

SYSTEMY HYDRAULICZNE SILNIKÓW OKRĘTOWYCH - BEZPIECZEŃSTWO EKSPLOATACYJNE I EKOLOGICZNE

W artykule omówione zostały systemy hydrauliczne elektronicznie sterowanych silników spalinowych tłokowych dwusuwowych w aspekcie problemów eksploatacyjnych. Zwrócono uwagę na poprawę bezpieczeństwa ekologicznego.

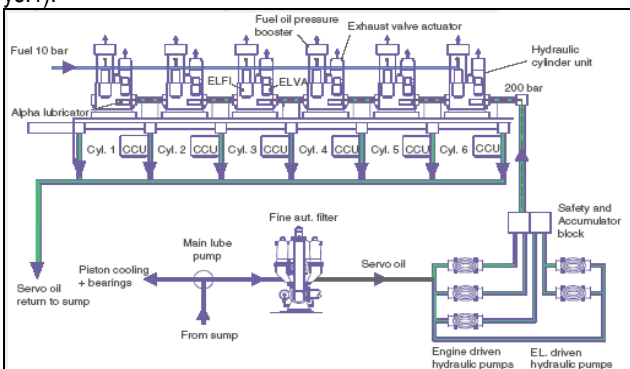
WSTĘP

Wdrażanie nowych rozwiązań technicznych i technologicznych w konstrukcjach okrętowych silników spalinowych, szczególnie napędu głównego na morzu wiąże się z ryzykiem awarii silnika i utratą napędu. Statek bez napędu traci sterowność, więc zdolność manewrowania, ustawia się bokiem do fali podczas sztormu ma małe szanse przetrwania. Często w rozwiązaniach morskich ze względów bezpieczeństwa stosuje się systemy dublowane. Można zastosować tę taktykę stosując w systemach dwie pompy, dwa filtry, ale nie można ze względów technicznych zastosować dublowanego systemu napędu hydraulicznego zaworu wylotowego spalin, lub dublować hydraulicznego systemu wtrysku paliwa są to elementy silnika, które zastąpiły dopracowane, niezawodne elementy mechaniczne. Dlatego przedstawiono hydrauliczne systemy silników sterowanych elektronicznie i dokonano analizy konsekwencji ewentualnej awarii tych systemów.

1. STRUKTURA ORGANIZACYJNA SILNIKA

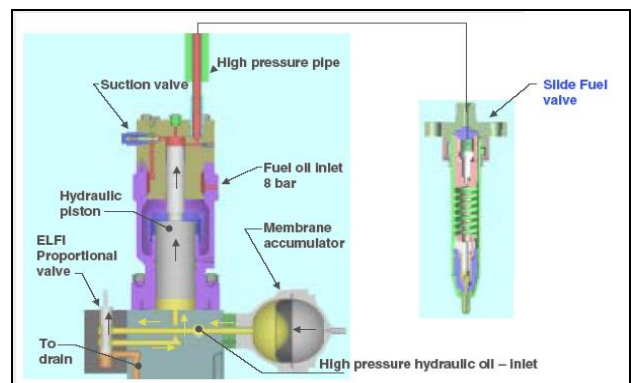
Idea elektronicznie sterowanego okrętowego tłokowego silnika spalinowego typu ME [9] oparta jest na zamianie napędu mechanicznego-krzywkowego na hydrauliczno-mechaniczny system napędu wtrysku paliwa oraz zaworów wylotowych.

Napęd hydrauliczno-mechaniczny jest kontrolowany i sterowany elektronicznie przez kompletny system kontrolny silnika - ECS („Engine Control System”). W systemie hydraulicznym jako medium użyto standardowego oleju smarowego. Olej jest filtrowany i sprężany do 20 MPa przez jednostkę „siłowego zasilania hydraulicznego” (HPS Hydraulic Power Supply unit) zamontowanego na silniku (rys.1).

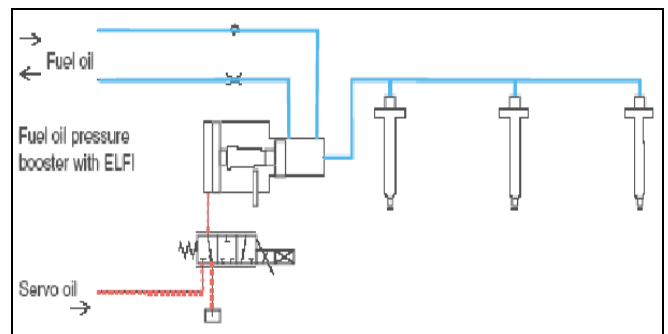


Rys. 1. Schemat systemu hydraulicznego [9]

Zastosowano niskociśnieniowy (0,08-0,1 MPa) system paliwowy CR (common rail) z indywidualnymi pompami paliwowymi wysokiego ciśnienia (80-100 MPa) dla każdego cylindra (rys. 2).



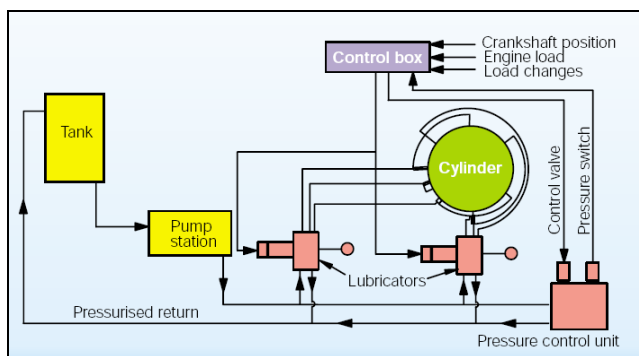
Rys. 2. Pompa paliwowa napędzana siłownikiem hydraulicznym [9]
Czas podawania oleju sterowniczego jest zależny od pozycji pracy zaworu proporcjonalnego, sterowanego elektronicznie (rys. 3).



Rys. 3. Sterowanie wtryskiem paliwa [9]

Każda pompa paliwowa jest sprzężona z hydraulicznym akumulatorem ciśnienia ograniczającym pulsację ciśnienia oleju hydraulicznego podczas pracy zaworu wtryskowego (rys. 2). Przez kontrolę elektronicznie sterowanych zaworów wtryskowych, zgodnie z chwilowym położeniem wału korbowego (zmierzonym przez układ sensorów), ECS w pełni kontroluje proces spalania

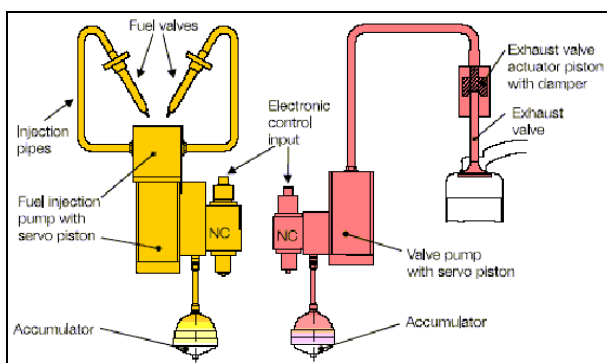
ACC system smarowania tulei cylindrowych - metoda ograniczania emisji cząstek stałych przez dostosowanie ilości cylindrowego oleju smarowego do obciążenia silnika do zawartości siarki w paliwie. Schemat ACC przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat systemu ACC [9]

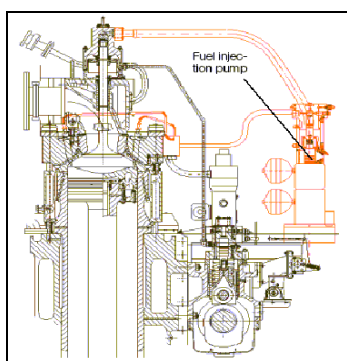
Cząstki stałe powodują zużycie pierścieni cylindrowych, tulei, rowków pierścieniowych tłoka oraz zapiekanie się pierścieni. Żeby zapewnić skuteczność działania tego systemu, trzeba wprowadzać do niego realne dane dotyczące paliwa, szczególnie zawartości siarki. Bywają problemy z tworzeniem się osadów na tulei cylindrowej.

Zawór wylotowy spalin jest otwierany hydraulicznie, przez dwupołożeniowy siłownik hydrauliczny sterowany położeniem elektronicznie sterowanego zaworu typu „On/Off” (otwórz/zamknij). Zawór wylotowy jest zamykany przez „sprężynę powietrzną” [11]. Na rysunku 6 pokazano instalację HPS sterowaną elektronicznie, stosowaną w koncepcji IE-inteligentnego silnika zamontowaną na konwencjonalnym silniku MC-C.



Rys. 5. Sterowanie hydrauliczne wtryskiem paliwa i zaworem wylotowym [11]

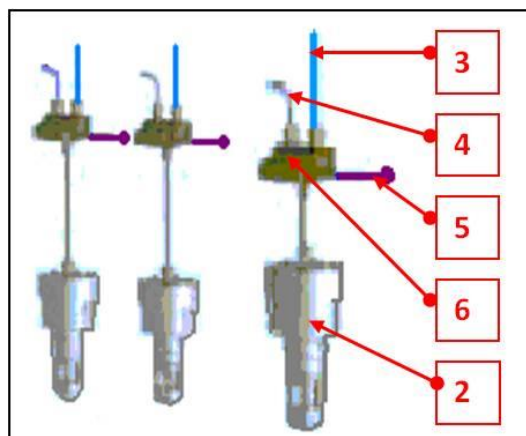
Oprócz prac badawczych przewidywano stosowanie takiego równoległego rozwiązania jako wariantu modernizacyjnego silników starszych generacji.



Rys. 6. Równoległe zastosowanie systemu IE na klasycznym silniku MC-C [11]

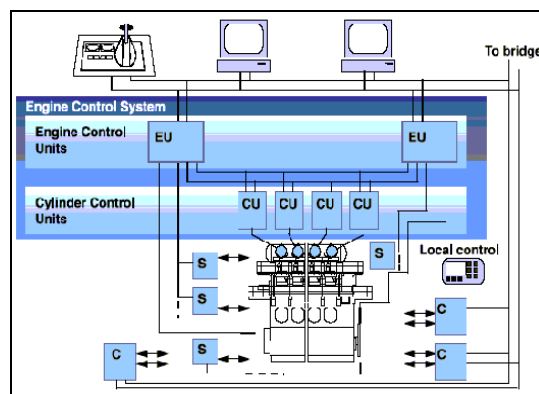
Elektronicznie sterowany zawór startowy jest otwierany pneumatycznie przez zamontowany na głównym kolektorze powietrza

startowego zawór dwupołożeniowy „Otwórz/Zamknij” (On/Off) - NC „normalnie zamknięty”, który umożliwia rozdział powietrza startowego z siłownikiem zaworu dystrybucyjnego (rys. 7).



Rys. 7. Sterowanie zaworami startowymi silnika ME: 2 - zawory startowe, 3 - zasilanie powietrzem sterowania, 4 - odpowietrzenie, 5 - połączenie z ECS, 6 - zawór NC [9]

Silnik ME ma kompleksowy system kontroli silnika ECS, w skład którego wchodzi zarówno oprzyrządowanie, jak i oprogramowanie aplikacyjne (rys. 8).



Rys. 8. System Kontrolny Silnika - ECS w koncepcji inteligentnego silnika „IE” [11]

ECS zastosowany do sterowania silnikami typu ME-C obejmuje:

- jednostkę kontrolną,
- jednostkę hydraulicznego zasilania siłowego, która zawiera:
- elektronicznie kontrolowany wtrysk paliwa,
- elektronicznie kontrolowaną aktywizację zaworu wydechowego,
- elektronicznie kontrolowane zawory powietrza startowego,
- elektronicznie kontrolowaną dmuchawę pomocniczą,
- elektronicznie zintegrowany sterownik funkcji,
- elektroniczny tacho system określający położenie wału korbowego oraz liczący obroty,
- elektronicznie kontrolowane Alpha smarowniki,
- Lokalny Panel Operacyjny (Local Operating Panel - LOP),
- system monitoringu ciśnienia cylindrowego „MAN B&W Diesel PMI”, typ PT/S (off-line),
- system monitoringu stanu silnika (Condition Monitoring System) CoCoS-EDS. Tak skomplikowany system w razie awarii bardzo ogranicza możliwość ingerencji załogi.

ECS pozwala na zmianę trybów pracy silnika („Engine running mode”) które mogą być wybierane automatycznie lub ręcznie przez operatora zgodnie z własnymi celami takimi jak „małe zużycie pali-

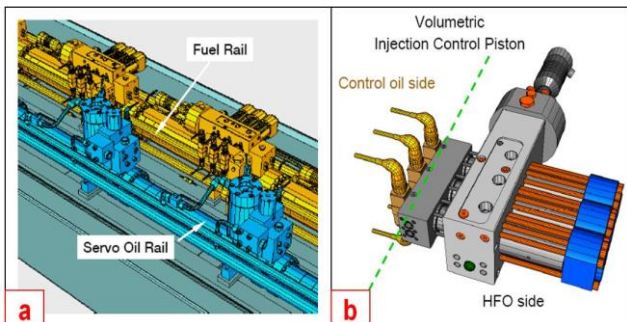
wa” czy „ograniczenie emisji gazów wylotowych”. Przerobienie odbywa się przy pomocy aplikacyjnego programu komputerowego.

Konstrukcja silnika Sulzer RT-flex oparta jest na konstrukcji silnika Sulzer RTA-T. Główną zmianą było zastąpienie rozrządu mechaniczno-krzywkowego rozrządem elektroniczno-hydraulicznym.

System paliwowy „Cammon Rail” (CR), umożliwia:

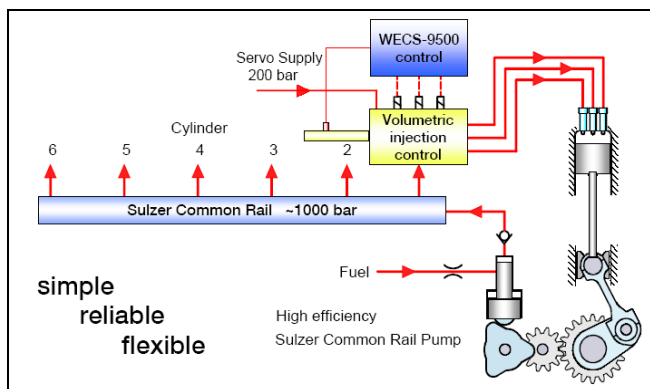
- kontrolę precyzyjnego dawkowania paliwa,
- różnorodne kształtowanie dawki paliwa,
- idealnie nadający się do spalania paliwa ciężkiego [10, 11],
- zasilanie przez wysokowydajne pompy paliwowe,
- wolny wybór ciśnienia wtrysku.

RT-flex przez połączenie systemu „Cammon Rail” ma zdolność pełnej elektronicznej kontroli, wysokiej skuteczności i niezawodności pomp i zamontowanych w systemie hydraulicznie sterowanych zaworów szybkiego działania (rys. 9).



Rys. 9. System Cammon Rail: a - fragment instalacji, b - jednostka paliwowa jednego cylindra z zaworami hydraulicznymi regulującymi dopływ paliwa [10]

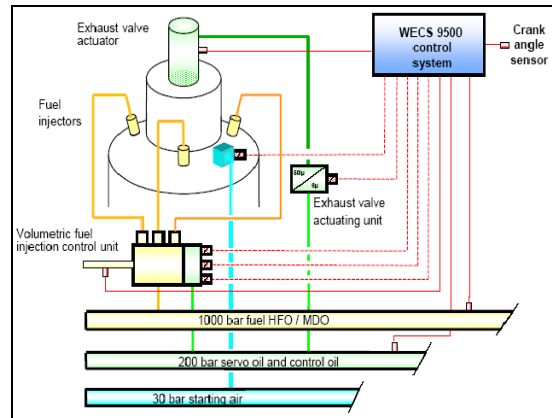
Wysokowydajna pompa paliwowa (sprawdzona w silnikach czteresurowych ZA 40S) napędzana jest za pomocą wielokarbowej krzywki współpracującej z kołem zębatym wału korbowego dostarcza odpowiednią ilość paliwa do systemu Cammon Rail pod normalnym dla tego systemu wysokim ciśnieniem (100 MPa) (rys. 10).



Rys. 10. Widok modułu zawierającego sześć jednostek zasilania zaworów wtrysku paliwa (z lewej) oraz dwóch jednostek zasilania układu oleju hydraulicznego (z prawej) [10]

Jednostka kontrolna reguluje czas wtrysku do każdego cylindra silnika zapewniając kontrolę objętości wtryskiwanego paliwa i tworzy model procesu wtrysku. Wymaga to dużej szczelności systemu.

Trzy zawory wtryskowe paliwa na poszczególnych głowicach cylindrowych są kontrolowane w taki sposób, że zależnie od potrzeb mogą być zaprogramowane do działania samodzielnie lub razem. Pozwala to na bezdymną pracę silnika nawet przy prędkości obrotowej 10-12 obr/min [10]. Jednak nie przy wszystkich typach zaworów wtryskowych paliwa załoga może odnawiać stan techniczny zaworów, Często musi robić to serwis producenta.

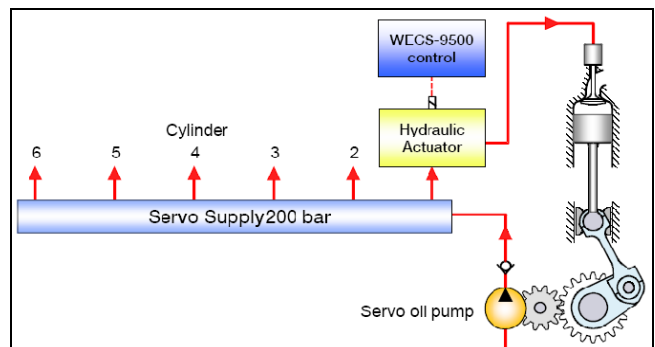


Rys. 11. Trzy zawory wtryskowe paliwa mogą pracować razem lub niezależnie [10]

System Sulzer Cammon Rail może pracować na najcięższym paliwie oraz największych ciśnieniach wtrysku [1, 10].

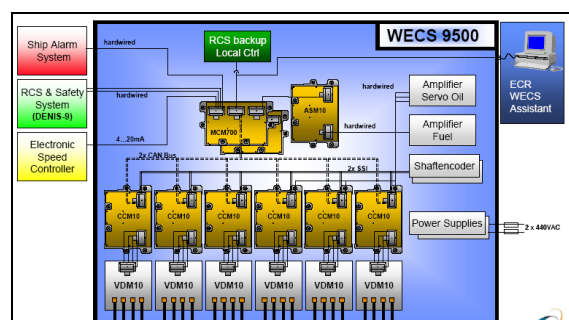
Zawory wylotowe napędzane są hydraulicznie. Pompa oleju zasilającego układ hydrauliczny o ciśnieniu 20 MPa napędzana jest za pomocą koła zębatego współpracującego z kołem zębatym wału korbowego. Układ hydrauliczny, obejmuje układ napędowy zaworów wylotowych (siłowniki hydrauliczne) oraz układ sterowniczy hydraulicznie sterowanych zaworów paliwowych (rys. 11).

Wykorzystanie zalet elektronicznego sterowania jest możliwe przy współpracy systemu wtrysku paliwa Cammon Rail i systemu hydraulicznego napędu zaworów wylotowych (rys. 12).



Rys. 12. System oleju hydraulicznego układu napędowego zaworów wylotowych oraz układu sterowniczego, hydraulicznie sterowanych zaworów paliwowych [10]

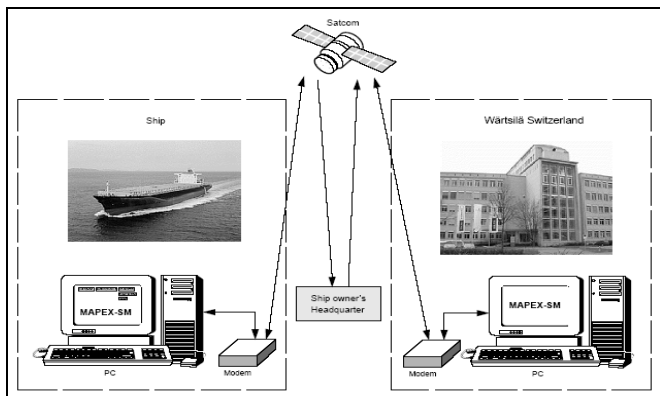
Podczas eksploatacji wysokociśnieniowych systemów paliwowych występują czasami problemy z drganiami systemów [3, 6, 7] które prowadzą do rozszczelnienia, a czasami do awarii. System olejowy silnika jest systemem klasycznym. Główny system olejowy obsługuje łożyska główne, korbowe, krzyżulcowe, oporowe silnika. Niezależne są systemy oleju cylindrowego oraz system turbosprężarki. Pracą silnika steruje system kontrolny WECS 9500 (rys. 13)



Rys. 13. Schemat systemu sterującego WECS 9500 [9, 11]

System WECS 9500 wchodzi w skład systemu diagnozującego i zarządzającego *CBM*). Z wbudowaną w system wiedzą ekspercką („expert knowledge”) [1, 9] silnik mógłby być zdolny do regularnego przewidywania trudności eksploatacyjnych i przez to utrzymywać wysoką niezawodność.

System *CBM* umożliwia korzystanie z wiedzy eksperckiej na burcie statku jak i pozwala na bezpośrednią współpracę z biurem armatora jak i producentem (rys. 14) [2].



Rys. 14. Schemat możliwości korzystania z systemu *CBM* [10]

PODSUMOWANIE

Wiedza producentów, zdobyta podczas prac badawczo-rozwojowych, z doświadczeń serwisowych oraz od użytkowników silników jest podstawą do bieżącego tworzenia i doskonalenia „wiedzy eksperckiej” systemów diagnostycznych. Jest to szczególnie ważne podczas eksploatacji systemów hydraulicznych wymagających dużej szczelności. Widać dużą ostrożność w stosowaniu wspólnego oleju do smarowania węzłów trybologicznych i stosowania jako oleju hydraulicznego. Wymaga to zastosowania dodatkowych filtrów przed ważnymi systemami hydraulicznymi oraz częste badania jakości oleju.

Poprzez ciągłą kontrolę działań mechaników systemy diagnostyczne zmuszają ich do ciągłego podnoszenia kwalifikacji. Dają możliwość instalowania na burcie statku programów instruktażowych, symulacyjnych oraz testów sprawdzających wiedzę i percepcję mechaników [2, 6]. Równocześnie umożliwiają firmom ubezpieczeniowym i klasyfikacyjnym ocenę prawidłowości obsługi silnika jak i umożliwiają producentom porównanie działań załogi maszynowej z zaleceniami ujętymi w programach systemu. Nie zastąpi to jakości wykonania systemów hydraulicznych. Ingerencja w te systemy oraz dokonywanie napraw w morzu jest bardzo ograniczona. Awaryjne zmuszają mechaników do podwieszania układów. Każdy demontaż przewodów hydraulicznych, lun bloków wymaga wymiany uszczelnień i korzystania z oryginalnych części zamiennych.

BIBLIOGRAFIA

1. Basic Principles of Ship Propulsion. MAN B&W Diesel A/S, 2005.

2. Gerhard H.J.: Condition-based maintenance for two-stroke engines, Marine News No 1-2003, Wartsila Corporation, Helsinki 2004.
3. Łosiewicz Z.: Przykładowe uszkodzenia na statkach morskich spowodowane drganiami – w aspekcie stochastycznych warunków eksploatacyjnych i ich wpływ na bezpieczeństwo statku, Technika Transportu Szynowego Nr 12/2015.
4. Łosiewicz Z.: Bezpieczeństwo pracy na morzu - weryfikacja kompetencji załóg w realnych warunkach zagrożenia pożarowego statku, Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe Nr 6/2016.
5. Łosiewicz Z.: Zbiory parametrów diagnostycznych do identyfikacji stanów technicznych okrętowego tłokowego silnika spalinowego, Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe Nr 6/2016.
6. 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.
7. Łosiewicz Z., Cioch W., Drgania na statku morskim – W aspekcie bezpieczeństwa eksploatacyjnego, Technika Transportu Szynowego Nr 12/2015.
8. Łosiewicz Z., Kamiński W., Practical Application of Ship Energy Efficiency Management Plan, Logistyka Nr 3/2014.
9. ME Engine - the New Generation of Diesel Engines. MAN B&W Diesel AS, Kopenhaga 2003.
10. Schmid H.: Marine engine Technologies for Reduced Emissions. Waste Heat Recovery, Wartsila Switzerland, Winterthur, 18 kwietnia 2005.
11. The Intelligent Engine. Development Status and Prospects. MAN B&W Diesel AS., Kopenhaga 2001.

Hydraulic systems of marine engines - operating and ecological safety

This article discusses the hydraulic systems of electronically controlled two stroke diesel engines in terms of operating problems. Attention has been paid to improving ecological security.

Autorzy:

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 Mięka**
TM ENGINES TADEUSZ MIĘKA
Gdańsk
e-mail: miekat@poczta.fm