

SYSTEMY HYDRAULICZNE NA STATKACH MORSKICH - BEZPIECZEŃSTWO EKSPLOATACYJNE I EKOLOGICZNE

W artykule omówiono napędy hydrauliczne na statkach morskich według wybranych kryteriów. Zidentyfikowano zagrożenia eksploatacyjne oraz przedstawiono podstawowe zasady bezpiecznej eksploatacji systemów hydraulicznych na statkach.

WSTĘP

Statek morski jest zaawansowanym technicznie i technologicznie obiektem technicznym. Gwałtowny rozwój gospodarki światowej wymusił rozwój transportu morskiego, a tym samym floty. Wymagania stawiane warunkom przewozowym wymusiły głęboką specjalizację współczesnych statków. Od jednych wymagana jest zdolność do przewożenia wielkich ilości ładunku (zbiornikowce – ropowce, kontenerowce (Lo-Lo), wielkie samochodowce (Ro-Ro), od innych wymagana jest zdolność do obsługi jednostek wydobywczych i zdolności do utrzymywania pozycji (DP) lub manewrowości. Są to statki należące do floty (offshore: AHTV, SV, PSVs, WIV). Zmiany dotyczące wielkości statków, wielkiej ilości ładunku, olbrzymie furty rufowe i boczne, pompy o wielkim wydatku [1] oraz rozwiązania napędu głównego wymagający innych rozwiązań niż napęd za pomocą długiej linii wałów wymusiły prace badawcze nad poszukiwaniem innych napędów niż napęd mechaniczny. Oprócz napędów elektrycznych dużych mocy następuje dynamiczny rozwój hydrauliki służącej do sterowania procesami, stosowanej w postaci napędu silników hydraulicznych, siłowników i pomp hydraulicznych [1].

Ważnym trendem stosowania hydrauliki wysokociśnieniowej jest aplikacja hydrauliki jako napędu zaworów wylotowych spalin, śrub o skoku zmiennym, napędu pomp wtryskowych paliwa, sterowanie wtryskiem paliwa pod niespotykanym wcześniej tak wysokim ciśnieniem [11].

1. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU HYDRAULICZNEGO

W skład struktury organizacyjnej systemu hydraulicznego wchodzi elementy funkcjonalne umożliwiające zastosowanie tego systemu zgodnie z przeznaczeniem eksploatacyjnym [1, 6, 8, 10, 11]. Są to:

- silniki elektryczne, spalinowe tłokowe lub turbiny jako napędy pomp hydraulicznych,
- sprzęgła różnych typów korygujące nieosiowość napędów i pomp hydraulicznych
- pompy wporowe o stałej lub zmiennej wydajności,
- zawory hydrauliczne (rozdzielacze, zawory zwrotne, zawory bezpieczeństwa itp.)
- regulatory ciśnienia,
- akumulatory hydrauliczne,
- filtry oleju,
- zbiorniki oleju (cieczy roboczej)

- aparatura kontrolno – pomiarowa (manometry, termometry, wymienniki ciepła, przekaźniki, przetworniki, czujniki zmiany położenia, czujniki przepływu, i inne elementy,
- elementy wykonawcze (silnik obrotowy wporowy (tłoczkowy, zębaty, orbitalny), siłowniki różnego rodzaju (najczęściej cylindry z tłoczyskiem wykonującym ruch posuwisty)
- układ elektryczny (silniki elektryczne napędzające pompy hydrauliczne
- najnowsze systemy posiadają elektroniczny panel sterowania z interfejsem

Ponieważ w systemach hydraulicznych stosuje się wysokie ciśnienia (2,0 -150,0 MPa) medium roboczego (którym najczęściej jest olej hydrauliczny) instalacja hydrauliczna oraz urządzenia muszą charakteryzować się dużą szczelnością. Wymaga to starannego wykonania, montażu i eksploatacji zgodnej z dokumentacją producenta. Zapewnia to precyzyjne sterowanie ruchem siłownika oraz przewidywalność prędkości ruchu tłoka. Powietrze lub inne gazy w oleju lub w siłowniku powodują spienienie oleju hydraulicznego i jako ściśliwe powodują drganie medium co zakłóca pracę pomp, zaworów, siłowników i silników [6, 8].

Systemy hydrauliczne można podzielić według wielu kryteriów takich jak np. ciśnienie oleju hydraulicznego [5] (lekko obciążone – ciśnienie robocze do 16,0 MPa, średnio obciążone – ciśnienie robocze do 25,0 MPa, mocno obciążone – ciśnienie robocze do 40,0 MPa, bardzo mocno obciążone – ciśnienie robocze powyżej 40,0 MPa), ilość pomp w systemie (jednopompowe, wielopompowe), otwarte, zamknięte (w układzie otwartym cały strumień oleju przenoszący energię generowaną przez pompę splywa do zbiornika po oddaniu energii elementowi wykonawczemu, w układzie zamkniętym strumień nośnika energii generowanej przez pompę jest kierowany na stronę ssącą, a do zbiornika trafia strumień równy upustom i przeciekom). W pracy przyjęto kryteria przydatne w aspekcie aplikacyjnym, do których zaliczono:

- możliwość stosowania na wszystkich typach statków lub tylko na statkach konkretnych typów,
- wartość ciśnienia medium roboczego,
- przenoszone siły i momenty,
- zastosowane elementy wykonawcze,
- zdolność do szybkiej reakcji,
- charakter (stała, zmienna) i przedział czasu pracy.

2. ZASTOSOWANIE HYDRAULIKI NA STATKACH

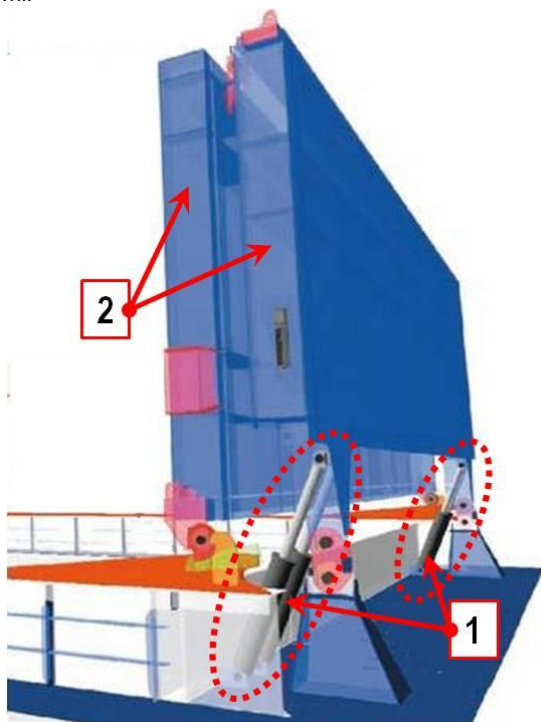
Na statku układy hydrauliczne stosowane są w następujących aplikacjach:

- do napędu maszyn sterowych,

- do napędu wind cumowniczych i kotwicznych,
- do napędu bomów ładunkowych i żurawi pokładowych,
- do otwierania i zamykania pokryw luku ładowni,
- do otwierania i zamykania drzwi, furt, włazów wodoszczelnych,
- do napędów części maszyn np. zaworów wylotowych spali, pomp wtryskowych, otwarcia, zamykania, sterowania przepustowością zaworów, itp.
- do napędu pomp ładunkowych na zbiornikowcach [1]

2.1. Systemy hydrauliczne pokryw luku ładowni

Pokrywy luku ładowni muszą być szczelne i przymocowane do kadłuba tak, aby podczas uderzeń fal nie uległy rozszczelnieniu. Na rys. 1. Przedstawiono System napędu hydraulicznego pokryw luków ładowni.



Rys. 1. System napędu hydraulicznego pokryw luków z zastosowaniem siłowników cylindrycznych dwustronnego działania [8]



Rys. 2. Elementy systemu hydraulicznego pokryw luków ładowni: 1. zespół pompowy elektryczno-hydrauliczny, 2. Blok hydraulicznych zaworów sterowniczych [8]

Cechy systemu hydraulicznego pokryw luków ładowni:

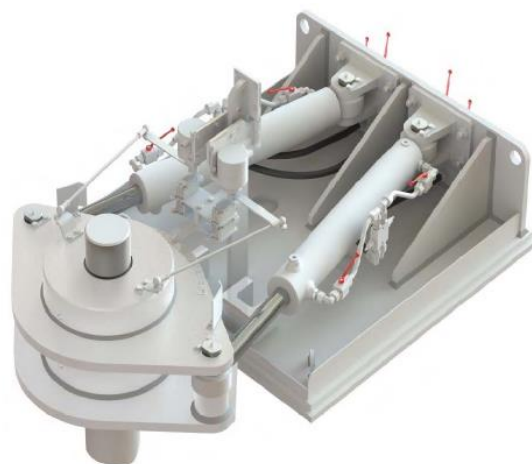
- możliwość stosowania na masowcach,
- wartość ciśnienia medium roboczego do ok 25,0 MPa,
- przenoszone duże siły i momenty,
- zastosowane elementy wykonawcze – siłowniki hydrauliczne,
- zdolność do szybkiej reakcji – nie jest wymagana,

- charakter (stała, zmienna) i przedział czasu pracy – praca zmienna ale nie wymagająca szybkich reakcji, czas do kilkunastu minut,
- Uwagi – przecieki oleju hydraulicznego mogą zanieczyścić wodę zaburtową.

2.2. Systemy hydrauliczne maszyn sterowych

W systemach maszyn sterowych najczęściej stosowanymi elementami wykonawczymi są siłowniki hydrauliczne różnych typów.

Na rys. 3. przedstawiono system z zastosowaniem dwóch siłowników cylindrycznych dwustronnego działania, o kącie obrotu na obie strony do 45°.



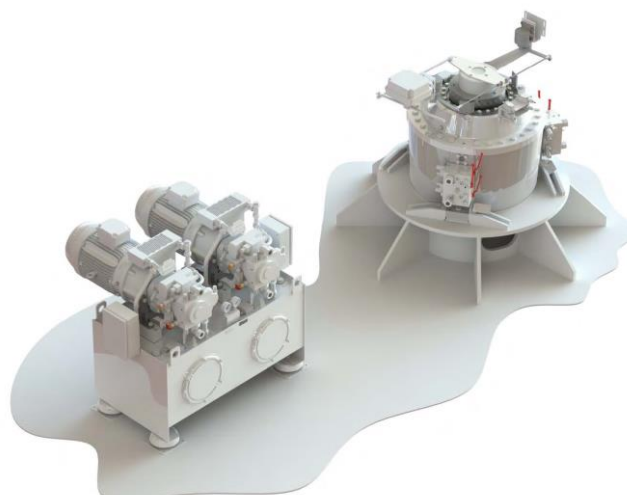
Rys. 3. System z zastosowaniem dwóch siłowników cylindrycznych dwustronnego działania [8]

Rozwiązanie takie wymaga dużo przestrzeni ze względu na wymiary siłowników.

Podczas wystąpienia awarii siłowników łatwy dostęp i łatwy demontaż elementów.

Na rys. 4. przedstawiono system z zastosowaniem siłownika obrotowego dwustronnego działania, o kącie obrotu na obie strony do 45°.

System ten zajmuje mniej przestrzeni. Jest konstrukcją bardziej zaawansowaną niż przy użyciu siłowników cylindrycznych.



Rys. 4. System z zastosowaniem dwóch siłowników cylindrycznych dwustronnego działania [8]

Podczas wystąpienia awarii siłownika wymagany demontaż całej pokrywy urządzenia.

Cechy systemu hydraulicznego maszyny sterowej [8]:

- możliwość stosowania na wszystkich typach statków
- wartość ciśnienia medium roboczego – powyżej 25,0 MPa,
- przenoszone siły i momenty – do ok. 150 kN
- zastosowane elementy wykonawcze – siłowniki hydrauliczne cylindryczne i obrotowe,
- zdolność do szybkiej reakcji – krótki czas reakcji, wg przepisów IMO czas wychylenia steru od 30° z jednej burty do 30° zadrużką burtę nie powinien przekraczać 30 sekund.
- charakter (stała, zmienna) i przedział czasu pracy – zmienna praca w przedziale czasu dochodzącym do kilku tygodni.

Uwagi: że względu na wielkie znaczenie urządzenia dla bezpieczeństwa statku i żeglugi elementy są dublowane oraz wymagane jest utrzymanie bardzo ostrych reżimów pracy i obsługi urządzenia. Szczególnie ważne są szczelność, czystość i temperatura oleju (dbałość o filtry).

2.3. Windy cumownicze i kotwiczne

Są to urządzenia znajdujące się na pokładzie na dziobie i na rufie statku. Są narażone na działanie fal morskich oraz warunków atmosferycznych.

Na rys. 5. Przedstawiono zdjęcie windy cumowniczo-kotwicznej o napędzie hydraulicznym.



Rys. 5. Winda cumowniczo-kotwiczna [7]

W związku z tym, że windy znajdują się na pokładach, przed użyciem trzeba przygotować system do pracy. Przepompowuje się olej w obiegu w celu oczyszczenia systemu, ogrzania oleju oraz zmniejszenia sił tarcia w ruchomych elementach systemu. Windy hydrauliczne cechują się dużą odpornością na przeciążenia.

Cechy systemu hydraulicznego windy cumowniczo-kotwicznej:

- możliwość stosowania na wszystkich typach statków,
- wartość ciśnienia medium roboczego do ok 25,0 MPa,
- przenoszone siły i momenty do 300 kN,
- zastosowane elementy wykonawcze – silniki hydrauliczne,
- zdolność do szybkiej reakcji – nie jest wymagana,
- charakter (stała, zmienna) i przedział czasu pracy – praca zmienna ale nie wymagająca szybkich reakcji, czas do kilku tygodni,

Uwagi – przecieki oleju hydraulicznego mogą zanieczyścić wodę zaburtową.

2.4. Bomy i żurawie pokładowe

Bomy (starsze rozwiązania, rzadko stosowane na współczesnych statkach) i żurawie ładunkowe znajdują się na pokładach, dlatego też przed użyciem trzeba przygotować system do pracy. Tak jak w przypadku wind cumowniczych i kotwicznych przepompowuje się olej w systemie w celu oczyszczenia systemu, ogrzania oleju oraz zmniejszenia sił tarcia w ruchomych elementach systemu.



Rys. 6. 1. Boma ładunkowa, 2. Żuraw pokładowy [7]

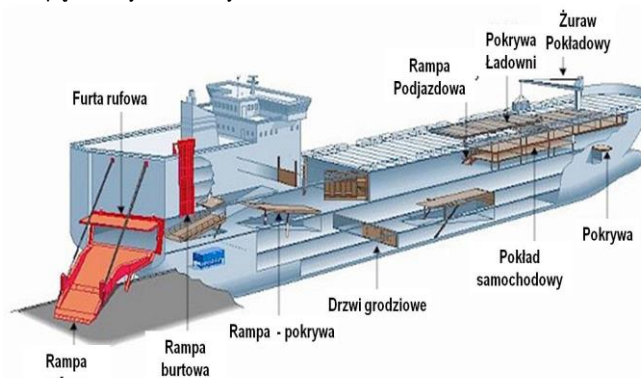
Cechy systemu hydraulicznego żurawia pokładowego:

- możliwość stosowania na statkach, które posiadają systemy hydrauliczne, żurawiki o mniejszym udźwigu mają najczęściej napęd elektryczny.
- wartość ciśnienia medium roboczego do ok 25,0 MPa,
- przenoszone siły i momenty – udźwig do 400 t,
- zastosowane elementy wykonawcze – silniki hydrauliczne,
- zdolność do szybkiej reakcji – nie jest wymagana,
- charakter (stała, zmienna) i przedział czasu pracy – praca zmienna ale nie wymagająca szybkich reakcji, czas do kilkunastu godzin,
- żurawie hydrauliczne cechują się dużą odpornością na przeciążenia.

Uwagi – przecieki oleju hydraulicznego mogą zanieczyścić wodę zaburtową.

2.5. Rampy i furty wodoszczelne

Rampy i furty stosowane są na statkach typu Ro-Ro. Ponieważ rampy muszą wytrzymywać duże obciążenia, do ich pozycjonowania stosowane są napędy hydrauliczne. Rampy można podzielić na wewnętrzne, znajdujące się wewnątrz kadłuba statku i zewnętrzne, mające bezpośredni kontakt ze środowiskiem morskim. Wszystkie elementy systemu hydraulicznego znajdują się najczęściej wewnątrz kadłuba. Na rys. 7. Przedstawiono zastosowanie furt i ramp o napędzie hydraulicznym na statku Ro-Ro.



Rys. 7. Rampy i furty na statku typu Ro-ro [5]

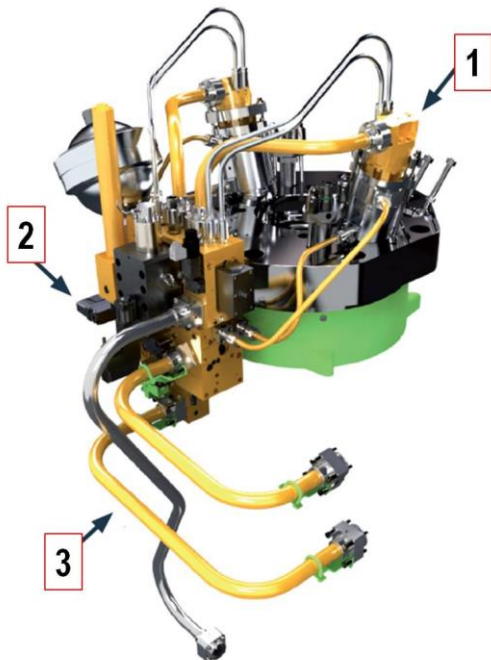
Cechy systemu hydraulicznego ramp i furt grodziowych:

- stosowane na statkach typu Ro-Ro, natomiast na wielu statkach stosuje się różnej wielkości furty wewnętrzne i zewnętrzne w przedziale siłowni,

- zastosowane elementy wykonawcze – siłowniki hydrauliczne napędzane pompami hydraulicznymi elektrycznymi lub ręcznymi,
- ciśnienie medium roboczego – 28 MPa
- nie jest wymagana zdolność do szybkiej reakcji, natomiast posiadają zabezpieczenia przed zbyt szybkim opadnięciem,
- charakter (stała, zmienna) i przedział czasu pracy – praca w krótkim czasie otwierania lub zamykania, chyba, że warunki w porcie wymagają stałych korekt.

2.6. Elementy silnika

W ostatnich latach nastąpił przełom w konstrukcjach silników okrętowych. Powstały silniki o rozrządzie elektronicznym (RT-flex, ME). Prowadzone są prace nad doskonaleniem projektu stosowania jednego rodzaju oleju w systemie obiegowym, turbiny, cylindrowym i hydraulicznym (zaworów wylotowych spalin, wtrysku paliwa, smarowania tulei cylindrowej). Na rys. 8. Przedstawiono głowicę cylindrową silnika ME wyposażoną w systemy hydrauliczne zaworów wtryskowych, sterowania zaworem wylotowym spalin.



Rys. 8. Głowica cylindrowa współczesnego silnika okrętowego sterowanego elektronicznie: 1. Zawory pilotowe paliwa, 2. Blok zaworów gazowych, 3. Rurociągi zasilające gaz i paliwa [9, 10]

Cechy systemu hydraulicznego silnika okrętowego:

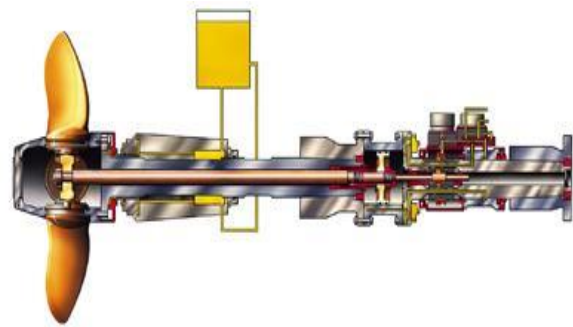
- możliwość stosowania na najnowszych typach silników,
- wartość ciśnienia medium roboczego – 100 MPa,
- zastosowane elementy wykonawcze – specjalne siłowniki,
- zdolność do szybkiej reakcji,
- charakter (stała, zmienna) i przedział czasu pracy – praca zmienna, o częstotliwości kilku Hz.

Uwagi: każdy podzespół silnika musi mieć specjalne filtry, a olej jest często kontrolowany i odświeżany przez uzupełnianie.

2.7. Śruby o skoku nastawnym

Śruby o skoku nastawnym są stosowane na statkach o relatywnie małym zanurzeniu, tj. na statkach pasażerskich, typu Ro-Ro oraz na mniejszych masowcach, kontenerowcach, zbiornikowcach. Systemy hydrauliczne są stosowane do napędu śrub nastawnych od wielu lat, ale wymagają ustawicznego doskonalenia. Na niezawodną pracę mają wpływ głównie czystość, lepkość i temperatura

oleju hydraulicznego oraz wymiary i kształt elementów mechanizmu okrętowej śruby napędowej.



Rys. 9. System hydrauliczny okrętowej śruby napędowej o skoku nastawnym [10]

Cechy systemu hydraulicznego śruby o skoku nastawnym:

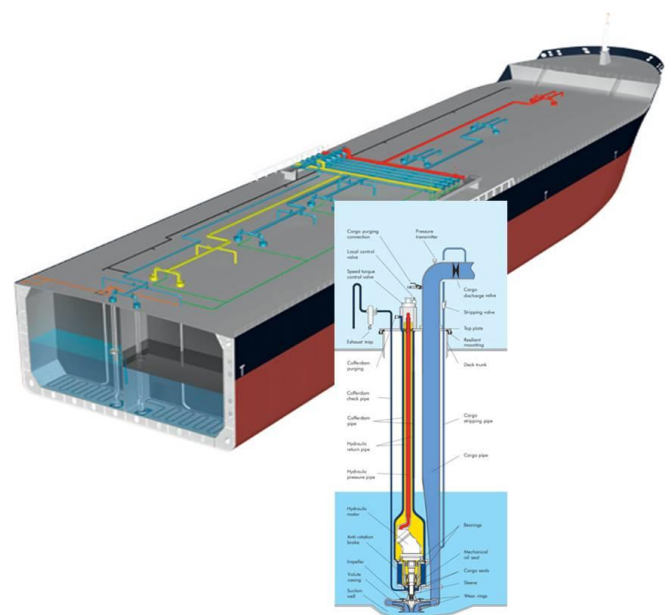
- możliwość stosowania tylko na statkach konkretnych typów, o relatywnie małym zanurzeniu,
- wartość ciśnienia medium roboczego od kilkunastu do kilkudziesięciu MPa,
- zastosowane elementy wykonawcze – pompy hydrauliczne,
- zdolność do szybkiej reakcji,
- charakter (stała, zmienna) i przedział czasu pracy – zmienna praca w przedziale czasu dochodzącym do kilku tygodni.

Uwagi: ze względu na wielkie znaczenie urządzenia dla bezpieczeństwa statku i żeglugi elementy są dublowane oraz wymagane jest utrzymanie bardzo ostrych reżimów pracy i obsługi systemu. Szczególnie ważne są szczelność, czystość i temperatura oleju (dbałość o filtry)..

2.8. Pompy ładunkowe

Żeby ograniczyć problemy z łożyskowaniem i pracą pomp ładunkowych o bardzo długich wałach napędowych na zbiornikowcach, zastąpiono je pompami o napędzie hydraulicznym [1].

Na rys.10. przedstawiono przekrój zbiornikowca z systemem ładunkowym oraz pompę ładunkową o napędzie hydraulicznym stosowaną na zbiornikowcach.



Rys. 10. Przekrój zbiornikowca z systemem ładunkowym oraz pompą ładunkową o napędzie hydraulicznym stosowaną na zbiornikowcach [6]

- Cechy systemu hydraulicznego pomp ładunkowych:
- możliwość stosowania na wybranych typach statków - zbiornikowcach,
 - wartość ciśnienia medium roboczego – 26 MPa,
 - zastosowane elementy wykonawcze – pompy hydrauliczne,
 - zdolność do szybkiej reakcji w celu regulacji lub zmiany prędkości obrotowej pompy,
 - charakter (stała, zmienna) i przedział czasu pracy – praca zmienna, o częstotliwości kilku Hz.

Uwagi: System musi mieć specjalne filtry, a olej jest często kontrolowany i w razie potrzeby odświeżany przez uzupełnianie. Nie wolno dopuścić do zapowietżenia systemu.

PODSUMOWANIE

Złożona budowa elementów systemów hydraulicznych, wysokie ciśnienia medium roboczego rzędu 150 MPa oraz zmienny co do wartości i częstotliwości charakter pracy wymaga zaawansowanych technologii i szczególnej dokładności wykonania, montażu i racjonalnej eksploatacji. Jest to niezmiernie ważne, ponieważ często wymienione systemy i urządzenia mają wpływ na bezpieczeństwo statku i żeglugi. W celu zadbania, aby maszyny i urządzenia hydrauliczne mogły być eksploatowane przez długi czas bezawaryjnie powinny być przestrzegane następujące zasady:

- eksploatatorzy powinni posiadać odpowiednie kompetencje,
- należy sprawdzać ilość i jakość oleju hydraulicznego (lub innego medium roboczego) oraz kontrolować parametry pracy takie jak temperatury, ciśnienia, przepływy
- należy kontrolować strukturę konstrukcyjną elementów mechanicznych,
- kontrolować poziom i rodzaj drgań [2], czystość i zawartość osadów na wkładach filtrów, szczelność układu
- ze względu na wysokie ciśnienia i zagrożenie pożarowe powinno być zachowane szczególne bezpieczeństwo we wszystkich fazach „życia” systemów hydraulicznych [3,4].

BIBLIOGRAFIA

1. Banaszek A., Wybrane elementy projektowania i eksploatacji hydraulicznych układów centralnego zasilania na współczesnych produktowcach i chemikaliowcach, Monografia habilitacyjna, Wydawnictwo Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, Szczecin 2013.
2. Łosiewicz Z. Banaszek A.: Węzły funkcjonalne okrętowego silnika spalinowego wolnoobrotowego wodzikowego jako źródła drgań, *Autobusy*. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe Nr 6/2016, s. 986-988
3. Łosiewicz Z. Kamiński W.: Analiza ryzyka” jako element proaktywnego systemu zarządzania bezpieczeństwem eksploatacji statków morskich, *Logistyka* Nr 6/2014, s.765-768.
4. Łosiewicz Z.: Wpływ czynnika ludzkiego na bezpieczną eksploatację statku w aspekcie różnych faz życia statków, *Technika Transportu Szynowego* Nr 12/2015 s.2307-2309.
5. <http://www.brightthubengineering.com/naval-architecture/11883-roll-on-roll-off-ships/>
6. www.framo.com
7. www.Full-Ahead.net
8. www.macgregor.com
9. mandieselturbo.com
10. www.marine.man.eu
11. www.wartsila.com

Hydraulic systems on maritime ships - operational and ecological safety

This article discusses hydraulic drives on marine vessels according to selected criteria. Operational hazards have been identified and basic principles for the safe operation of hydraulic systems on ships have been identified.

Autorzy:

dr hab. inż. **Andrzej Banaszek** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Techniki Morskiej i Transportu, Kierownik Zakładu Projektowania Jachtów i Statków
E-mail: Andrzej.Banaszek@zut.edu.pl

dr inż. st.of.mech.okr. **Zbigniew Łosiewicz** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Techniki Morskiej i Transportu, Katedra Inżynierii Bezpieczeństwa i Energetyki
E-mail: HORN.losiewicz@wp.pl, zbigniew.losiewicz@zut.edu.pl

mgr inż. **Tadeusz Mikuła**

TM ENGINES TADEUSZ MIKUŁA, Gdańsk,
e-mail: mikulat@poczta.fm