ISSN 1733-8670

ZESZYTY NAUKOWE NR 5(77)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE

OBSŁUGIWANIE MASZYN I URZĄDZEŃ OKRĘTOWYCH
O M i U O 2 0 0 5

Artur Bejger

Alternatywna metoda badań układu wtryskowego okrętowego silnika spalinowego

Słowa kluczowe: emisja akustyczna, układ wtryskowy, okrętowe silniki spalinowe, pompa wtryskowa, wtryskiwacz

W artykule zaprezentowano fragment wyników badań ukazujących możliwość wykorzystania emisji akustycznej do diagnozowania układu wtryskowego silnika okrętowego. Za pomocą odpowiedniej obróbki można wyselekcjonować źródła sygnału emisji akustycznej odpowiedzialne za rodzaj występującej w układzie wtryskowym niesprawności.

Alternative Research Method for the Marine Engine Injection System

Key words: acoustic emission, fuel injection system, marine diesel engines, injection pump, injector

This paper introduces the partial results of research, showing possibilities of acoustic emission use to the diagnosis of the fuel injection systems of marine diesel engines. By means of a suitable signal process we can get to the source of acoustic emission signals dependent on varying kinds of faults in the injection system.

Wstęp

Europejska Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy (European Agency for Safety and Health at Work) opublikowała pierwszy przewodnik nt. bezpieczeństwa i ochrony zdrowia, przeznaczony dla kapitanów kutrów używanych w rybołówstwie europejskim. Okazuje się, że każdego roku na całym świecie ginie w miejscu pracy blisko 24 tys. rybaków, a kolejne tysiące są ofiarami wypadków prowadzących do niepełnosprawności oraz chorób zawodowych [3]. Przyczyna tego tkwi m.in. w nieznajomości stanu technicznego silnika, mechanizmów pokładowych oraz niektórych innych ważnych urządzeń siłownianych.

Podobnie, ogromne znaczenie ma diagnostyka w żegludze pasażerskiej (przewozach promowych), gdzie właściwie nie istnieje pojęcie „niemożności pracy". Obecnie promy są tak konstruowane, aby istniała możliwość ich wypływania w każdych warunkach atmosferycznych. Armatorzy nie mogą pozwolić sobie na odwoływanie rejsów, ponieważ niesie to za sobą kolosalne skutki finansowe (rzędu tysięcy dolarów dziennie). Również każdy spadek sprawności silnika/silników to koszty związane ze zwiększoną ilością spalanego paliwa, którego średnie zużycie dla przeciętnej wielkości promu wynosi około 10 – 30 ton na dobę (w przypadku samych tylko silników głównych – bez uwzględnienia agregatów prądotwórczych). Zatem, oprócz ogromnego znaczenia dla bezpieczeństwa żeglugi, każde podwyższenie sprawności silników (rzędu chaciażby 0,5%) wiąże się z ogromnymi oszczędnościami.

Brak jednak prostych, ale przede wszystkim niezawodnych narzędzi diagnostycznych spełniających oczekiwania użytkowników. Obecne metody diagnozowania nie są w stanie sprostać oczekiwaniom armatorów eksploatujących silniki okrętowe.

Proponuje się wykorzystanie sygnałów emisji akustycznej jako metodę nieinwazyjną diagnozowania pomp wtryskowych (pośrednio również całego układu pompa – przewód wysokociśnieniowy – wtryskiwacz). Prowadzone w Zakładzie Diagnostyki Maszyn Okrętowych Akademii Morskiej w Szczecinie badania ukierunkowane są na dokładne określenie źródeł sygnałów emisji akustycznej, jakimi są zjawiska (zależne również od stanu technicznego/niesprawności) występujące w układzie wtryskowym silnika okrętowego.

1. Zużycie elementów układu wtryskowego

Wtryskiwacz posiada kilkanaście parametrów konstrukcyjnych, których wartości z różną intensywnością wpływają na proces wtrysku paliwa. Do parametrów najintensywniej zmieniających się na skutek zużycia należą:

- kształty i wymiary stożków korpusu i iglicy,
- średnice otworów wtryskowych,
- maksymalny skok iglicy,
- luz promieniowy w części prowadzącej rozpylacza,
- połączenie drążek – obsada wtryskiwacza,
- skojarzenie powierzchni oporowej iglicy z drążkiem,
- prowadzenie iglicy w korpusie.

Wszystkie z wymienionych parametrów są w mniejszym lub większym stopniu przyczyną gorszego rozpylenia paliwa, spadku mocy silnika i wzrostu jednostkowego zużycia paliwa. Nie spalone cząsteczki paliwa i nagar zwiększają efekty tarcia tłoka w tulei, gdyż cząsteczki paliwa osiadają na ściankach tłoka i tulei cylindrowej, zmywają warstwę oleju cylindrowego, natomiast skoksowane cząsteczki paliwa bezpośrednio zwiększają zużycie układu pomiędzy tłokiem i tuleją cylindrową.

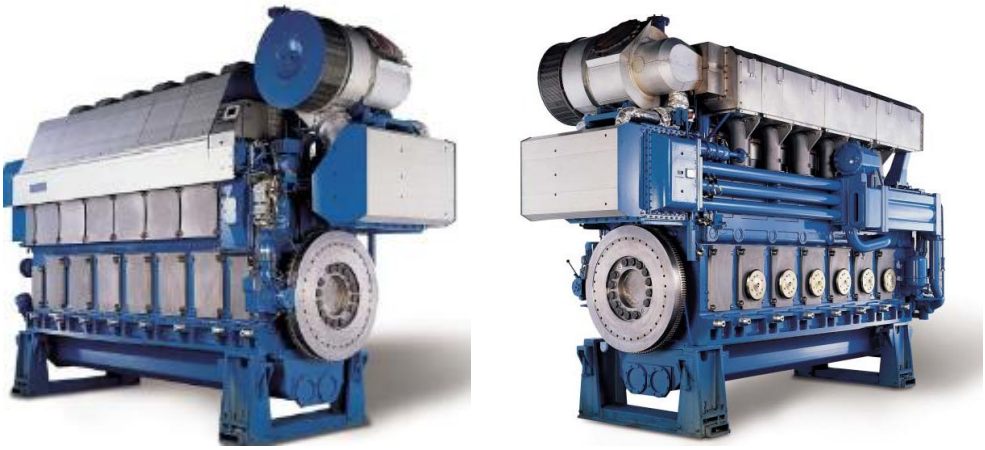
W przypadku pompy wtryskowej najczęściej występuje zużycie pary precyzyjnej tłok – cylinder. Powstaje przez to nieszczelność, która powoduje zmianę w charakterystyce wydajności pompy. Zmiana taka wywołana jest przeciekami części dawki przez luzy pary precyzyjnej, wskutek czego obniża się ciśnienie tłoczenia paliwa, opóźnia kąt wtrysku, pogarsza jakość rozpylania paliwa. Powoduje to gorsze warunki tworzenia się mieszaniny palnej w cylindrze, zwłaszcza przy małej prędkości obrotowej pompy (np. podczas uruchamiania silnika) [4].

Bardzo często uszkodzeniom podczas eksploatacji ulega zawór tłoczny pompy wtryskowej (zawór odciążający), który w żaden sposób nie jest diagnozowany. Kiedy podczas pracy pompy krawędź sterująca tłoka pokrywa się z krawędzią otworu przelewowego, następuje gwałtowny spadek ciśnienia w cylindrze pompy. Korzystne jest jednak utrzymywanie w przewodzie pewnego określonego ciśnienia, tzw. ciśnienia resztkowego. Zawór tłoczący utrzymuje takie ciśnienie dopóty, dopóki w najbliższym suwie tłoczenia nie rozpocznie się ponownie tłoczenie paliwa. Zadaniem zaworu odciążającego jest również, po zakończeniu wtrysku, obniżenie ciśnienia w przewodzie wtryskowym do takiego ciśnienia, aby wtryskiwacz dokładnie się zamknął i nie podawał źle rozpylonego paliwa do komory spalania.

Wszystkie elementy układu wtryskowego generują, jak się wydaje, charakterystyczny dla siebie sygnał emisji akustycznej. Problem tkwi w wyłonieniu takiego właśnie sygnału i uzależnieniu go od poszczególnych niesprawności układu. Istniejące obecnie systemy diagnostyczne nie zapewniają prawidłowego i skutecznego odzwierciedlenia stanu technicznego układu wtryskowego zarówno pomp wtryskowych, jak też wtryskiwaczy.

2. Wykorzystanie emisji akustycznej w badaniach układu wtryskowego silnika okrętowego

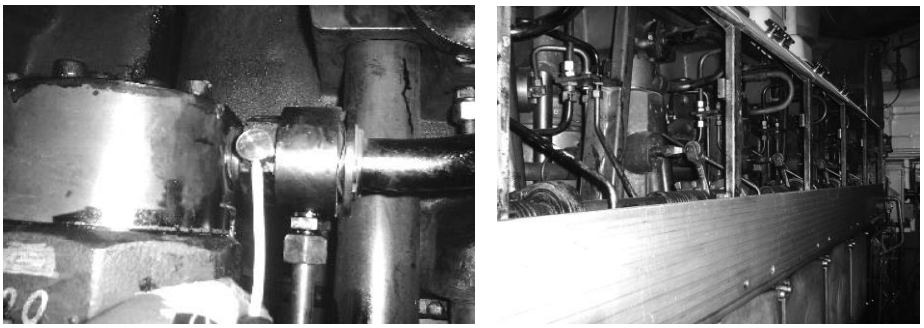
Przeprowadzono badania procesu wtrysku dla silników okrętowych Wartsila SW 380 o mocy 3960 kW pracujących jako napęd główny promu POLONIA (rys. 1) oraz silników Wartsila SW 280 o mocy 1800 kW pracujących jako agregaty prądotwórcze tegoż promu. Pomiarów dokonano przy obciążeniu silników wynoszącym około 90%.



Rys. 1. Silnik Wartsila SW 380
Fig. 1. Wartsila SW 380 diesel engine

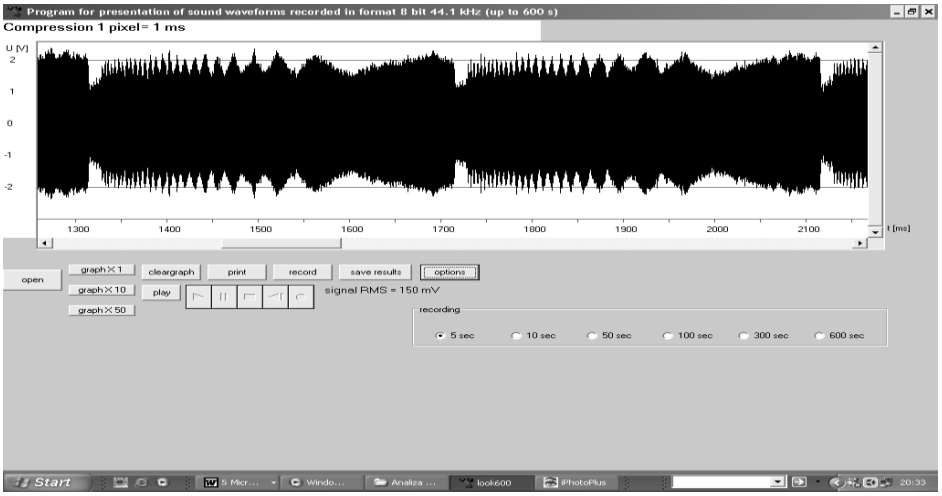
Przetwornik emisji akustycznej szerokopasmowy serii WD (o częstotliwości do 1 MHz) mocowano na króćcu tłocznym pompy wtryskowej (rys. 2). Dalej sygnał przekazywany był do analizatora emisji akustycznej (wykonanego przez Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk w Pracowni Analizy Sygnałów Emisji Akustycznej kierowanej przez dr hab. inż. Zbigniewa Ranachowskiego), a następnie zapisywany w komputerze przenośnym.

Po dokonaniu analizy otrzymanych sygnałów zauważyć można bardzo dokładnie zjawiska zachodzące w całym układzie wtryskowym. Na podstawie szeregu przeprowadzonych badań [1, 2] stwierdzono, że istnieje ścisła zależność identyfikowanych za pomocą emisji akustycznej źródeł występowania sygnału EA od stanu niesprawności. W zależności od miejsca pomiaru (zamocowania przetwornika) istnieje możliwość wyselekcjonowania badanego sygnału w niewłaściwie pracujących elementach układu wtryskowego – osobno pompie wtryskowej oraz wtryskiwaczu.

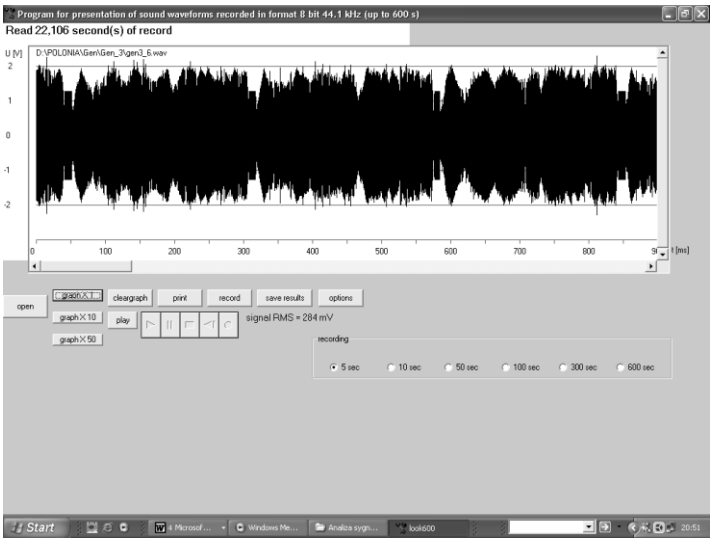


Rys. 2. Mocowanie przetwornika emisji akustycznej na pompie wtryskowej oraz widok poszczególnych sekcji pomp na silniku Wartsila SW 380
Fig. 2. Mounting of an acoustic emission sensor in a fuel injection pump and the view of fuel injection pump sections in a Wartsila SW 380 diesel engine

Przykładowe sygnały źródłowe emisji akustycznej silników SW 380 oraz SW 280 przedstawiono na rysunkach 3 i 4 oraz wartość skuteczną sygnałów dla poszczególnych następujących po sobie wtrysków – na rysunkach 5 i 6. Rysunki 7 i 8 prezentują analizę falkową dla dwóch wtryskiwaczy z wyraźną różnicą prawidłowo i nieprawidłowo pracującego zaworu wtryskowego.

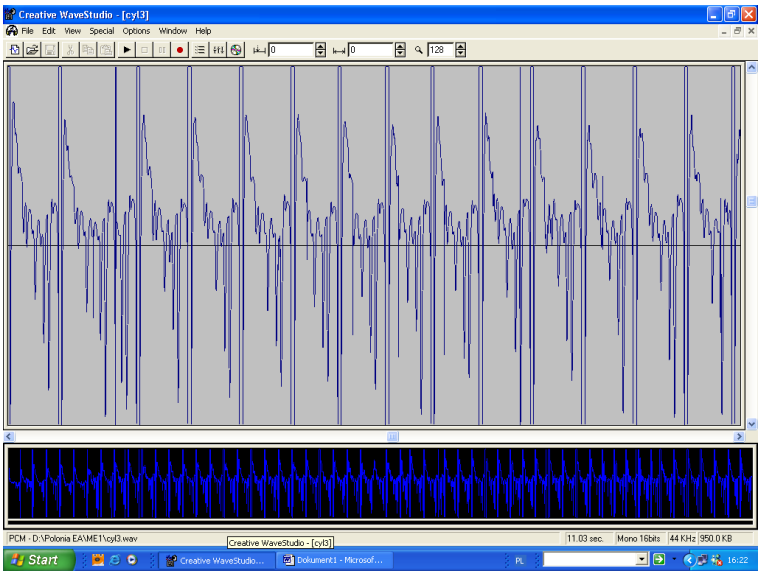


Rys. 3. Przebieg sygnału emisji akustycznej dla dwóch następujących po sobie procesów wtrysku paliwa dla silnika Wartsila SW 380
Fig. 3. Acoustic emission signal for two subsequent fuel injections in a Wartsila SW 380 diesel engine



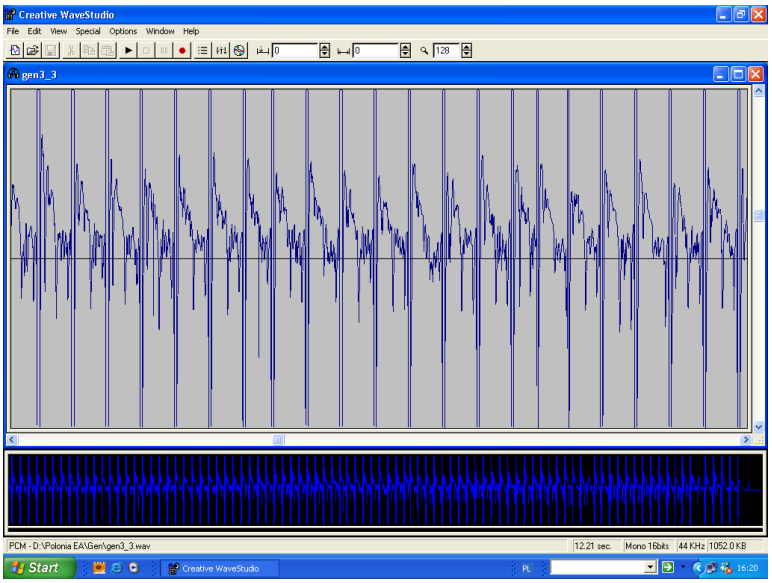
Rys. 4. Wartość skuteczna sygnału emisji akustycznej (RMS) dla trzech cykli procesu wtrysku w silniku Wartsila SW 280

Fig. 4. RMS of the acoustic emission signal for three following cycles of the injection process in a Wartsila SW 280 diesel engine

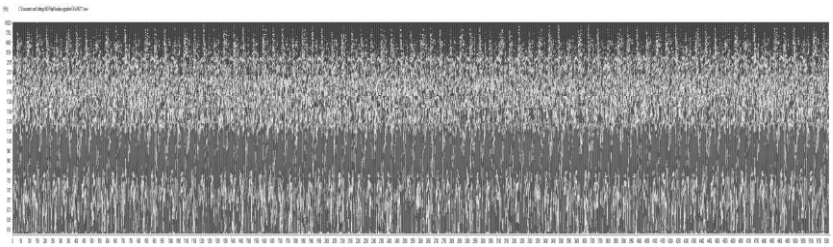


Rys. 5. Wartość skuteczna sygnału emisji akustycznej podczas kolejnych wtrysków w silniku Wartsila SW 380

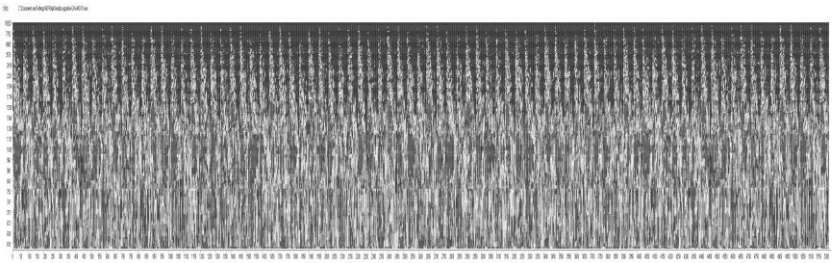
Fig. 5. RMS of the acoustic emission signal during the fuel injection processes in a Wartsila SW 380 diesel engine



Rys. 6. Wartość skuteczna sygnału emisji akustycznej podczas kolejnych wtrysków w silniku Wartsila SW 280 (agregat prądotwórczy)
Fig. 6. RMS of acoustic emission signal during the fuel injection processes in a Wartsila SW 280 diesel engine



Rys. 7. Analiza falkowa dla prawidłowo pracującego wtryskiwacza [5]
Fig. 7. Wavelet analysis for a correctly operating injector



Rys. 8. Analiza falkowa dla zakoksowanego wtryskiwacza [5]
Fig. 8. Wavelet analysis for a clogged injector

Oprócz znalezienia estymat ukierunkowanych na pracę układu wtryskowego, do rozwiązania pozostaje problem oceny stanu komory spalania, a ściślej – określenie szczelności pary tribologicznej gniazdo zaworowe – zawór (dolotowy i wylotowy). Istnieją przesłanki aby sądzić, że za pomocą odpowiedniej selekcji sygnałów emisji akustycznej można określić już początkowe zmiany zachodzące w tym układzie (nie wykrywalne za pomocą innych urządzeń).

Literatura

1. Bejger A., *Możliwości aplikacyjne emisji akustycznej do badania układów wtryskowych silników okrętowych*, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, Nr 1(73), 2004, s. 31 – 39.
2. Bejger A., *Możliwość wykorzystania sygnałów emisji akustycznej w diagnozowaniu wybranych urządzeń siłowni okrętowej*, V Krajowa Konferencja „Diagnostyka Techniczna Urządzeń i Systemów Diag'2003", 13 – 17 października 2003, Ustroń 2003, s. 301 – 302.
3. http://agency.osha.eu.int.
4. Piaseczny L., *Technologia napraw okrętowych silników spalinowych*, Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1992.
5. Ranachowski Z., badania własne, nie publikowane.

Wpłynęło do redakcji w lutym 2005 r.

Recenzenci

dr hab. inż. Andrzej Piętak, prof. WAT
prof. dr hab. Yury Kravtsov

Adres Autora

dr inż. Artur Bejger
Akademia Morska w Szczecinie
Instytut Nauk Podstawowych Technicznych
Zakład Diagnostyki i Remontów Maszyn Okrętowych
ul. Podgórna 51/53, 70-205 Szczecin
e-mail: abejger@am.szczecin.pl