

Jan Artymiuk*, Stanisław Bednarz*

PROBLEMY DOBORU MANIFOLDU HYDRAULICZNEGO W STACJI STEROWANIA GŁOWICAMI PRZECIWERUPCYJNYMI**

1. WSTĘP

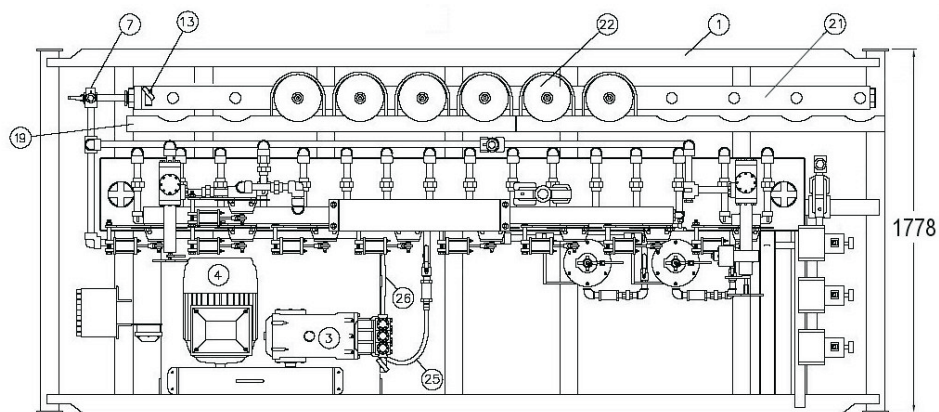
Parametry robocze stacji sterowania głowicami przeciwerupcyjnymi stanowią o niezawodności działania układów i bezpieczeństwie prowadzenia operacji wiertniczych. System operacyjny stacji poddany jest działaniu wysokich ciśnień wywołanych przez wewnętrzny układ pompowy do sterowania, współpracujący z zestawem zaworów, przewodów zasilających, akumulatorów ciśnienia i zespołu manifoldu sterowania hydraulicznego. Z uwagi na funkcję, jaką spełniają głowice przeciwerupcyjne, system operacyjny powinien zapewniać niezawodne działanie układów roboczych zestawów głowic przeciwerupcyjnych. Głównym parametrem manifoldu jest objętość robocza płynu hydraulicznego oraz ciśnienie sterowania. Wartości tych parametrów warunkują liczbę i wielkość butli akumulatorowych oraz wymiary manifoldu hydraulicznego. Wiele czynników ma wpływ na zagrożenie erupcyjne, którego likwidacja może ostatecznie wymagać zamknięcia głowicy przeciwerupcyjnej i w następstwie tego – podjęcie działań mających na celu wyparcie gazu obciążoną płuczką. Bezpieczne kontrolowanie otworu wiertniczego oraz zapobieganie erupcji podczas operacji wiertniczych wymaga sprawnego działania systemu sterowania i kontroli głowicami przeciwerupcyjnymi, który jest systemem zasilania hydraulicznego sterującego głowicą przeciwerupcyjną (BOP) podczas operacji wiercenia. Występuje w nim współdziałanie hydraulicznej stacji sterowania i zaworów sterujących.

Układ stacji sterowania głowicami przeciwerupcyjnymi BOP (rys. 1) obejmuje:

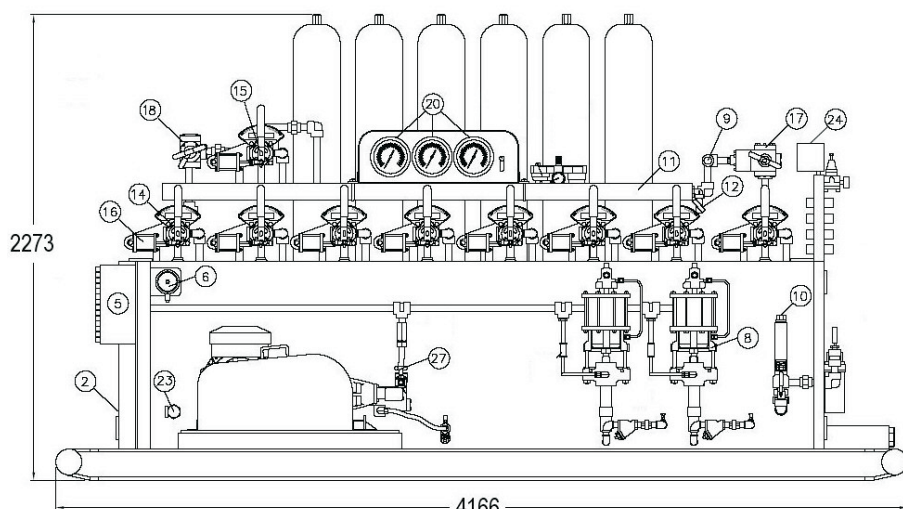
- manifold zasilający z butlami akumulatorowymi i zbiornik,
- zespół manifoldu sterowania hydraulicznego,
- zespół pompy hydraulicznej napędzanej silnikiem powietrznym
- zespół pompy hydraulicznej napędzanej silnikiem elektrycznym,
- pulpit zdalnego sterowania powietrznego,
- interfejs zdalnego sterowania powietrznego,
- przewody połączeniowe,
- osprzęt pomocniczy.

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Pracę zrealizowano w ramach badań statutowych nr 11.11.190.01 WWNiG AGH



WIDOK Z GÓRY



WIDOK Z PRZODU

Rys. 1. Stacja sterowania głowicami przeciwerupcyjnymi (BOP) Firmy CAD Control Systems: 1 – rama nośna, 2 – zbiornik, 3 – pompa nurnikowa CAT 650, 4 – silnik elektryczny 11 kW/1466 obr./min, 5 – starter silnika elektrycznego, 6 – przełącznik elektrociśnieniowy, 7 – zawór nadmiarowy, 8 – zespół pomp powietrznych, 9 – filtr wysokiego ciśnienia, 10 – przełącznik ciśnienia powietrza, 11 – manifold sterujący, 12 – zawór iglicowy, 13 – zawór iglicowy kątowy upustowy manifoldu, 14 – zawór 4-drogowy, 15 – zawór 4-drogowy by-pass, 16 – cylinder powietrzny pozycyjny, 17 – regulator (uniwersalny), 18 – regulator ręczny (manifold), 19 – stojak akumulatora, 20 – manometry, 21 – manifold zasilający, 22 – akumulator, 23 – pneumatyczny zawór poziomym, 24 – przełącznik akumulatora, 25 – przewód ssący, 26 – przewód tłoczący, 27 – zawór iglicowy

Manifold zasilający jest elementem, w którym występuje nierównomierny rozkład naprężeń i powstałych w wyniku ich działania odkształceń. Znajomość rozkładu naprężeń występujących w manifoldzie wywołanych ciśnieniem pozwala na właściwy dobór elementów konstrukcyjnych manifoldu hydraulicznego.

2. MANIFOLD ZASILAJĄCY Z BUTLAMI AKUMULATOROWYMI

Zespół ten zapewnia zasilanie stacji sterowania cieczą dostarczaną przez pompy i magazynowanie jej pod wysokim ciśnieniem [4, 5, 6] w celu sterowania zestawem głowic przeciwerupcyjnych znajdujących się w odległości 30 m od stacji sterowania.

Zespół ten stanowią:

- butle akumulatorowe umieszczone na manifoldzie zasilającym zaopatrzonym w połączenia rurowe,
- zbiornik,
- rama montażowa, na której zamontowane są:
 - manifold sterowania hydraulicznego,
 - pompa hydrauliczna zasilana silnikiem powietrznym,
 - pompa elektryczna.

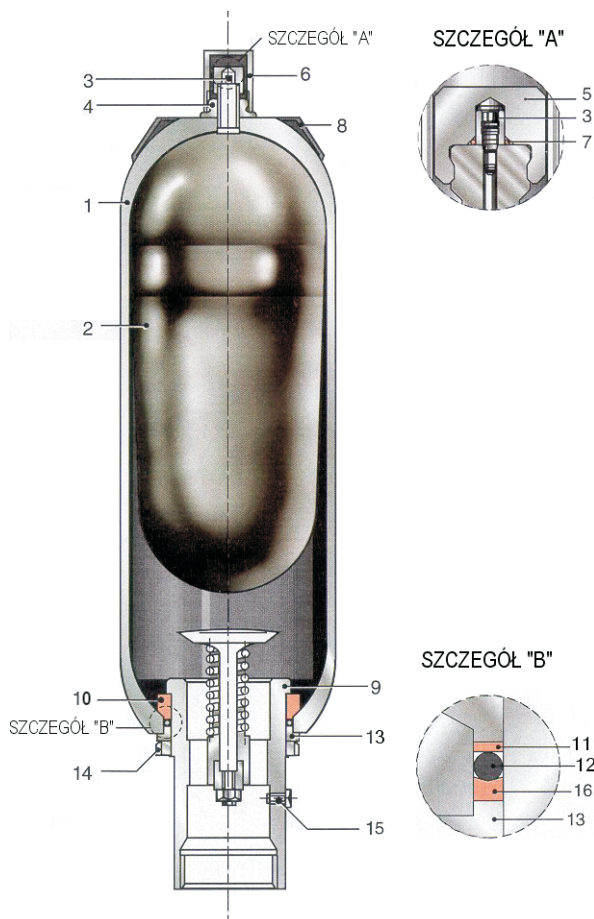
Butle akumulatorowe to zbiorniki ciśnieniowe magazynujące ciecz pod wysokim ciśnieniem. W zależności od wielkości stacji sterowania dobiera się odpowiednią ilość butli, ich rozmiary oraz główne parametry ruchowe jak pojemność i ciśnienie robocze. Energia hydrauliczna potrzebna do operowania głowicami przeciwerupcyjnymi jest zgromadzona w butlach różnych rodzajów. Są to butle z rozdziałem azotu od cieczy roboczej typu tłokowego lub przeponowego. Najczęściej stosowane są te ostatnie (rys. 2). Przedstawiony na rysunku 2 standardowy typ butli [4] wymaga demontażu butli z manifoldu zasilającego w celu wymiany przepony. Są stosowane również butle z możliwością wymiany przepony od góry. Zawór grzybkowy w dolnej części butli stanowi podparcie przepony i uniemożliwia jej wyciśnięcie przez otwór zasilający. Butle z rozdziałem azotu od cieczy (przeponowe lub tłokowe) dostępne są w rozmiarach 37,8, 41,6, 49,2, 56,7, 75,7 l (10, 11, 13 i 15 gal.) i mają ciśnienie robocze 20,7 MPa (3000 psi).

Wymiarowanie akumulatorów oraz manifoldu zasilającego niezależnie od metody obliczeń objętości przyjmującej za podstawę gaz idealny – przemiana izotermiczna, gaz rzeczywisty – przemiana izotermiczna lub gaz rzeczywisty – przemiana adiabatyczna, powinno uwzględniać 4 stany obciążeniowe:

- stan 0 – wstępne załadowanie azotem,
- stan 1 – załadowanie azotem,
- stan 2 – rozładowanie do minimalnego wymaganego ciśnienia operacyjnego,
- stan 4 – całkowite rozładowanie.

Wymagania wyspecyfikowane w API 16D [1], podają, że system powinien być zdolny zamykać wszystkie funkcje plus 50% pojemności rezerwowej oraz, że ciśnienie pojemności magazynowej akumulatora po zamknięciu wszystkich BOP powinno przekraczać minimalne wyliczone ciśnienie operacyjne żądane do zamknięcia szczękowego BOP przy maksymalnym znamionowym ciśnieniu otworowym zestawu przeciwerupcyjnego. Istnieje też wymaganie, aby objętość płynu roboczego akumulatorów potrzebna dla zapewnienia bezpiecznego zamknięcia wylotu otworu była obliczona na co najmniej zamknięcie i otwarcie wszystkich głowic przeciwerupcyjnych w zestawie oraz zamknięcie głowicy uniwersalnej i jednej głowicy przeciwerupcyjnej szczękowej oraz utrzymywanie ciśnienia roboczego głowic lub najwyższego przewidywanego ciśnienia u wylotu otworu. Z tego względu dzia-

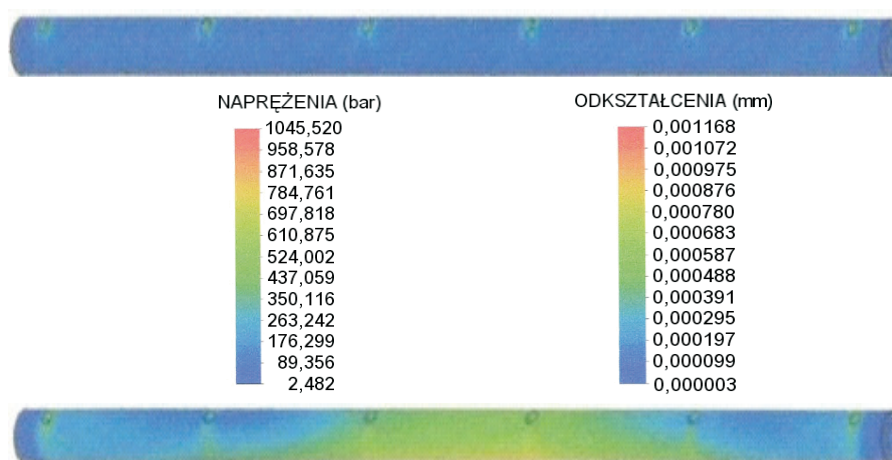
łanie manifoldów powinno być niezawodne w długim czasie. Ciśnienie podczas tych operacji otwierania/zamykania nie może zmniejszyć się poniżej zalecanego minimalnego ciśnienia.



Rys. 2. Budowa butli akumulatorowej zasilanej od dołu, typu przeponowego [4]: 1 – korpus, 2 – przepona, 3 – rdzeń zaworu gazowego, 4 – nakrętka blokująca przeponę, 5 – kołpak uszczelnienia zaworu, 6 – kołpak zabezpieczający zawór, 7 – o-ring, 8 – tabliczka znamionowa, 9 – tuleja otworu przelotowego płynu, 10 – pierścień antywyłaczający, 11 – pierścień płaski, 12 – o-ring, 13 – pierścień dystansowy, 14 – nakrętka blokująca tuleję otworu przelotowego płynu, 15 – śruba odpowietrzająca tuleję otworu przelotowego płynu, 16 – pierścień podpierający o-ring

Akumulatory oraz zbiorniki ciśnieniowe o ciśnieniu roboczym równym lub większym od 103 kPa powinny być zgodne lub przekraczać wymagania zawarte w ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sekcja VIII, Division I lub równoważnych przepisach. Minimalna wartość ciśnienia próby ciśnieniowej butli akumulatorowej oraz manifoldu powinna wynosić 1,5 raza ciśnienia roboczego układu w próbie fabrycznej oraz być równa ciśnieniu roboczemu w próbie polowej. Czas utrzymywania ciśnienia po jego stabilizacji powinien wynosić 5 minut.

W oparciu o wytyczne eksploatacji uwzględniające odpowiednie przepisy, normy i procedury wykonywane są przeglądy i ocena stanu technicznego układu. W przypadku konieczności naprawy możliwe jest wymontowanie przepony bez uprzedniego zdjęcia butli z manifoldu zasilającego stacji przy stosowaniu butli ładowanych z góry. Natomiast butle ładowane od dołu muszą być uprzednio wymontowane z manifoldu zasilającego znajdującego się na odpowiedniej ramie stacji. W przypadku awarii, butle mogą być naprawiane w miejscu pracy bez obawy o zniszczenie ich zabezpieczeń i plomb. Akumulatory typu kierowanego przepływu lub typu z rozdziałem azotu od cieczy są ładowane najczęściej do $6,9 \text{ MPa} \pm 0,7 \text{ MPa}$ ($1000 \text{ psi} \pm 100 \text{ psi}$) azotem. Akumulatory kierowanego przepływu mają pojemność $302,8 \text{ l}$ (80 gal.) i ciśnienie robocze wynoszące również $20,7 \text{ MPa}$ (3000 psi).



Rys. 3. Naprężenia (rura górna) i odkształcenia (rura dolna) manifoldu zasilającego przy sześciu otworach dla butli akumulatorowych

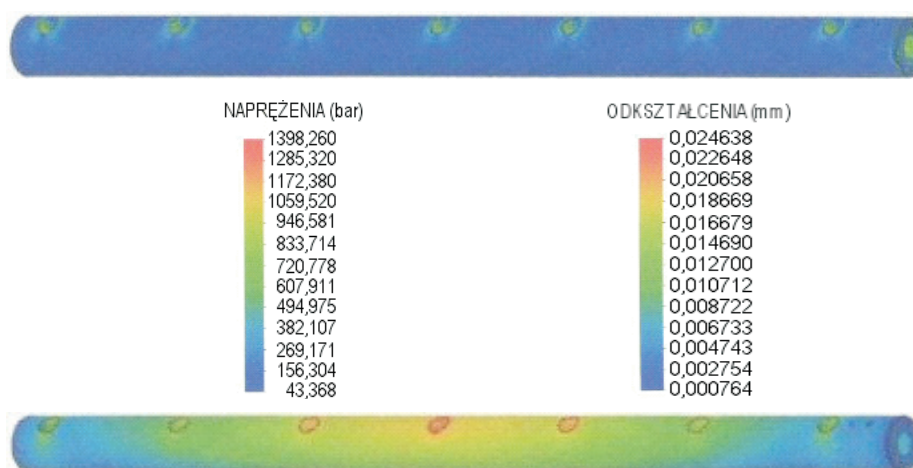
Połączenia rurowe butli służą do przesyłania cieczy hydraulicznej z pomp poprzez manifold zasilający (rys. 3) do butli akumulatorowych i do manifoldu sterującego. Składają się one z zespołu w zależności od liczby butli, zawierającego kilkadziesiąt do kilkuset rurek o średnicy $25,4 \text{ mm}$ (1 cal) lub $12,7 \text{ mm}$ ($\frac{1}{2} \text{ cala}$), zaworów izolacyjnych oraz zaworu nadmiarowego ustawionego na wartość ciśnienia $24,1 \text{ MPa}$ (3500 psi), którego zadaniem jest zabezpieczenie butli przed nadmiernym naładowaniem. Zawór ten nie może być nigdy usunięty. Elementy rurowe i połączenia gwintowe rurowe powinny odpowiadać m.in. American National Standard Institute (gwint rurowy stożkowy), SAE (przemysłowe połączenia spęczonych wlotów z uszczelnieniami o-ring i czterośrubowe połączenia kołnierzone) oraz ANSI B31.3 lub równoważnym uznanym normom międzynarodowym.

Poddane analizie obliczeniowej metodą elementów skończonych dwa manifoldy o średnicy $0,0508 \text{ m}$ ($2''$) i o średnicy $0,03175 \text{ m}$ ($1 \frac{1}{4}''$) [3] były wykonane ze stali 1026 o granicy plastyczności 248 MPa . Naprężenia dopuszczalne wg ASME B31.3 wyniosły $165,5 \text{ MPa}$. Obliczenia manifoldu o średnicy $0,003175 \text{ m}$ z 6 otworami pod butle akumulatorowe przy ciśnieniu $34,5 \text{ MPa}$ wykazały (rys. 3), że każdy z 4 otworów gwintowanych pod śruby o średnicy $25,4 \text{ mm}$ był poddany działaniu siły $17,460 \text{ kN}$.

W wyniku analizy otrzymano:

- maksymalne naprężenia zredukowane wg H-M-H – 104,6 MPa < 165,5 MPa,
- maksymalne odkształcenie – 0,011684 mm,
- współczynnik bezpieczeństwa (wg ASME B31.3 Naprężenia Dopuszczalne) – 1,582,
- współczynnik bezpieczeństwa (w stosunku do granicy plastyczności) – 2,374.

Obliczenia manifoldu o średnicy 0,00508 m z 7 otworami pod butle akumulatorowe przy ciśnieniu 34,5 MPa (rys. 4) wykazały, że każdy z 4 otworów gwintowanych pod śruby o średnicy 13 mm był poddany działaniu siły 17,460 kN. Każdy otwór gwintowany o średnicy 42,2 mm był obciążony siłą 48,041 kN. Otwór gwintowany o średnicy 13 mm był obciążony siłą 4,359 kN, a otwór gwintowany o średnicy 6,35 mm poddany był działaniu siły 1,09 kN.



Rys. 4. Naprężenia (rura górna) i odkształcenia (rura dolna) manifoldu zasilającego przy siedmiu otworach dla butli akumulatorowych

W wyniku analizy obliczeniowej otrzymano:

- maksymalne naprężenia zredukowane wg H-M-H – 139,8 MPa < 165,5 MPa,
- maksymalne odkształcenie – 0,02464 mm,
- współczynnik bezpieczeństwa (wg ASME B31.3 Naprężenia Dopuszczalne) – 1,183,
- współczynnik bezpieczeństwa (w stosunku do granicy plastyczności) – 1,775.

Wszystkie połączenia spawane powinny być wykonywane przez spawacza certyfikowanego na zgodność ze stosowaną wymaganą kwalifikowaną instrukcją technologiczną.

Akumulatory najczęściej montowane są w rzędach i izolowane zaworami odcinającymi. Zawory odcinające powinny pozostać otwarte cały czas podczas normalnej operacji. Jeżeli wiadomo jest, że jakiś akumulator jest wadliwy, szereg może być izolowany, aż do jego naprawy. Nigdy nie wolno obsługiwać akumulatora, gdy system sterowania BOP jest pod ciśnieniem.

3. ZESPÓŁ MANIFOLDU STERUJĄCEGO

Manifold sterujący stosowany jest do kierowania przepływu cieczy o wysokim ciśnieniu generowanym przez pompę i magazynowanej w akumulatorach i manifoldzie zasilającym do działania głowic i zasuw w zestawie głowicy przeciwerupcyjnej (BOP). Większość głowic pracuje przy ciśnieniu 10,3 MPa (1500 psi). Jednakże ciśnienie robocze akumulatora jest zwykle 20,7 MPa (3000 psi), zatem wymagane są regulatory, żeby zredukować ciśnienie operacyjne z 20,7 MPa (3000 psi) do maksimum 10,3 MPa (1500 psi). Manifold sterujący pozwala ponadto na ręczną regulację ciśnienia cieczy roboczej do poziomu wyspecyfikowanego przez producenta. Ponieważ głowica uniwersalna (typ manszetowy) wymaga ciśnienia innego niż inne funkcje w zestawie BOP, wszystkie sterujące manifoldy wykorzystują podwójną konstrukcję. Oznacza to, że manifold sterujący ma dwa regulatory każdy z własnym dojściem wysokiego ciśnienia: jeden przeznaczony dla głowicy przeciwerupcyjnej uniwersalnej, kolejny (regulator manifoldu) steruje funkcją wybranego zespołu w zestawie głowic przeciwerupcyjnych (BOP). Manifold sterujący zawiera również 4-drogowe, kierunkowe zawory sterujące, jeden na każdy zespół głowicy przeciwerupcyjnej i zasuwę, oraz zawory upustowe, zawory nadmiarowe nastawione na ciśnienie o wartości 22,8÷24,1 MPa (3300÷3500 psi), filtr wysokiego ciśnienia oraz orurowanie mierników wraz z manometrami służącymi do monitorowania zmian ciśnienia akumulatora, ciśnienia manifoldu i ciśnienia dostarczanego do głowicy uniwersalnej. Rozpoznanie właściwego działania manifoldu sterującego jest bardzo ważne. To sterowanie jest podłączone bezpośrednio do głowic BOP u wylotu otworu i pomyłki mogą być bardzo daleko idące w skutkach. Manifold sterujący powinien być wyposażony ponadto w zawór odcinający o średnicy przełotu, co najmniej równej średnicy rury manifoldu w celu uzyskania możliwości alternatywnego zasilania w ciecz sterującą. Jeżeli nie jest w użyciu, powinien być zamknięty korkiem zaślepiającym. Wymienione powyżej 4-drogowe, 3-pozycyjne zawory sterujące (pozycja 14 na rys. 1) są to 25,4 mm (1") zawory z uszczelnieniem wargowym. Posiadają obrót dźwigni 90° z luzem 45°. Zespół tego zaworu wyposażony jest w sprężynę centrującą sterowania przewencyjnego, centrowany sprężyną zawór obejściowy, regulator powietrza, interfejs zdalnego sterowania powietrznego, kable połączeniowe, elementy sygnalizacyjne oraz manometry lub mierniki do monitorowania różnych ciśnień w jednostce akumulatora. Wskazują one ciśnienie akumulatora, ciśnienie manifoldu oraz ciśnienie podawane na głowicę przeciwerupcyjną uniwersalną. Każdy 4-drogowy zawór sterujący ma aluminiową tabliczkę z oznaczeniami: nazwą funkcji oraz pozycją zamknięcia i otwarcia w relacji do położenia dźwigni. Zawory sterujące powinny być zawsze w pozycji otwartej lub zamkniętej. Nigdy nie należy zostawiać zaworów w pozycji środkowej, ponieważ blokuje to funkcje portu zaworu regulacyjnego. Gdy operuje się zaworem od zamknięcia do otwarcia, albo od otwarcia do zamknięcia, należy przestawiać rękojeść dźwigni jednym, szybkim ruchem. Przerwa spowoduje wewnętrzny przepływ w zaworze i zwolnienie operacji. Zawory sterujące z reguły wyposażone są w cylindry powietrzne, zapewniają więc całkowite zdalne sterowanie i monitorowanie z pulpitów powietrznych Systemu Sterowania BOP. Żeby zapewnić prawidłowe działanie, zawory sterujące i siłowniki pneumatyczne powinny być okresowo przeglądane.

4. PODSUMOWANIE

Chociaż urządzenia te zostały zaprojektowane tak, aby pracowały niezawodnie, wciąż zdarzają się problemy niewłaściwego doboru stacji sterowania do danego zestawu głowic przeciw-erupcyjnych. Ciśnienie płynu hydraulicznego zakumulowane w butlach akumulatorowych jest za pośrednictwem manifoldu sterującego podłączone do BOP na wylocie otworu wiertniczego i pomyłki mogą kosztować życie lub spowodować ogromne straty materialne. Właściwe zrozumienie działania Systemu Sterowania BOP jest bardzo ważne, żeby uniknąć zagrożenia życia i szkód materialnych w sytuacjach awaryjnych. Stacja sterowania musi posiadać taką pojemność butli akumulatorowych, która zapewni niezawodne i bezpieczne zamknięcie wylotu otworu. Dlatego prawidłowe obliczenie niezbędnej ilości płynu hydraulicznego i właściwe dobranie pojemności butli akumulatorowych jest czynnikiem bardzo istotnym.

Płyn dostarczany do butli akumulatorowych i wypływający z nich pod dużym ciśnieniem za pośrednictwem manifoldu zasilającego i sterującego musi mieć zapewnioną bezpieczną i bezporową drogę przepływu. Dlatego istotnym jest właściwe dobranie manifoldów pod względem wytrzymałościowym, aby występujące w przekrojach niebezpiecznych manifoldu (otwory) naprężenia i odkształcenia nie przekraczały wartości dopuszczalnych.

LITERATURA

- [1] API Spec 16D: Specification for Control Systems for Drilling Well Control Equipment
- [2] Artymiuk J., Bednarz S.: *System operacyjny stacji sterowania głowicami przeciw-erupcyjnymi*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, 21/1, 2004
- [3] Callegari S.R.: *5000 psi 7 Station Bottle Manifold Analysis*. SRC 2004
- [4] Materiały firmowe Hydac Technology Corporation
- [5] Materiały firmowe Cameron GmbH
- [6] Materiały firmowe CAD Control Systems