

Analiza walorów eksploatacyjnych współczesnych systemów diagnozujących silników okrętowych na przykładzie rzeczywistych zdarzeń eksploatacyjnych

Analysis of operating advantages of the marine engine modern diagnostic systems on example of the actual operating events

Zbigniew Łosiewicz

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Techniki Morskiej
71-065 Szczecin, al. Piastów 41, e-mail: zblsiew@zut.edu.pl

Słowa kluczowe: okrętowy silnik tłokowy, stan techniczny silnika, parametry diagnostyczne, zdarzenia eksploatacyjne

Abstrakt

W artykule przedstawiono różne zdarzenia eksploatacyjne prowadzące do jednakowych konsekwencji, tj. trwałego uszkodzenia silnika. Przeprowadzono analizę prowadzonych przez operatorów działań diagnostycznych, przydatności stosowanych na tych statkach systemów diagnostycznych oraz analizę walorów eksploatacyjnych najnowszych systemów diagnostycznych w aspekcie możliwości zapobieżenia opisanym konsekwencjom zdarzeń eksploatacyjnych.

Key words: marine piston engine, technical state of engine, diagnostic parameters, operating events

Abstract

In the article there are presented various operating events leading to the same consequences, i.e. permanent engine damage. The analysis has been carried out of diagnostic actions performed by the operators, of usefulness of the diagnostic systems held on these ships and the operating qualities of the latest diagnostic systems in respect of possibility to prevent the described consequences of operating events.

Wstęp

System diagnozujący SDG jest systemem, którego zadaniem jest dostarczanie danych diagnostycznych dotyczących silnika okrętowego (systemu diagnozowanego – SDN). Mogą być one przydatne mechanikowi w podejmowaniu racjonalnych decyzji eksploatacyjnych. SDG i SDN wchodzi w skład systemu diagnostycznego (SD). Skuteczność działania SD zależy od możliwości uzyskania trafnych i wiarygodnych informacji diagnostycznych umożliwiających mechanikowi podejmowanie trafnych i wiarygodnych decyzji.

Trafność informacji zależy od przystosowania SDN do oprzyrządowania miernikami parametrów, które przy możliwie małych zmianach dostarczają jednoznacznych informacji diagnostycznych.

W przedstawionych zdarzeniach eksploatacyjnych zabrakło takich informacji, co spowodowało znaczne straty i zagrożenie bezpieczeństwa załogi i statku.

Celem niniejszych rozważań jest próba oceny, czy współczesne SDG umożliwiają wsparcie decyzji operatora umożliwiające uniknięcie lub ograniczenie skutków zaistniałych zdarzeń.

Awarie silników

Przykład 1

W silniku czterosuwowym napędu głównego statku nastąpiło pęknięcie i urwanie dolnej pokrywy stopy korbowodu. Po dokonaniu oględzin silnika ustalono, że przyczyną awarii było uszkodzenie dolnej pokrywy stopy korbowodu. Poddano uszko-

dzony element badaniom nieniszczącym w autoryzowanym laboratorium.

Wyniki badań komisji powypadkowej:

„Przyczyną pęknięcia zmęczeniowego pokrywy była naprawa napawaniem nieciągłości stwierdzonej w procesie produkcyjnym po operacji kucia i obróbki mechanicznej skrawaniem. Za powyższym wnioskiem przemawia topografia powierzchni w ognisku wynikająca ze zróżnicowania mikrostruktury w napoinie i strefie wpływu ciepła oraz znacznie wyższa twardość spoiny.

Jak wynika z badania uszkodzonej części, powodem awarii była błędna obróbka cieplna w procesie produkcyjnym. Po napawaniu nie przeprowadzono żadnych działań w celu wyeliminowania naprężeń cieplnych. Zlekceważono fakt, że powyższy element nie należy do elementów zużywalnych i miał służyć przez cały czas eksploatacji silnika, a uległ uszkodzeniu po 4 latach, mimo że posiadał atesty dwóch uznanych towarzystw klasyfikacyjnych. Rozmiary konsekwencji awarii widoczne są na zdjęciach zrobionych przez załogę bezpośrednio po zdarzeniu.

Wydostające się na zewnątrz skrzyni korbowej elementy silnika spowodowały uszkodzenie przewodów olejowych i paliwowych. Zanim nastąpił zanik energii elektrycznej (black-out) spowodowany zatrzymaniem silnika sprzęgniętego z prądnicą wałową, paliwo i olej były rozpryskiwane po siłowni pod wpływem ciśnienia wytwarzanego przez pompę paliwową i olejową napędzanymi silnikami elektrycznymi. Trzeba uznać za niewiarygodne szczęście, że nie nastąpił zapłon i nie wybuchł pożar, który mógł mieć katastrofalne skutki.

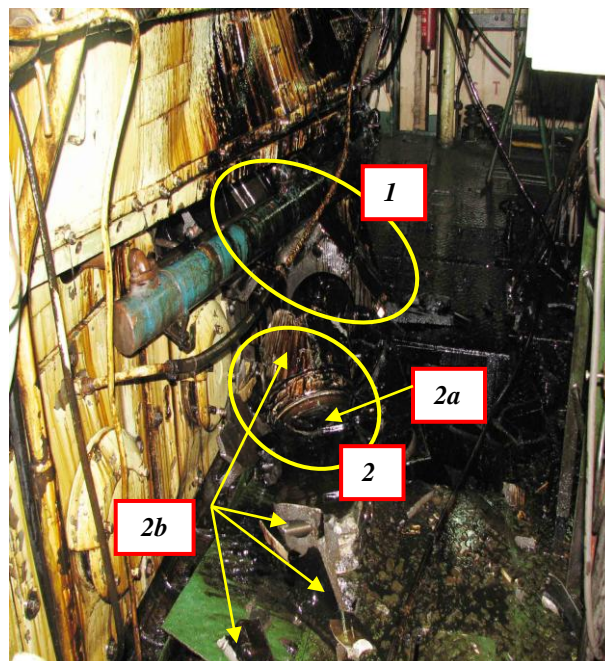
Konsekwencje:

W następstwie zaistniałego zdarzenia nastąpiło pęknięcie tłoka nr 4, wypchnięcie układu tłokowo-korbowego na zewnątrz, pęknięcie łożyska korbowego, oderwana na długości 3000 mm od bloku cylindrowego skrzynia wału krzywkowego, wał krzywkowy przegięty, wyrwania materiału w dolnej części prowadzenia tulei cylindrowej, tuleja rozklepana i zaklinowana z korbowodem, głębokie uszkodzenie czopu korbowego nr 4, uszkodzenie mas wirujących wału korbowego układu, pęknięcie przewodu paliwowego i zmieszanie paliwa ciężkiego z olejem smarowym (utrata ok. 6,5 t oleju), oderwanie podstawy karтеру mocującej pompy paliwowej nr 2, 3, 4 i 5, zmiążdżone tłoki, tuleje, korbowody układu nr 4+5.

Eksplozja nie spowodowała ofiar, pomimo oparów paliwa nie wybuchł pożar (rys. 2)” [1].

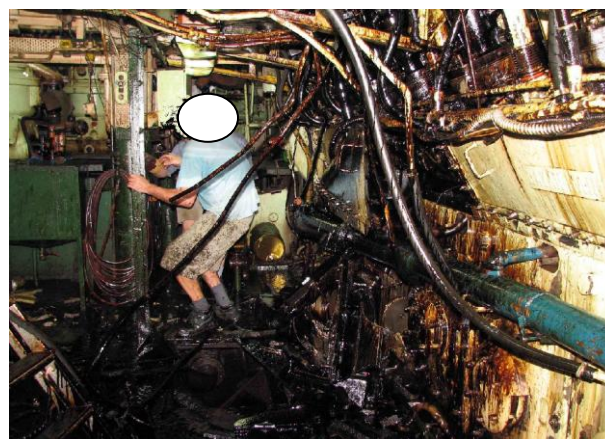
Skutki pośrednie pojawiły się w postaci kosztów części wymiennych, kosztów wycofania statku

z eksploatacji, kosztów pośrednich związanych z brakiem napędu.



Rys. 1. Widoczny połamany i wypchnięty na zewnątrz skrzyni korbowej korbowód (1) oraz połamany tłok (2): denko (2a) i fragmenty płaszczka tłoka (2b) [1]

Fig. 1. Visible connecting rod – broken and pushed outside the crankcase (1) and broken piston (2): head (2a) and fragments of piston skirt (2b) [1]



Rys. 2. Rozlane wokół silnika paliwo stwarza zagrożenie pożarowe; prawa burta [1]

Fig. 2. Fuel spilled around the engine causes fire risk; starboard [1]

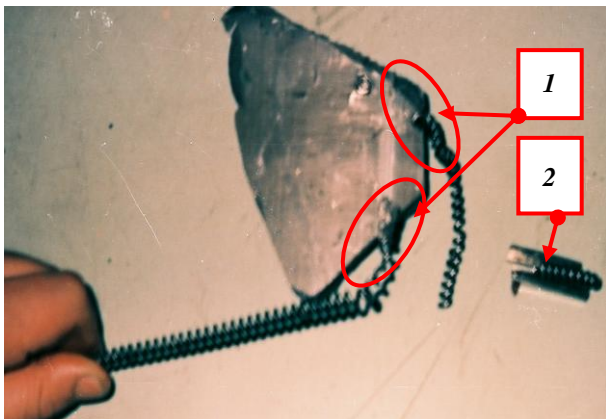
System diagnozujący nie alarmował przekroczenia granicznych wartości.

Przykład 2

Nastąpiło zdarzenie połamania olejowego pierścienia tłokowego i po dwóch dobach rejsu zatarcie tłoka i wypchnięcie korbowodu na zewnątrz skrzyni korbowej.

Następstwa połamania olejowego pierścienia tłokowego:

Pogorszenie procesu zbierania oleju smarowego z gładzi tulei cylindrowej oraz uszkodzenie gładzi tulei cylindrowej przez połamany pierścień. Nadmiar oleju smarowego spowodował powstawanie nagaru olejowego na płaszczu tłoka, w rowkach pierścieniowych w koronie tłoka, zapiekanie pierścieni tłokowych powodujące blokowanie pierścieni. Zablokowanie połamanego pierścienia olejowego spowodowało pęknięcie sprężyny, która została wypchnięta w przestrzeń między płaszcz tłoka i tuleję cylindrową. Sprężyna uszkodziła utwardzoną warstwę powierzchniową tulei i została wprasowana w tuleję (rys. 3).



Rys. 3. Sprężyna wtopiona w materiał tulei cylindrowej (1), zamek sprężyny pierścienia olejowego z fragmentem urwanej sprężyny (2); fot. st.of.mech. Marcelli Stelmaszczuk
Fig. 3. The spring set in the material of cylinder sleeve (1), oil ring spring lock with a fragment of broken spring (2); fot. Ch.Eng. Marcelli Stelmaszczuk

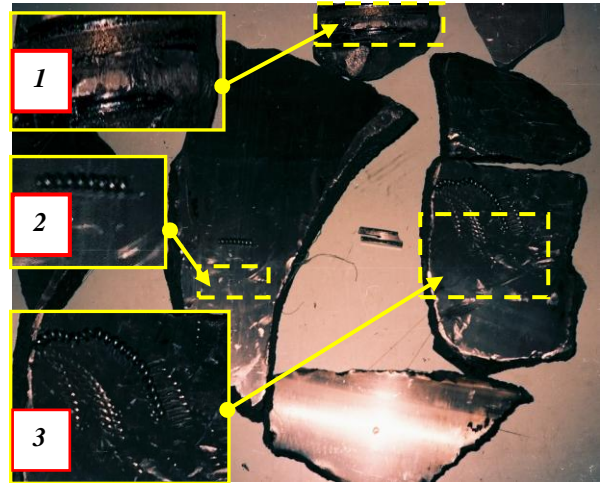
Pod wpływem sił tarcia i wydzielonego ciepła nastąpiło wtopienie się materiału sprężyny w materiał tulei, co pokazano na rysunku 4.

Zatarcie tłoka spowodowało urwanie się szpilek łączących dolną pokrywę stopy korbowodu z korbowodem i wypchnięcie go na zewnątrz skrzyni korbowej, powodując skutki analogiczne do skutków spowodowanych pęknięciem dolnej pokrywy stopy korbowodu, co opisano w przykładzie 1.

W ostatniej fazie awarii słyszalny był hałas podczas wypychania korbowodu z tłokiem na zewnątrz skrzyni korbowej.

Spadek ciśnienia oleju obiegowego i wysoka temperatura wody chłodzącej na odlocie z zatartej tulei spowodowały awaryjne zatrzymanie silnika i zanik energii elektrycznej – „black-out” (silnik główny napędzał prądnicę wałową).

System diagnozujący nie alarmował przekroczenia granicznych wartości.

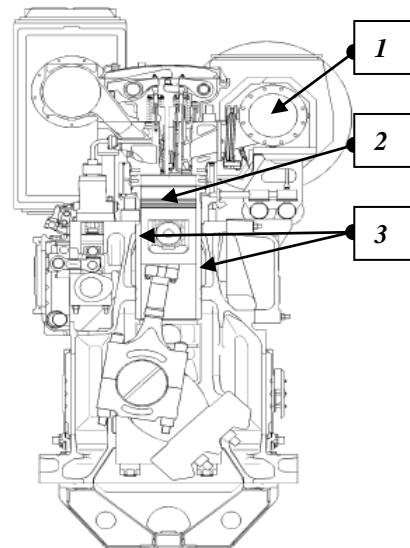


Rys. 4. Sprężyna z pierścienia tłokowego wprasowana w tuleję cylindrową; widoczny czarny nagar powstały na skutek niepełnego spalania oleju cylindrowego; fot. st.of.mech. Marcelli Stelmaszczuk

Fig. 4. Spring from the piston ring pressed into the cylinder sleeve; visible black carbon deposit originated in result of incomplete combustion of cylinder oil; fot. Ch.Eng. Marcelli Stelmaszczuk

Możliwości diagnostyczne współczesnych systemów diagnozujących

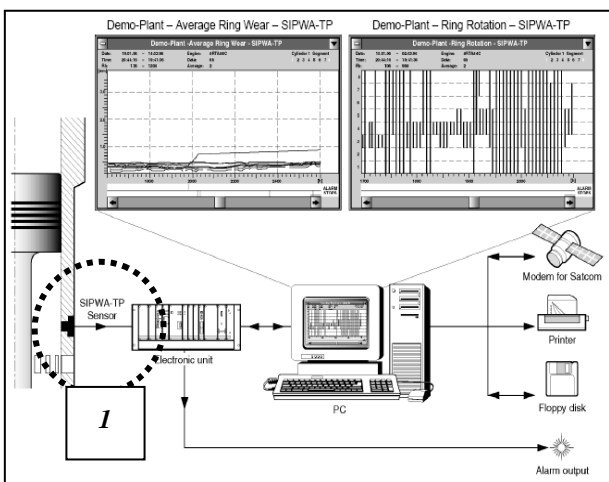
W ostatnich latach wzrosły możliwości monitorowania pracy silnika przez zaawansowane technologicznie systemy diagnozujące (rys. 6, 9). I tak np.:



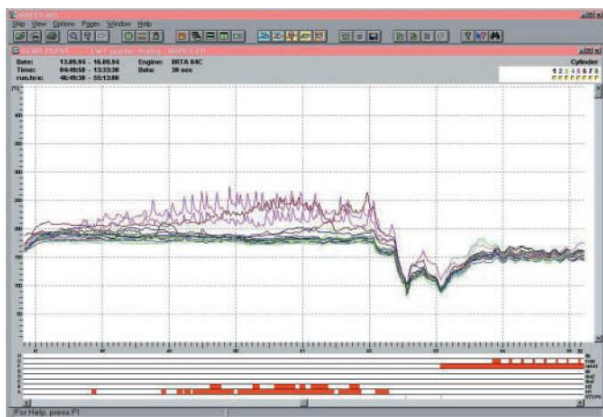
Rys. 5. Przekrój silnika czterosuwowego z zaznaczonymi miejscami zamontowania czujników: 1 – miernik temperatury gazów spalinowych, 2 – czujnik analizatora procesu spalania, 3 – czujnik zużycia pierścieni tłokowych i czujnik temperatury metalu tulei cylindrowej [2]

Fig. 5. Four-stroke engine section with the places marked, where the sensors are mounted: 1 – combustion gases temperature meter, 2 – combustion process analyser, 3 – detector of piston rings wear [2]

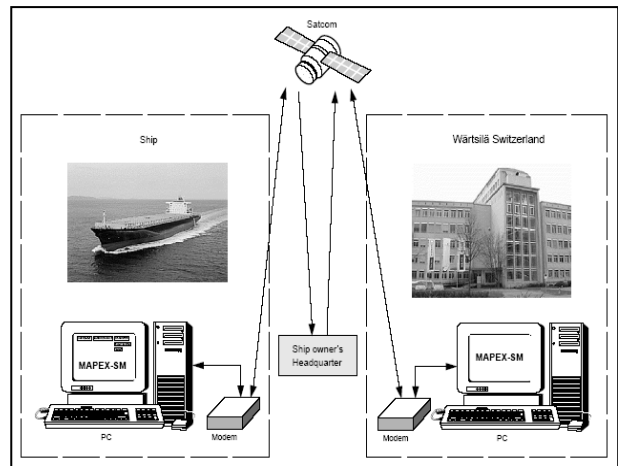
- elektroniczny analizator procesu spalania, cyklicznie monitorujący pracę silnika, umożliwia szybsze wykrycie zmian parametrów procesu spalania;
- elektroniczne czujniki temperatury (rys. 5) wykrywają mniejsze przyrosty temperatury gazów spalinowych na wylocie z głowicy uszkodzonego układu;
- systemy takie jak SIPWA-TP umożliwiają szybkie wykrycie wzrostu temperatury metalu tulei cylindrowych (rys. 7 i 8);
- systemy diagnozujące, takie jak MAPEX-PR pozwalają na szybkie wykrycie zużycia pierścieni tłokowych (rys. 10).



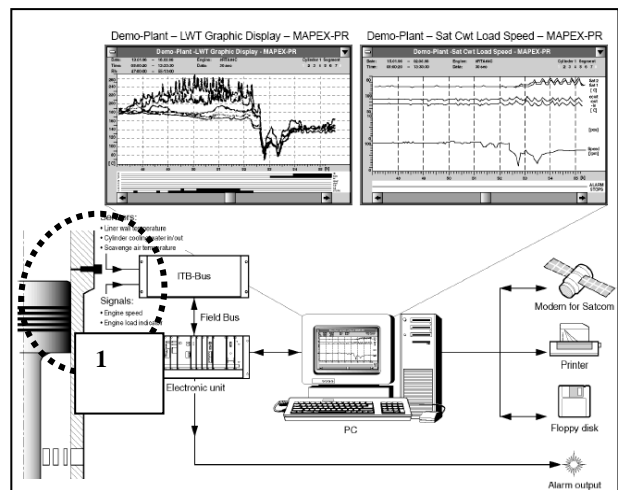
Rys. 6. Kontrola temperatury metalu tulei, zaznaczony czujnik temperatury (1)
 Fig. 6. Monitoring of the sleeve metal temperature, a temperature sensor is marked (1)



Rys. 7. Program MAPEX-PR pokazuje różnice między pomiarem rzeczywistym i wartościami planowanymi, np. pomiar zużycia pierścieni tłokowych [3]
 Fig. 7. MAPEX-PR programme shows differences between actual measurement and the planned values, e.g. measurement of piston ring wear [3]



Rys. 8. Zastosowanie zaawansowanej elektroniki do monitorowania pracy silnika. Przesyłanie danych do armatora i producenta silników [3]
 Fig. 8. Monitoring of diagnostic parameters by the manufacturer and ship owner office (2) [3]



Rys. 9. Schemat funkcjonowania systemu MAPEX-PR kontrolującego zużycie układu tłokowo-cylindrowego, czujnik zużycia pierścieni tłokowych (1) [3]
 Fig. 9. MAPEX-PR system – monitoring of the piston ring wear (1) [3]

Wnioski

1. Podczas eksploatacji silnika występują zdarzenia, których nie można wykryć w czasie rzeczywistym i ograniczyć ich konsekwencji (przykład 1);
2. Zdarzenie opisane jako przykład 1 należy uznać za błąd człowieka, wynikający z braku doświadczenia i wiedzy oraz podstawowych zasad bezpieczeństwa;
3. Elektroniczny analizator procesu spalania, cyklicznie monitorujący pracę silnika, pozwala szybciej wykryć zmianę parametrów pracy, wymuszając na mechaniku analizę przyczyn zmian takich parametrów;

4. Rozwój technologiczny umożliwia zastosowanie czujników temperatury metalu tulei, co pozwala wykryć wzrost temperatury szybciej niż metodą pośrednią – przez pomiar temperatury wody chłodzącej tuleje;
5. Zastosowanie systemu określającego stopień zużycia pierścieni tłokowych prawdopodobnie pozwoliłoby na wczesne wykrycie uszkodzenia pierścienia olejowego (przykład 2);
6. Na podstawie przytoczonych przykładów widać jak ważne jest stosowanie procedur bezpieczeństwa na każdym etapie produkcji i eksploatacji silnika;
7. Mimo rozwoju systemów diagnostycznych (SD) zarówno SDG, jak i SDN bardzo ważnym czynnikiem w podejmowaniu decyzji eksploatacyj-

nych jest trafna i wiarygodna diagnoza wypracowana przez mechanika na podstawie informacji z SDG (tak dobrych jak wiedza konstruktora i producenta) oraz wynikająca z jego wiedzy i doświadczenia.

Bibliografia

1. Materiały służb technicznych armatora (poufne).
2. Materiały firmy MAN&BW.
3. Materiały firmy Wartsila.

Recenzent:
prof. dr hab. inż. Jerzy Girtler
Politechnika Gdańska