do przenoszenia obrotów pod obciążeniem. W przypadku stosowania zestawu próbnika typu Standard umożliwia sterowanie zaworem okresowym typu DCIP odcinającym pierwszy i drugi przyływ płynu złożowego do kolumny próbnikowej w czasie dwucyklowego opróbowania. Przy stosowaniu zestawu typu Ful-Flo umożliwia ona zapięcie uszczelnacza typu RTTS oraz otwarcie zaworu cyrkulacyjnego typu RTTS.
- 5) **Zawór główny kulowy** umieszczony jest bezpośrednio nad wylotem rur płuczkowych. Jest on sterowany ręcznie. Utrzymuje ciśnienie różnicowe wynoszące 70 MPa. Wykonywany jest w wersji Standard oraz w wersji odpornej na H₂S. Zestaw uzbrojenia powierzchniowego próbnika złoża produkcji firmy Halliburton stosowany w Zakładach Górnictwa Nafty i Gazu dostępny jest w następujących wersjach: do pracy w środowisku normalnym (wersja S) oraz do pracy w środowisku kwaśnym, w którym występuje H₂S (wersja SG).

Zagłowiczenie napowierzchniowe połączone jest z manifoldem służącym do testowania strumienia objętości samoczynnego wypływu płynu złożowego. Wyposażony jest on w trzy linie przepływowe. Na dwu z nich można zamontować zwięzki pomiarowe, a trzecia (środkowa) posiada pełny przelot. Manifold ten z jednej strony połączony jest z napowierzchniowym zaworem bezpieczeństwa, a drugiej – z manifoldem urządzenia wiertniczego.

Wgłębny zestaw kolumny próbnikowej, w przypadku stosowania RPZ typu Ful-Flo, składa się z następujących elementów o specjalnym przeznaczeniu technologicznym:

- **Pojemnik na ciśnieniomierze wgłębne** (kwarcowe lub mechaniczne) w zestawie próbnika o średnicy 3 7/8" umieszczany jest poniżej uszczelniacza. Podczas opróbowania połączonego z perforacją, aby zapobiec uszkodzeniu tych ciśnieniomierzy, należy zastosować amortyzatory drgań, które w znacznym stopniu złagodzą skutki wstrząsu wywołanego perforacją. Pojemnik na ciśnieniomierze wgłębne w zestawie próbnika złoża typu Ful-Flo o średnicy 5" może być umiejscowiony zarówno pod, jak i nad uszczelniaczem, co jest bardzo istotne, gdy perforacja wykonywana jest łącznie z opróbowaniem. Jest to możliwe ze względu na to, że ciśnieniomierze znajdują się w obudowie. Zaleca się jednak stosowanie amortyzatorów drgań.
- **Uszczelniacz rurowy typu RTTS** w górnej części korpusu wyposażony jest w szczęki o działaniu hydraulicznym, uruchamiane wówczas, gdy ciśnienie w przestrzeni pod uszczelniaczem przewyższa ciśnienie słupa płuczki w przestrzeni pierścieniowej nad uszczelniaczem. Dzięki działaniu uszczelniacza podczas opróbowania można wykonać płukanie skał zbiornikowych strefy przyotworowej roztworami substancji powierzchniowo czynnych lub ich kwasowanie. Jeżeli natomiast takiego zabiegu się nie przewiduje, wówczas szczęki o działaniu hydraulicznym zastępuje się specjalnym adapterem. Uszczelniacz ten, w połączeniu z zaworem cyrkulacyjnym typu RTTS oraz łącznikiem bezpieczeństwa typu RTTS, stanowi kompleksowy zestaw do wszelkiego rodzaju zabiegów technologicznych połączonych z opróbowaniem, kiedy ciśnienie pod uszczelniaczem przewyższa ciśnienie słupa płuczki w otworze wiertniczym nad uszczelniaczem.
- **Zawór cyrkulacyjny typu RTTS**, stosowany w zestawie próbnika typu Ful-Flo, pełni funkcję wyłącznie zaworu wyrównawczo-obiegowego (*bay-pass*). Używa się go wówczas, gdy przewiduje się podczas opróbowania wykonanie zabiegu pobudzenia lub intensyfikacji przepływu.
- **Łącznik bezpieczeństwa typu RTTS** służy do rozłączania się z uszczelniaczem typu RTTS w przypadku jego przychwycenia i braku możliwości jego odpięcia. Konstrukcja łącznika uniemożliwia jego przypadkowe rozłączenie w czasie operacji zapuszczenia i wyciągania zestawu próbnika Ful-Flo z otworu wiertniczego.

- **Nożyce hydrauliczne typu Big John** służą jako narzędzie ratunkowe w przypadku przychwycenia zestawu próbnikowego. Siła udaru przeniesionego na zestaw próbniaka zależy od napięcia kolumny próbnikowej. Opóźniacz zamontowany w nożycach hydraulicznych nie pozwala na ich przedwczesne lub przypadkowe uruchomienie.
- **Łącznik teleskopowy** jest elementem amortyzującym i zabezpieczającym, którego skok (przesuw) wynosi 1,5 m. Element ten jest nieodzownym narzędziem do manipulowania zaworem uniwersalnym próbniaka. Chodzi o to, aby przy zamykaniu zaworu uniwersalnego (ruch zestawu w górę) nie spowodować otwarcia zaworu wyrównawczego (w przypadku użycia zaworu bez zamka J-Slot) oraz odpięcia uszczelniacza typu RTTS. W zależności od głębokości otworu wiertniczego może być użyte kilka łączników teleskopowych.
- **Autoklaw** służy do pobrania próbki w dowolnym czasie przyprływu lub podczas oczekiwania na rejestrację krzywej odbudowy, w warunkach ciśnienia dennego. Uruchamiany jest z przestrzeni pierścieniowej przez wywarcie ciśnienia, które powoduje pęknięcie membrany i przesunięcie tulei ciśnieniem słupa płuczki w przestrzeni pierścieniowej, w wyniku czego następuje zamknięcie próbki w komorze autoklawu o pojemności 1200 cm³.
- **Zawór uniwersalny typu Ful-Flo** jest zaworem wielocyklowym, który otwiera się przez wywarcie na niego odpowiedniego nacisku osiowego, a zamyka po zdjęciu tego nacisku. Tak więc, w przeciwieństwie do zestawu próbniaka typu Standard, w zestawie próbniaka typu Ful-Flo używa się tylko jednego zaworu, który odgrywa zarówno rolę zaworu głównego (otwierającego przyprływ płynu złożowego do kolumny próbnikowej), jak też zaworu okresowego (odcinającego przyprływ). Aby wykonać prawidłowe opróbowanie, do sterowania zaworem uniwersalnym konieczne jest użycie łącznika teleskopowego. Wewnątrz zaworu uniwersalnego wbudowany jest opóźniacz zabezpieczający przed jego otwarciem, zanim nastąpi uszczelnienie warstwy pakerem. Zawór wyrównawczy znajdujący się w dolnej części zaworu uniwersalnego działa tylko w czasie zapuszczania zestawu do otworu wiertniczego. Przed otwarciem zaworu uniwersalnego zawór wyrównawczy zostaje zamknięty i już się nie otwiera podczas zamykania zaworu uniwersalnego. Do manipulacji zaworem uniwersalnym służy, wcześniej opisany, łącznik teleskopowy. Zawór kulowy znajdujący się w zaworze uniwersalnym działa przy ciśnieniu różnicowym do 35,0 MPa. Jest to bardzo istotne w przypadku, gdy np. podczas pierwszego okresu przyprływu z kolumny próbnikowej zostaje wyrzucona przybitka. Gdy ciśnienie złożowe jest większe niż 35,0 MPa, należy podczas oczekiwania na pierwszą odbudowę ciśnienia, uzupełnić przybitkę tak, aby ciśnienie różnicowe na zawór kulowy nie było większe niż 35,0 MPa.
- **Cyrkulacyjny zawór bezpieczeństwa typu APR-M-2** w przeciwieństwie do innych zaworów cyrkulacyjnych występujących w zestawie ma za zadanie przed otwarciem otworów cyrkulacyjnych zamknięcie zaworu kulowego, w który jest wyposażony, a tym samym odcięcie dopływu płynu złożowego do kolumny próbnikowej. Sterowany jest z przestrzeni pierścieniowej przez wywarcie określonego ciśnienia, które powoduje ścięcie wcześniej dobranych kołków zabezpieczających.

- **Zawór cyrkulacyjny typu SG-15** stosowany jest w próbniku Ful-Flo o średnicy 5" i uruchamiany z przestrzeni pierścieniowej poprzez ścięcie membrany. Należy zaznaczyć, że w przypadku użycia więcej niż jednego elementu sterowanego z przestrzeni różnicą ciśnienia należy tak dobrać membranę, aby najpierw uruchomić element, który ma zadziałać jako pierwszy. Różnica ciśnień pomiędzy poszczególnymi sterowanymi elementami powinna wynosić ok. 7 MPa (1000 psi).
- **Zawór cyrkulacyjny typu APR-A** działa podobnie jak zawór cyrkulacyjny bezpieczeństwa typu APR-M-2, z tą różnicą, że nie posiada zaworu kulowego odcinającego przyływu płynu złożowego. Otwierany jest przez ścięcie kołków zabezpieczających poprzez wywarcie odpowiedniego ciśnienia w przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego.

3. ZASADY KOMPLETOWANIA WGLĘBNEGO ZESTAWU RPZ TYPU FUL-FLO DO TESTÓW ZŁOŻOWYCH POŁĄCZONYCH Z INNymi ZABIEGAMI

Celem opróbowania warstwy perspektywicznej skał zbiornikowych zestawem typu Ful-Flo, które zazwyczaj jest połączone z wykonaniem perforacji okładziny otworu wiertniczego oraz testem produkcyjnym przez próbnik, jest uzyskanie samoczynnego wypływu płynów złożowych z otworu wiertniczego oraz zarejestrowanie zmian ciśnień dennych i głowicowych podczas testów przyływu, odbudowy ciśnienia dennego i testu produkcyjnego. Na podstawie wykresów zmian ciśnienia dennego zarejestrowanych przez ciśnieniomierze wgłębne można określić takie parametry złożowe, jak: ciśnienie złożowe, przepuszczalność skał zbiornikowych, uszkodzenie przepuszczalności skał w strefie przyodwiertowej, produktywność rzeczywista badanej warstwy. W przypadku, gdy po teście przyływu i odbudowy ciśnienia dennego wykonuje się test produkcyjny, możliwa jest dokładna ocena produktywności badanej warstwy perspektywicznej skał zbiornikowych.

Przelot wewnętrzny próbnika typu Ful-Flo dla próbnika o średnicy nominalnej 3 7/8" ma średnicę 1,8" (46 mm), a dla próbnika o średnicy nominalnej 5" średnica tego kanału wynosi 2,25" (57 mm), toteż w przypadkach stosowania próbnika o średnicy 3 7/8" możliwości zapuszczania przez próbnik przyrządów pomiarowych i narzędzi manipulacyjnych są ograniczone. Dzięki temu przelotowi możliwa jest realizacja w trakcie opróbowania następujących operacji technologicznych:

- wykonywanie perforacji okładziny otworu wiertniczego przy zapiętym uszczelniaczu (pakerze);
- zapuszczanie przez próbnik sond geofizycznych (np. *production log*);
- zapuszczanie na linie przez próbnik przyrządów pomiarowych;
- pobieranie próbek płynu złożowego przy użyciu windy linowej (*wireline*);
- zatłaczanie przez próbnik roztworu substancji powierzchniowo czynnych lub cieczy kwasującej w celu pobudzenia i intensyfikacji przyływu płynu złożowego do otworu wiertniczego;
- zapuszczanie przez próbnik wiotkiego przewodu typu *coiled tubing*, np. w celu usunięcia cieczy poreakcyjnej lub wywołania przyływu płynu złożowego;
- wykonywanie testów produkcyjnych odwiertu przy zapiętym próbniku.

Kompletowanie wglębnego zestawu RPZ typu Ful-Flo do testów złożowych zależy od przewidywanych warunków złożowych, stanu technicznego otworu wiertniczego oraz planowanej technologii opróbowania warstwy perspektywicznej:

- **Opróbowanie warstwy perspektywicznej w otworze nieorurowanym** (bez testu produkcyjnego lub z tym testem), podczas którego nie planuje się zapuszczania na linie żadnych narzędzi przez zestaw próbnikowy. W tym przypadku nie musi się przestrzegać ścisłego zalecenia dotyczącego zapewnienia pełnego przelotu w całym zestawie próbnika i dopuszcza się przewężenie przekrojów wewnętrznych poszczególnych jego elementów. Mimo to dla prawidłowego przeprowadzenia opróbowania muszą być spełnione następujące warunki:
 - w zestawie próbnika o średnicy nominalnej 5" należy stosować dwa zawory cyrkulacyjne o różnej zasadzie działania, np. zawór membranowy sterowany ciśnieniem od wewnątrz kolumny próbnikowej oraz zawór uruchamiany różnicą ciśnienia z przestrzeni pierścieniowej za pomocą mechanizmu membranowego typu SG-15;
 - w zestawie próbnika o średnicy nominalnej 3 7/8" należy stosować odpowiednio: zawór cyrkulacyjny o średnicy 3 7/8" sterowany ciśnieniem od wewnątrz kolumny typu APR-A lub zawór typu APR-M-2, który ma tę zaletę, że przed otwarciem otworów cyrkulacyjnych odcina dopływ płynu ze złoża do górnej części kolumny próbnikowej; jest on zarazem zaworem bezpieczeństwa.

W celu prawidłowego sterowania zaworem uniwersalnym konieczne jest użycie łącznika teleskopowego. Jeden taki łącznik (o przesuwie 1,5 m) powinno się stosować na każde 1500÷2000 m głębokości otworu wiertniczego. Tak więc w przypadku opróbowania warstwy na głębokości około 5000 m wskazane jest równoczesne użycie trzech łączników teleskopowych.

- **Opróbowanie warstwy perspektywicznej z wykonaniem testu produkcyjnego** wraz z zapuszczaniem przyrządów pomiarowych służących np. do pomiaru intensywności przyływu płynu złożowego sondą typu LO TORC (*production log*). Zestaw próbnika w tym przypadku nie różni się od pozostałych przypadków z wyjątkiem tego, że w jego skład nie wchodzi pojemnik na zbijak. Po otwarciu przyływu płynu złożowego zestaw należy podtrzymać w klinach stołu wiertniczego i po zdemontowaniu łącznika manipulacyjnego zamontować śluzę i zapuścić sondę pomiarową na głębokość zalegania opróbowanej warstwy perspektywicznej, a następnie prowadzić test przyływu. Jeżeli w zestawie zostanie użyty autoklaw, to należy pamiętać o tym, aby tak dobrać membranę ciśnieniową w autoklawie, żeby otwierał się on wcześniej niż zawór cyrkulacyjny, czyli ciśnienie uruchamiające autoklaw powinno być o 7 MPa (1000 psi) mniejsze od ciśnienia uruchamiającego zawór cyrkulacyjny. Jeśli ten warunek nie zostanie spełniony, należy się liczyć z komplikacjami podczas testu złożowego lub wręcz może to spowodować, że opróbowanie będzie nieudanym zabiegiem. Należy tak dobierać zestaw, aby uzyskać jak najwięcej informacji o opróbowanej warstwie perspektywicznej.

- **Opróbowanie warstwy perspektywicznej w otworze orurowanym** z wykonaniem perforacji okładziny otworu wiertniczego przez próbnik przy użyciu zestawu perforacyjnego podwieszono pod zestawem próbnika. W tym przypadku należy zachować pełny przelot zestawu próbnika, gdyż przez zestaw próbnika będzie musiał być opuszczony zbijak do odpalenia perforatorów. Zbijak znajduje się w pojemniku wyposażenia napowierzchniowego. Gdyby zaistniała sytuacja, że zbijak nie dotarł do głowicy perforatorów, wtedy należy zdemontować pojemnik i do napowierzchniowego zaworu bezpieczeństwa zamontować śluzę, a za pomocą zbijaka zapuszczonego na linie odpalić perforatory.

W przypadku spodziewanego przyływu płynu złożowego z zawartością substancji toksycznych, a zwłaszcza siarkowodoru, należy zastosować urządzenie napowierzchniowe w wersji odpornej na H_2S .

Opróbowanie warstw perspektywicznych w otworach kierunkowych, możliwe jest dzięki najnowszym rozwiązaniom konstrukcyjnym, które umożliwiają sterowanie zaworami próbnika typu Ful-Flo różnicą ciśnienia z przestrzeni pierścieniowej otworu wiertniczego.

Jeżeli względy ekonomiczne nie pozwalają na użycie rozbudowanego zestawu RPZ typu Ful-Flo, należy się zawsze kierować względami bezpieczeństwa i w zestawie takim muszą się znaleźć poza podstawowymi elementami:

- dwa zawory cyrkulacyjne o różnej zasadzie działania (sterowany mechanicznie oraz różnicą ciśnienia),
- nożyce hydrauliczne,
- łącznik bezpieczeństwa typu RTTS.

W zależności od potrzeb do zestawu próbnikowego możliwe jest dodawanie pewnych elementów, np. podczas prowadzenia testów produkcyjnych należy dodać drugi napowierzchniowy zawór główny typu kulowego, do którego montuje się śluzę. Jeżeli w czasie opróbowania nie przewiduje się perforacji okładziny otworu wiertniczego, zbędny jest wówczas w zestawie element do podwieszania zbijaka odpalającego perforatory.

Dużą zaletą połączenia zabiegu perforacji okładziny otworu wiertniczego z zabiegiem opróbowania perspektywicznej warstwy skał zbiornikowych jest wyeliminowanie szkodliwego oddziaływania ciśnienia słupa płuczki w otworze oraz osadu płuczkowego na drożność wytworzonych otworków perforacyjnych. Ponieważ perforacja odbywa się przy zapiętym uszczelniaczu, badana warstwa jest odcięta od ciśnienia hydrostatycznego słupa płuczki w otworze wiertniczym. Ponadto, zaraz po wykonaniu otworków perforacyjnych i otwarciu zaworu uniwersalnego, następuje przyływ płynu złożowego do próbnika pod wpływem wytworzonej różnicy ciśnienia między ciśnieniem złożowym a ciśnieniem w kolumnie próbnikowej. Do wad takiego opróbowania należy zaliczyć szkodliwe oddziaływanie wstrząsu perforacyjnego na rejestrujące ciśnieniomierze i termometry wgłębne. Aby ochronić rejestrujące ciśnieniomierze i termometry wgłębne przed uszkodzeniem, wskazane jest montowanie pod osłonami na te przyrządy pomiarowe w kolumnie próbnikowej odpowiednich łączników amortyzacyjnych.

4. TECHNIKA I TECHNOLOGIA OPRÓBOWANIA UTWORÓW DEWONU W OTWORZE GEOLOGICZNO-POSZUKIWAWCZYM L-7 W KARPATACH ZACHODNICH

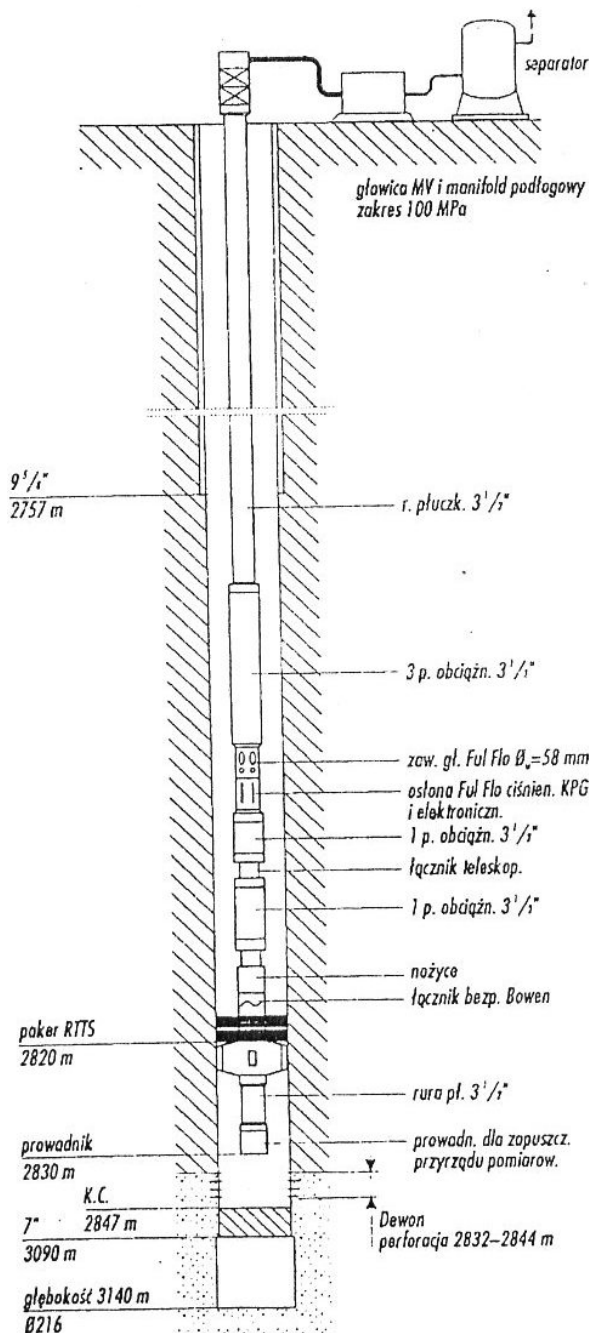
W poszukiwaniach naftowych próbnik typu Ful-Flo z uszczelniaczem rurowym typu RTTS, zapinany w kolumnie rurach okładzinowych, można stosować do opróbowania warstwy perspektywicznej udostępnionej przez perforację okładziny otworu wiertniczego lub zalegającej do około 50 m poniżej buta ostatniej kolumny rur okładzinowych. Dolny odcinek otworu wiertniczego może być wówczas odcięty korkiem cementowym (K.C. na rys. 1). Dzięki przelotowi umożliwiającemu swobodne opadanie w kolumnie próbnikowej zbijaka inicjującego detonację ładunków perforacyjnych próbnik ten może być stosowany z perforatorem modułowym typu PRM-102 podwieszonym pod zestawem próbnika.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat zapięcia zestawu próbnikowego typu Ful-Flo podczas opróbowania skał zbiornikowych dewonu w Karpatach Zachodnich (interwał 2832÷2844 m), po wcześniejszej perforacji eksploatacyjnej kolumny rur okładzinowych o średnicy nominalnej 7", w otworze wiertniczym L-7. Otwór ten orurowany jest techniczną kolumną rur okładzinowych o średnicy nominalnej 9 5/8" do głębokości 2757 m, a kolumną eksploatacyjną o średnicy 7" – do głębokości 3090 m (rys. 1).

Przed zapięciem zestawu próbnikowego wykonano w dolnej, nieorurowanej części otworu wiertniczego korek cementowy w interwale 3090÷3140 m. Wylot kolumny próbnikowej wyposażony jest w zagłowiczenie napowierzchniowe typu MV, połączone z manifoldem podłogowym na ciśnienie robocze 100 MPa oraz z separatorem i z pochodnią do spalania gazu ziemnego.

Zestaw próbnika zapuszczony jest do otworu wiertniczego na rurach płuczkowych o średnicy nominalnej 3 1/2". Nad zaworem głównym (uniwersalnym) typu kulowego Ful-Flo umieszczono trzy pasy obciążników o średnicy nominalnej 3 1/2", w celu wywierania nacisku osiowego na zestaw. Zawór główny ma wewnętrzny kanał przelotowy o średnicy $D_w = 58$ mm. Pod tym zaworem umieszczono osłonę na rejestrujące ciśnieniomierze wgłębne typu mechanicznego (KPG) firmy Kuster oraz typu elektronicznego firmy Panex. Nad i pod łącznikiem teleskopowym umieszczono po jednym pasie obciążników o średnicy nominalnej 3 1/2". Niżej w zestawie znajdują się nożyce hydrauliczne oraz łącznik bezpieczeństwa typu Bowen. Pod tym łącznikiem znajduje się uszczelniacz (paker) typu RTTS wraz ze szczękami hydraulicznymi zapięty na głębokości 2820 m, a pod nim umieszczono jeden kawałek rury płuczkowej o średnicy 3 1/2", zakończony przewodnikiem służącym do zapuszczania przyrządu pomiarowego na linie.

Wartość początkowej depresji ciśnienia ograniczono do 2,49 MPa w wyniku zastosowania w kolumnie próbnikowej słupa przybitki wodnej o wysokości 450 m oraz dławienia na manifoldzie wypływu płynu z kolumny próbnikowej. Podczas pierwszego testu przyplwy, trwającego łącznie 74 minuty, przez około 65 minut obserwowano słaby wypływ powietrza z kolumny próbnikowej, a następnie wypływ gazu ziemnego. Podczas pierwszego testu odbudowy trwającego 251 min, ciśnienie denne wzrosło do wartości 26,74 MPa.



Rys. 1. Schemat zestawu rurowego próbnika złoża firmy Halliburton typu Ful-Flo o średnicy nominalnej 5", zastosowany podczas opróbowania skał zbiornikowych dewonu (2832÷2844 m) w otworze wiertniczym L-7 [2, 4]

Podczas drugiego testu przyływu trwającego 15 minut, obserwowano stałą intensywność wypływu gazu ziemnego z kolumny próbnikowej. Po zamknięciu głowicy na wylocie kolumny próbnikowej, po upływie około trzech godzin ciśnienie głowicowe wzrosło do wartości około 8 MPa. Następnie kilkakrotnie syfonowano gaz z odwiertu. Podczas trzeciego testu przyływu, trwającego 1881 min, występował ciągły wypływ gazu ziemnego, z wydajnością około $14 \text{ N}\cdot\text{m}^3/\text{min}$, a w czasie drugiego testu odbudowy – do wartości 26,85 MPa. Przy wyciągnięciu próbnika, stwierdzono przyływ do kolumny próbnikowej około 720 litrów gazoliny i około 240 litrów solanki.

Należy podkreślić, że realizacja takiej technologii opróbowania (trzy testy przyływu, stabilizacja ciśnienia głowicowego, dwa testy odbudowy ciśnienia dennego oraz syfonowania odwiertu) była możliwa dzięki zastosowaniu próbnika typu Ful-Flo.

Do interpretacji danych uzyskanych z tego opróbowania zastosowano metodę Hornera [1, 4, 5], uzyskując następujące wyniki:

- gradient ciśnienia złożowego: $0,0097 \text{ MPa/m}$;
- współczynnik przewodności hydrodynamicznej badanej warstwy dla gazu ziemnego: $1072\cdot 10^{-12} \text{ m}^3/(\text{Pa}\cdot\text{s})$;
- współczynnik przepuszczalności skał zbiornikowych dla gazu ziemnego: $3\cdot 10^{-15} \text{ m}^2$ (około 3 mD);
- współczynnik uszkodzenia przepuszczalności skał w strefie przyodwiertowej $WU \approx 3$ (skin-effect dodatni), świadczy o znacznym uszkodzeniu przepuszczalności w tej strefie;
- współczynnik produktywności rzeczywistej (po uwzględnieniu współczynnika uszkodzenia przepuszczalności skał): $5 \text{ N}\cdot\text{m}^3/(\text{min}\cdot\text{MPa})$;
- promień strefy złożowej badanej próbnikiem: około 50 m.

Na podstawie uzyskanych wyników obliczeń można stwierdzić, że badany poziom gazonośnych skał węglanowych dewonu charakteryzuje się dość dobrymi parametrami złożowymi. Stwierdzone próbnikiem znaczne uszkodzenie przepuszczalności skał zbiornikowych w strefie przyodwiertowej może stanowić podstawę do wykonania zabiegu intensyfikacji przyływu gazu ziemnego do otworu wiertniczego.

5. WNIOSKI

- 1) Zakres i dokładność uzyskiwanych próbnikiem informacji o wielkości parametrów złożowych i produkcyjnych badanej warstwy perspektywicznej uzależnione są w dużym stopniu od stosowanej techniki i technologii opróbowania.
- 2) W Polskim Górnictwie Naftowym i Gazownictwie obserwuje się znaczny rozwój techniki i technologii opróbowania warstw perspektywicznych w otworach naftowych, dzięki stosowaniu rurowych próbników złoza produkcji amerykańskich firm: Halliburton oraz Baker.

- 3) Rurowe próbniki złoza firmy Halliburton typu Ful-Flo to nowa generacja próbników z pełnym przelotem wewnętrznym, umożliwiających połączenie opróbowania m.in. z zabiegiem perforacji okładziny odwiertu, zabiegiem kwasowania skał zbiornikowych lub z testem produkcyjnym.
- 4) Dobry stan techniczny sprzętu próbnikowego typu Ful-Flo, sprawne działanie oraz właściwy jego dobór w zależności od warunków otworowych i złożowych znacznie zmniejszają ryzyko i koszt opróbowania warstw perspektywicznych. Pewność działania poszczególnych elementów tego próbnika jest najważniejszym czynnikiem bezkomplicacyjnego opróbowania.
- 5) Zamieszczony przykład uzyskania tym próbnikiem jednoznacznych wyników badań utworów dewonu w otworze wiertniczym L-7 obejmuje istotne dla poszukiwań naftowych informacje złożowe o rodzaju płynu złożowego, podstawowych parametrach złożowych badanej warstwy gazonośnej (gradient ciśnienia złożowego, współczynnik przewodności hydrodynamicznej dla gazu ziemnego, współczynnik produktywności rzeczywistej), a także o zmianie przepuszczalności skał w strefie przyodwiertowej. Wiarygodność tych informacji zależy od dokładności wyznaczenia metodami geofizycznymi w profilu otworu wiertniczego występowania warstwy perspektywicznej, przygotowania do prób otworu wiertniczego (korek cementowy) oraz realizacji odpowiedniej technologii opróbowania dzięki zastosowaniu próbnika typu Ful-Flo.

LITERATURA

- [1] Dubiel S.: *Metody określania właściwości fizycznych i hydraulicznych złóż węgłowodorów w zależności od warunków geologicznych i technicznych odwiertów*. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo, z. 1, 1989.
- [2] Dubiel S., Rzychniak M. in.: *Wdrożenie nowej techniki i technologii opróbowania rurowymi próbnikami złoza poziomów wodonośnych i gazonośnych na Przedgórzu Karpat*. WWNiG AGH, Kraków 1995 (praca niepublikowana).
- [3] Dubiel S., Rzychniak M., Wójtowicz T.: *Rozwój techniki opróbowania poziomów perspektywicznych rurowymi próbnikami złoza na przykładzie Zakładu Poszukiwania Nafty i Gazu w Krakowie*. Materiały VII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej, WWNiG AGH, Kraków 1996.
- [4] Dubiel S., Rzychniak M., Wójtowicz T. i in.: *Analiza i interpretacja wyników opróbowania warstw perspektywicznych rurowymi próbnikami złoza wykonywanych przez OPNiG Kraków*. WWNiG AGH, Kraków 1994–1998 (praca niepublikowana).
- [5] Dubiel S., Chrząszcz W., Rzychniak M.: *Problemy opróbowania warstw perspektywicznych rurowymi próbnikami złoza*. UWND AGH, Kraków 2003.
- [6] Witek W. i in.: *Wytyczne założenia metodyczne do instrukcji na temat „Opróbowania skał zbiornikowych próbnikami złoza firmy Halliburton oraz testowania odwiertów urządzeniami typu Geoservices*. Zespół Rzeczoznawców SNTI i TPNiG, Warszawa 1996 (praca niepublikowana).
- [7] www.halliburton.com.
- [8] www.ogec.krakow.pl.