

**Jan Gustek\*, Jacek Krawczyk\*, Sebastian Lenart\***

**ANALIZA WPLYWU  
ZASTOSOWANIA PAKERÓW ZEWNĄTRZRUROWYCH ECP  
NA JAKOŚĆ USZCZELNIENIA PRZESTRZENI POZARUROWEJ**

**1. WSTĘP**

Pakery zewnętrzne (ECP) zastosowano po raz pierwszy w polskim przemyśle w latach 90. XX w. podczas realizacji prac wiertniczych na Niżu Polskim. W tym okresie nastąpiło odkrycie znaczących złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w północno-zachodniej Polsce.

Charakter odkrytych złóż oraz ich parametry geologiczno-złożowe spowodowały szereg komplikacji i konieczność wprowadzenia nowych technologii.

Podstawowym problemem, jaki pojawił się podczas prowadzenia prac wiertniczych, była przede wszystkim kwestia uszczelnienia eksploatacyjnej kolumny rur okładzinowych.

Problem ten był wynikiem skrajnie niekorzystnych warunków, w jakich prowadzone były prace:

- wysoki gradient ciśnienia złożowego wynoszący 0,018÷70,022 MPa/mb;
- zawartość w płynie złożowym:
  - H<sub>2</sub>S – 20%,
  - CO<sub>2</sub> – 3%;
- przyływy oraz mikroprzyływy solanek magnezowych o niskim pH.

Przeprowadzono szereg analiz wykonanych zabiegów rurowania i cementowania eksploatacyjnych kolumn rur okładzinowych, z których wynikało, że:

- wyniki analizy stanu zacementowania rur o średnicy zewnętrznej 7" (wg pomiarów geofizyki wiertniczej) były niejednoznaczne;
- pojawiły się przyrosty ciśnień w przestrzeniach międzyrurowych 7" × 9 5/8", przyływy płynu złożowego spowodowane (jak uznano w początkowej fazie) nieskuteczną izolacją dolomitu głównego.

---

\* PN „Diamant” Sp z o.o., Zielona Góra

W celu poprawy skuteczności izolacji eksploatacyjnych kolumn rur okładzinowych oraz zminimalizowania niekorzystnego wpływu warunków otworowych podjęto następujące środki zaradcze:

- Wprowadzono bieżącą obserwację wykonanych odwiertów – przestrzeni międzyrurowych 9 5/8" × 7", która wykluczyła przyływ płynu złożowego z dolomitu głównego. Stwierdzone przyływy zakwalifikowano jako przyływ solanki magnezowej o gradientcie ciśnienia zbliżonym do wartości 0,022 MPa/m.
- Wprowadzono obowiązek pozostawienia po zabiegu rurowania i cementowania w przestrzeni 9 5/8" × 7" wyliczonego nadciśnienia.
- Wykorzystując specjalistyczne, naukowe służby PGNiG, podjęto prace, mające na celu próbę opracowania skutecznych technologii cementowania kolumn eksploatacyjnych rur, uwzględniających obecność w otworze solanek magnezowych.
- Wprowadzono dozbrojenie kolumny rur eksploatacyjnych w pakery zewnętrzne, których zadaniem było odizolowanie płaszcza cementowego od wpływu medium złożowego z dolomitu głównego w fazie wiązania cementu.

Zastosowanie pakerów zewnętrznych jako elementu poprawiającego izolację przestrzeni pozarurowej podczas wiązania cementu nad pakerem jest rozwiązaniem stosowanym do dzisiaj.

Kolejne możliwości zastosowania pakerów typu ECP pojawiły się z chwilą rozpoczęcia udostępniania złóż otworami z poziomym odcinkiem. W tym przypadku pakery zewnętrzne zastosowano do podziału długiego odcinka horyzontalnego na szereg krótszych odizolowanych interwałów w strefie złożowej, umożliwiającym prowadzenie optymalnej eksploatacji złoża jak również przeprowadzanie efektywnych zabiegów intensyfikacji.

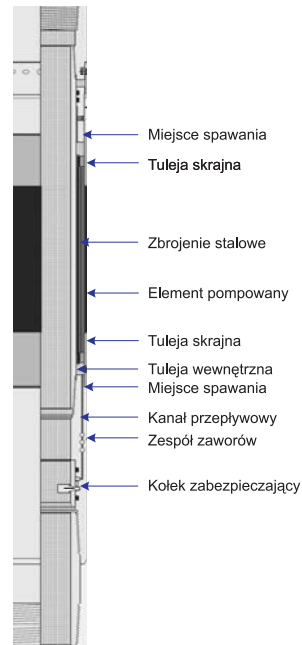
## **2. PAKERY ZEWNĄTRZRUROWE – BUDOWA, ZASTOSOWANIE I OBSŁUGA**

Paker zewnętrzny zbudowany jest z następujących, podstawowych elementów (rys. 1):

- tuleja wewnętrzna;
- łączniki – dolny i górny;
- element pompowany (guma, w części lub na całej długości zbrojona elastycznym płaszczem z blaszek stalowych lub siatki stalowej);
- tuleje skrajne, do których zamocowane jest zbrojenie elementu uszczelniającego i sam element uszczelniający (pompowany);
- system zaworów.

Podstawowe cechy pakerów zewnętrznych to:

- przelot wewnętrzny taki jak dla odpowiadającej im średnicy rur okładzinowych;
- parametry wytrzymałościowe korpusu pakera odpowiadają odpowiednim parametrom wytrzymałościowym rur okładzinowych;
- duży współczynnik ekspansji – możliwość uszczelnienia w interwałach skawernowanych i w odcinkach otworu o powiększonej średnicy;
- duży zakres długości elementów uszczelniających (do ok. 10 m).



**Rys. 1.** Budowa pakera zewnątrzrurowego

Pakery zewnątrzrurowe stosowane są do:

- likwidacji migracji płynów złożowych pomiędzy formacjami skalnymi;
- oddzielania formacji o różnych gradientach ciśnienia;
- podziału długiego, horyzontalnego odcinka otworu na mniejsze, izolowane interwały;
- poprawy szczelności zacementowanej kolumny rur;
- polepszenia warunków wiązania zaczynu cementowego;
- zabiegów cementowania w otworach ze strefami zaników płuczki;
- wspomaganie skutecznej likwidacji odwiertów.

Podstawowym czynnikiem skuteczności zastosowania pakerów zewnątrzrurowych jest ich właściwy dobór do warunków otworowych.

Podczas doboru pakera zewnątrzrurowego powinno się uwzględnić następujące parametry:

- typ elementu pompowanego;
- długość elementu;
- wytrzymałość elementu na ciśnienie różnicowe w warunkach otworowych;
- temperaturę w głębokości zapięcia;
- krzywiznę otworu;
- geometrię otworu – średnicę otworu;
- technologię prac;
- rodzaj płynu jakim napełniany będzie paker;
- przewidywane wartości ciśnienia podczas prowadzenia prac z użyciem pakerów zewnątrzrurowych oraz właściwe ustawienie ciśnień otwarcia i zamknięcia zaworów.

### 3. OBSŁUGA PAKERÓW ZEWNĄTRZRUROWYCH

Prace z użyciem pakerów zewnętrznych, pomimo stosunkowo prostej ich konstrukcji, wymagają ścisłego przestrzegania procedur postępowania opracowanych przez producentów, uwzględniających:

- ciśnienie otwarcia zaworów,
- objętość napełnienia i współczynnik ekspansji elementu uszczelniającego,
- ciśnienie zamknięcia zaworów,
- wytrzymałość elementu uszczelniającego na ciśnienie różnicowe.

Projektując użycie pakera zewnętrznego, należy powyższe czynniki szczegółowo przeanalizować.

#### **Ciśnienie otwarcia zaworów**

Ciśnienie otwarcia zaworów pakera musi uwzględniać technologię prac. Wartości ciśnienia otwarcia zaworów powinny być tak dobrane, aby możliwe było wykonanie wszystkich prac poprzedzających zabieg zapięcia pakera (pakerów) z uwzględnieniem odpowiedniego zapasu ciśnienia bezpieczeństwa. Niewłaściwe dobranie ciśnień otwarcia może spowodować przedwczesne napełnienie pakera i w efekcie uniemożliwienie poprawnego wykonania innych zabiegów, np. zabiegu cementowania.

#### **Objętość napełnienia**

Przed przystąpieniem do prac należy określić teoretyczną objętość napełnienia pakera. Wielkość ta, możliwa do określenia na podstawie pomiarów geofizycznych, pozwala na właściwe dobranie typu pakera, a zwłaszcza ustalenie długości i konstrukcji elementu uszczelniającego.

Każdy paker zewnętrzny ze względu na swoją konstrukcję posiada określoną maksymalną wartość objętości napełnienia. Przekroczenie tej wartości może spowodować rozerwanie elementu uszczelniającego.

#### **Ciśnienie zamknięcia zaworów**

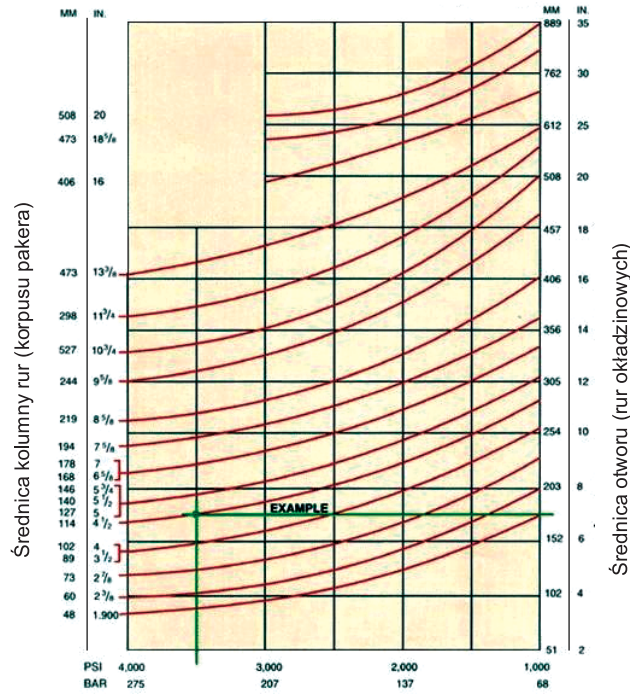
Ciśnienie to określa wartość „ciśnienia uwięzionego” wewnątrz elementu pompowanego. Właściwe dobranie wartości ciśnienia zamknięcia zapobiega z jednej strony przekroczeniu wytrzymałości elementu pompowanego na ciśnienie wewnętrzne i w efekcie rozerwaniu spowodowanemu ciśnieniem wewnętrznym, a z drugiej umożliwia uzyskanie przez paker optymalnej wytrzymałości na ciśnienie różnicowe.

#### **Wytrzymałość elementu uszczelniającego na ciśnienie różnicowe**

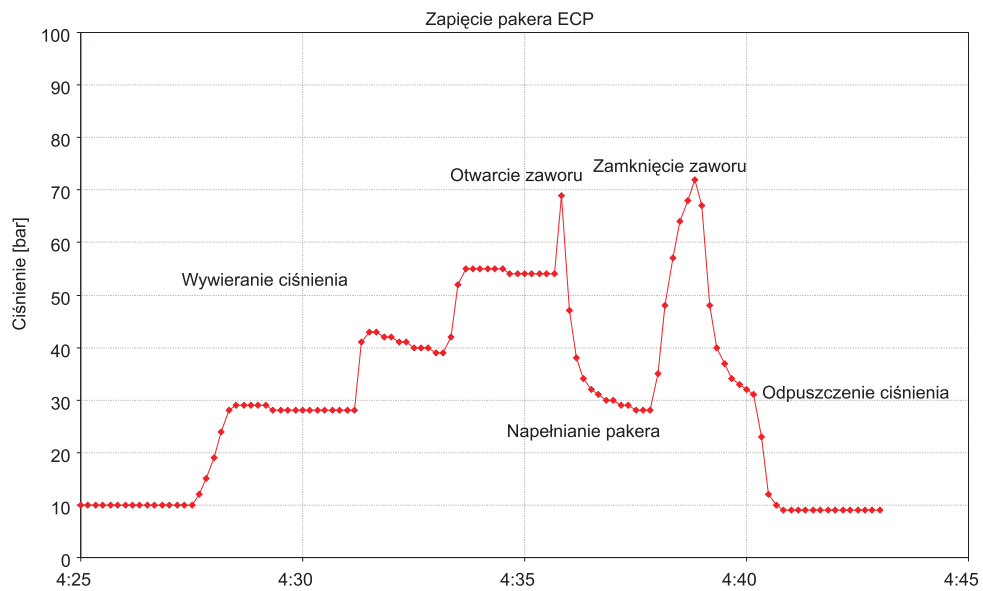
Parametr ten dobierany jest na podstawie krzywych opracowanych przez producenta pakera (rys. 2). Wytrzymałość pakera na ciśnienie różnicowe zależy głównie od średnicy pakera, średnicy otworu oraz długości elementu.

Jednym z podstawowych problemów, jakie pojawiają się podczas realizacji prac z użyciem pakerów zewnętrznych, jest potwierdzenie ich właściwego zapięcia.

Jak dotąd, jedynym miarodajnym źródłem informacji na temat poprawności zapięcia pakera zewnętrznego jest wykres ciśnienia zapięcia połączony z obserwacją ilości wtłoczonej cieczy (rys. 3).



Rys. 2. Wykres wytrzymałości elementu uszczelniającego na ciśnienie różnicowe



Rys. 3. Wykres zmian ciśnienia podczas zapinania pakera zewnątrzrurowego

#### 4. SKUTECZNOŚĆ ZASTOSOWANIA PAKERÓW ZEWNĄTRZRUIOWYCH

Analizę skuteczności zastosowania pakarów zewnętrznych należy odnieść do konkretnych przykładów zastosowań.

- W przypadku zastosowania pakera typu ECP nad strefą złożową w celu wzmocnienia izolacji i polepszenia warunków wiązania zaczynu cementowego nad pakarem, skuteczność pakarów można określić jako dobrą. Skuteczne odizolowanie warstw o wysokim gradientcie ciśnienia złożowego powoduje polepszenie własności płaszcza cementowego nad zapiętym pakarem ECP. Z drugiej strony, umieszczenie pakera w takim miejscu może spowodować zmniejszoną skuteczność lub brak izolacji w obrębie strefy złożowej.
- Izolacja horyzontów zawodnionych – zastosowanie pakarów typu ECP zapewnia dość skuteczną izolację. Problemem może stać się trwałość takiej bariery. Zależy to głównie od warunków otworowych, zmian ciśnienia i temperatury w trakcie eksploatacji.
- Rozdzielenie długiego odcinka horyzontalnego – izolacja odcinków otworu wykonana przez pakery zewnętrzne jest skuteczna. Podział długiego odcinka horyzontalnego na mniejsze, skutecznie oddzielone interwały pozwala na wykonywanie skomplikowanych i bardzo efektywnych zabiegów stymulacji, a w razie komplikacji (np. dopływ wód złożowych) na selektywną likwidację warstwy produktywnej.
- Izolacja przestrzeni międzyrurowej w obrębie buta kolumny rur (paker ECP zapięty nad butem poprzedniej kolumny rur okładzinowych) – zastosowanie pakarów ECP może w sposób trwały zlikwidować pewne niekorzystne zjawiska (np. dopływy płynów złożowych), jednakże powoduje utratę kontroli nad odwiertem i może prowadzić do zjawisk bardziej niekorzystnych (np. erupcje wgłębne).
- Wspomaganie likwidacji warstw produktywnych – należy zauważyć wysoką skuteczność zastosowania pakarów typu ECP. Wydłużony w stosunku do korków typu *inflatable* element uszczelniający powoduje poprawę warunków izolacji i w zdecydowany sposób zwiększa szanse trwałej i poprawnej likwidacji warstwy produktywnej np. w sytuacji dopływu wód złożowych.
- Podstawowa izolacja w przypadku stosowania krótkich linerów izolujących – wysoką skuteczność zastosowania pakarów ECP, potwierdzona została wieloma tego typu zabiegami. W niektórych przypadkach skomplikowanego stosowania krótkich linerów izolujących jest to jedyny możliwy technicznie sposób izolacji. Taki sposób użycia pakarów typu ECP jest stosowany z powodzeniem do izolacji np. w obrębie buta kolumny eksploatacyjnej rur okładzinowych.

#### 5. WNIOSKI

Pojedyncze pakery zewnętrzne (ECP) mają bardziej charakter pakarów zabiegowych-czasowych niż pakarów stałych. Okres, w jakim pakery zewnętrzne spełniają swoje zadanie (utrzymują izolację), jest uzależniony od wielu czynników i trudny do określenia.

Istotny wpływ na trwałość izolacji wykonanej za pomocą pakera typu ECP mają:

- temperatura,
- wielkość i częstość zmian ciśnienia w odwiercie,
- rodzaj płynu, jakim wypełniony został paker.

Jak widać, wykonawca prac ma ograniczony wpływ na trwałość izolacji. Jedynym możliwym do zmiany w tym przypadku czynnikiem jest rodzaj płynu, jakim wypełniony jest paker. Obecnie trwają próby opracowania i doboru optymalnej cieczy wypełniającej.

Stosowanie pakarów zewnętrznych (ECP) wymaga:

- odpowiedniego przygotowania otworu (np. poszerzenie otworu),
- stosowania właściwych procedur doboru i przygotowania pakera,
- poprawności zapięcia, potwierdzonej przebiegiem krzywej ciśnienia i zmiany objętości.

Reasumując, pakery zewnętrzne spełniają pozytywną rolę w realizacji otworu wiertniczego, zwłaszcza w zakresie izolacji warstw produktywnych i poprawy skuteczności cementowania. Wymagają jednak precyzyjnej obsługi zarówno na etapie projektowania (doboru), przygotowania do użycia, jak i montażu.

Spełnienie wszystkich wymogów projektowych i wykonawczych wymaga uzyskania bardzo szczegółowych danych o otworze, co w konsekwencji może prowadzić do uznania użycia pakarów zewnętrznych za zabieg drogi.

Należy jednak zauważyć, że pomimo wysokiej ceny w wielu wypadkach (np. długie odcinki horyzontalne) zastosowanie pakarów typu ECP jest niezbędne dla uzyskania poprawnego stanu technicznego otworu i powinno być standardem.