

Zbigniew Łosiewicz, Tadeusz Mikuła

# Analiza czynników wpływających na trwałość i niezawodność wybranych elementów silników okrętowych – w aspekcie eksploatacji technicznej

JEL: L95 DOI: 10.24136/atest.2018.445

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule omówione zostały czynniki wpływające na trwałość i niezawodność wybranych elementów silników okrętowych. Taka analiza może zaakcentować wagę doboru załóg pływających do statków o określonej charakterystyce zdolności eksploatacyjnej, co ma wpływ na bezpieczeństwo żeglugi.

**Słowa kluczowe:** silniki okrętowe, eksploatacja techniczna, trwałość i niezawodność

## Wstęp

Każdy silnik jest, skomplikowanym obiektem technicznym. Został zaprojektowany w określonym biurze projektowym, na podstawie założeń projektowych producenta. Producent, po identyfikacji potrzeb rynku, dedykuje rodzinę danego typu silnika o określonej charakterystyce różnym typom statków. Projekt silnika trafia do producentów, którzy wykupili licencję. Silnik zostaje oprzyrządowany w urzędzenia, czujniki, linie przesyłowe mediów i energii wykonane w klasie zdolności technicznej odpowiadającej poziomowi jakości projektu, rozwiązań technicznych i użytych materiałów konstrukcyjnych i materiałów eksploatacyjnych. Następnym istotnym elementem w eksploatacji silnika wraz z oprzyrządowaniem jest pierwsze uruchomienie i proces docierania.

## 1 Podział silnika na strefy pracy

W czasie eksploatacji okrętowego silnika głównego (SG) producenci i eksploatacy gromadzą informacje o ich uszkodzeniach.

Bazy danych zawierają czas poprawnej pracy do uszkodzenia, przyczyny i skutki uszkodzeń, czas i przebieg obsługi prowadzącej do odnowy silnika, itp. Dlatego też możliwe jest przedstawienie opisu uszkodzeń SG, które wystąpiły mimo zastosowania różnych systemów diagnozujących (SDG) przeznaczonych do utrzymania poprawności działania silników jako systemów diagnozowanych (SDN).

Z doświadczenia autorów wynika, że można wyróżnić strefy (I, II i III) silnika (rys.1), w których główną przyczyną uszkodzeń jego układów i poszczególnych elementów (części lub podzespołów) SG są działania czynników dominujących w procesach fizycznych i chemicznych zachodzących podczas przetwarzania i przekazywania energii do pędnika. Czynnikiemami tymi są siły powstające podczas procesu spalania, siły powodujące tarcie i związane z nim zużycie ścierne, naprężenia zmęczeniowe materiałów, prowadzące do pęknięć, a także relatywnie wysoka temperatura sprzyjająca pojawieniu się zużycia adhezyjnego i agresywne chemicznie środowisko sprzyjające korozji chemicznej.

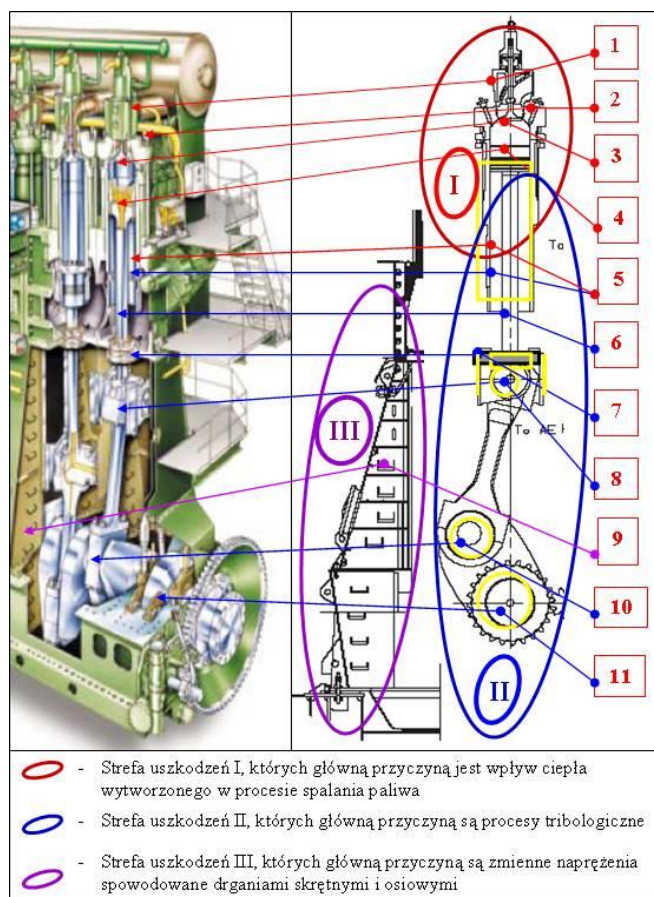
W strefie I dominującym procesem jest proces spalania w komorze spalania. W trakcie tego procesu dominującymi czynnikami są wysoka temperatura i agresywne chemicznie spaliny. Powodują one zużycie i uszkodzenia tłoków, pierścieni tłokowych i tulei cylindrowych silników.

W strefie II dominującym procesem jest przekazywanie energii mechanicznej. Podczas współpracy elementów układu tłokowo –

korbowego, dominującymi są procesy tribologiczne, które powodują zużycie i uszkodzenia tłoków, pierścieni tłokowych, tulei cylindrowych, łożysk głównych, korbowych oraz łożysk wozdżikowych.

W strefie III dominującym czynnikiem są drgania, które przenoszone na kadłub silnika, wpływają głównie na zużycie i uszkodzenia łożysk głównych i korbowych oraz łożysk wozdżikowych.

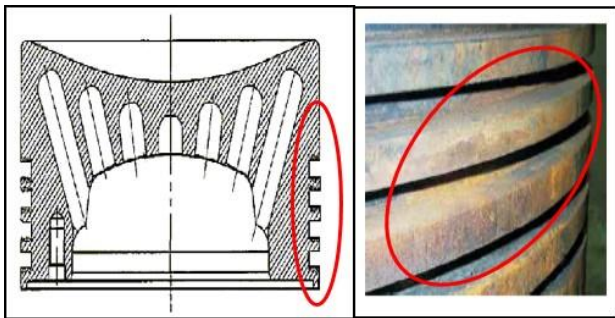
Należy zaznaczyć, że najczęściej nie jest możliwe określenie jednej przyczyny uszkodzenia układów lub części silnika. Czasami, nieprawidłowy montaż podzespołu lub niedokładne wykonanie elementu jest przyczyną powstawania kolejnych negatywnych zdarzeń i występowania czynników destrukcyjnych takich jak, np. drgania, hałas, tarcie suchego i innych.



**Rys.1.** Podział struktury konstrukcyjnej SG na strefy uszkodzeń spowodowanych czynnikami dominującymi w danej strefie [4]: strefa I obejmuje: 1 - kosz zaworu wylotowego spalin, 2 - zawór wtryskowy paliwa, 3 - grzybek zaworu wylotowego, 4 - tłok, 5 - tuleja cylindrowa, strefa II obejmuje: 5 - tuleja cylindrowa, 6 - tłoczek, 7 - dławica trzonu tłoka, 8 - łożysko krzyżulcowe, 10 - łożysko korbowe, 11 - łożysko główne, strefa III obejmuje: 9 - kadłub silnika

Na skutek niecałkowitego i niepełnego spalania powstają cząstki stałe tworzące nagar. Powoduje on zmianę wymiarów luzów między współpracującymi elementami, co prowadzi do uszkodzenia rowków pierścieni tłokowych w koronie tłoka. Nagar gromadzący się

na denku tłoka nasiąka wtryskiwanym paliwem i tworzy żarzącą się powłokę. Jest to przyczyna przepalenia denka tłoka



Rys. 2. Korona tłoka z rowkami tłokowymi powlekanymi warstwą chromu opóźniająca zużycie cierne [8]

W zmiennych morskich warunkach, przy zmiennym obciążeniu pędnika, zmienia się nastawa paliwowa i szczególnie ważnym jest dopasowanie prędkości statku do stanu morza. Jest to ściśle związane z pracą silnika napędu głównego, a szczególnie ze zmianą jego obciążenia. Szczególnie przy spalaniu paliwa pozostałościowego (o zawartości siarki 1-3,5 %) powstają agresywne związki siarki, które powodują korozję wysokotemperaturową.

Czasami ubytki pierścieni tłokowych, uszkodzenie korony tłoka są następstwem błędów konstrukcyjnych polegając na stosowaniu rozwiązań konstrukcyjnych starszych typów silników w silnikach nowszej generacji o innych parametrach eksploatacyjnych. Tego rodzaju uszkodzenia są także wynikiem wykonania niezgodnego z DTR procesu docierania [5, 6], stosowania zamienników części oryginalnych, niewłaściwego dobrania mediów chłodzących, lub smarujących. Przyczyną występowania takich uszkodzeń może być niewłaściwie przygotowane mediów chłodzących i smarujących, w tym niewłaściwych parametrów ich pracy [5, 6]. Częstą przyczyną zużycia układu tłokowo korbowego jest nieprawidłowo przygotowane paliwo, uszkodzenie zaworu wtryskowego, niewłaściwie dobrany do kształtu komory spalania zawór wtryskowy (ilość, wielkość otworów, kierunek strugi rozpylonego paliwa).

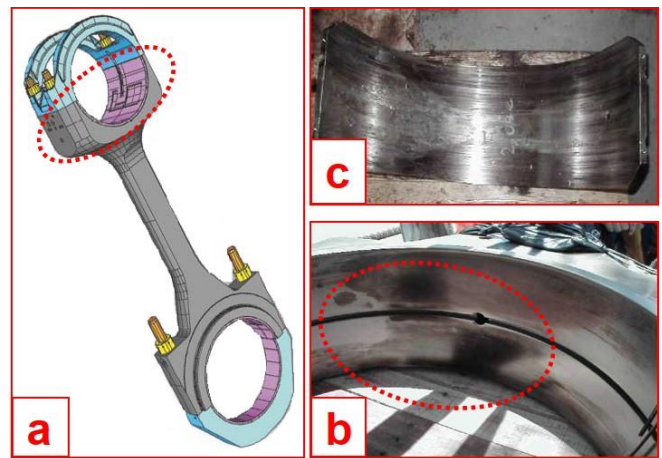
Następnym istotnym elementem jest tuleja cylindrowa.

Uszkodzenie tulei może wynikać ze zmiany kształtu geometrii tulei (owalność) jak i zmiany powierzchni tulei spowodowane korozją elektro-chemiczną, cierną, wżerową.

Przyczynami zmiany geometrii (owalności) tulei są:

- praca statku na fali,
  - praca układu korbowego.
- Przyczynami zmiany powierzchni tulei są:
- korozja elektro-chemiczna spowodowana działaniem kwasu siarkowego, który powstaje z dużej ilości siarki w paliwie pozostałościowym rozpuszczonej w dużej ilości wody z powietrza doładowania wykrapającej się na chłodnych ścianach tulei, w wyniku niewłaściwej temperatury wody chłodzącej,
  - korozja cierna spowodowana obecnością cząstek stałych wytworzonych w procesie niepełnego spalania, źle oczyszczonego oleju smarowego oraz powstałych w wyniku ścierania się i pęknięcia elementów tłoka, pierścieni - tulei,
  - korozja wżerowa spowodowana nieodpowiednim smarowaniem powierzchni tulei (nieodpowiednio dobrany lub przygotowany olej, nieodpowiednio położone otwory smarowe, niewłaściwe honowanie tulei), przy zbyt dużych obciążeniach, nieodpowiedniej pracy aparatury wtryskowej,
  - korozja dolnej części płaszcza tulei cylindrowej spowodowana zbyt niską temperaturą powietrza doładowania, zbyt dużo wody w powietrzu doładowania (zła praca osuszacza powietrza w przestrzeni podtłokowej).

Na rys. 3. przedstawione jest uszkodzenie łba korbowodu, które jest wynikiem zmiany struktury materiału głowy korbowodu na powierzchni styku z dolną panwią łożyska. Występuje tutaj nadmierne zużycie powierzchni ślizgowej, prawdopodobnie w wyniku przegrzania panewki.



Rys. 3. Korbowód [9, 12]: a) uszkodzenie łba korbowodu w miejscu przylegania dolnej panwi, b) ślady przegrzania powierzchni styku z dolną panwią łożyska wodzika, c) zniszczona dolna panew

Opisane wyżej przykłady zużycia elementów silnika dotyczą poszczególnych układów i obszar ich występowania daje szansę na czasowe „podwieszenie” tego układu (wyłączenie tego obszaru z pracy) i kontynuowanie żeglugi do miejsca schronienia, gdzie bezpiecznie będzie można dokonać obsługi regeneracyjnej.

Inny charakter mają uszkodzenia, które mogą spowodować zatrzymanie całego silnika. Do takich elementów należą wał korbowy lub łożyska główne (ramowe).

Bardzo częstym uszkodzeniem powodującym nawet całkowite zatarcie wału jest uszkodzenie powłoki ślizgowej panwi łożyska głównego silnika. Przyczyną takiego uszkodzenia może być zbyt długi czas pracy pomiędzy przeglądami, równocześnie przy niewłaściwym przygotowaniu oleju smarowego (np. braku wirowania), wskutek czego nie zostały usunięte cząstki stałe z oleju. Na powstanie takiego uszkodzenia mógł mieć także wpływ niewłaściwy skład chemiczny oleju („olej przepracowany”). Czynnikiem destrukcyjnym mogły być zewnętrzne naprężenia generowane podczas niewłaściwego obciążenia łożyska, powodujące np. przerwanie filmu olejowego.

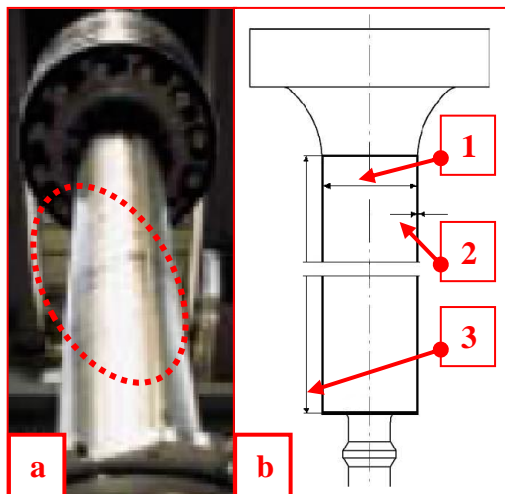
Na rys. 4. widoczne jest uszkodzenie czopa wału korbowego współpracującego z łożyskiem głównym. Widoczne są ślady zużycia korozyjnego. Przyczyną tego mogło być przegrzania łożyska, spowodowane np. niewłaściwym montażem łożyska, zbyt niskie ciśnienie oleju smarowego oraz zbyt wysoka temperatura oleju smarowego.



Rys. 4. Widoczne ślady zużycia korozyjnego wynikłego z przegrzania łożyska [10]

**Strefa II** (rys.1.) – jest strefą, w której dominującym procesem jest przekazywanie energii mechanicznej, a procesy tribologiczne mają znaczący wpływ na uszkodzenia układów tribologicznych silnika.

Na rys. 5. przedstawiono uszkodzenie powierzchni trzonu tłokowego w obszarze współpracy z dławnicą trzonu tłoka. Uszkodzenie objawia się ubytkiem materiału utwardzanej powierzchni trzonu tłoka. Widoczne jest miejscowe zużycie mogące być następstwem działania korozji czarnej. Również widoczne głębokie rysy wzdłużne są wynikiem bruzdowania i mikroskrawania przez cząstki stałe.



**Rys. 5.** Uszkodzenie utwardzanej powłoki powierzchni trzonu tłoka [2,10]: a) uszkodzona powierzchnia, b) ważne wymiary: 1 - średnica tłoka, 2 - grubość utwardzanej powłoki, 3 - długość utwardzonej powłoki

Prawdopodobną przyczyną tego uszkodzenia były:

- nadmierne zużycie ściernie, spowodowane niewłaściwym smarowaniem,
- korozja czarna spowodowana obecnością wody w niewłaściwie przygotowanym powietrzu doładowania, co było przyczyną powstania emulsji olejowo-wodnej. Przyczyną mogły być agresywne związki chemiczne powstające w procesie spalania i dostające się do przestrzeni podtłokowej podczas zimnego rozruchu, niepełnego spalania lub złego stanu technicznego elementów układu tłok-tuleja cylindrowa,
- głębokie wzdłużne rysy spowodowane tarcieniem cząstek stałych np. pochodzących z uszkodzonych elementów tłoka, tulei, dławicy trzonu tłoka, lub warstwy powierzchniowej trzonu tłoka.

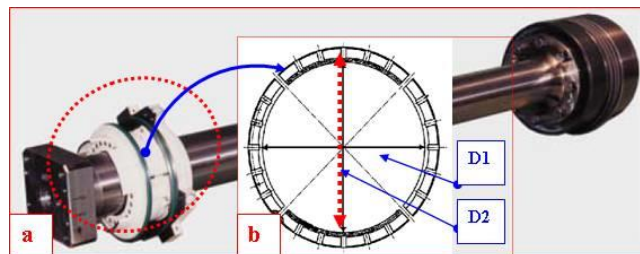
Na rys. 6. przedstawiono uszkodzenie dławnicy trzonu tłoka. Uszkodzenie to polega na eksploatacyjnym zużyciu, które doprowadziło do pojawienia się owalności przekroju dławnicy i mechanicznym uszkodzeniu elementów obudowy i elementów segmentowych pierścieni zgarniająco-uszczelniających.

Przyczynami takiego uszkodzenia mogło być:

- zużycie ściernie - równomierny, ubytek materiału pierścieni uszczelniających spowodowany tarcieniem pierścieni o utwardzoną powierzchnię trzonu tłoka,
- niezgodnymi z dokumentacją techniczną – ruchową (DTR): brakiem smarowania i „suchą” pracą trzonu tłoka, luzami łożyska wodzika, montażem dławnicy, zerwaniem sprężyny ściągającej segmenty dławnicy, zanieczyszczeniem produktami niepełnego spalania pierścieni uszczelniających, co mogło doprowadzić do powstania owalności przekroju dławnicy,
- błędy montażowe polegające na braku czystości elementów, braku osiowości (przekoszenia), złożenie pierścienia z segmentów różnych dławnic, założenie pierścienia w odwrotnym po-

zeniu („do góry nogami”), uszkodzeniami korozyjnymi. Przyczyny te mogą spowodować pęknięcie pierścienia [3],

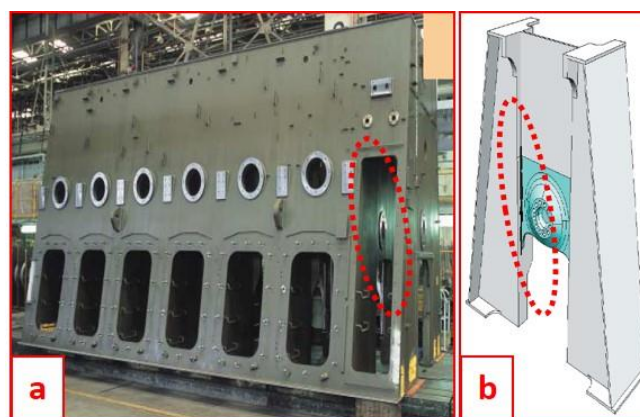
- agresywne chemicznie związki powstałe podczas niecałkowitego i niepełnego spalania przy zmiennym obciążeniu, szczególnie podczas manewrów, kiedy trudno jest utrzymywać właściwe parametry mediów lub gdy uszkodzony jest układ tłok-cylinder. Czynniki te mogą powodować uszkodzenia korozyjne obudowy i pierścieni dławnicy.



**Rys. 6.** Dławnica trzonu tłoka [2, 3]: a) osadzona na trzonie tłoka, b) owalność przekroju dławnicy: D1 - średnica dopuszczalna, D2 - średnica świadcząca o nadmiernym zużyciu

**Strefa III** (rys. 1.) – jest obszarem, w którym dominującym czynnikiem uszkodzeń silnika są drgania.

Są to uszkodzeń kadłuba silnika, takie jak pęknięcia w narożnikach krzyżowych spawanych złączy stojaka kadłuba silnika, pęknięcie płyty uźebrowania między otworami technologicznymi, pęknięcie złącza spawanego płyty głównej z płytą uźebrowania, pęknięcie kolumny łożyska oporowego, itp. Uszkodzenia powstałe w tej strefie mają wpływ na osadzone w ramie łożyska główne..

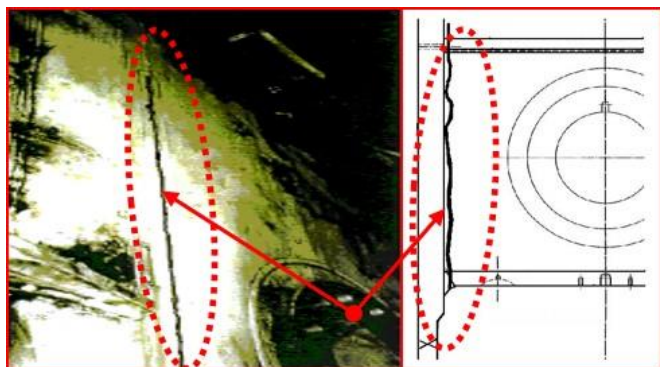


**Rys. 7.** Stojak kadłuba silnika [11]: a) konstrukcja spawana złożona z kilku elementów stojaka, b) kolumna łożyska oporowego

Przykład pęknięcia kolumny łożyska oporowego wzdłuż spoiny połączenia kolumny z płytą główną został przedstawiony na rys. 8.

Przyczynami takiego uszkodzenia mogą być:

- czynniki konstrukcyjne - połączenie ciężkich elementów kolumn z lekkimi konstrukcjami elementów uźebrowanych,
- czynniki montażowe - błędy spawalnicze, takie jak złe przygotowanie krawędzi spawanych elementów, zły przetop spawanych elementów, nieprawidłowe lico spoiny,
- czynniki eksploatacyjne - zmienne naprężenia spowodowane cyklicznym spalaniem paliwa, wzrost drgań spowodowanych niewłaściwą pracą tłumików drgań, stosowanie uderowych metod dokręcania oporowych śrub mocujących łożysko główne.



Rys. 8. Stojak kadłuba silnika z pęknięciem kolumny łożyska oporowego wzdłuż spoiny połączenia kolumny z płytą główną [1]

## 2 Analiza przyczyn uszkodzeń układów dwusuwowych wolnoobrotowych silników głównych wielkiej mocy

Problemem podczas zbierania i badania przyczyn zużycia i uszkodzeń, a szczególnie uszkodzeń rozległych tzw. awarii głównych układów silników jest brak dostępu do rzetelnej dokumentacji. W większości przypadków uszkodzeń prowadzona jest dokumentacja dokonywanych obsługa wymuszonych uszkodzeniami, jednak brak jest oficjalnych informacji dotyczących przyczyn uszkodzeń.

Równocześnie istnieją przy tym źródła fotograficzne gromadzone w prywatnych zbiorach mechaników oraz ogromna wiedza ekspercka, nie publikowana, a gromadzona w bazach danych producentów silników, armatorów, towarzystw klasyfikacyjnych oraz firm ubezpieczeniowych. Wiąże się to z tajemnicami zawodowymi, handlowymi oraz obawami przed konsekwencjami np. karnymi.

Z opisanych faktów wynika, że geneza uszkodzeń badanych układów silnika jest bardzo złożona i zależna jest od wielu występujących losowo czynników i zdarzeń:

- struktura konstrukcyjna układów silnika jest złożona z elementów o ściśle określonych kształtach i rozmiarach,
- wymiary geometryczne elementów układów tribologicznych silnika są ściśle zależne od założonej mocy, planowanego zakresu obciążenia czy charakteru pracy a równocześnie są zależne od przeznaczenia statku. Do głównych wymiarów silnika należy: średnica tłoka, skok tłoka i ściśle z nim związane: rozmiar wykorbienia wału korbowego, a co za tym idzie rozmiary czopów i panwi łożysk ramowych i korbowych,
- kształty geometryczne i wymiary geometryczne trzonu tłoka i ściśle z nim związanej dławnicy przestrzeni podtłokowej zależne są od wartości energii przekazywanej na wał korbowy,
- struktura materiałowa – głównym kryterium jest wytrzymałość i trwałość. Jest to wyraźnie widoczne przy analizie struktury materiałowej tłoka: inny materiał konstrukcyjny korony (staliwo lub żeliwo), płaszczka tłoka (żeliwo), ściany sitowej (stal), pierścieni tłokowych (żeliwnych, pokrywanych na różnych powierzchniach warstwami aluminium, chromu, materiałów ceramicznych),

Należy jednak zwrócić uwagę na ścisłą zależność hierarchiczną współpracujących, w układach silnika elementów, np. trwalszy czop wału korbowego (o dużych rozmiarach, dużej masie, bardzo trudnym i pracochłonnym demontażu), szybciej zużywalna powierzchnia panwi (mniejsze rozmiary, mniejsza masa, łatwiejsza wymiana, niższa wartość materiałna).

Ważną własnością materiału jest odporność na wysokie temperatury oraz na agresywne chemicznie środowisko spalin, szczególnie tłoków, ich pierścieni i tulei cylindrowych, tworzących komorę spalania.

Każde zidentyfikowane uszkodzenie występujące podczas eksploatacji układów silnika jest wyjaśniane w miarę wiedzy (nieraz nie naukowej) i doświadczenia eksploatatorów i projektantów. Stąd

przydatne byłyby tu badania naukowe wyjaśniające powstawanie uszkodzeń z zastosowaniem odpowiednich metod naukowych i związanych z nimi aparatury badawczej.

W praktyce eksploatacyjnej, na podstawie analiz zjawisk fizykochemicznych tworzone są pola temperatur, ciśnień i naprężeń. Określa się ich wartości podczas pracy w warunkach przyjętych za tzw. normalne, ale znane są stosowane wartości graniczne oraz współczynniki bezpieczeństwa. Wartości te są weryfikowane podczas prób laboratoryjnych (badań na hamowni) w zakładach produkcyjnych i podczas eksploatacji silników. Zmiany pól temperatur, ciśnień i naprężeń zależą od warunków eksploatacyjnych, w tym doboru i odpowiedniego przygotowania stosowanych mediów (głównie paliwa i oleju smarowego). Od rodzaju, kaloryczności i własności fizycznych paliwa zależy jakość procesu spalania. Od składu chemicznego paliwa i oleju smarowego (np. zawartości siarki, wanadu) zależy działanie niszczące agresywnych korozyjnie składników.

Czynnik ludzki – działania załóg i służb technicznych armatora mają wpływ na:

- przysposobienie silników głównych wielkiej mocy do stawianych im zadań,
- dobór i rotację członków załóg o odpowiednich kwalifikacjach,
- gospodarkę częściami wymiennymi i mediami (wybór producentów i dostawców części wymiennych i mediów, logistyka dostaw i magazynowania części wymiennych i mediów, regularność badań jakości mediów),
- jakość obsługi wszystkich typów, zarówno wymuszonych uszkodzeniami jak też obsługi planowych, tzw. profilaktycznych (wybór stoczni remontowych, członków załogi statku, służb kontrolujących, firm serwisowych, itp.).

Czynniki zewnętrzne – warunki hydrometeorologiczne charakterystyczne dla tras pływania, warunki pogodowe – prądy, falowanie (od głębokości akwenu i prądów zależy długość, stromość, wysokość fali), opady (wilgotność powietrza), częstość występowania, kierunek i siła wiatrów, zasolenie wody (zawartość soli w mgle wodnej zasysanej z powietrzem).

W rzeczywistości eksploatacyjnej wszystkie wymienione czynniki mają wpływ na jakość procesu eksploatacji silników głównych wielkiej mocy. Często zdarza się, że kumulacja mało znaczących pojedynczych zdarzeń może doprowadzić do rozległego uszkodzenia każdego głównego układu silnika (awarii) a równocześnie silnika jako całości.

Wady struktury konstrukcyjnej (np. wtrącenia niemetalowe, wadliwe spoiny, itp.) mogą być nieujawnione w czasie realizowanych, zgodnie z założeniami projektanta (DTR), obsługi profilaktycznych układów silnika, natomiast przy kumulacji błędów eksploatacyjnych, uszkodzenia tych układów są ujawniane przez ich systemy diagnostyczne w bardzo krótkim czasie.

Trudniejsza sytuacja występuje w przypadku, gdy struktura konstrukcyjna silnika jest poprawna, a popełniane są błędy eksploatacyjne często niezauważalne przez dłuższy przedział czasu, w którym sumują się niezauważalne w codziennej eksploatacji straty.

### Podsumowanie

W fazie eksploatacji dwusuwowych, wolnoobrotowych silników głównych wielkiej mocy zachodzą różne uszkodzenia ich głównych układów, mimo że stosowane są w fazie eksploatacji systemy diagnostyczne (SDG) przysposobione do dozoru działania tych silników. Tego rodzaju są coraz częściej skomputeryzowane, gdyż producenci tych silników i ich użytkownicy przywiązują dużą wagę do udoskonalania i stosowania SDG w fazie eksploatacji. Przykładem działań w tym zakresie jest zastosowanie w fazie eksploatacji wspomnianych silników systemu diagnostycznego CoCoS (Com-

puter Controlled Surveillance System) przysposobionego do diagnozowania silników firmy MAN B&W Diesel Group.

Mimo stosowania wspomnianych systemów diagnozujących okrętowych silników głównych opisanych uszkodzeń nie można było uniknąć. Jedną z głównych przyczyn powstawania tych uszkodzeń są losowe własności zarówno obciążeń cieplnych i mechanicznych tego rodzaju silników jak również wynikającego z tych obciążeń zużycia. To powoduje, że każde pojawienie się dowolnego opisanego uszkodzenia układów tribologicznych tych silników jest zdarzeniem losowym, a więc takim, którego zajścia nie można dokładnie przewidzieć, lecz można jedynie oszacować prawdopodobieństwo jego zajścia w danej chwili procesu eksploatacji.

W pracy przedstawiono i przeanalizowano wybrane materiały udostępnione przez armatorów, mechaników oraz zawarte w niepublikowanych, przeznaczonych do użytku wewnętrznego raportach służb technicznych armatorów, biuletynach producentów silników i towarzystw klasyfikacyjnych. Z opisanych faktów wynika, że geneza uszkodzeń badanych układów silnika jest bardzo złożona i zależy od wielu występujących losowo czynników i zdarzeń.

### Bibliografia:

1. Cracks in Column, Service Bulletin No RTA-46. Wartsila NSD Corporation Ltd, Winterthur 1999.(12)
2. Piston Rod Gland Package. Wartsila Corporation, Waasa 2004.(64)
3. Retrofit for Piston Rod Stuffing Boxes RTA"-2 and 2U Series" Engines. Service Bulletin No RTA-35.1, Wartsila NSD Corporation, Winterthur, 2001.(73)
4. Running-in of Cylinder Liner and piston Rings. Service Bulletin No RTA-18.1, Wartsila NSD Corporation, Winterthur, 1998.(82)
5. Running-in of Cylinder Liner and piston Rings. Service Bulletin No RTA-18.2, Wartsila NSD Corporation, Winterthur, 2002.(83)
6. S 80ME-C Project Guide Electronically Controlled Two-stroke Engines. MAN B&W, Kopenhaga 2002.(84)
7. RTA 58/68/76/84 Cracks on Piston Skirts Type Engines. Sulzer Information Bulletin No DUQ1-008E, Diesel United Sulzer, 1991.(75)
8. RTA 58/68/76/84 Checks of elastic studs on piston for tightening. Service Information Bulletin No DUQ1-009E, Diesel United Sulzer, 1991.(76)
9. RTA Engine, Corrosive Burn-Off Pocket on Cylinder Cover. Service Information Bulletin No DUQ1-017E, Diesel United Sulzer, 1990.(77)
10. Sulzer RT-flex 60C, Wartsila Corporation, Helsinki 2004.(96)
11. Transportation Safety Board of Canada. Marine Investigation Report M00L0034, Main Engine fires, 2001.(104)
12. Transportation Safety Board of Canada. Marine Investigation Report M00L0034, Main Engine Failure, 2000.(105)

---

### Analysis of factors affecting the durability and reliability of selected components of ship engines - in the aspect of technical operation.

The article discusses factors affecting the durability and reliability of selected marine engine components. Such an analysis may accentuate the importance of selection of crews sailing to ships with a defined operational suitability, which affects the safety of navigation.

---

**Keywords** marine engines, technical operation, durability and reliability.

### 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