

Stanisław Bednarz*, Bohdan Kopey, Roman Urba*****

CZYNNIKI BEZPIECZEŃSTWA PRZECIWERUPCYJNEGO PODZAS REKONSTRUKCJI ODWIERTÓW NAFTOWYCH****

1. WPROWADZENIE

Podjęcie operacji rekonstrukcji odwiertu wynika z wielu powodów, np. może być konieczne odnowienie ujęcia złoża, dowieńczenie nowego złoża/horyzontu, zapuszczenie następnej kolumny rur wydobywczych, stymulacja/intensyfikacja wydobywania lub konieczne naprawy albo zabiegi związane z obróbką chemiczną. Równocześnie operacje te mają na celu zwiększenie wydobywania z obecnego horyzontu złoża lub uzbrojenie nowego horyzontu, zmniejszenie kosztów wydobywania albo powrót odwiertu do jego parametrów eksploatacyjnych poprzez wymianę sprzętu wiertniczego, nieszczelnych rur wydobywczych lub wiertniczego wyposażenia pompowego.

Wszystkie te i im podobne operacje wymagają stosowania się do podstawowych zasad zapobiegania erupcji płynu złożowego. Erupcje związane z końcowym wyposażeniem otworów i rekonstrukcją odwiertów stanowią taką samą liczbę jak erupcje związane z wierceniami eksploatacyjnymi i nieco mniejszą niż erupcje podczas wierceń poszukiwawczych, według analizy tysiąca dwustu erupcji powstałych na przestrzeni prawie czterdziestu lat, wykonanej przez Skalle i Podio [2]. Dalsze miejsce ze względu na pochodzenie stanowią operacje prowadzone podczas eksploatacji, obsługi odwiertów i inne.

Zestawienie operacji i czynności, odnoszących się do rekonstrukcji, podczas których wystąpiły erupcje, przedstawia tabela 1. Widoczna jest duża różnorodność – całe spektrum – odnotowanych operacji i czynności.

Panowanie nad zachowaniem się odwiertu uzyskuje się przez powstrzymanie dopływu płynu złożowego ze złoża do odwiertu i utraty płynu z odwiertu na rzecz złoża.

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Ivano-Frankivsk National University of Oil and Gas

*** Instytut Nafty i Gazu Kraków, Oddział w Krośnie

**** Praca wykonana została w ramach badań statutowych 11.11.190.01 Wydz. Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH

Tabela 1

Rodzaje operacji i liczba erupcji podczas rekonstrukcji odwiertów [2]

Operacja	Liczba erupcji	Czynność	Liczba erupcji
Wyciąganie uzbrojenia wglębnego odwiertu	67	Wyciąganie rur wydobywczych	28
		Zwiercanie/wyciąganie korków	10
		Przychwycenie rur	4
		Wyciąganie windą linową	4
		Czyszczenie odwiertu	2
		Wyciąganie żerdzi pompowych	5
		Wyciąganie rur okładzinowych	4
		Zatkanie rur	2
		Inne	3
		Utracone dane o czynności	5
Instalacja uzbrojenia wglębnego	25	Zapuszczanie rur wydobywczych	7
		Instalacja głowic przeciwerupcyjnych BOP	4
		Zapuszczanie windą linową	2
		Opuszczenie korka pod BOP	2
		Inne	7
		Utracone dane o czynności	3
Opuszczenie/likwidacja odwiertu	29	Wyciąganie rur wydobywczych	7
		Posadowienie korków odwiertowych	4
		Zatłaczanie	3
		Wyciąganie rur okładzinowych	4
		Inne	5
		Utracone dane o czynności	2
Perforacja	21		
Przetłaczanie	17		
Zapuszczanie wyposażenia	16		
Próby odwiertu	9		
Prace wiertnicze	8		
Inne	9		
Utracone dane o operacji	19		
Ogółem	220		

Panowanie nad dopływem płynu złożowego osiąga się przez stosowanie płynu operacyjnego, który wywiera wystarczające ciśnienie do powstrzymania płynów złożowych przed dopływem do otworu, które jest iloczynem ciężaru właściwego tego płynu i wysokości pionowej nad warstwą złożową. Zapobieganie utracie płynu operacyjnego z odwiertu można realizować przez stosowanie minimalnej nadwyżki ciśnienia (różnicy ciśnień) nad ciśnieniem złożowym oraz ewentualne, gdy jest to wymagane, stosowanie środków zapobiegających utracie płynu złożowego. W warunkach przepływu płynu przez wyposażenie odwiertu występują opory przepływu (straty ciśnienia), które uwzględnia się przez wprowadzenie pojęcia ekwiwalentnej gęstości płynu operacyjnego/płuczki. Jeżeli dla przykładu straty ciśnienia dynamicznego wynoszą 1,2 MPa w odwiercie o głębokości 2500 m przy wydajności przepływu 17 dm³/s zatłaczanej solanki o gęstości 1130 kg/m³, to ekwiwalentna gęstość płynu operacyjnego EGP może być określona wzorem

$$EGP = (1 \times 10^6 / 9,81) \times (SCD/H) + \rho \quad [\text{kg/m}^3] \quad (1)$$

gdzie:

- SCD – straty ciśnienia dynamicznego [MPa],
- H – głębokość [m],
- ρ – gęstość solanki [kg/m³].

Po wstawieniu powyższych danych otrzymuje się $EGP = 1179 \text{ kg/m}^3$.

Dopływy płynu złożowego wystąpią także wtedy, gdy mimo odpowiedniej gęstości płynu operacyjnego nastąpi nawet krótkotrwale tłokowanie, wskutek wyciągania pakera lub innego narzędzia o dużej średnicy.

Najbardziej wpływowym czynnikiem na powstanie dopływu jest niewystarczająca gęstość płynu rekonstrukcyjnego. Ta sytuacja występuje nierzadko podczas rekonstrukcji, gdy prowadzi się wypłukiwanie zawieszonych zasypów lub zwierca się paker. Ciśnienie poniżej takiego zasypu lub korka może być dużo większe niż ciśnienie hydrostatyczne płynu operacyjnego podczas rekonstrukcji. Zwłaszcza gdy poduszka gazu przemieściła się wcześniej i zatrzymała pod takim korkiem. Po przebiciu takiego uszczelnienia następuje bardzo szybkie przedarcie się gazu w górę, a płynu rekonstrukcyjnego w dół na zwolnione miejsce poduszki gazowej.

Niewystarczająca gęstość płynu rekonstrukcyjnego jest jedną z czterech podstawowych przyczyn obok niewłaściwego napełniania odwiertu i powodowania tłokowania podczas operacji wyciągowych oraz zgazowania płynu rekonstrukcyjnego.

Powszechną przyczyną trudności i dalej idących skutków jest nieodpowiednie uzupełnianie płynu w odwiercie podczas wyciągania kolumny rur wydobywczych.

Niedopuszczalne jest doprowadzenie do utraty nadwyżki ciśnienia podczas wyciągania rur wydobywczych spowodowanej obniżeniem poziomu płynu rekonstrukcyjnego w odwiercie. Obliczenie dopuszczalnej liczby pasów rur wyciągniętych „na sucho” lub objętości płynu jest podstawowym zadaniem szkoleniowym dla załóg wiertniczych dla przypadku odwiertu pionowego i kierunkowego. Niwelacja nadwyżki ciśnienia może być spowodowana wyciąganiem „na sucho” zbyt dużej liczby pasów rur, przy czym ich liczba zależy od planowanej nadwyżki i stosunku wyporności rur do pojemności odwiertu/rur

okładzinowych [4]. Monitorowanie napełniania odwiertu zapewnia wykorzystanie zbiornika marszowego lub pomiar liczby suwów pompy tłokowej.

Powstanie tłokowania podczas wyciągania kolumny rur wydobywczych oznacza zmniejszenie się ciśnienia pod elementem wypełniającym prawie całkowicie pole przekroju odwiertu nieorurowanego lub rur okładzinowych. Na wielkość tego zmniejszenia wpływa prędkość wyciągania, właściwości płynu, gęstość, lepkość, wytrzymałość strukturalna, geometryczna konfiguracja rur wydobywczych i rur okładzinowych lub odwiertu, a także sprzętu wglębnego, głównie prześwit [4].

Zgazowanie płynu operacyjnego może być również przyczyną erupcji, ale znacznie rzadziej niż pozostałe przyczyny, gdyż zmniejszenie gęstości jest większe dopiero przy powierzchni z uwagi na zmniejszone ciśnienie hydrostatyczne.

W przypadku dopływu płynu złożowego do otworu podczas wiercenia okazuje się, że podstawowe metody kontroli otworu w zasadzie zawiodły i należy włączyć wtórne metody polegające na właściwym użyciu głowic przeciwerupcyjnych, uzbrojenia wylotu otworu wiertniczego oraz pompowego układu ciśnieniowego urządzenia wiertniczego.

2. OPERACJE REKONSTRUKCYJNE

Planowanie rekonstrukcji odwiertu wymaga wielokierunkowej analizy, która bierze pod uwagę szereg kwestii techniczno-organizacyjnych [3, 5] takich, jak:

- możliwości operacji naprawczych i korekcyjnych w celu wykonania remontu odwiertu;
- rodzaj płynu wymaganego do kontroli odwiertu/złoża;
- konieczność wyciągania rur wydobywczych lub możliwość remontu poprzez kolumnę rur wydobywczych;
- rodzaj urządzenia i sprzętu potrzebnego do rekonstrukcji;
- potrzeba użycia specjalnych technik jak kontrola piaszczenia, gazodźwig, zabiegi stymulacyjne;
- rodzaj wglębnego wyposażenia odwiertu i jego dostępność;
- problemy logistyczne związane z rekonstrukcją.

W pierwszym etapie konieczne jest określenie trudności i zakłóceń eksploatacyjnych. Mogą do nich należeć:

- problemy mechaniczne (złamanie żerdzi, uszkodzenie pompy, rozszczelnienia, paker, nieszczelności rur wydobywczych itp.);
- utrudniony dopływ/wydajność wydobywania przy wysokim dennym ciśnieniu dynamicznym (zatkany: wlot do rur wydobywczych, pompa, zawór gazodźwigu itp.);
- utrudniony dopływ/wydajność wydobywania przy niskim dennym ciśnieniu dynamicznym (zatkane: otwory perforowane, efekt naskórka, ruchliwy piasek itp.);
- nadmierne wydobywanie wody lub gazu (wysoki wykładnik wodny lub gazowy);
- ograniczona wydajność iniekcji przy wyższym ciśnieniu iniekcji niż zwykle (zatkanie porów, przewodów do iniekcji);
- brak umiejętności personelu w zakresie przyjęcia właściwych relacji między wydobywaniem a ekonomią.

Operacje rekonstrukcyjne, po ustaleniu trudności i wyborze techniki ich usunięcia, zasadniczo mają określony porządek, natomiast ich przebieg zależy nie tylko od umiejętności

wykonawcy, ale jest wrażliwy na wpływ bieżących utrudnień i ograniczeń związanych z wieloletnią eksploatacją sprzętu i strefy złożowej odwiertu.

Podjęte wykonanie rekonstrukcji można ująć w następujących krokach [1, 3]:

1. Prace przygotowawcze w celu postawienia urządzenia rekonstrukcyjno-wiertniczego, składowanie materiałów i sprzętu.
2. Dobór płynu zabiegowego.
3. Przed rozpoczęciem rekonstrukcji sprawdzenie funkcjonowania podpowierzchniowego sprzętu bezpieczeństwa, powierzchniowego sprzętu wydobywczego oraz urządzeń kopalni.
4. Zatłoczenie odwiertu (obiegowe, odwrotny obieg lub prawy, lub jeżeli to konieczne, metodą forsowną).
5. Wyjęcie sprzętu wydobywczego (żerdzie pompowe, pompa, sprzęt linowy, rury wydobywcze, paker itp.).
6. Ocena mechanicznych właściwości rur okładzinowych, rur filtrowych, otworu nieorowanego. Zapuszczenie pierścienia pomiarowego, czyszczaka rur okładzinowych, sondy do kontroli jakości rur i innego sprzętu pomiarowego. Czyszczenie i wypłukanie zgorzeliny, parafiny, soli i piasku.
7. Zapuszczenie sprzętu stosowanego w rekonstrukcji (tuleja przepływowa, paker, kolumna rur wydobywczych operacyjnej, korek cementowy, przyrządy do prób, perforator, sprzęt linowy). Bardzo ważne jest dokonanie pomiarów i dokumentowanie wszystkich elementów zapuszczonych do odwiertu, a szczególnie szyjek do instrumentacji.
8. Wykonanie wymaganej operacji rekonstrukcyjnej i sprawdzenie właściwości mechanicznych wyposażenia wydobywczego przeznaczonego do zapuszczenia do odwiertu (oczyszczenie parą wodną rur wydobywczych, oczyszczenie i kontrola wszystkich elementów sprzętu wgłębnego, który nie był naprawiany lub wymieniany).
9. Zapuszczenie sprzętu wydobywczego wgłębnego, zachowanie szczegółowych i dokładnych zapisów i szkiców dotyczących poszczególnych elementów i ich umiejscowienia w odwiercie oraz materiałów.
10. Doprowadzenie odwiertu do wymaganego stanu (wydobycie lub iniekcja).
11. Kontrola wyników, ocena ekonomiczna, zakończenie szczegółowego sprawozdania z rekonstrukcji z dokładnym rysunkiem odwiertu oraz sprawdzenie, że wszystkie pozycje sprzętu są właściwie opisane i zapisane w dokumentacji odwiertu.

3. PRZEGLĄD METOD LIKWIDACJI ERUPCJI WSTĘPNEJ

W wiertnictwie znanych jest kilka metod kontroli otworu i likwidacji dopływu płynu złożowego. Ich zasadą jest zachowanie wartości ciśnienia hydrostatycznego w otworze przewyższającej wartość ciśnienia złożowego, ale mniejszej niż wartość ciśnienia szczelinowania danej warstwy skalnej. W przypadku braku tej nadwyżki, jeżeli ciśnienie w otworze jest mniejsze niż złożowe, wtedy następuje dopływ płynu do otworu, wypływ płuczki, a następnie płynu złożowego z otworu [6]. Należy wówczas zastosować wtórną kontrolę otworu poprzez właściwe użycie uzbrojenia przeciwerupcyjnego i wyposażenia przewidzianego do uzyskania panowania nad otworem.

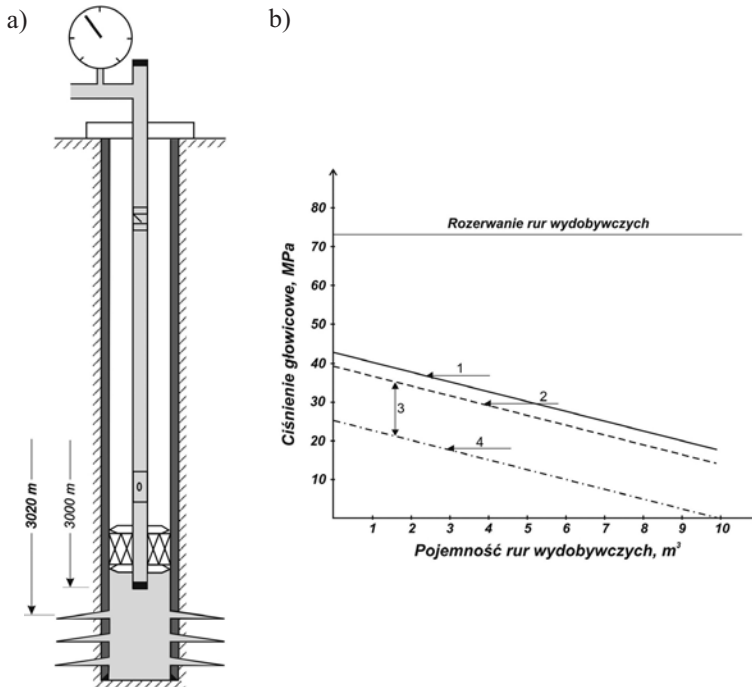
Istnieją trzy podstawowe sposoby likwidacji erupcji wstępnej otworu/odwiertu. Są to:

- 1) cyrkulacja,
- 2) forsowne zatłaczanie,
- 3) zatłaczanie z wykorzystaniem poślizgu i odpuszczanie.

Najbardziej rozpowszechnione wśród metod cyrkulacyjnych to metoda „Wiertacza” i metoda „Jednego obiegu” zwana inaczej „Czekaj i obciążaj”, które mogą być zastosowane w zależności od m.in. uzbrojenia węgłnego odwiertu.

W sytuacjach krytycznych nie zawsze jest możliwe zapobieżenie erupcji płynu przy wykorzystaniu ww. metod. Wtedy zalecane jest zastosowanie metody specjalnej. Do takich metod należy forsowne (gwałtowne) zatłaczanie (*bullheading*), które jest powszechną techniką w rekonstrukcji odwiertów; natomiast rzadko stosowane podczas wiercenia otworów [5]. Metoda forsowna polega na zatłaczaniu do zamkniętego odwiertu płynu zabiegowego lub płuczki i niepożądanego dopływu płynu złożowego, jego wtłoczeniu do najbliższego interwału skalnego nieorurowanego odwiertu. Metoda ta jest stosowana do zatłaczania odwiertów zarówno przed rekonstrukcją, jak i po rekonstrukcji oraz w przypadku zabiegów kwasowania lub czyszczenia odwiertu.

Objętość płynu rekonstrukcyjnego jest sumą objętości rur wydobywczych i objętości odwiertu poniżej pakera (rys. 1).



Rys. 1. Schemat zatłaczania płynu rekonstrukcyjnego do odwiertu: a) odwiert uzbrojony w pakera, tuleję cyrkulacyjną i zawór bezpieczeństwa; b) ciśnienie tłoczenia płynu do rekonstrukcji metodą forsowną, 1 – ciśnienie szczelinowania, 2 – maksymalne ciśnienie robocze, 3 – zakres ciśnień roboczych, 4 – statyczne ciśnienie w rurach wydobywczych

Ciśnienie głowicowe SITP (*shut in tubing pressure*) plus ciśnienie hydrostatyczne płynu do rekonstrukcji nie może przekroczyć wartości ciśnienia szczelinowania warstw skalnych. W szczególnych przypadkach ta metoda jest użyta do sterowania odwiertem przy dopływie płynu złożowego.

Po zatłoczeniu odwiertu należy zawsze doprowadzić do prawego obiegu poprzez rury wydobywcze do przestrzeni pierścieniowej.

Forsowne zatłaczanie jest także stosowane podczas wiercenia w przypadku, gdy istnieje poważna obawa, że przewiercana warstwa zawiera siarkowodor oraz że uzbrojenie napowierzchniowe nie jest przystosowane do bezpiecznego wyprowadzenia gazu.

Zanim uruchomi się prawy obieg, konieczne jest otwarcie tulei cyrkulacyjnej ponad pakierem.

Prawidłowe zastosowanie tej metody zatłaczania wymaga użycia:

- pompy wysokociśnieniowej o odpowiedniej wydajności;
- dokładnego układu pomiarowego do kontroli objętości tłoczonego płynu, na przykład w postaci skalibrowanego zbiornika;
- zapasowych ilości płynu w systemie płuczkowym, aby sprostać każdym wymaganiom i po zatłoczeniu odwiertu uzyskać lekką nadwyżkę ciśnienia.

W przypadku stosowania płuczki jako płynu do rekonstrukcji, należy najpierw zatłoczyć solankę, aby uniknąć zanieczyszczenia warstw złożowych.

Pierwszym krokiem w forsownym zatłaczaniu jest obliczenie tłoczonej objętości płynu do rekonstrukcji i przygotowanie go o odpowiedniej gęstości. Obliczenie maksymalnego ciśnienia głowicowego MASP (*maximum allowable surface pressure*), które może spowodować szczelinowanie górotworu oraz określenie ciśnienia rozerwania rur wydobywczych i rur okładzinowych powinno być uzupełnione obliczeniem statycznego ciśnienia w rurach wydobywczych podczas forsownego zatłaczania.

Następnie należy rozpocząć tłoczenie ze stopniowym nieprzerwanym zwiększaniem wydajności do zatłoczenia całej objętości. Cały czas konieczne jest śledzenie ciśnienia głowicowego i sprawdzanie, kiedy po osiągnięciu maksymalnej wartości zaczyna się odbiór płynu i czy jest proporcjonalny i równomierny spadek ciśnienia do zera. W przypadku wykrycia podwyższenia ciśnienia należy zatrzymać tłoczenie i utrzymywać ciśnienie, aż zmniejszy się do zera lub ustabilizuje. Należy sprawdzać ciśnienie w przestrzeni pierścieniowej. Nie wolno dopuścić do szczelinowania górotworu [5]. Ponadto należy brać pod uwagę poduszkę gazową pod pakierem.

Dla przykładu w celu zobrazowania operacji zatłaczania można przyjąć następujące dane odwiertu:

- głębokość horyzontu złożowego/perforacji, H_Z : 3020 m,
- głębokość rur wydobywczych, H_W : 3000 m,
- gęstość płynu równoważącego ciśnienie złożowe, ρ_z : 1050 kg/m³,
- gęstość płynu powodującego szczelinowanie, ρ_s : 1645 kg/m³,
- pojemność rur wydobywczych 2,875" N80 VAM, V_{WJ} : 3,019 dm³/m,
- ciśnienie rozrywające rury wydobywcze, p_b : 72,9 MPa,
- ciśnienie zamknięcia rur wydobywczych, $SITP$: 25,2 MPa,
- gradient poduszki gazowej, g_g : 0,00196 MPa/m.

Objętość kolumny rur wydobywczych V_W :

$$V_W = 0,001 \times H_W \times V_{WJ} \text{ [m}^3\text{]} \quad (2)$$

$$V_W = 0,001 \times 3000 \times 3,019 = 9,057 \text{ m}^3.$$

Objętość odwiertu pod pakerem, $V_{PP} = 0,843 \text{ m}^3$.

Całkowita objętość płynu równoważącego ciśnienie złożowe

$$V_C = V_W + V_{PP} = 9,90 \text{ m}^3.$$

Maksymalne dopuszczalne ciśnienie pomp na początku zatłaczania

$$\text{MASP}_P = (9,81 \times 10^{-6} \times \rho_s \times H_Z) - (g_g \times H_Z) \text{ [MPa]} \quad (3)$$

Stąd, po wstawieniu wartości liczbowych $\text{MASP}_P = 42,80 \text{ MPa}$.

Maksymalne dopuszczalne ciśnienie po zatłoczeniu rur wydobywczych solanką o gęstości 1050 kg/m^3

$$\text{MASP}_K = 9,81 \times 10^{-6} \times (\rho_s - \rho_z) \times H_Z \text{ [MPa]} \quad (4)$$

Po wstawieniu wartości liczbowych $\text{MASP}_K = 17,63 \text{ MPa}$.

Ciśnienie głowicowe w kolumnie rur wydobywczych po zatłoczeniu rur wydobywczych solanką wynosi 0 MPa .

Przebieg ciśnień w zależności od objętości tłoczonego płynu rekonstrukcyjnego przedstawia rysunek 1b. Górna granica zakresu roboczego została wyznaczona po odjęciu od maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia (linia 1) marginesu bezpieczeństwa wynoszącego $3,5 \text{ MPa}$ (linia 2).

W przypadku braku właściwego zmniejszania się ciśnienia podczas zatłaczania solanki do rur wydobywczych odwiertu, należy brać pod uwagę wystąpienie zmniejszonej przepuszczalności skał lub, że prędkość zatłaczanej solanki zrównała się z prędkością przemieszczania się gazu.

4. PODSUMOWANIE

- 1) Racjonalna gospodarka złożami naftowymi i gazowymi wymaga włączenia w zakres podejmowanych operacji dobrze planowanych rekonstrukcji odwiertów z zapewnieniem bezpieczeństwa prowadzenia zabiegów i czynności technicznych.
- 2) W procedurach zatłaczania odwiertów należy uwzględnić wpływ czynników technicznych i środowiskowych na efektywność operacji rekonstrukcyjnych.
- 3) Szkolenie na odpowiednim poziomie załóg prowadzących operacje rekonstrukcyjne powinno w większym stopniu znaleźć się w polu widzenia operatorów pól naftowych.

LITERATURA

- [1] Adams N.: *Pressure-Control Procedures During Workover Differ from Drilling*. Oil & Gas Journal, August 10, 1981
- [2] King G.: *An Introduction to the Basics of Well Completions, Stimulations and Workovers*. Tulsa, Copyright by G.E. King 1998
- [3] Cholet H.: *Well Production Practical Handbook*. Paris, Editions Technip 2000
- [4] Bednarz S.: *Operacje wyciągania-zapuszczania przewodu wiertniczego a bezpieczeństwo przeciwerupcyjne*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, 22/1, 2005
- [5] Smith R.: *Well Servicing Well Control*. 1989
- [6] Dybaś Z.: *Kontrola otworu*. Kraków, Centrum Szkolenia i Doskonalenia Zawodowego Górnictwa Naftowego, Poszukiwania Nafty i Gazu w Krakowie 2006