

EKSPERTOWY SYSTEM KONTROLI, STEROWANIA I WSPARCIA DECYZJI OKRĘTOWEGO TŁOKOWEGO SILNIKA SPALINOWEGO – W ASPEKCIE BEZPIECZNEJ EKSPLOATACJI I EKOLOGII

W artykule omówione zostały założenie systemu ekspertowego, mającego za zadanie racjonalną obsługę silnika okrętowego i polepszenie warunków jego bezpiecznej i ekologicznej eksploatacji.

WSTĘP

Okrętowe silniki tłokowe są jednymi z największych jednostek napędowych środków transportu. Od ich zdatności do wykonania zadania eksploatacyjnego zależy bezpieczeństwo statku, jego załogi i ładunku. Systemy ekspertowe są nowoczesnym narzędziem mającym wspomagać decydentów statkowych w podejmowaniu decyzji eksploatacyjnych na statku morskim. Prawidłowa eksploatacja i automatyzacja obsługi okrętowego silnika spalinowego jest jednym z kluczowych zagadnień bezpiecznej i ekonomicznej eksploatacji jednostki pływającej. W artykule przedstawiono założenie systemu ekspertowego, mającego za zadanie racjonalną obsługę silnika okrętowego i polepszenie warunków jego bezpiecznej i ekologicznej eksploatacji.

1. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU EKSPERTOWEGO

Systemy ekspertowe są nowoczesnymi narzędziami informacyjnymi mającymi zastosowanie przy wsparciu decydenta w podejmowaniu decyzji między innymi w zakresie:

- diagnostyki technicznej maszyn i urządzeń,
- konfigurowania i parametryzacji procesów i systemów instalacji technologicznych, w tym systemów automatycznych,
- zbierania danych w zmiennych losowo warunkach wg zadanych kryteriów, analizowania wg opracowanych algorytmów, opracowywania trendów zmian w wielu dziedzinach badań [2, 3].

Systemy ekspertowe są programami komputerowymi, które mają w relatywnie krótkim czasie rozwiązywać złożone zadania i na podstawie szczegółowej wiedzy (zgrupowanej w odpowiednio skonfigurowanych bazach wiedzy) mogą wypracowywać wnioski i podejmować decyzje w danej dziedzinie.

Działanie opracowanego systemu ekspertowego opiera się na bazie wiedzy (odpowiednio wysokiej jakości) i działającym w czasie rzeczywistym ciągłym systemie wnioskującym. Zastosowanie takiego typu systemu pozwala na:

- zmniejszenie liczby operatorów,
- ograniczenie potrzeby ciągłej obecności operatorów o wysokich kwalifikacjach (wachta 24 h),
- doskonalenie jakości systemu [5, 6, 7, 14],
- zwiększenie przepustowości systemu,
- zmniejszenie awaryjności spowodowanej emocjonalnością operatora lub decydenta [5, 6, 7, 14],
- spójne monitorowanie, wysokiej jakości.

Funkcjonowanie systemu ekspertowego zgodne z założeniami projektanta jest możliwe w przypadku, gdy:

- jest zgromadzona możliwie pełna i kompetentna wiedza z danej dziedziny,
- istnieje możliwość aktualizacji wiedzy z danej dziedziny, związanej z postępem naukowym i technicznym;
- system posiada umiejętność naśladowania sposobu rozumowania człowieka – eksperta, którą to umiejętność stosuje przy rozwiązywaniu problemów występujących w tego samego typu silników, wprowadzając podobne rozwiązania;
- system posiada zdolność przedstawienia toku „rozumowania”, który doprowadził do otrzymanych wyników [5, 7];
- system posiada przyjazny sposób komunikowania się z użytkownikiem i taki sposób przedstawienia wyników, aby były zrozumiałe.

W rozpatrywanym problemie monitoringu i sterowania wybranymi procesami eksploatacyjnymi spalinowego silnika tłokowego w warunkach morskich idealne zastosowanie znalazłby system ekspertowy podejmujący decyzje bez kontroli człowieka, funkcjonujący w warunkach, gdy praca człowieka jest utrudniona, niemożliwa lub poziom kompetencji losowo dobranej jest zbyt niski. Mógłby również pracować jako system hybrydowy na statkach o szczególnym znaczeniu takich jak tankowce, chemikaliowce, statki pasażerskie [4, 10, 17].

2. ZAŁOŻENIA SYSTEMU EKSPERTOWEGO

Budowa systemu ekspertowego wymaga zbudowania bazy wiedzy eksperta. Jest to opłacalne wówczas, gdy:

- system ten będzie wykorzystywany w odpowiednio długim czasie,
- system będzie odpowiednio skalowalny, by mógł być zastosowany dla systemów eksploatacji silników podobnych typów.

Ważna jest także możliwość zgromadzenia wielu ekspertów, którzy będą tworzyć system wiedzy. Jest to bezpośrednio przekładalne na „wiarygodność” wypracowanych rozwiązań.

Powinna też zostać zachowana ciągła możliwość aktualizacji wiedzy systemu w trakcie pracy z monitoringu na statkach oraz z raportów starszych oficerów mechaników.

Efektywność systemu głównie będzie zależała od zakodowanej w systemie wiedzy, a nie w sposobie wnioskowania, jakim się on posługuje. Tak więc im więcej wiarygodnych danych i pełniejsza wiedza, tym rozwiązanie jest bardziej wiarygodne i uzyskiwane w krótszym czasie [5, 11, 16, 18, 21].

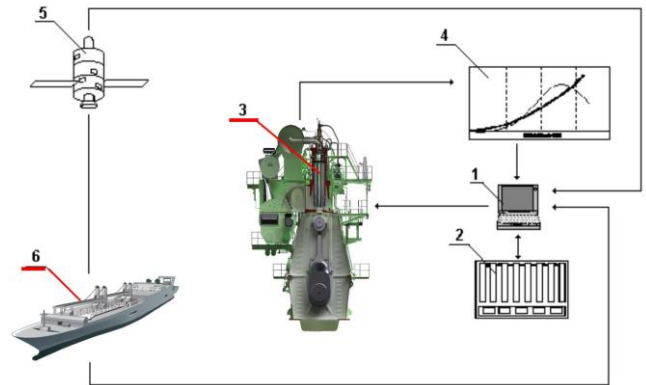
Schemat systemu ekspertowego przedstawiono na rys.1.

W przypadku systemu pracującego w zmiennych, trudnych warunkach morskich, wiele procesów zachodzących zarówno w silniku jak i na morzu wymaga stałego monitorowania [8, 9, 12]. Informacje te mogą pochodzić z wdrożonych już systemów monitoringu (systemu monitoringu pracy silnika, satelitarnych systemów prognozy pogody, systemów wspomagających sterowanie statkiem na szlaku morskim [4, 13], itp.). System ekspertowy będzie stanowił element integrujący napływające informacje i na podstawie bazy wiedzy będzie mógł podejmować najbardziej efektywne rozwiązania. W systemie czasu rzeczywistego sygnały wejściowe pochodzą z wielu źródeł. Podstawowym źródłem sygnałów, na których opiera się wnioskowanie jest system monitoringu pracy silnika tłokowego oraz baza producenta. Dodatkowymi sygnałami, które wspomagają proces wnioskowania są sygnały stanowiące opis środowiska, czyli położenia jednostki pływającej, opis rodzaju i stanu akwenu i warunków meteorologicznych.

Zintegrowanie systemu ekspertowego z systemem sterowania pracą silnika pozwala na wprowadzenie możliwości automatycznego (wg wypracowanych algorytmów) doboru nastaw i parametrów pracy w zależności od występujących czynników zewnętrznych i przyjętej strategii eksploatacji silnika. Spójny system kontroli pracy silnika musi zapewnić możliwie pełne informacje o stanach krytycznych i trendach zmian stanów silnika tak by możliwe było wczesne wykrywanie nieprawidłowości i podejmowanie działań podnoszących bezpieczeństwo eksploatacyjne silnika, zapewnienie sterowności statku, bezpieczeństwa żeglugi i obniżających koszty.

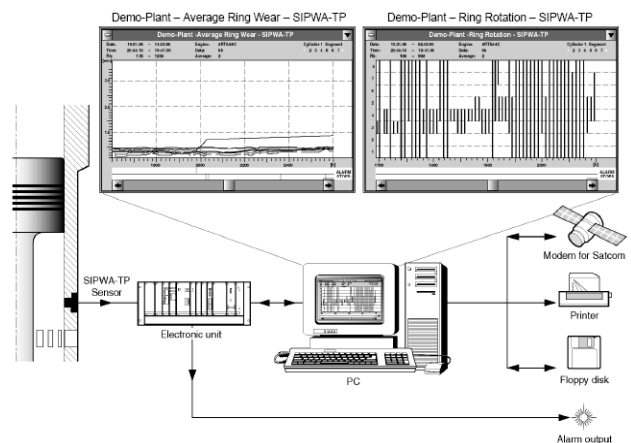
Na rys.2. przedstawiono schemat systemu ekspertowego producenta silników tworzącego bazy danych poprzez ciągły monitoring silników na statkach oraz okresowych raportach starszych oficerów mechaników okrętowych.

Rozdział źródeł informacji pozwala na utworzenie systemu w architekturze rozproszonej, co podnosi jego efektywność, a w przypadku awarii jednego z systemów monitorujących może być kompensowane informacjami z pozostałych systemów i bazy wiedzy o podobnych zdarzeniach na podobnych typach statków i silników.

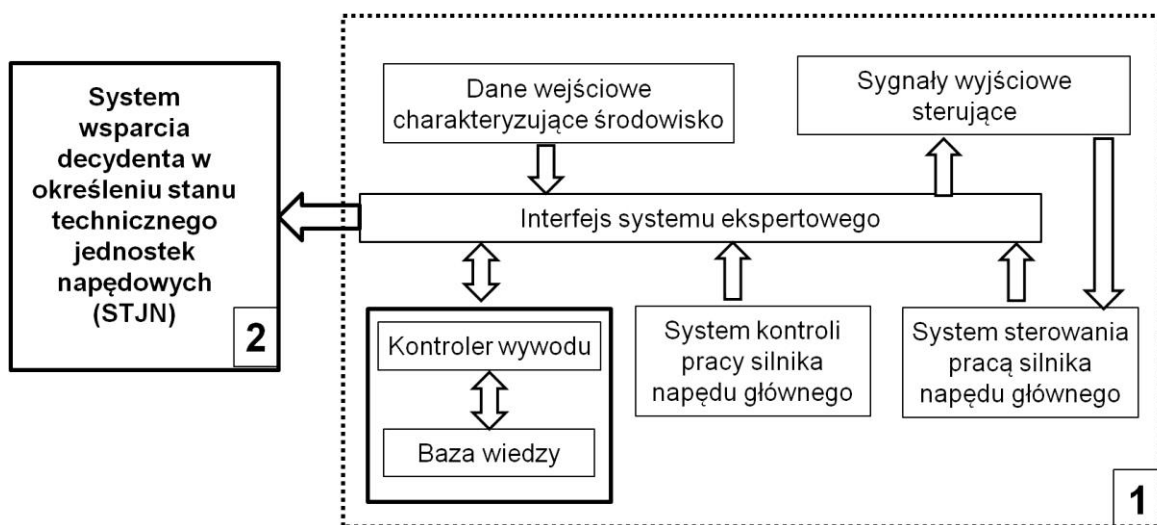


Rys. 2. Statkowy system ekspertowy (SMS)– źródła danych: 1. terminal systemu ekspertowego, 2 baza wiedzy, 3 silnik, 4. system monitoringu pracy silnika, 5. systemy satelitarne, 6. systemy pokładowe [źródło własne na podstawie [21]]

Na rys. 3 przedstawiono przykładowy schemat wyspowego systemu eksperckiego kontrolującego zużycie pierścieni tłokowych. Dane z monitoringu silnika są za pomocą satelity przesyłane do producenta silnika, służb armatorskich oraz jest możliwość przesyłania danych do innych adresatów np. ubezpieczycieli lub zainteresowanych władz portowych, do których ma zawinąć statek



Rys. 3. MAPEX-PR- system kontroli współpracy tłoka i tulei cylindrowej [21]



Rys. 1. Schemat ekspertowego systemu wsparcia decyzji w ocenie stanu technicznego silników spalinowych tłokowych: 1. System kontroli i sterowania silnikiem, 2. Ekspertowy system diagnostyczny wsparcia decyzji. [opracowanie własne]

Producenci silników sterowanych elektronicznie (z rozrządem elektronicznym) proponują systemy eksperckie do kontroli i sterowania silników ale wersja jest zależna od zamówionej przez armatora wersji systemu diagnostycznego [15].

3. REALIA EKSPLOATACYJNE OKRĘTOWYCH TŁOKOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH W ASPEKCIE UŻYCIA SYSTEMU EKSPERTOWEGO

Mimo prowadzenia intensywnych prac badawczych nad silnikiem sterowanym elektronicznie [14, 15, 16, 19, 20, 21] większość pracujących na morzu silników to silniki starszych typów. Posiadają one tylko punkty pomiarowe, które przewidują prawo IMO, często parametry pracy silnika są określane metodami pośrednimi. Stosowanie współczesnych mierników do diagnozowania tych silników niepotrzebnie podraża koszty, nie przynosząc spodziewanych korzyści. W przypadku silników starszej generacji, zbieranie i analizowanie przez armatora informacji dotyczących dużej populacji silników podzielonych na typy i roczniki może przyczynić się do stworzenia baz wiedzy. Jest to praktykowane przez dużych producentów silników na rzecz serwisu producenckiego. Tworzy się system ekspertowy, w którym łączy się pracę załogi w silowni z pracą systemów o „sztucznej inteligencji” gromadzącej i przetwarzającej dane oraz kreującej dane wejściowe na silnik, które są przesyłane na życzenie na burtę statku.

Na pracę systemu ekspertowego ma wpływ kompleksowa baza wiedzy, a tą można i powinno się zaplanować już w fazie projektowania nowego silnika przez odpowiedni dobór punktów pomiarowych, wpływających na trafność [1] danych wyjściowych z systemu, jako przydatnych parametrów diagnostycznych. Jeżeli dane te będą wiarygodne [1], to wynik pracy systemu będzie zadowalający.

Również zastępowanie elementów napędów mechanicznych silnika (koła zębate, łańcuchy napędowe, dźwignie zaworowe, ciągną, krzywki) napędami sterowanymi elektronicznie (hydraulicznymi, pneumatycznymi, elektrycznymi) umożliwia sterowanie nimi elektronicznie, jak i ułatwia montaż mierników (ciśnien, temperatur, przepływów, lepkości). Poza tym umożliwia synchronizację pomiarów, jak i kojarzenie w czasie pomiarów, które nie są ze sobą bezpośrednio związane.

Stosowanie systemów eksperckich na statku może być stosowany przy zastosowaniu odpowiedniego interfejsu do wyboru opty-

malnego napędu głównego statku adekwatnego do zadań eksploatacyjnych. Coraz więcej typów statków takich jak statki pasażerskie, samochodowce (Ro-Ro), statki wsparcia przemysłu wydobywczego (tzw. offshore vessels) posiadają wielosilnikowe napędy główne, napędy spalinowo – elektryczne. Ilość silników i ich obciążenie (np. ekologiczne) może być sterowane elektronicznie w zależności od potrzeb determinowanych stanem załadowania statku, stanem morza, wiatru, czasem potrzebnym na dotarcie do portu lub w sytuacjach awaryjnych. Schemat takiego systemu przedstawiono na rys. 4.

PODSUMOWANIE

Systemy ekspertowe umożliwiają wypracowany przez producenta, armatora i załogi jednolity racjonalny sposób eksploatacji silnika w dłuższych przedziałach czasowych. Monitoring, śledzenie zmian, opracowanie trendów zmian i szybka reakcja pozwala ograniczać degradację silnika i wydłużyć rezerwy czasowe elementów i zespołów silnika.

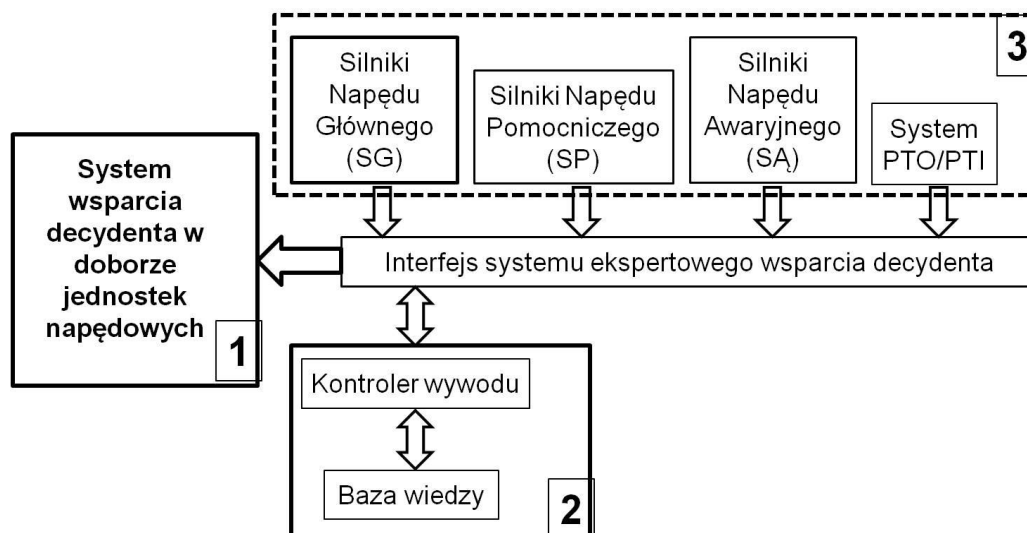
Trafna i wiarygodna diagnoza umożliwia racjonalną eksploatację silnika. Umożliwia to również redukcję kosztów zatrudnienia z równoczesnym ograniczeniem możliwości wystąpienia błędów, wynikające z emocjonalności i działań człowieka. Może stanowić system doradczy, jednak według istniejących przepisów (ISM – Code) to człowiek ponosi odpowiedzialność, bo oprócz wiedzy posiada jeszcze intuicję i doświadczenie.

Sterowanie elektroniczne sprzyja stosowaniu systemów eksperckich na statku np. do wyboru optymalnego napędu głównego statku adekwatnego do zadań eksploatacyjnych, szczególnie na statkach o napędach wielosilnikowych, o napędach spalinowo – elektrycznych lub w sytuacjach awaryjnych

Należy również pamiętać, że system ekspertowy jest tak dobry, jak dobrzy są jego twórcy – eksperci, inżynierowie wiedzy.. Dlatego też jak każdy sztuczny produkt ludzkiego umysłu wymaga umiejętnego użytkowania, konserwacji, weryfikacji oraz rozwoju.

BIBLIOGRAFIA

1. Girtler J.: Diagnostyka jako warunek sterowania eksploatacją okrętowych silników spalinowych. Studia Nr 28 WSM, Szczecin 1997.



Rys. 4 Schemat ekspertowego systemu wsparcia decyzji w racjonalnym doborze silników spalinowych napędu głównego w różnych sytuacjach eksploatacyjnych: 1. Ekspertowy system diagnostyczny wsparcia decyzji, 2. Jednostka kontroli i sterowania silników, 3. Silniki spalinowe tłokowe silowni. [opracowanie własne]

2. Kamińska J., Chalphen M.: Wpływ bezpiecznej odległości pomiędzy pojazdami na gęstość i prędkość ruchu, *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* Nr 6/2016, s. 578-582.
3. Kamińska J., Chalphen M.: Prędkość ruchu jako funkcja odległości między pojazdami, *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* Nr 12/2016, S. 635-639.
4. Łosiewicz Z., Mironiuk W.: Bezpieczeństwo w transporcie gazu naturalnego – analiza wg wybranych Kryteriów, *TTS Technika Transportu Szynowego*, Nr 9/2012.
5. Łosiewicz Z., Nikończuk P., Królikowski T.: Ogólna koncepcja neuronowego systemu eksperckiego identyfikacji stanu technicznego okrętowego silnika głównego, *Logistyka* Nr 3/2014, s.3987-3991.
6. Łosiewicz Z., Kamiński W., Practical Application of Ship Energy Efficiency Management Plan, *Logistyka* Nr 3/2014.
7. Łosiewicz Z.: Wpływ czynnika ludzkiego na bezpieczną eksploatację statku w aspekcie różnych faz życia statków, *Technika Transportu Szynowego* Nr 12/2015.
8. 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.
9. Łosiewicz Z., Cioch W., Drgania na statku morskim – W aspekcie bezpieczeństwa eksploatacyjnego, *Technika Transportu Szynowego* Nr 12/2015.
10. Łosiewicz Z., Mironiuk W.: Ocena bezpieczeństwa statków handlowych różnych typów w warunkach morskich - wg przyjętych kryteriów, *Technika Transportu Szynowego* Nr 12/2015.
11. Łosiewicz Z.: Zbiory parametrów diagnostycznych do identyfikacji stanów technicznych okrętowego tłokowego silnika spalinowego, *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* Nr 6/2016.
12. Łosiewicz Z. Banaszek A.: Węzły funkcjonalne okrętowego silnika spalinowego wolnoobrotowego wodorowego jako źródła drgań, *Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* Nr 6/2016, s. 986-988.
13. Łosiewicz Z., Mironiuk W.: Ocena bezpieczeństwa statków handlowych różnych typów w warunkach morskich - wg przyjętych kryteriów, *Technika Transportu Szynowego* Nr 12/2015.
14. MAN B&W Diesel AS – The Electronically Controlled ME Engine.
15. MAN B&W Diesel AS – CoCoS EDS.
16. MAN B&W Diesel AS – The Intelligent Engine: Development Status and Prospects.
17. Niederliński A.: *Regulowe systemy ekspertowe*. Wydawnictwo PJK, Gliwice 2000.
18. Niederliński A.: *An expert system shell for uncertain rule- and model based reasoning*. Methods of Artificial Intelligence in Mechanics and Mechanical Engineering AIMech 2001, Gliwice 2001.
19. Wartsila NSD Switzerland Ltd – Sulzer RTA – T – Technology Review.2002.
20. Wartsila Corporation: Service News from Wartsila Corporation 2002/1 2003, CBM for two stroke engines, Kaidara Software, Wartsila Corporation Helsinki, 2003.
21. Wartsila Corporation – Sulzer – RT – flex 60 – Technology Review. 2003.

The expert monitoring and control system of marine diesel engine - in the aspect of economic and ecology criteria

Paper discussed the expert system which is a modern tool to assist decision makers in making operational decisions on a sea-going vessel. Correct operation and automation of marine propulsion is one of the key issues for the safe and economical operation of the marine floating unit. This article presents the founding of an expert system for the rational handling of marine engines and to improve the conditions of its safe and ecological operation..

Autorzy:
 dr inż. st.of.mech.okr. Zbigniew Łosiewicz – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie – Wydział Techniki Morskiej i Transportu, Katedra Inżynierii Bezpieczeństwa i Energetyki, Zakład Inżynierii Bezpieczeństwa,
 zbigniew.losiewicz@zut.edu.pl