AGH DRILLING OIL GAS • Vol. 29 • No. 1 • 2012

Stanisław Bednarz*, Wojciech Teper**

NOWE ROZWIĄZANIE TECHNICZNE SIŁOWNIKA O DUŻYM SKOKU W ZASTOSOWANIU DO HYDRAULICZNYCH WYCIĄGÓW WIERTNICZYCH

1. WSTĘP

Jednym z najważniejszych podzespołów urządzenia wiertniczego jest układ wyciągowy, dzięki któremu realizowany jest postęp narzędzia wiercącego przy pomocy kolumny przewodu wiertniczego, jak również wykonuje się różnego rodzaju operacje wyciągania i zapuszczania, które są niezbędne, aby wykonać otwór wiertniczy lub przeprowadzić prace rekonstrukcyjne w odwiercie. Z uwagi na podział kolumny rur płuczkowych na tzw. pasy – odcinki złożone z 2, 3 lub 4 rur wysokość koniecznego skoku haka/głowicy może wynosić od 20 do 40 m.

Wyciąg wiertniczy umożliwia za pomocą określonych rozwiązań technicznych podniesienie i opuszczenie głowicy napędowej/elewatora na pewnym odcinku z określoną przez wymagania prędkością ruchu. Z reguły ten odcinek zawiera się w przedziale od paru do około 40 metrów długości w pionie (z opcją odchylenia od pionu). Obciążenia jakie przenosi układ wyciągowy i maszt zależą od wielu czynników m. in. od projektowanej głębokości wiercenia i związanego z nią ciężaru rur płuczkowych lub rur okładzinowych, dynamiki napędu, jak również od operacji uwalniania przewodu wiertniczego lub rur okładzinowych z przychwycenia. Obciążenia te wahają się od paruset kN w małych urządzeniach wiertniczych do ponad dziesięciu tysięcy kN (tysiąca T) w ciężkich urządzeniach wiertniczych stosowanych w przemyśle naftowym. Prędkości ruchu wahają się od 0 do 2,5 m/s w zależności od obciążenia, konstrukcji urządzenia wyciągowego i charakteru prowadzonych prac.

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

W skład układu wyciągowego wchodzi konstrukcja nośna lub prowadząca, w ramach której przemieszczają się elementy układu wyciągowego takie jak: hak wiertniczy z wielokrążkiem ruchomym, lub hak z wielokrążkiem i głowicą napędową; możliwe są także modyfikacje tych układów. Kolejnym składnikiem wyciągu są wielokrążki stałe lub krążki zamontowane w strukturze konstrukcji nośnej i najważniejszy element – wyciąg wiertniczy zamontowany u podstawy konstrukcji. Wyciąg wiertniczy poprzez cięgna (najczęściej liny) przewleczone przez układ wielokrążkowy umożliwia przemieszczanie przyłączonego do niego ciężaru. Ruch cięgna może powstawać w wyniku nawijania i odwijania z bębna wyciągu jak i z ruchu wsuwania i wysuwania siłownika lub siłowników hydraulicznych, które regulują położenie ciężaru zawieszonego na haku.

Bęben wyciągu może być napędzany poprzez przekładnie silnikami spalinowymi, lub elektrycznymi, albo, dość rzadko, silnikami hydraulicznymi. W takim rozwiązaniu wyciąganie odbywa się dzięki siłom napędowym silników, a opuszczanie i wiercenie najczęściej poprzez hamowanie zawieszonego ciężaru za pomocą hamulców taśmowych lub tarczowych oraz pomocniczych. W przypadku stosowania siłowników hydraulicznych wyciąganie odbywa się dzięki pracy pomp hydraulicznych tłoczących ciecz roboczą do siłowników, a opuszczanie i wiercenie poprzez sterowane zawory hydrauliczne.

Na świecie stosuje się nadal głównie klasyczne układy wyciągowe składające się ze stalowej konstrukcji nośnej, haka, wielokrążka ruchomego, głowicy napędowej, wielokrążka stałego, wyciągu wiertniczego i liny, która łączy te wszystkie elementy. Hydrauliczne układy wyciągowe występują głównie w małych mobilnych urządzeniach wiertniczych. Natomiast w przypadku ciężkich urządzeń do wierceń naftowych i poszukiwawczych udział hydraulicznych wyciągów jest niewielki, ale systematycznie się zwiększa na rynku zdominowanym przez klasyczne linowe układy wyciągowe.

2. HYDRAULICZNE UKŁADY WYCIĄGOWE Z SIŁOWNIKIEM HYDRAULICZNYM

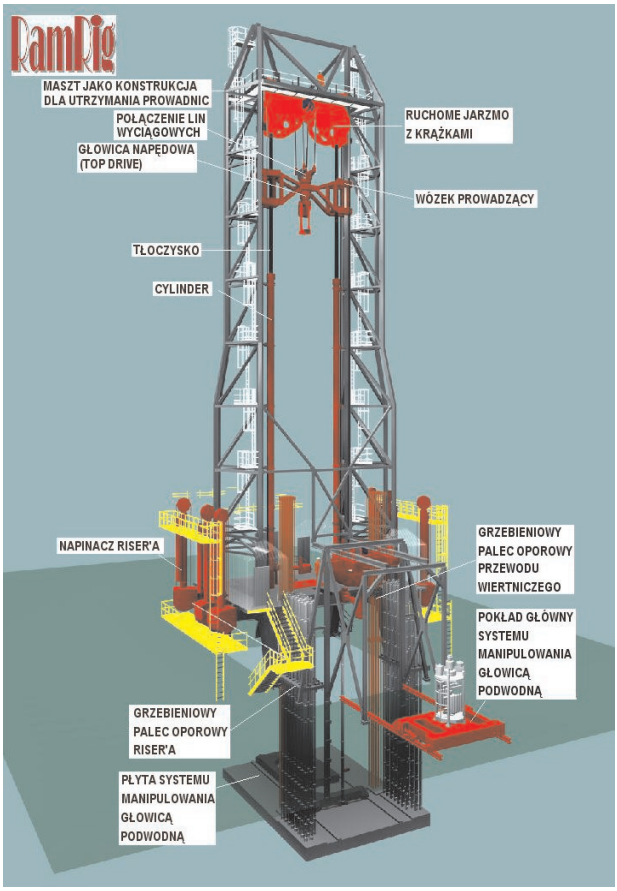
Hydrauliczne układy wyciągowe zaczęto stosować w urządzeniach do wierceń poszukiwawczych wody i geotechnicznych już na początku lat 50. W wierceniach naftowych wprowadzono je znacznie później, gdy przemysł maszynowy uporał się z problemem dokładności wykonania i szczelności układów hydraulicznych, przy znacznie większych rozmiarach i obciążeniach.

Przykładowo koncepcja wiertnicy z wyciągiem hydraulicznym lub inaczej masztu hydraulicznego do wierceń głębokich została opracowana w 1987 roku przez firmę Maritime Hydraulics [3]. Jednakże możliwości transmisji dużych mocy hydraulicznych były wtedy ograniczone, dlatego koncepcja ta została rozwinięta dopiero w 1994 roku jako Unit Rig, a następnie w 1998 roku jako MH RamRig™. Obecnie – pod tą nazwą – urządzenia te produkuje Aker Solutions [2].

Wiertnica ta powstała na podstawie rozwiązania konstrukcji nośnej jako masztu hydraulicznego i systemu linowego, co obrazuje rysunek 1. W skład urządzenia wchodzą dwa siłowniki o dużym skoku zamontowane w dolnej części konstrukcji, których tłoczyska spięte są w górnej części przesuwnym jarzmem przemieszczającym się w konstrukcji.

Wyciąganie i opuszczanie ładunków odbywa się za pomocą siłowników hydraulicznych zamiast klasycznych systemów wyciągowych [3].

Maszt hydrauliczny zasilany jest w ciecz roboczą centralnym systemem hydraulicznym składającym się z sześciu do czternastu pomp o tej samej wydajności [3]. Pojedyncza pompa jest w stanie uzyskać pełną siłę wyciągową, ale kosztem prędkości. Z tego też wynika, że można zaoszczędzić moc lub ją efektywnie rozdzielać dla większości operacji wiertniczych.



Rys. 1. System hydraulicznego układu wyciągowego zainstalowanego na platformie wiertniczej [4]

Ciecz robocza ze zbiornika w zależności od operacji technologicznych może być tłoczona do siłowników masztu hydraulicznego, odbierana z powrotem lub może przepływać (w układzie pracy kompensacyjnej siłowników) w systemie akumulatorów tłokowych i gazowych amortyzatorów ciśnieniowych, albo zasilać inne maszyny urządzenia wiertniczego np. głowicę napędową, hydrauliczną pompę płuczkową, urządzenia do manewrowania

rurami [5]. Operacjami wykonywanymi przez maszt hydrauliczny steruje operator z pulpitu sterowania za pomocą bloku aktywnych zaworów, regulując wydajność przepływu, ciśnienie oleju hydraulicznego, kierunki przepływu.

Zaletą systemu wyciągowego RamRig™ jest możliwość regeneracji energii, która polega na magazynowaniu energii hydraulicznej w akumulatorach hydraulicznych w trakcie cofania się siłowników. Zgromadzoną w ten sposób energię można wykorzystać do dodatkowych operacji. Dodatkowo akumulatory są ładowane przez pompy; magazynowanie energii jest wtedy niezależne od pracy urządzenia. Kolejną zaletą jest zmniejszenie wymiarów i masy zespołu wyciągowego. Wyciąg hydrauliczny posiada maszt lub wieżę stabilizującą ruch jarzma ze spiętymi końcami tłoczysk, dlatego też maszt lub wieża nie przenosi obciążeń pionowych lecz obciążenia skręcające pochodzące od głowicy napędowej („Top Drive"), dzięki czemu wyeliminowane jest stosowanie ciężkiej i masywnej konstrukcji masztu lub wieży. Obciążenia pionowe pochodzące od elementów zawieszonych na haku są przenoszone przez siłowniki hydrauliczne, co powoduje zmniejszenie liczby części składowych konstrukcji powyżej podłogi wiertniczej oraz redukcję wyposażenia stalowego. Przewód wiertniczy w tym rozwiązaniu jest magazynowany poniżej stołu wiertniczego, zmniejsza się przez to powierzchnia obciążenia wiatrem, a tym samym moment działający na konstrukcję morską. Maszt hydrauliczny zajmuje mało miejsca w porównaniu do klasycznego urządzenia wiertniczego, co ma znaczenie w przypadku platform i statków wiertniczych, gdzie miejsca jest zawsze mało.

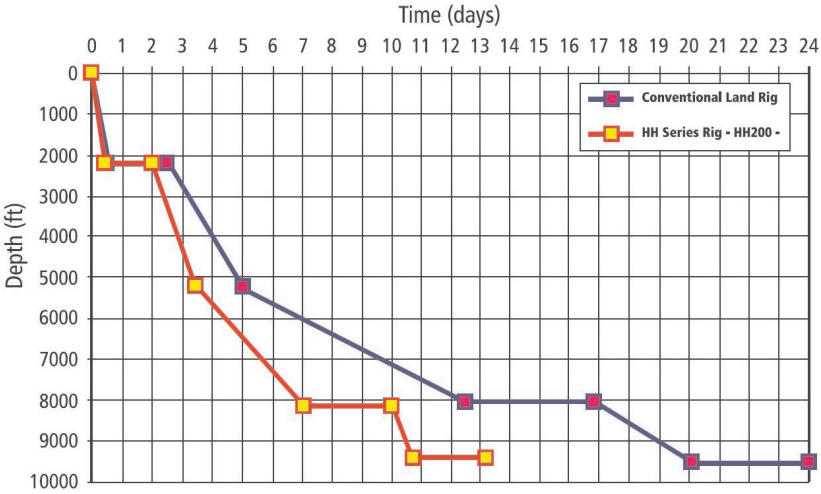
Inną zaletą jest możliwość stosowania jednej jednostki mocy hydraulicznej do napędu masztu hydraulicznego, głowicy napędowej obrotowej i innych urządzeń wiertnicy oraz wykorzystanie siłowników także do kompensacji ruchów platformy lub statku. Analiza czasochłonności poszczególnych operacji wykazała, że maszt hydrauliczny ustępuje klasycznemu wyciągowi wiertniczemu jedynie w operacjach zapuszczania i wyciągania przewodu wiertniczego.

Firma Drillmec rozpoczęła projektowanie nowej koncepcji urządzenia wyposażonego w maszt hydrauliczny w 1990 roku przechodząc od układów stosowanych w wiertnicach za wodą do urządzeń wiertniczych naftowych. Stopniowo wraz z nabywanym doświadczeniem zaczęła zwiększać udźwig na haku i wprowadzać coraz to nowsze rozwiązania. Obecnie na świecie pracuje ponad 100 urządzeń wiertniczych typu HH (fot. 1) (hydraulic hoist, czyli wyciąg hydrauliczny) o udźwigu na haku (hook load capacity) od 736 kN (75 T) do 5346 kN (545 T) [7].

Układ wyciągowy wykorzystuje jeden siłownik i działa on na tej samej zasadzie co poprzednio opisany, różnica pomiędzy nimi polega na tym, że w typie HH występuje 1 siłownik, a stabilizacja i szyny prowadzące dla głowicy napędowej wysuwają się przy pomocy tłoczyska wraz z wewnętrzną strukturą masztu.

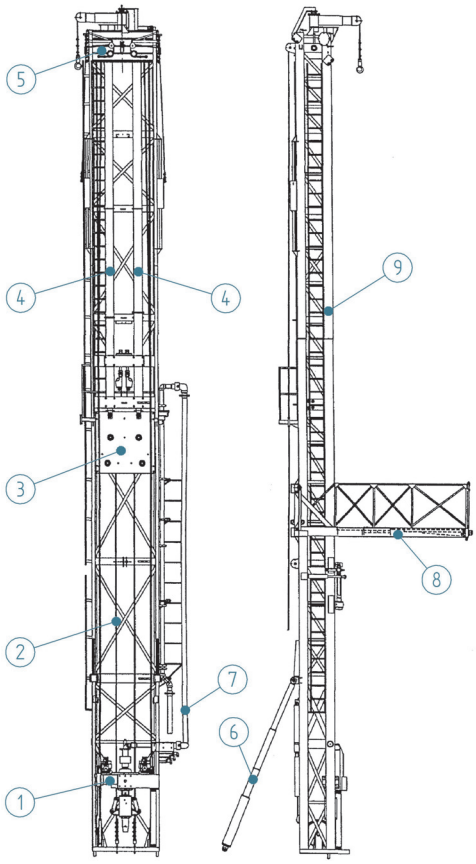
Wiertnica typu HH z hydraulicznym wyciągiem a przez to z dużą możliwością automatyzacji okazała się konkurencyjnym urządzeniem w stosunku do klasycznych urządzeń wiertniczych, co pokazuje porównawczy wykres (rys. 2).

Fot. 1. Urządzenie wiertnicze serii HH produkcji firmy Drillmec; z lewej strony widoczny magazyn z przewodem wiertniczym [7]



Rys. 2. Porównanie pomiędzy klasycznym urządzeniem wiertniczym a urządzeniem HH [7]

Hydrauliczny układ wyciągowy został także wykorzystany m. in. w urządzeniu wiertniczym GEFCO Speed Star 185K, które ma nominalny udźwig 823 kN (83914 kG). Zastosowano w nim dwa siłowniki, które wysuwają się w „dół" masztu (rys. 3). Wyciąg ma możliwość wywarcia nacisku na świder 133,5 kN (13608 kG). Skok głowicy napędowej to około 13 m. Długość jednego siłownika w stanie zsuniętym to 8,7 m., a masa w stanie opróżnionym z oleju 1406 kg.



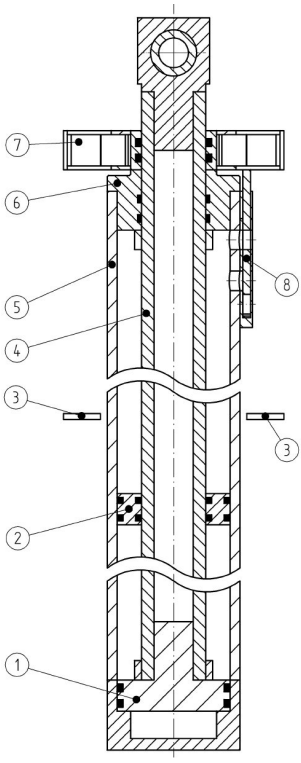
Rys. 3. Wyciąg hydrauliczny urządzenia GEFCO SpeedStar 185K [8]: 1 – głowica napędowa, 2 – liny nośne, 3 – jarzmo z czteroma kołami linowymi, 4 – siłownik hydrauliczny, 5 – korona masztu, 6 – siłownik teleskopowy do stawiania masztu, 7 – wąż płuczkowy, 8 – mostek wiertniczy, 9 – konstrukcja masztu

Tłoczysko siłownika ma przekrój rury. Energia mechaniczna z silnika spalinowego poprzez przekładnię pompową jest zamieniana za pomocą pomp hydraulicznych na energię hydrauliczną, która z kolei trafia poprzez zawory hydrauliczne do wyciągu, głowicy napędowej i różnych elementów pomocniczych w urządzeniu ulegając w nich przekształceniu na pracę ruchu postępowego i obrotowego.

3. OCENA MOŻLIWOŚCI ZWIĘKSZENIA UDŹWIGU SIŁOWNIKÓW WIELKOSKOKOWYCH I NOWE PODEJŚCIE KONSTRUKCYJNE

Siłownik hydrauliczny składa się z następujących podstawowych elementów: tłoczyska, tłoka, cylindra i zespołu uszczelnień. Siłownik dobiera się do obciążenia jakie ma przenieść z wymaganą prędkością oraz także do skoku tłoczyska. W wymienionych wcześniej układach wyciągowych występują siłowniki o dużym skoku, które przenoszą znaczne obciążenia osiowe. Z racji tego, że tłoczyska w tych siłownikach są prętami smukłymi (stosunek długości do wymiarów poprzecznych) oblicza się je na wyboczenie wg różnych metodyk. Wynika z nich taka prawidłowość, że im większy skok i obciążenie tłoczyska, tym większe jego wymiary poprzeczne, aby mógł przenieść wymagane obciążenie bez niebezpieczeństwa wyboczenia, które prowadzi do zniszczenia konstrukcji. Ale zwiększenie wymiarów poprzecznych to wzrost masy i kosztu ogólnego wykonania siłownika.

Znając te ograniczenia stworzono na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH nową konstrukcję siłownika hydraulicznego o dużym skoku (rys. 4), która została zgłoszona do Urzędu Patentowego RP w celu ochrony patentowej z pierwszeństwem od dnia 25 czerwca 2010 roku, numer P. 391625 [1].



Rys. 4. Siłownik hydrauliczny nowej konstrukcji o dużym skoku: 1 – tłok, 2 – stabilizator wewnętrzny, 3 – zabierak stabilizatora zewnętrznego, 4 – tłoczysko, 5 – cylinder, 6 – pokrywa cylindra górna, 7 – zewnętrzny stabilizator, 8 – rozdzielacz sterujący pracą stabilizatora wewnętrznego

Rozwiązanie wg rysunku 4 polega na zapobieżeniu zjawisku wyboczenia za pomocą stabilizacji tłoczyska *4* w jego skrajnych położeniach dzięki dwóm stabilizatorom przesuwnym *2, 7*. Stabilizator zewnętrzny *7* przesuwa się w strukturze konstrukcji, w której jest zamocowany siłownik. W stanie wysuniętym znajduje się w połowie długości wysuniętej części tłoczyska *4*. W stanie zsuniętym opiera się o pokrywę cylindra *6*. Stabilizator jest przesuwny względem konstrukcji i tłoczyska, a porusza się dzięki zabierakom *3* zamontowanym w konstrukcji. Z kolei wewnętrzny stabilizator *2* znajduje się wewnątrz cylindra *5* i ma postać uszczelnionego względem tłoczyska *4* i cylindra *5* pierścienia przesuwnego *2*. Gdy tłoczysko jest wsunięte, znajduje się on w połowie długości tłoczyska. Jak tłoczysko jest wysunięte, pierścień jest dociskany przez tłok *1* do górnej pokrywy cylindra *6*. Ruch stabilizatora wewnętrznego *2* odbywa się dzięki ciśnieniu cieczy roboczej wewnątrz cylindra i jest sterowany poprzez przykładowy rozdzielacz hydrauliczny *8* sterowany z kolei poprzez stabilizator zewnętrzny, a tym samym poprzez przesuwaną konstrukcję.

Zaletą tego rozwiązania jest zmniejszenie wymiarów poprzecznych tłoczyska, a tym samym zmniejszenie prawie dwukrotnie jego masy w stosunku do siłownika klasycznego przy tym samym skoku i sile obciążającej. Inna zaleta to zwiększenie prawie dwukrotne obciążenia siłownika w stosunku do klasycznego bez zmian jego wymiarów poprzecznych lub prawie dwukrotne zwiększenie skoku.

Aby sprawdzić poprawność założeń, wynikających z wcześniejszych obliczeń wytrzymałościowych, także w odniesieniu do działania układu, został zbudowany model laboratoryjny (fot. 2) w warsztatach P.P.U.H. „Remel" S.C. w Nowym Targu.

Fot. 2. Model laboratoryjny hydraulicznego wyciągu wiertniczego wyposażonego w siłownik nowej konstrukcji

Model zbudowany jest z elementów hydraulicznych stosowanych do budowy maszyn i urządzeń zawierających hydraulikę siłową i składa się z dwóch podzespołów połączonych wężami hydraulicznymi: agregatu hydraulicznego i wyciągu wiertniczego hydraulicznego. Cylinder został wykonany z PMMA, aby można było zademonstrować zasadę działania pierścienia stabilizującego. Model laboratoryjny potwierdził założenia twórców co do działania układu.

Przeprowadzono także analizę porównawczą pomiędzy siłownikiem bez stabilizacji stosowanym w dotychczasowych, opisanych powyżej, konstrukcjach wyciągów hydraulicznych i siłownikiem ze stabilizacją pod kątem zmniejszenia masy tłoczyska. Założono, że siłownik bez stabilizacji ma cylinder o średnicy zewnętrznej 632 mm i wewnętrznej 570 mm. Przyjęto, że tłoczysko jest w postaci rury o średnicy zewnętrznej 455 mm i średnicy wewnętrznej 330 mm. Skok wynosi 18 metrów, ciśnienie robocze 345 bar, a maksymalne obciążenie jednego tłoczyska wynosi 3910 kN, zaś masa części „skokowej" 10,89 ton. Natomiast w przypadku zastosowania stabilizacji masa części „skokowej" wyniesie 5,53 tony. Jak widać, przyniesie to znaczne oszczędności materiałowe i zmniejszy masę konstrukcji bez większego komplikowania układu hydraulicznego sterującego pracą siłownika. Rozpatrując jeszcze zwiększenie nośności tłoczyska ze stabilizacją i bez, przy tej samej średnicy, stwierdzono, że nośność tłoczyska znacznie się zwiększa. Obliczenia wykonano z wykorzystaniem normy PN EN 81-2-1998 [9] z modyfikacją uwzględniającą nowe utwierdzenie pręta.

Dodatkowym atutem tego rozwiązania jest zwiększenie pola powierzchni tłoka od strony tłoczyska co będzie miało wpływ na większą siłę cofania siłownika co ma niebagatelne znaczenie przy wierceniu pierwszych metrów otworu, gdzie wymagany jest duży docisk.

4. PODSUMOWANIE

1. Proponowana konstrukcja siłownika stwarza możliwości zwiększenia udźwigu lub zmniejszenia masy tłoczyska a tym samym całego siłownika i konstrukcji wyciągów wiertniczych hydraulicznych w urządzeniach do poszukiwań i wydobycia surowców mineralnych.
2. Nowa konstrukcja siłownika wychodzi naprzeciw dużemu, wg publikowanych dotychczas przez czynniki rządowe informacji, zapotrzebowaniu w kraju na urządzenia wiertnicze do wierceń za gazem ziemnym z łupków.
3. Proponowane rozwiązanie siłownika może znaleźć zastosowanie nie tylko w wyciągach hydraulicznych stosowanych w przemyśle wiertniczym, ale również we wszystkich maszynach i urządzeniach, w których występują siłowniki o dużym skoku i wysokiej obciążalności, a konieczna jest minimalizacja masy całej konstrukcji. Dotyczy to także siłowników o dużym skoku i małej obciążalności. Zmniejszenie masy ma wpływ na koszt ogólny wyrobu i jego konkurencyjność na rynku.

LITERATURA

[1] Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Kraków, Bednarz S., Teper W. P. 391625. *Siłownik hydrauliczny lub pneumatyczny o dużym skoku*. Biuletyn Urzędu Patentowego, nr 1 (992), 2012.

[2] Aker Solutions. Drilling Technologies. Catalog, 2011.

[3] Artymiuk J., Artymiuk E.: *Koncepcja RamRiG – analiza porównawcza z tradycyjnym urządzeniem wiertniczym.* I Międzynarodowa Konferencja. Techniki Urabiania, Kraków-Krynica, 2001.

[4] Artymiuk J.: *Nowa technologia poszukiwania gazu i nafty: stare wiertnie do lamusa.* Nafta & Gaz Biznes, nr 12, 2003.

[5] Artymiuk J.: *Kierunki rozwoju hydraulicznych napędów urządzeń wiertniczych.* IX międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna, Nowe Metody i Technologie w Geologii Naftowej, Wiertnictwie, Eksploatacji Otworowej i Gazownictwie, t. 2, Kraków 2–3 lipca, 1998.

[6] Artymiuk J., Bednarz S., Falbo G., Małozięć T.: *Development and implementation of drill rig hydraulic drives*. Półrocznik AGH. Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 24, z. 1, 2007.

[7] Drillmec: *Automatic Hydraulic Drilling Rigs HH Series Catalog.* Drillmec SPA, Piacenza, 2012.

[8] GEFCO: *Service Manual 185K*. Enid, Oklahoma 2007.

[9] PN-EN 81-2, 2002: *Przepisy bezpieczeństwa dotyczące budowy i instalacji dźwigów. Część 2: Dźwigi hydrauliczne*.