

Tomasz LUS¹

PROBLEMY ZABEZPIECZENIA LOGISTYCZNEGO EKSPLOATACJI OKRĘTOWYCH TŁOKOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH W MW RP

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono problemy zabezpieczenia logistycznego eksploatacji okrętowych tłokowych silników spalinowych w MW RP w ostatnich latach. Omówione zostały zagadnienia związane z wdrażaniem do eksploatacji silników nowych typów jednostek pływających pozyskanych w ostatnich latach z Norwegii i USA oraz budowanych w polskich stoczniach. Problemy związane z utrzymaniem stanu technicznego silników wyprodukowanych w fabrykach w Rosji i w Polsce, które w ostatnim czasie zniknęły z rynku. Omówione zostały nowe strategie eksploatacji silników spalinowych we flotach handlowych i w marynarkach wojennych oraz możliwość ich implementacji do polskich warunków.

Słowa kluczowe: okrętowe tłokowe silniki spalinowe, eksploatacja, diagnostyka, zabezpieczenie logistyczne

WSTĘP

Zmiany ustrojowe, które miały miejsce na przełomie lat 80 i 90 skutkowały zmianami struktury sił zbrojnych naszego kraju. Znacznie zmieniły się liczby jednostek pływających eksploatowanych w poszczególnych Flotyllach, zmalał stan liczebny okrętów bojowych i jednostek pomocniczych. Znacząco zmalała liczba jednostek zabezpieczających eksploatację okrętów, zmalała liczba stocznii i zakładów remontowych pracujących na rzecz wojska, zmalała liczba kadry w samej MW, ale również w jednostkach związanych z remontami na rzecz MW.

¹ Tomasz LUS, kmdr dr inż., Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Mechaniczno-Elektryczny

Ostatnie lata przyniosły jeszcze istotniejsze zmiany organizacyjne w strukturze MW. Zlikwidowana została jedna z trzech Flotyli, 9FOW z Helu. Logistyka SZ RP ulega również systematycznej reorganizacji, co skutkuje powstaniem IW SZ w Bydgoszczy oraz TOTM w Gdyni. Przemysł stoczniowy w Polsce i związane z nim zakłady np. produkujące silniki okrętowe przeżywają bardzo poważny kryzys. Taka sytuacja wywiera silny wpływ na eksploatację okrętów wojennych w tym również na zabezpieczenie logistyczne eksploatacji okrętowych silników tłokowych.

NOWE TYPY SILNIKÓW NA OKRĘTACH MW RP

Wraz z pojawieniem się nowych typów okrętów w MW RP pojawiły się również nowe typy silników spalinowych, do których należą: silnik MB820 na okrętach podwodnych typu Kobben, silnik DD149 na fregatach typu Oliver Hazard Perry. Niektóre z okrętów i jednostek pomocniczych eksploatowanych od lat zostały w ramach remontów wyposażone w nowe typy silników – najczęściej w drodze wymiany silników typu BAH22 Sulzer i typu Wola H na silniki Cummins typu KTA19D(M). Zmiany w stosunkach Polska Rosja istotnie wpłynęły na zabezpieczenie logistyczne eksploatacji silników okrętowych pochodzących od producentów rosyjskich.

Silniki MB820 zainstalowane na OOP typu Kobben to stosunkowo stare sprawdzone w wieloletniej eksploatacji silniki produkowane na licencji firmy Mercedes-Maybach. MB820 jest 12-cylindrowym, 4-suwowym, szybkoobrotowym, niedoładowanym, pionowym silnikiem okrętowym w układzie „V” o zwartej i lekkiej budowie, którego komora spalania cechuje się posiadaniem komory wstępnej.

Silniki firmy Detroit Diesel typu DD149, stanowiące napęd generatorów na fregatach, są również konstrukcjami stosunkowo starego typu. Te 16-cylindrowe 2-suwowe silniki, które faktycznie składają się z dwóch połączonych w jedną całość 8-cylindrowych silników w układzie „V” rozwijają moc około 1 MW przy 1600obr/min. Na nowszych typach okrętów amerykańskich silniki DD149 zastępowane są silnikami firmy MTU serii 4000.

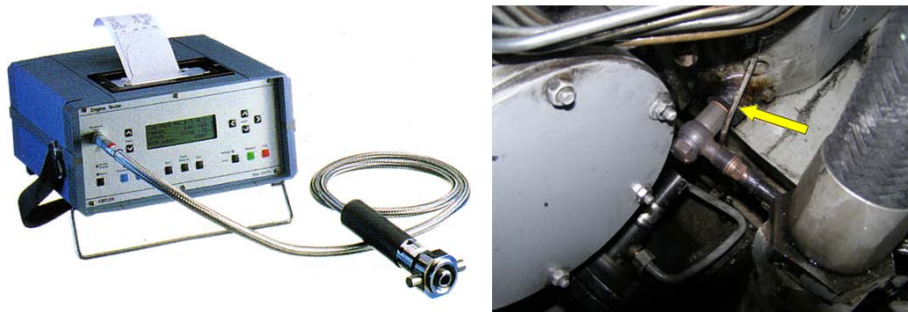
Tabela 1.

Podstawowe dane techniczne silników MB820, DD149, CT19

Lp.	Parametr / typ silnika			
1	Typ silnika	MB820	DD149	KTA19D(M)
2	Producent	Mercedes Maybach	Detroit Diesel	Cummins
3	Cykl pracy	4-s, nieładowany	2-s, ładowany	4-s, ładowany z chłodnicą pow.
4	Liczba i układ cylindrów	12 w układzie „V”	16 w układzie „V”	6 w układzie „L”
5	Moc znamionowa ciągła/ Prędkość obrotowa	600 KM/ 1400 obr/min	1 MW/ 1600 obr/min	0,403 MW/ 1500 obr/min

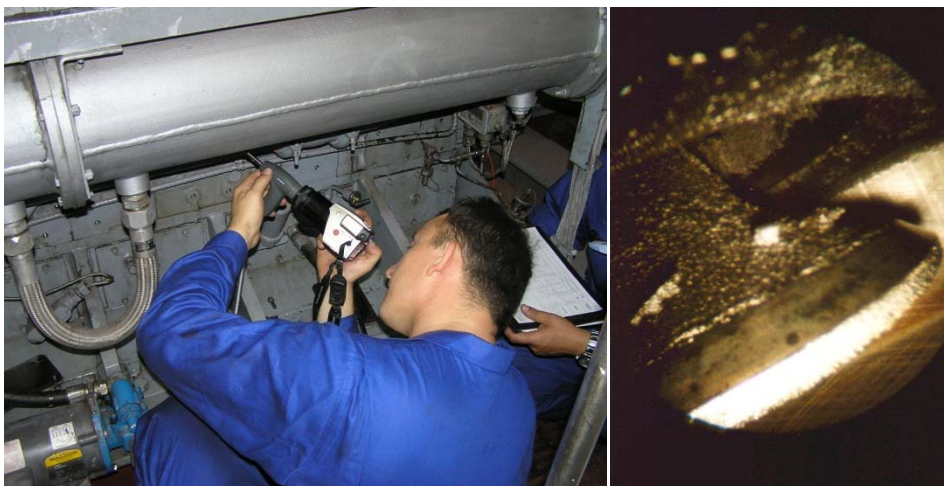
Silniki firmy Cummins typu KTA19D(M) od kilku lat są instalowane na modernizowanych jednostkach MW RP w miejsce starych typów silników rodziny BAH Sulzer i Wola H na licencji firmy Henschel. Silniki te są wyposażone w specyficzny system wtrysku paliwa typu PT o ciśnieniu wtrysku wynoszącym 1300 bar oraz elektroniczny regulator prędkości obrotowej. Doświadczenia z dotychczasowej eksploatacji silników KTA19D są zadowalające. Resurs silników do pierwszego przeglądu wynosi 18.000 do 24.000 godzin pracy. Jest to znaczący postęp w porównaniu z silnikami starszych typów, które miały rezerwy docelowe na tym poziomie.

Na okrętach projektu 660 zainstalowane są, jako silniki napędu głównego 4-suwowe, 56-cylindrowe silniki produkcji rosyjskiej fabryki ZVEZDA typu M520. Trałowce o kadłubach z tworzyw sztucznych eksploatowane w MW RP wykorzystują do napędu głównego silniki typu M401A produkowane w tej samej wytwórni, co silniki M520. Okręt podwodny Orzeł jest również wyposażony w silniki produkcji rosyjskiej typu 4-2DŁ42M.



Rys. 1. Urządzenie do pomiaru ciśnienia wewnątrz cylindrowego poprzez zawór indykatorowy oraz pomiar ciśnienia cylindrowego przez zawór dekompresyjny silnika typu MB820

Eksploatacja silników okrętowych zawsze stanowi jeden z najbardziej newralgicznych obszarów zabezpieczenia logistycznego w funkcjonowaniu jednostek pływających. Dostawy części zamiennych, specjalistyczny serwis silników zwykle stanowią trudny obszar działania służb logistycznych armatorów. W MW RP w ostatnich latach stosunkowo największe problemy z zakupem części zamiennych i znalezieniem wykonawców remontów występują w przypadku silników, których producenci znajdują się w Rosji. Jednym ze sposobów na zmniejszenie nakładów na eksploatację okrętowych tłokowych silników spalinowych w ostatnich latach w marynarkach handlowych i wojennych na świecie jest rozwój systemów monitoringu i diagnozowania silników. Badania i wdrożenia systemów diagnostycznych szczególnie na starszych typach okrętów mogą przyczynić się do zmniejszenia globalnych kosztów ich eksploatacji [1].



Rys. 2. Przegląd endoskopowy silnika DD149

METODY DIAGNOZOWANIA OKRĘTOWYCH TŁOKOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH

Metody badania diagnostycznego silników okrętowych w eksploatacji można generalnie podzielić na tzw. metody parametryczne i inne. Metody parametryczne mogą obejmować analizę tzw. parametrów wolnozmiennych i szybkozmiennych. Parametry wolnozmiennych to np. temperatury czynników roboczych: temperatura wody chłodzącej, temperatura spalin wylotowych z cylindrów czy ciśnienie oleju. Parametry szybkozmiennych to np. ciśnienia wewnątrz cylindrowe, ciśnienia wtrysku paliwa, przebiegi drgań towarzyszących pracy silnika [2].

Diagnozowanie silników na podstawie parametrów wolnozmiennych

Wszyscy producenci silników okrętowych wraz z dokumentacją techniczną dostarczają wyniki prób zdawczych, które zawierają zapisane najczęściej w postaci tabelarycznej wszystkie najistotniejsze parametry pracy silnika. Są to zestawione w sposób narastający od biegu jałowego, poprzez obciążenia 25, 50, 75, 100 i 110% znamionowej wartości temperatur spalin, oleju i wody. Ciśnienia oleju, wody, powietrza doładowującego i innych czynników. Podaje się również zmierzone zużycia paliwa i oleju cylindrowego oraz obliczone wartości takich parametrów jak moc, godzinowe i jednostkowe zużycie paliwa.

Obsługa siłowni w ramach czynności wykonywanych w czasie wacht ma obowiązek zapisywania w dzienniku maszynowym

najważniejszych parametrów i porównywanie ich wartości z wartościami zawartymi w protokole z prób zdawczych. Odstępstwa wartości parametrów przekraczających dopuszczalne granice wymuszają na obsłudze siłowni dokonywanie niezbędnych regulacji, wymiany zużytych części na nowe lub regenerowane itp. Na nowocześniejszych jednostkach dziennik maszynowy jest prowadzony w wersji elektronicznej a system monitoringu silnika w sposób automatyczny wykonuje to, co na starszych typach statków wykonuje załoga.

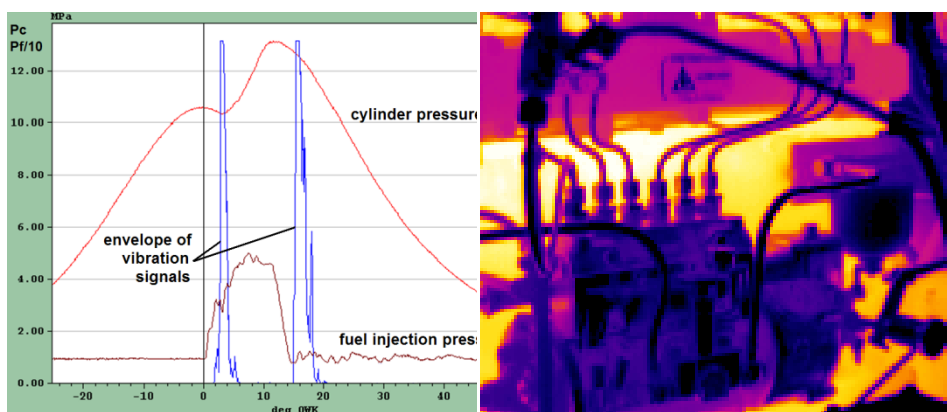
Diagnozowanie silników na podstawie parametrów szybkozmiennych

Parametry szybkozmiennie w procesie diagnozowania silnika to najczęściej ciśnienia wewnątrz cylindrowe, czasami ciśnienia w wybranych przekrojach instalacji wtryskowych paliwa oraz drgania wybranych elementów konstrukcyjnych silnika. Pomiar ciśnienia w cylindrach silnika dokonywany jest w tych silnikach, które wyposażone są w zawory indykatorowe. Znajomość przebiegu krzywej ciśnienia panującego w cylindrze [3] pozwala najlepiej ocenić przebieg procesu spalania – procesu najistotniejszego z punktu widzenia oceny efektywności pracy silnika. Najczęściej do pomiaru ciśnienia w cylindrze używa się czujników mocowanych okresowo na zaworach indykatorowych. Niekiedy czujniki ciśnienia mocowane są na stałe na zdwojonym zaworze indykatorowym, ale czas ich pracy jest ograniczony tylko do okresowego wykonania pomiarów – pozostały czas czujnik ciśnienia pozostając na zaworze indykatorowym jest odcięty od strumienia spalin zaworem zaporowym. W specyficznych przypadkach stosuje się nietypowe rozwiązania pomiaru ciśnienia: np. czujnikiem montowanym pod nakrętką śrub ściągowych, czujnikami montowanymi tuż pod powierzchnią ścianki głowicy cylindra od strony komory spalania – rozwiązania takie wymagają jednak częstego skalowania toru pomiarowego ciśnienia. Na rynku istnieje kilka firm, które dostarczają specjalizowane rejestratory ciśnień wewnątrz cylindrowych (Rys. 1). Niektóre z nich oprócz czujnika ciśnienia wymagają podłączenia czujnika położenia wału korbowego. W silnikach, które nie są standardowo wyposażone w zawory indykatorowe można w celu pomiaru ciśnienia wykorzystać zawory dekompresyjne.

Inne metody diagnozowania silników

Wśród innych metod diagnostycznych silników okrętowych wykorzystywanych od lat z powodzeniem przez armatorów można wymienić systematyczne analizy oleju smarowego silników. Do innych,

nowszych metod diagnozowania silników okrętowych, które taniej stają się bardziej dostępne dla armatorów można zaliczyć m.in. badania endoskopowe silników z wykorzystaniem boroskopów i fiberskopów (Rys. 2), badania z wykorzystaniem metod wibroakustycznych lub kamer termowizyjnych (Rys. 3) czy analizowanie składu spalin wylotowych silników z wykorzystaniem analizatorów gazów.



Rys. 3. Badania silników okrętowych z wykorzystaniem drgań i kamery termowizyjnej

Te i inne metody diagnozowania silników okrętowych stają się coraz częściej normą w siłowniach nowoczesnych jednostek pływających.

ZMIANY STRATEGII EKSPLOATACJI SILNIKÓW OKRĘTOWYCH

Przez wiele lat okrętowe silniki spalinowe w MW RP były eksploatowane według ilości wypracowanych godzin - był to tzw. *system obsługi planowych* (*PMS - Planned Maintenance System*) inaczej nazywanych obsługami planowo zapobiegawczymi. Po osiągnięciu określonego czasu pracy przez silnik dokonywano rutynowych przeglądów i regulacji, napraw bieżących, remontów średnich i głównych. Organizacja takiego sposobu eksploatacji jest stosunkowo prosta, ale wymaga dużych, trudno uzasadnianych nakładów. Ograniczanie nakładów na eksploatację, spowodowało praktyczne załamanie się systemu obsługi planowych szczególnie na poziomie remontu średniego czy kapitalnego realizowanych w stoczniach. Przeglądy i naprawy bieżące wykonywane na okręcie realizowane w tym systemie zostały utrzymane, jednak ich zakres jest ograniczany ze względu na oszczędności na częściach zamiennych i materiałach eksploatacyjnych. Na zmianę zakresu prac obsługowych

realizowanych na okręcie ma również wpływ zmiana warunków służby i pracy na morzu. Skróceniu ulega czas szkolenia specjalistycznego marynarzy a co za tym idzie obniża się fachowość członków załóg.

W tej sytuacji w dziedzinie eksploatacji najbardziej skomplikowanych urządzeń, jakimi są silniki okrętowe służby techniczne armatorów zaczęły przechodzić do nowego systemu ich eksploatacji, który można nazwać *eksploatacją według stanu technicznego* (CBM – *Condition Based Maintenance*). Taki system eksploatacji zapoczątkowany został w połowie lat siedemdziesiątych w USA, jako trzecia generacja systemu eksploatacji zorientowanego na niezawodność urządzeń.

System eksploatacji pierwszej generacji obowiązywał umownie do końca drugiej wojny światowej i polegał na podejmowaniu czynności naprawczych dopiero po wystąpieniu uszkodzenia urządzenia.

Druga generacja systemów eksploatacji zorientowanych na niezawodność powstała w trakcie i po drugiej wojnie światowej, kiedy to zaczęto produkować coraz więcej i coraz bardziej skomplikowanych maszyn i urządzeń. Ludzie i przemysł stawali się coraz bardziej uzależnieni od maszyn i masowej produkcji. Wzrost tej zależności spowodował, że czas przestoju uszkodzonych urządzeń stał się bardzo istotnym zagadnieniem i spowodował wykluczenie się idei, że uszkodzeniom urządzeń można i należy zapobiegać, co doprowadziło w efekcie do powstania koncepcji obsługi planowo zapobiegawczych PMS. W miarę wzrostu liczby produkowanych urządzeń i wzrostu liczby ich uszkodzeń koszty obsługi zapobiegawczych zaczęły ostro rosnąć w stosunku do ogólnych kosztów eksploatacji. Ten wzrost spowodował rozwój systemów planowania i kontroli w obszarze eksploatacji urządzeń. To z kolei pozwoliło poddać procesy eksploatacji kontroli i ustanowić odpowiednie praktyki z tym związane. Dominujący charakter rozkładu prawdopodobieństwa wystąpienia uszkodzenia urządzenia eksploatowanego w systemie drugiej generacji przedstawia tzw. „krzywa wannowa”. Załamanie tej generacji strategii eksploatacji na zachodzie wystąpiło w połowie lat siedemdziesiątych, ale w MW RP miało to miejsce dopiero pod koniec lat osiemdziesiątych.

Trzecia generacja strategii eksploatacji rozpoczęła się w połowie lat siedemdziesiątych wraz z procesem zmian w przemyśle. Coraz więcej uszkodzeń i awarii miało poważny wpływ na bezpieczeństwo i zmiany w środowisku naturalnym i nasze uzależnienie od urządzeń wzrastało jak również koszty ich użytkowania i posiadania. Rosły również koszty obsługi w liczbach bezwzględnych jak i w stosunku do całkowitych wydatków.

Większa efektywność kosztów, większe bezpieczeństwo, brak zagrożenia dla środowiska, dłuższa żywotność sprzętu i wyższa dostępność i niezawodność siłowni wszystkie te oczekiwania zostały zawarte w nowym podejściu do procesu eksploatacji. Ale najnowsze badania naukowe zmieniają wiele z naszych podstawowych przekonań, co do czasu eksploatacji i częstości występowania uszkodzeń urządzeń. W szczególności staje się na ich podstawie jasne, że jest coraz mniejsza zależność pomiędzy czasem pracy urządzenia i prawdopodobieństwem wystąpienia jego uszkodzenia.

Współczesny system eksploatacji typu CBM, zgodnie z normami ISO i IEEE powinien składać się z kilku istotnych elementów tj.: modułu czujnika, modułu obróbki sygnałów, modułu monitorowania stanu, modułu określania stanu technicznego urządzenia, modułu prognozującego, modułu wspierającego proces decyzyjny i modułu wyświetlającego. Nowo budowane silniki okrętowe są wyposażane w odpowiednie sensory umożliwiające efektywną pracę wszystkich kolejnych modułów stanowiących nowoczesny system eksploatacji silnika. Eksploatowane na starszych typach jednostek silniki zbudowane kilkanaście lub kilkadziesiąt lat temu nie są podatne diagnostycznie i niestety nie mogą być eksploatowane w systemie CBM bez dysponowania odpowiednio dla nich zbudowanymi systemami monitorującymi i diagnostycznymi. Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni prowadzi badania w celu opracowywania i budowy takich systemów oraz utrzymuje na bazie Katedry Siłowni Okrętowych zespoły specjalistów diagnostów okrętowych silników tłokowych i turbinowych.

WNIOSKI

Marynarka Wojenna RP, pomimo znaczącej redukcji liczby jednostek pływających, stopniowo jest wyposażana w coraz to nowe typy okrętowych tłokowych silników spalinowych. Część z pozyskiwanych silników to nowoczesne urządzenia, naszpikowane sensorami i elektroniką, dzięki temu przystosowane do wdrażania systemów monitoring i nowych strategii eksploatacji np. według stanu technicznego. Jednak znaczna część parku maszynowego MW to starsze typy silników spalinowych z konwencjonalnymi układami sterowania i zasilania. Silniki te, aby poddać je nowoczesnemu systemowi eksploatacji powinny być systematycznie badane z wykorzystaniem odpowiednio przystosowanych systemów diagnostycznych. Ocena stanu technicznego silników spalinowych jest bardzo złożonym procesem. To też istnieje konieczność pozyskiwania coraz to doskonalszych

urządzeń i metod diagnozowania silników w eksploatacji. Planując środki na eksploatację silników należy nie zapominać, że dysponując nawet najbardziej zaawansowanymi systemami monitoringu i diagnostyki nie zawsze do końca można uniknąć powstawania uszkodzeń silników.

Zastępowanie systemu eksploatacji silników okrętowych typu PMS nowym bardziej oszczędnym systemem typu CBM w MW RP powoli staje się faktem. Jednak nadal pozostaje wiele urządzeń, których eksploatacja musi odbywać się według starego systemu, według starej strategii. W tych przypadkach gdzie jest to możliwe można przy przechodzeniu do strategii eksploatacji typu CBM posilkować się nowymi metodami diagnostycznymi, które nie wymagają montażu na silnikach dodatkowych sensorów a ich cena i informacyjność stają coraz bardziej atrakcyjne. Pozyskiwanie dla MW RP nowych jednostek pływających powinno być powiązane z wdrażaniem nowoczesnych układów napędowych i elektrowni okrętowych dających się w prosty sposób włączyć w system obsługi wg. stanu technicznego - CBM.

LITERATURA

1. Clockers, T., Eykerman, A., Mayr, I., *Making the most of perfect maintenance timing, indetail*, Wärtsilä Technical Journal, 01.2010, pp. 57-60, Finland 2010.
2. Madej H., *Mechanical malfunction diagnostics in combustion engines masked Bay electronic governing device*, Institute Maintenance Technology Scientific Publisher – PIB, Radom 2009.
3. Wimmer A., Glaser J., *Engine Indication*, Institute of Technique Application Publisher, Warsaw 2004.

**LOGISTIC SUPPORT PROBLEMS IN MARINE DIESEL ENGINES
MAINTENANCE IN THE POLISH NAVY**

ABSTRACT

Problems connected with logistics support of marine diesel engines maintenance in the Polish Navy in the last few years are presented in the paper. Issues connected with new engines types' gained together with new vessels acquired from Norway and USA and constructed in Poland are also described. Problems connected with technical condition preservation of diesel engines which were manufactured in Russia and in Polish factories which are no longer exist are shown in this article. New marine diesel engines maintenance strategies in the world merchant fleet and other navies and possibilities of their implementation into the Polish Navy are presented in the paper.

Keywords: *marine diesel engine, maintenance, diagnostics, logistic support*