

Zbigniew Korczewski

BADANIA DIAGNOSTYCZNE OKRĘTOWYCH TŁOKOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH

STRESZCZENIE

W artykule scharakteryzowano zakres badań naukowych podejmowanych w Instytucie Konstrukcji i Eksploatacji Okrętów Akademii Marynarki Wojennej, które tradycyjnie były ukierunkowane na szeroko rozumianą eksploatację maszyn i urządzeń okrętowych, w tym między innymi na rozwijanie metod oceny stanu technicznego silników okrętowych, i nie tylko, w warunkach ich eksploatacji na okręcie. Zaprezentowano zagadnienia naukowe dotyczące diagnostyki okrętowych tłokowych silników spalinowych, które są realizowane w IKiEO w chwili obecnej.

WSTĘP

Początki działalności Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Okrętów, jako kierunkowej jednostki organizacyjnej Wydziału Mechaniczno-Elektrycznego Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni, kształcącego inżynierów eksploatatorów siłowni okrętowych sięgają 1957 roku, kiedy to w wyniku kolejnej restrukturyzacji ówczesnej Wyższej Szkoły Marynarki Wojennej został zniesiony podział na fakultety. Na ich miejsce utworzono wydziały, w tym Wydział Techniczny. Pod koniec 1957 roku, w ramach tegoż wydziału, została utworzona Katedra Silników Spalinowych, której kierownictwo powierzono kapitanowi marynarki magistrowi inżynierowi Stanisławowi Rutkowskiemu, a w 1965 roku utworzono na Wydziale Technicznym Studium Eksploatacji Okrętów pod kierownictwem komandora porucznika doktora inżyniera Zbigniewa Zaczka. Zakres badań naukowych realizowanych w tych jednostkach organizacyjnych był ściśle związany z zagadnieniem racjonalnego sterowania procesem eksploatacji silników okrętowych, będących wówczas na wyposażeniu marynarki wojennej. Już wtedy szefostwo Techniki i Zaopatrzenia Marynarki Wojennej dostrzegало celowość powołania w Wyższej Szkole Marynarki Wojennej doświadczonego zespołu ekspertów wyspecjalizowanego w najnowocześniejszych metodach oceny stanu technicznego maszyn okrętowych.



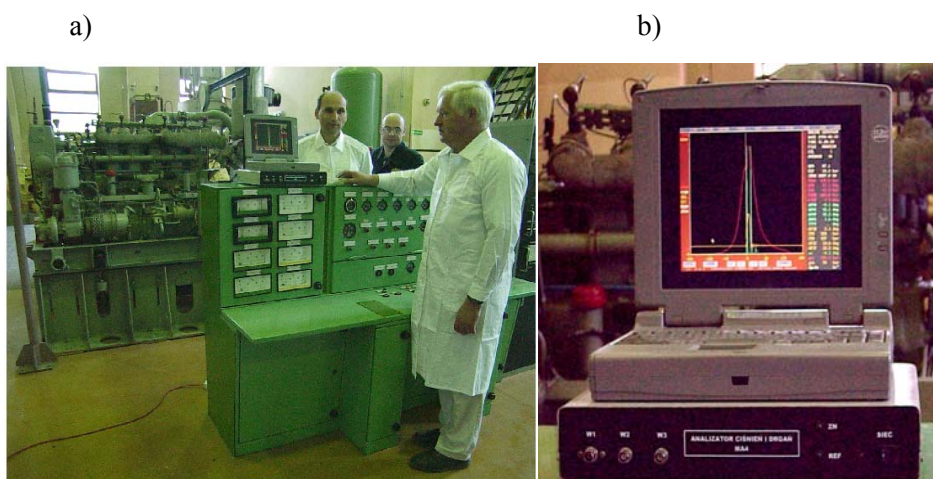
Fot. 1. Stanowiska hamowni silników okrętowych Sulzer typu 6AL20/24 i Henschel typu 57H6Aa w laboratorium IKiEO

DIAGNOSTYKA SILNIKÓW OKRĘTOWYCH – RYS HISTORYCZNY

Od roku 1982 w ówczesnym Instytucie Technicznej Eksploatacji Okrętów AMW zrealizowano szereg prac naukowo-badawczych dotyczących diagnozowania okrętowych tłokowych silników spalinowych. Podejmowana tematyka inspirowała działania zmierzające do opracowania skutecznych i kompleksowych metod diagnostycznych możliwych do zastosowania w warunkach eksploatacji silników na okręcie. Celem strategicznym było przejście do eksploatacji według stanu technicznego. Zaowocowało to wdrożeniem do systemu eksploatacji okrętów Polskiej Marynarki Wojennej bazowego systemu diagnostycznego, którego koncepcja i wykonanie były wynikiem projektów realizowanych pod kierownictwem komandora rezerwy doktora inżyniera Stanisława Polanowskiego (rys. 1.):

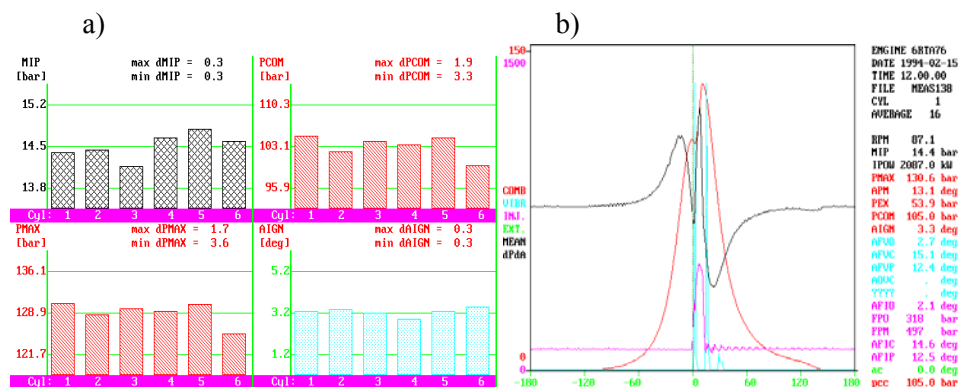
- projektu celowego nr 148-39/C-SO/93 pt. *Bazowy system diagnozowania i prognozowania stanu technicznego tłokowych silników spalinowych*;
- projektu badawczego nr 9T12D00211 pt. *Metoda diagnozowania głównych układów konstrukcyjnych silników i sprzężarek tłokowych z wykorzystaniem analizy obwiedni drgań w dziedzinie kąta obrotu wału korbowego*.

Od 1992 roku są prowadzone systematyczne badania diagnostyczne wszystkich typów silników tłokowych stosowanych do napędu polskich okrętów wojennych. Okresową ocenę stanu technicznego silników realizuje doświadczony zespół naukowy, wyspecjalizowany w stosowaniu najnowszych metod diagnostycznego działania w trudnych warunkach okrętowych. Podstawą realizacji badań jest kolejne indykowanie cylindrów silnika w stanie pracy ustalonej na reprezentatywnych zakresach obciążenia. Z wykorzystaniem specjalistycznych analizatorów wielkości szybkozmiennych [10] przeprowadza się porównawczą (między poszczególnymi układami cylindrowymi) analizę statystyczną i merytoryczną rozwiniętych wykresów indykatorowych, przebiegów przyspieszeń drgań generowanych pracą mechanizmów związanych z układem cylindrowym transmitowanych do punktu pomiaru na powierzchni głowicy oraz przebiegów innych wielkości charakteryzujących procesy robocze w cylindrach silnika, sporządzonych w dziedzinie kąta obrotu wału korbowego (rys. 2.). Wyznaczane w ten sposób miary diagnostyczne: średnie ciśnienie indykowane, moc indykowana, maksymalne ciśnienie spalania, szybkość wzrostu ciśnienia wewnątrzcyldrowego $dp/d\varphi$ itp. dają ważną informację o ogólnym stanie technicznym elementów konstrukcyjnych zespołu komory spalania. Wyniki badań są wykorzystywane w analizie trendów do oceny zmian stanu technicznego silników i do wypracowania decyzji eksploatacyjnej w sensie wytycznych do dalszego ich użytkowania.



Rys. 1a. Zespół diagnostyczny dr. inż. Stanisława Polanowskiego przy stanowisku badawczym układów cylindrowych silnika Henschel

1b. Analizator ciśnień wewnątrzcyldrowych



Rys. 2. Przykładowe wyniki badania zespołu komory spalania silnika;
 a) wykresy słupkowe zmierzonych i obliczeniowych parametrów diagnostycznych;
 b) przebiegi parametrów procesów roboczych w cylindrze w funkcji kąta obrotu wału korbowego silnika

Obecnie realizowane badania umożliwiają prowadzenie eksploatacji według stanu technicznego blisko 100 silników okrętowych eksploatowanych w Marynarce Wojennej RP. Rocznie dokonywanych jest średnio 75 – 80 ekspertyz stanu technicznego silników okrętowych [7, 11], przy czym systemem diagnostycznym objęte zostały tylko te silniki, które standardowo wyposażone są w zawory indykatorowe.

DIAGNOSTYKA ENDOSKOPOWA

Nowoczesne silniki okrętowe są wyposażane w coraz doskonalsze systemy kontrolno-pomiarowe mierzące parametry charakteryzujące stan ich obciążenia. Pomimo tego, w praktyce eksploatacyjnej znane są przypadki poważnych uszkodzeń silników, których pierwotne przyczyny nie zostały wykryte w odpowiednim czasie. Przykładowo uszkodzenia spowodowane przez nadmierne drgania jako rezultat utraty stabilności układu mechanicznego – i w konsekwencji zjawiska rezonansu.

Trudności rozpoznawania uszkodzeń okrętowych silników spalinowych na podstawie zmian wartości parametrów termogazodynamicznych, charakteryzujących realizowane procesy robocze, są związane z właściwą interpretacją symptomów. Często są one identyfikowane jako symptomy naturalnego procesu starzenia, zanieczyszczenia lub zużycia elementów silnika, zdeterminowane czasem jego eksploatacji. Zewnętrzne objawy w takich przypadkach są zazwyczaj zbieżne i trudne do

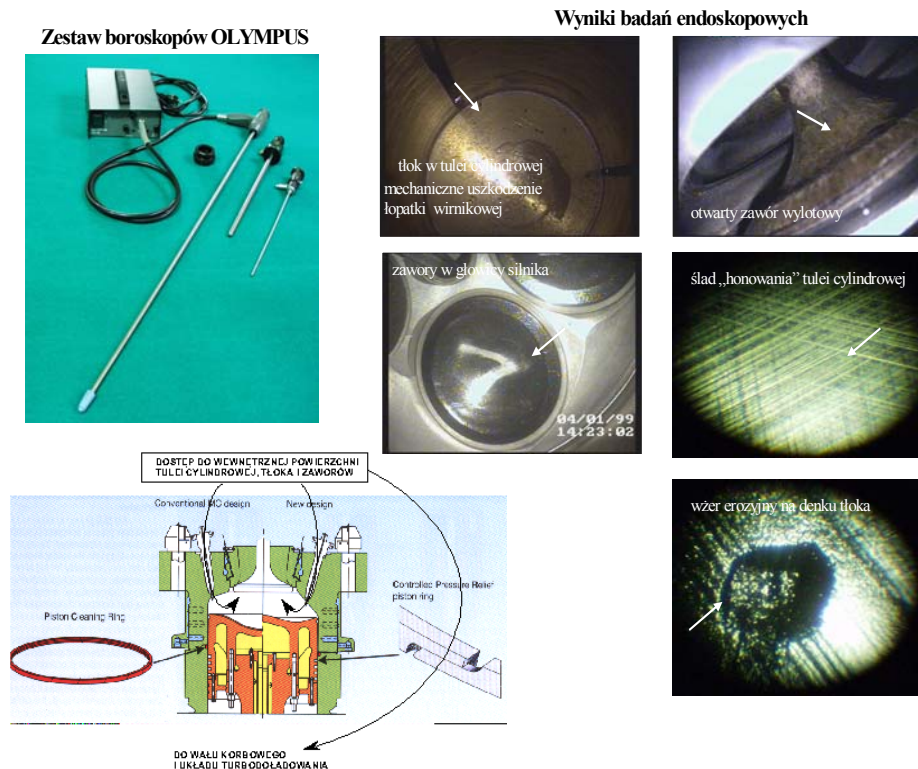
jednoznacznego określenia. Szczególnym przypadkiem może być problem, jaki stanowi analiza parametrów diagnostycznych dla oceny stanu technicznego układu tłok-pierścień-cylinder okrętowego tłokowego silnika spalinowego, o konstrukcji wielocylindrowej, pozbawionego możliwości indykowania cylindrów. Często linia trendu zmian temperatury spalin odchyła się tylko nieznacznie, podczas gdy z powodu uszkodzonego (np. „lejącego”) wtryskiwacza przepaleniu ulega denko tłoka. Podobnie trudne do rozpoznania są symptomy utraty szczelności komór spalania. W takich przypadkach jedyną możliwością uzyskania arbitralnej diagnozy o stanie technicznym silnika zapewnia wziernikowanie jego przestrzeni wewnętrznych z wykorzystaniem endoskopów (elastycznych fiberoskopów i sztywnych boroskopów). W sposób bezinwazyjny, bardzo szybki, tani, a co najważniejsze jednoznaczny zostają rozwiane wątpliwości, co dzieje się wewnątrz maszyny.

W eksploatacji okrętowych silników spalinowych powszechnie wprowadza się nowe metody badań diagnostycznych. Dynamicznie rozwija się endoskopia, która wcześniej była stosowana głównie w ocenie stanu technicznego części przepływowej silników turbinowych (badania takie prowadzi od 1991 roku zespół diagnostyczny komandora profesora doktora habilitowanego inżyniera Adama Charchalisa z IKNO AMW), a obecnie stanowi bardzo użyteczne i wręcz nieodzowne narzędzie dla zespołu diagnostycznego IKiEO w ocenie stanu technicznego silników tłokowych, szczególnie w stanach awaryjnych lub w razie konieczności przedłużenia okresu międzyremontowego [7]. Na wyposażeniu zespołu znajduje się zestaw endoskopowy firmy OLYMPUS i STORZ (rys. 3.). W skład zestawu wchodzi trzy boroskopy różniące się między sobą długością optyki, średnicą i kątem obserwacji diagnozowanego elementu, odpowiednio: 90cm/8mm/90°, 30cm/4mm/0°, 30cm/10mm/120°. Szczególnie dużą przydatność w badaniach diagnostycznych komór spalania, a zwłaszcza gniazd zaworowych silników, wykazuje optyka 30cm/10mm/120°.

Endoskopy wykazują dużą przydatność w trudno dostępnych miejscach silnika, np. komorach spalania, w przypadku gdy demontaż głowicy jest utrudniony i czasochłonny, układzie turbodoładowania czy przestrzeniach wewnętrznych mechanizmów sprzężonych z wałem korbowym silnika. Na rysunku 3. przedstawiono sposób wprowadzania końcówki endoskopu do przestrzeni wewnętrznych silnika tłokowego.

Endoskop po zdemontowaniu wtryskiwacza daje operatorowi możliwość dokonania oceny stanu technicznego denka tłoka, powierzchni tulei cylindrowej, głowicy i innych podzespołów w niej zamontowanych: rozpylaczy, pozostałych wtryskiwaczy, zaworów dolotowych i wylotowych, zaworów rozruchowych itp.

Metoda przeglądu endoskopowego odgrywa szczególnie istotną rolę w diagnozowaniu silników wieloblokowych i wielocylindrowych. Przykładowo, w silnikach o gwiazdowym układzie bloków cylindrów typu M503 (42 cylindry) czy M520 (56 cylindrów), zabudowanych w przedziale siłowni okrętowej, dostęp do dolnych monobloków i dolnych partii przekładni redukcyjno-nawrotnej jest bardzo utrudniony. W przypadku konieczności przeprowadzenia ich przeglądów silnik wspólnie z przekładnią musi zostać rozsprzęglony od wału śrubowego, następnie przechylny, podniesiony, a czasami nawet obrócony w siłowni okrętowej.



Rys. 3. Diagnostyka endoskopowa silnika tłokowego – zestaw endoskopowy, wyniki badania silników okrętowych, dostęp do wewnętrznych przestrzeni tulei cylindrowej

Z praktyki eksploatacyjnej wynika, że fiberoskop z wystarczająco długim elastycznym światłowodem układu optycznego pozwala uniknąć tych niedogodności, oszczędzając czas realizacji przeglądów i związane z tym koszty, nawet o 25 – 30% [7].

Systematyczne badania endoskopowe przeprowadzane w ramach okresowych obsług profilaktycznych silników okrętowych eksploatowanych w Marynarce Wojennej wykazały dużą skuteczność metody przy relatywnie łatwej obsłudze stosowanej aparatury badawczej. W wyniku tych przeglądów zidentyfikowano cały szereg uszkodzeń, które w przypadku dalszego rozwoju mogłyby stanowić istotne zagrożenie dla niezawodności silnika. Wybrane uszkodzenia silników okrętowych zidentyfikowane podczas eksploatacyjnych badań endoskopowych publikowane są systematycznie w periodykach naukowych, między innymi w pracach [3, 7].

ALTERNATYWNE METODY DIAGNOZOWANIA SILNIKÓW

Istotą aktualnie podejmowanych w Instytucie Badań Naukowych prac (prowadzonych bezpośrednio pod kierownictwem autora niniejszego artykułu) jest gruntowna modernizacja i dalsze rozwinięcie funkcjonującego dotychczas, wypróbowanego systemu diagnostycznego o elementy kontroli podstawowych układów funkcjonalnych silnika, tj. układu tłokowo-cylindrowego, układu turbodoładowania, układu zasilania paliwem oraz układu łożyskowania, w sytuacji gdy zachodzi konieczność oceny stanu technicznego silników niewyposażonych standardowo w zawory indykatorowe. Takie właśnie silniki znajdują się w wyposażeniu polskich trałowców bazowych typu F207M, amerykańskich fregat typu Oliver Hazard Perry i norweskich okrętów podwodnych typu Kobben, wprowadzanych w ostatnim okresie w skład Marynarki Wojennej RP (silniki M401, Detroit Diesel i Mercedes Benz). W ramach realizacji prac badawczych opracowano szereg nowych stanowisk diagnostycznych dających możliwość dokonania pośredniej oceny przebiegu procesu spalania paliwa w cylindrach silnika przy braku możliwości jego indykowania. Oto te prace:

- *Wpływ regulacji układu zasilania okrętowego tłokowego silnika spalinowego na widmo drgań skrętnych linii wałów;*
- *Metoda wykorzystania pomiaru ciśnień wewnątrzcyndrowych biegu jałowego do oceny stanu technicznego układu łożyskowania okrętowego tłokowego silnika spalinowego w eksploatacji;*
- *Badania diagnostyczne układu doładowania w aspekcie zmian procesu spalania w cylindrze silnika;*
- *Badania wpływu czynników eksploatacyjnych na osiągi i sprawność zespołów napędowych okrętów w Polskiej Marynarce Wojennej;*

- *Ocena stanu technicznego silników okrętowych typoszeregów AL, ASV i M520 na podstawie danych pomiarowych zbieranych w systemach monitorowania pracy napędu głównego okrętów typu 206FM i 660.*

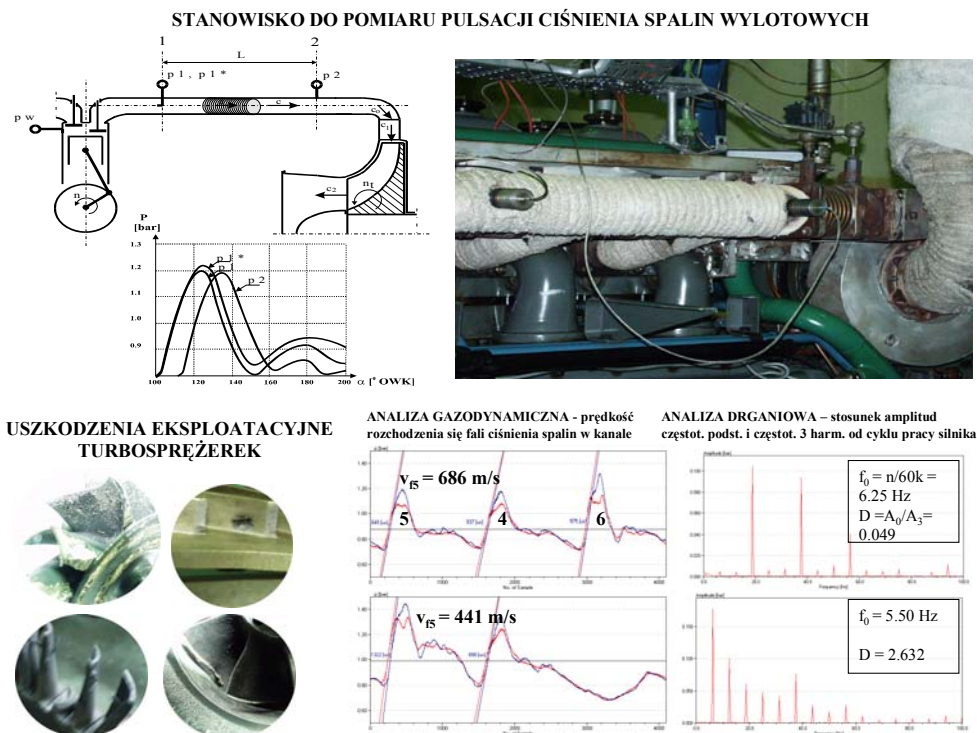
Diagnostyka układów turbodoładowania

Turbosprężarka stanowi newralgiczny i jak pokazują statystyki bardzo zawodny element silnika czterosuwowego z pulsacyjnym układem doładowania. Przyczyną takiego stanu jest specyfika warunków pracy silników okrętowych, które charakteryzuje praca przy niskich i zmiennych obciążeniach. Powoduje to niecałkowite i niezupełne spalanie paliwa w cylindrach i jako dalsze konsekwencje gazodynamiczne i mechaniczne dla układu turbodoładowania w postaci erozji, spadku osiągów i sprawności turbosprężarki, utraty stabilności układu mechanicznego i wreszcie drgań prowadzących do przyspieszonego zużycia łożysk i pęknięć zmęczeniowych łopatek wirnika.

W badaniach diagnostycznych pulsacyjnych układów doładowania silników okrętowych zachodzi konieczność identyfikacji przebiegu zmienności dysponowanej energii impulsów ciśnienia spalin wylotowych zasilających turbosprężarkę w czasie trwania jednego cyklu roboczego. Na podstawie pomiarów chwilowych wartości ciśnienia spiętrzenia $p1^*$ i chwilowych wartości ciśnienia statycznego $p1$, $p2$ zarejestrowanych w dwóch przekrojach kontrolnych 1 i 2 kanału spalin wylotowych znajdujących się od siebie w odległości L (rys. 4.) wyznacza się prędkość rozchodzenia się szczytowej amplitudy fal ciśnienia spalin powstających po otwarciu kolejnych zaworów wylotowych cylindrów silnika. W kolejnym etapie wnioskowania diagnostycznego przeprowadza się analizę harmoniczną widma amplitudowego pulsacji ciśnienia spalin w kanale zasilającym turbosprężarkę z wykorzystaniem szybkiej transformaty Fouriera.

Przykładowo z danych liczbowych na charakterystykach czasowych i częstotliwościowych można zaobserwować, jakie skutki wywołuje wyłączenie z pracy jednego cylindra: spadek prędkości rozprzestrzeniania się fal ciśnienia spalin w kanale zasilającym turbosprężarkę oraz niepożądane zagęszczenie widma amplitudowego pulsacji ciśnienia spalin w kanale. Dominuje amplituda częstotliwości podstawowej, co świadczy o znacznym niezrównoważeniu sił gazowych w cylindrach silnika, które potęgują destrukcyjne oddziaływanie na konstrukcję silnika niezrównoważonych sił bezwładności pochodzących od mas wykonujących ruch obrotowy i posuwisto-zwrotny. Zdefiniowana miara diagnostyczna w postaci stosunku amplitudy częstotliwości podstawowej do amplitudy 3 harmonicznej w wid-

mie drgań, dla której prowadzi się analizę trendu zmian wartości w procesie eksploatacji, daje możliwość oceny stanu technicznego elementów układu tłok-pierścienie-tuleja cylindrowa (TPC) oraz układu turbodoładowania silnika niewyposażonego standardowo w zawory indykatorowe.

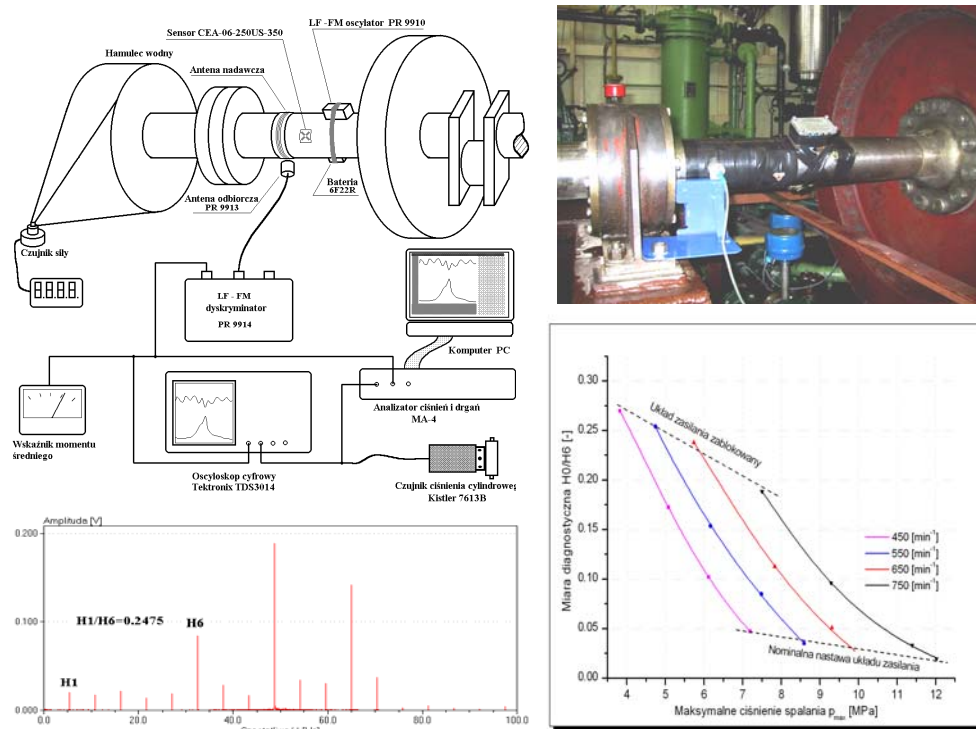


Rys. 4. Diagnostyka układów turbodoładowania – stanowisko do pomiarów pulsacji ciśnienia spalin w układzie spalin wylotowych, wyniki badania diagnostycznego układu turbodoładowania

Diagnostyka układów zasilania silnika paliwem

W pracy badawczej pt. *Wpływ regulacji układu zasilania okrętowego tłokowego silnika spalinowego na widmo drgań skrętnych linii wałów* opracowano oryginalny projekt techniczny stanowiska badań energetycznych silników okrętowych, dla którego zbudowano uniwersalny rejestrator osiąarów i sprawności okrętowego zespołu napędowego oparty na pomiarach wielkości szybkozmiennych [7]. Aktualnie trwa testowanie rejestratora w warunkach laboratoryjnych (silnik Sulzer typu 6AL20/24) oraz w warunkach rzeczywistych (silnik Sulzer typu 6AL25/30 napędu

głównego holownika H-5). Badania obejmują jednocześnie pomiary drgań skrętnych linii wałów oraz zużycia paliwa obu typów silników. Celem realizowanych badań jest dokonanie oceny wpływu zmian stanu technicznego silnika na widmo drgań skrętnych linii wałów oraz zużycie paliwa. Realizacja eksperymentów symulacyjnych polegała na zakłócaniu ustalonej pracy silnika poprzez wyłączenie z pracy jednego cylindra. W ten sposób symulowano pracę silnika w stanie częściowej zdolności technicznej.



Rys. 5. Diagnostyka układów zasilania silnika paliwem – stanowisko do pomiarów drgań skrętnych linii wałów okrętowych, wyniki pośredniego badania przebiegu procesów wewnątrzcyldrowych

Zarejestrowane przebiegi drgań skrętnych linii napędowej okrętu poddaje się analizie widmowej z wykorzystaniem szybkiej transformaty Fouriera (FFT) [1, 4, 5, 6]. W ten sposób wyznacza się miary diagnostyczne w ocenie stanu technicznego układów cylindrowych i zasilania silnika. W końcowej fazie opracowania znajduje się oryginalna metodyka pośredniej oceny przebiegu procesów gazodynamicznych w cylindrach, która również może być alternatywnie stosowana w diagno-

stycie silników okrętowych (i nie tylko), w przypadku braku możliwości bezpośredniego pomiaru ciśnień wewnątrzcyldrowych (braku zaworów indykatorowych). Stanowi ona przedmiot rozważań naukowych w ramach rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Stanisława Bruskiego. Uzyskane dotychczas wyniki zachęcają do prowadzenia dalszych badań eksperymentalnych w zakresie wpływu regulacji układu zasilania i rozrządu silnika oraz wpływu zmian w strukturze konstrukcyjnej dyszy turbiny (symulowane będą zanieczyszczenia kanałów międzyłopatkowych) na zdefiniowane miary diagnostyczne.

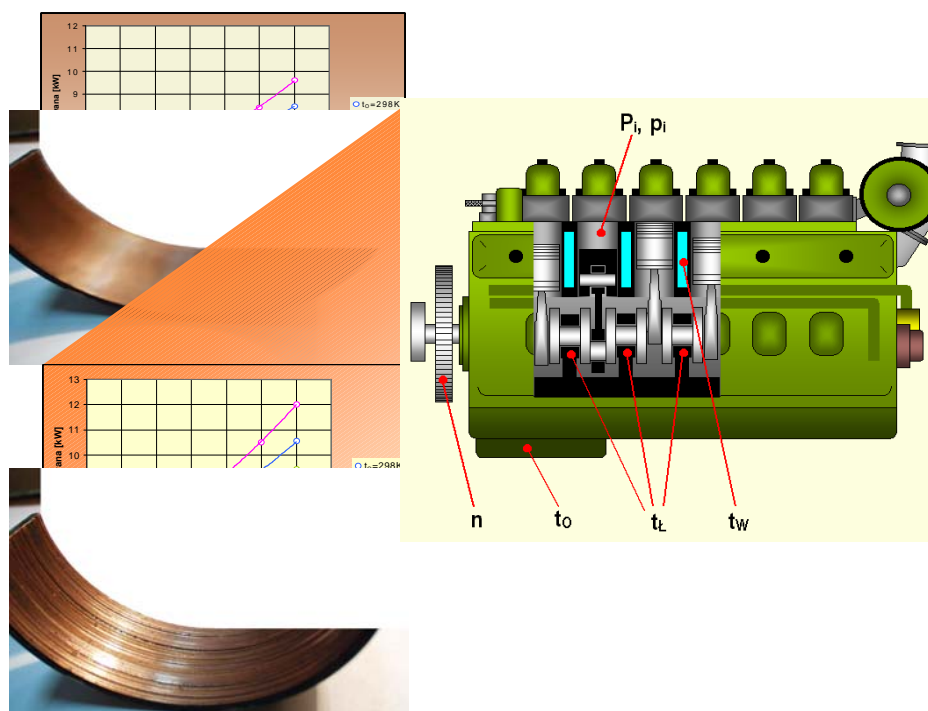
Diagnostyka układów łożyskowania

W Instytucie Konstrukcji i Eksploatacji Okrętów trwają również intensywne prace nad metodyką oceny stanu technicznego układu łożyskowania silnika na podstawie pomiarów ciśnień wewnątrzcyldrowych biegu jałowego.

Istotą realizowanych badań jest wykazanie zależności pomiędzy zmianami stanu technicznego łożyskowania okrętowego tłokowego silnika spalinowego (co z kolei pociąga za sobą wzrost strat mechanicznych silnika) a mocą indykowaną w cylindrach. Opracowywana metoda oceny stanu technicznego łożysk silnika bazuje na indykowaniu silnika na biegu jałowym, przy rozsprzęglonym zespole napędowym.

Bierne badania eksperymentalne nad tym zagadnieniem, realizowane w ramach rozprawy doktorskiej komandora podporucznika magistra inżyniera Leszka Wontki, są prowadzone od 1997 roku [7, 11]. Aktualnie w celu weryfikacji proponowanej metodyki diagnozowania silników okrętowych są wykonywane eksperymenty czynne na silniku laboratoryjnym, z faktycznym wprowadzaniem uszkodzeń do łożysk głównych i korbowych. Dla realizacji tego etapu badań są wykorzystywane komplety panwi łożyskowych, o różnym charakterze i stopniu zużycia, zdemontowane z obiektów rzeczywistych wycofanych z eksploatacji.

Jak wynika z realizowanych badań wstępnych, moc indykowana biegu jałowego jest wrażliwym parametrem diagnostycznym silnika. Nie ma jednak możliwości, aby obserwując zmiany jej wartości, wskazać jednoznacznie miejsca występowania zawyżonych strat mechanicznych. Możliwe jest jedynie potwierdzenie faktu ich zaistnienia. Dlatego w celu jednoznacznego ustalenia, czy źródłem zawyżonych strat mechanicznych silnika jest zmieniający się stan techniczny łożyskowania, należy koniecznie przeprowadzić weryfikację badań diagnostycznych przez badanie spektralne oleju smarowego silnika na zawartość zanieczyszczeń metalicznych. Aktualnie opracowywany jest program testów pilotażowych mających na celu właściwy dobór wzorców analitycznych miedzi i ołowiu.



Rys. 6. Diagnostyka układów łożyskowania silników – stanowisko diagnostyczne układu łożyskowania silnika okrętowego, wyniki badania panewek łożyskowych

BADANIA EMISJI ZWIĄZKÓW TOKSYCZNYCH W SPALINACH SILNIKÓW OKRĘTOWYCH

Do napędu większości okrętów Marynarki Wojennej RP są stosowane silniki czterosuwowe o zapłonie samoczynnym szybko- lub średnioobrotowe doładowane turbosprężarkami, które cechuje wysoka moc i manewrowość, zwarta konstrukcja i mała masa jednostkowa rzędu kilku kg/kW. Niestety, ich pracę charakteryzują jednocześnie wysokie wartości wskaźników emisji (w przeliczeniu na kWh lub tonę spalonego paliwa) do atmosfery związków chemicznych, które są toksyczne dla organizmu ludzkiego (NO_x , CO , SO_x , HC) bądź są dla niego szkodliwe (CO_2).

Dostrzegając narastające zagrożenie dla naszego środowiska naturalnego ze strony coraz dynamiczniej rozwijającego się transportu morskiego, Międzynarodowa Organizacja Morska wprowadziła w 1997 roku załącznik VI do konwencji MARPOL 73/78 *O zapobieganiu zanieczyszczeniu powietrza przez statki*, którego

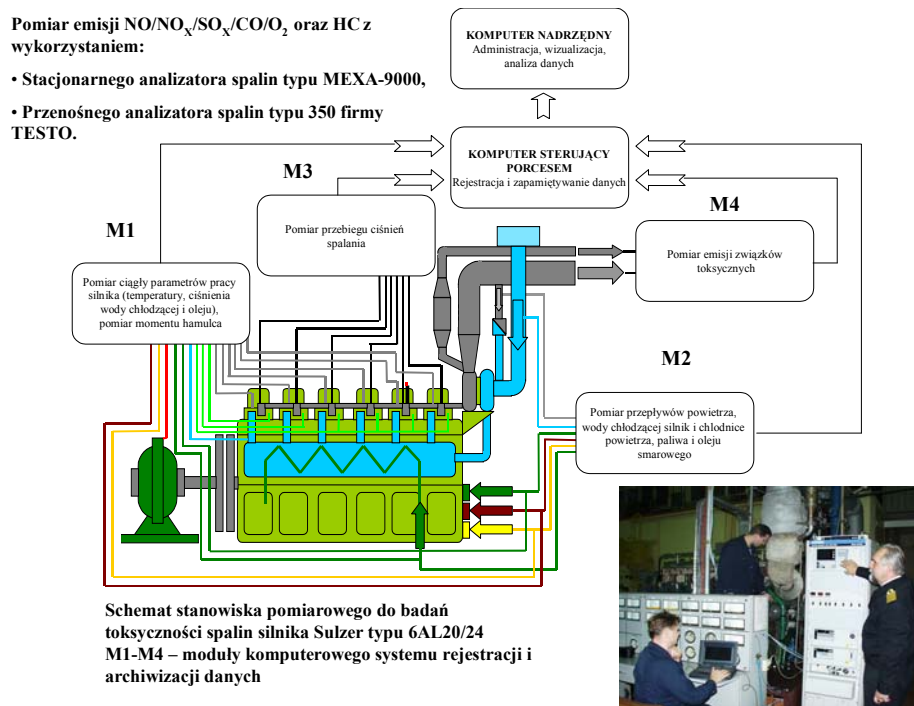
integralną część stanowi *Kodeks techniczny NO_x*. Co prawda do chwili obecnej tylko kilka państw ratyfikowało ten dokument, niemniej zaistniała sytuacja wymusiła konieczność szybkiego opracowania przez armatorów, w tym również naszą flotę wojenną, prostych i skutecznych metod oceny emisji związków toksycznych oraz programu testów badawczych toksyczności spalin silników napędzających okręty wojenne. Zadania tego podjął się zespół badawczy byłego ITEO (a obecnie IKiEO) kierowany przez komandora profesora doktora habilitowanego inżyniera Leszka Piasecznego (rys. 7.). Postanowiono zrealizować dwa projekty badawcze:

- nr 9T12D00613 pt. *Metody ograniczania emisji związków toksycznych tłokowych silników spalinowych eksploatowanych w siłowniach okrętowych*;
- nr 9T12D03319 pt. *Modelowanie emisji związków toksycznych w zmiennych warunkach obciążeń okrętowego silnika spalinowego z recyrkulacją spalin i wtryskiem wody do cylindrów*.

W ramach tych projektów przeprowadzono badania widma prędkości pływania reprezentatywnych okrętów MW RP oraz opracowano procedury realizacji testów badawczych toksyczności spalin ich silników napędowych. Skompletowano unikatową w skali kraju, wysoce precyzyjną aparaturę pomiarową (m.in. analizator spalin MEXA 9000 firmy HORIBA oraz rejestrator cyfrowy wielkości szybkozmiennych typu SEFRAM 8416C), co w rezultacie umożliwiło przejście do kluczowego zakresu badań, jakim było opracowanie eksploatacyjnych metod obniżania emisji związków toksycznych w spalinach silników okrętowych (doprowadzanie wody do cylindrów, recyrkulacja spalin, regulacja ciśnienia oraz kąta wyprzedzenia wtrysku paliwa, a także faz rozrządu).

Zespół profesora Piasecznego przeprowadził (dalej prowadzi) znaczną liczbę badań modelowych na odpowiednio opracowanych modelach symulacyjnych, eksperymentalnych na stanowisku laboratoryjnym silnika Sulzer typu 6AL20/24, a także na obiektach rzeczywistych. Wyniki badań są szeroko rozpowszechniane w renomowanych czasopismach naukowych krajowych i zagranicznych oraz w ramach licznych konferencji, sympozjów i seminariów naukowych z udziałem uznanych ekspertów w dziedzinie eksploatacji silników okrętowych [2, 8, 9].

Owoce dotychczasowych prac zespołu jest również wypromowanie dwóch doktorów w specjalności tłokowych silników spalinowych: komandora podporucznika doktora inżyniera Tomasza Kniaziewicza oraz komandora podporucznika doktora inżyniera Ryszarda Zadręga.



Rys. 7. Badania emisji związków toksycznych w spalinach silników okrętowych – stanowisko badawcze toksyczności spalin silnika Sulzer typu 6AL20/24, zespół badawczy prof. Leszka Piasecznego

WNIOSKI

Podstawowa działalność badawcza Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Okrętów koncentruje się wokół zagadnień związanych z szeroko rozumianą diagnostyką okrętowych silników spalinowych (łokowych i turbinowych). Działalność ta rozwijana była nieprzerwanie od 1982 roku za sprawą czterech uznanych zespołów badawczych: profesora doktora habilitowanego inżyniera Adama Charchalisa w obszarze silników turbinowych, profesora doktora habilitowanego inżyniera Leszka Piasecznego i doktora inżyniera Stanisława Polanowskiego w zakresie silników łokowych oraz autora niniejszego artykułu w dziedzinie badań diagnostycznych układów przepływowych silników turbinowych i łokowych.

Wdrożenie w skład Marynarki Wojennej RP nowego typu silników napędowych o stosunkowo niskiej podatności na kontrolę wymusza konieczność

poszukiwania nowych, alternatywnych metod diagnostycznych dających możliwość przeprowadzenia kompleksowej oceny stanu technicznego tych silników, niezależnie od bardzo kosztownych usług serwisowych. Przedstawiona w artykule charakterystyka aktualnie realizowanych w Instytucie prac naukowych pokazuje, w jakim kierunku rozwijane będą badania diagnostyczne okrętowych tłokowych silników spalinowych. Badaniom diagnostycznym silników turbinowych poświęcone zostanie odrębne opracowanie.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bruski S., Korczewski Z., *Wyniki badań stanowiskowych wpływu wybranych uszkodzeń w układzie paliwowym okrętowego tłokowego silnika spalinowego na widmo drgań skrętnych linii wałów*, „Zeszyty Naukowe” Akademii Marynarki Wojennej, 2003, nr 2, Gdynia.
- [2] Kniaziewicz T., Zadrag R., *Możliwości badań oraz obniżanie emisji związków toksycznych w spalinach tłokowych silników spalinowych na okrętach MW RP*, XXIII Sympozjum Siłowni Okrętowych, Akademia Morska, 14 – 15 listopada 2002.
- [3] Korczewski Z., *Application of endoscopic methods in diagnosing the marine engines*, II International Scientifically-Technical Conference „EXPLO-DIESEL & GAS TURBINE '01”, Gdańsk – Międzyzdroje – Kopenhaga, April 23 – 27.2001.
- [4] Korczewski Z., *An approach to modeling of gasdynamic processes in turbocharging system of marine four-stroke diesel engine*, „Polish Maritime Research”, 2002, No 3.
- [5] Korczewski Z., *Metoda diagnozowania silników okrętowych z turbodoładowaniem na podstawie wyników badania procesów gazodynamicznych w układzie spalin wylotowych*, „Diagnostyka”, 2003, z. 25.
- [6] Korczewski Z., *Preliminary identification of gasdynamic processes in exhaust gas channel of pulsatory supercharging system of a marine diesel engine*, „Polish Maritime Research”, 2002, No 4.
- [7] Korczewski Z. i inni, *Sprawozdania z badań diagnostycznych tłokowych silników spalinowych eksploatowanych na okrętach MW RP*, prace badawcze AMW, Gdynia 2000 – 2003.
- [8] Piaseczny L., Kafar I., Zadrag R., Bergier T., Kniaziewicz T., *Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego nr 9T12D00613*, AMW, Gdynia 1998.

- [9] Piaseczny L., Zadrag R., Kniaziewicz T., *System pomiaru emisji związków toksycznych w spalinach wylotowych okrętowych silników spalinowych*, XXIII Sympozjum Siłowni Okrętowych, Akademia Morska, Gdynia 14 – 15 listopada 2002.
- [10] Polanowski S., *Nowy typ analizatora do pomiarów i diagnostyki silników okrętowych*, „Jurnal of KONES”, Warszawa – Poznań 1995.
- [11] Polanowski S. i inni, *Sprawozdania z badań diagnostycznych tłokowych silników spalinowych eksploatowanych na okrętach MW RP*, prace badawcze AMW, Gdynia 1992 – 1999.

ABSTRACT

The paper characterizes the scope of scientific investigations undertaken in the Institute of Ship Construction and Exploitation, Naval University, which have traditionally been focused on broadly understood exploitation of shipboard machinery, including among others, developing marine engines technical condition evaluation, under ship exploitation conditions. It presents scientific issues related to the diagnostics of marine internal combustion engines which are investigated into at the Institute.

Recenzent kmdr prof. dr hab. inż. Leszek Piaseczny