

Diagnosics of Mechanical Defects Not Recognised by the OBD System in Self-Ignition Engines

Abstract:

There is no denying that these modern engines are devices of a much higher reliability than years ago, and that the mentioned above microprocessor control system – supported by the on-board diagnostic system – this reliability still improves. However, it does not mean that mechanical defects caused by manipulative errors, wrong service, exploitation or premature wearing out can not occur at all. It also does not mean that in each case of the defect occurrence it will be recognised by the diagnostic system. The main aim of the modern on-board diagnostic systems supervising the operation of electronic control systems is - first of all - satisfying the ecological requirements. The current investigations indicate explicitly that there is such group of defects (mainly mechanical) at which the developed control system performing self-adjustment does not recognise the defect and even weakens its typical external symptoms. Thus, the question how to perform diagnostics of internal combustion engines, to improve the recognition of such defects and to minimise the failure probability, became the essential one. A possibility of using residual processes as diagnostic signals in the OBD systems, as well as a dynamic development of digital methods of signal analysis, indicate that symptoms from vibroacoustic signals could become valuable supplements of the on-board diagnostic systems.

Key words: *diagnostic of self-ignition engines, vibroacoustic signals, mechanical defects not recognised by the OBD system*

Diagnostyka usterek mechanicznych niewykrywanych przez system OBD w silnikach ZS

Streszczenie:

Nie można zaprzeczyć, że te nowoczesne silniki są urządzeniami o znacznie wyższej niezawodności niż przed laty. Nie oznacza to jednak, że usterki mechaniczne, wywołane błędami wykonania, obsługi, eksploatacji czy przedwczesnym zużyciem, nie mogą w ogóle wystąpić. Nie oznacza to również, że w każdym przypadku wystąpienia usterki zostanie ona przez system diagnostyczny rozpoznana. Głównym celem współczesnych pokładowych systemów diagnostycznych nadzorujących pracę elektronicznych systemów sterowania jest bowiem przede wszystkim spełnienie wymagań ekologicznych. Z dotychczasowych badań wynika jednoznacznie, że istnieje taka grupa uszkodzeń (głównie mechanicznych), przy których rozbudowany system sterowania dokonując samoregulacji co najważniejsze nie rozpoznaje tego uszkodzenia a na dodatek osłabia typowe objawy zewnętrzne. Zasadniczym stało się więc postawienie pytania jak prowadzić diagnostykę silników spalinowych aby zwiększyć wykrywalność tego typu uszkodzeń a co za tym idzie zminimalizować prawdopodobieństwo wystąpienia awarii. Możliwość wykorzystania w systemach OBD, jako sygnałów diagnostycznych, procesów resztkowych oraz dynamiczny rozwój cyfrowych metod analizy sygnałów nasuwają wniosek, że cennym uzupełnieniem pokładowych systemów diagnostycznych mogłyby być symptomy z sygnału WA.

Słowa kluczowe: *diagnostyka silników ZS, sygnały WA, uszkodzenia mechaniczne niewykrywane przez system OBD*

1. Wstęp

Nowe, całkowicie bezdemontażowe metody badań stanu technicznego silników spalinowych opierają się na założeniu, że podczas pracy silnika generowane są dwa rodzaje procesów wyjściowych wykorzystywanych jako sygnały diagnostyczne:

- procesy użyteczne (robocze), wynikające bezpośrednio z realizacji użytecznych funkcji silnika; do parametrów procesu roboczego zalicza się moc (moment obrotowy) generowaną na wale korbowym, zużycie paliwa, ciśnienie sprężania w cylindrach (w przypadku wyposażenia silnika w opto-

elektroniczne czujniki ciśnienia), prędkość obrotową wału korbowego, parametry procesu spalania, itp.;

- procesy towarzyszące (resztkowe), powstające jako wtórny efekt zachodzenia procesów roboczych w silniku (i najczęściej zakłócające te procesy); są to m.in.: drgania i hałas (tzw. procesy WA), procesy termiczne, ilość i skład toksycznych składników spalin, itp.

Elektronizacja układów sterowania silników spalinowych (szczególnie w zakresie sterowania wtryskiem paliwa) spowodowała, że podany podział ma charakter raczej symboliczny. Pojawienie

się mikroprocesorowych, zintegrowanych sterowników pozwoliło na bieżącą obserwację sygnałów z czujników i elementów wykonawczych sterowania silnikiem. Sygnały te mają charakter zarówno sygnałów użytecznych (prędkość obrotowa, natężenie przepływu powietrza, podciśnienie w przewodzie dolotowym, skład spalin (szczególnie ilość tlenu w spalinach) jak i sygnałów towarzyszących (sygnał spalania stukowego, temperatura cieczy chłodzącej, itp.). Systemy sterowania silnikiem uzupełnione są o funkcje samodiagnostyki (autodiagnostyki), której zadaniem jest nie tylko regulacja i sprawdzanie części składowych systemu sterowania, ale także umożliwienie zidentyfikowania trudnych do wykrycia usterek.

Pozyskane przez producentów doświadczenie w stosowaniu systemów OBD w silnikach spalinych pojazdów samochodowych oraz wprowadzone w 2004 roku przez EPA (U.S. Environmental Protection Agency) przepisy ograniczające poziomy emisji szkodliwych substancji w spalinach silników jednostek pływających spowodowały, że praktycznie wszystkie obecnie produkowane silniki dla jachtów są wyposażone w systemy OBD.

Nie można zaprzeczyć, że te nowoczesne silniki są urządzeniami o znacznie wyższej niezawodności niż przed laty, a mikroprocesorowy układ sterowania, wsparty pokładowym systemem diagnostycznym, jeszcze tę niezawodność zwiększa. Nie oznacza to jednak, że usterki mechaniczne, wywołane błędami wykonania, obsługi, eksploatacji czy przedwczesnym zużyciem, nie mogą w ogóle wystąpić. Nie oznacza to również, że w każdym przypadku wystąpienia usterki zostanie ona przez system diagnostyczny rozpoznana. Głównym celem współczesnych pokładowych systemów diagnostycznych nadzorujących pracę elektronicznych systemów sterowania jest przede wszystkim spełnienie wymagań ekologicznych.

Z dotychczasowych badań [1,2,3,4,5,6,7,8,9, 10,11] wynika jednoznacznie, że istnieje taka grupa uszkodzeń (głównie mechanicznych), przy których rozbudowany system sterowania dokonuje regulacji „osłabiającej” typowe objawy zewnętrzne, a tym samym uczyni uszkodzenie w pewnym zakresie propagacji nierozpoznawalnym nawet dla doświadczonych mechanika oraz żaden kanał (ani ich kombinacje) zintegrowanego systemu diagnostyki pokładowej nie wykryje uszkodzenia. Znane są przypadki takich uszkodzeń, których niemożliwość wykrycia w ich wstępnej fazie doprowadziła do poważnych uszkodzeń silnika. Zasadnym stało się więc postawienie pytania, w jakim kierunku winem pójść rozwój systemów OBD, tzn. jakie dodatkowe symptomy uwzględnić i jak je analizować, by zminimalizować prawdopodobieństwo wystąpienia tego typu przypadków.

Możliwość wykorzystania w systemach OBD, jako sygnałów diagnostycznych, procesów resztkowych oraz dynamiczny rozwój cyfrowych metod

analizy sygnałów nasuwają wniosek, że cennym uzupełnieniem pokładowych systemów diagnostycznych mogłyby być symptomy z sygnału WA.

Dotychczasowe badania dotyczące wykorzystania symptomów z sygnałów WA prowadzone na Politechnice Warszawskiej i Politechnice Śląskiej [1,2,3,4,5,6,7,8,9] skupiły się głównie na silnikach ZI, ale ze względu na dynamiczny rozwój silników ZS, powodujący wyrównanie parametrów użytkowych silników obu grup i tym samym skutkujący wysokim zainteresowaniem użytkowników pojazdami wyposażonymi w silniki ZS, celowym wydaje się przeprowadzenie wszechstronnych badań nad tymi silnikami, prowadzących do zaproponowania systemu diagnostycznego opartego na symptomach z sygnału WA.

Dodatkowym a w zasadzie głównym powodem zainteresowania autorów tematem diagnostyki silników ZS jest to, że o ile w przypadku pojazdów wyposażonych w silniki ZI awaria skutkuje co prawda niemałymi kosztami naprawy ale głównym problemem jest dyskomfort właściciela pojazdu z powodu poruszania się przez kilka dni środkami transportu zbiorowego, to w przypadku pojazdów z silnikami ZS, na których oparty jest cały transport drogowy skutki awarii są bardzo trudne do oszacowania.

Nagłe awaryjne wyłączenie pojazdu z eksploatacji generuje bardzo duże koszty wynikające z naprawy, jak i również z konieczności uruchomienia transportu zastępczego.

2. Eksperyment badawczy

Wykonano obszerny eksperyment diagnostyczny na hamowni podwozowej. Obiektem badawczym był samochód wyposażony w czterocylindrowy 16-to zaworowy silnik ZS z systemem CommonRail. Rejestrowano zarówno sygnały drganiowe jak i skład spalin.

Czujniki drganiowe (przyspieszeń drgań) były umiejscowione na głowicy silnika mierząc przyspieszenia w kierunku pionowym głowicy nad pierwszym i czwartym cylindrem oraz na obudowie skrzyni biegów. Jako znacznik prędkości obrotowej silnika wykorzystano sygnał z czujnika położenia wałka rozrządu.

Do silnika wprowadzono usterki mechaniczne typowe dla tego typu obiektów, tj.:

- wypalenie zaworu wylotowego w dwóch stacjach uszkodzenia – początkowego i zaawansowanego;
- uszkodzenie uszczelki pod głowicą;
- oraz uszkodzenie wtryskiwacza.

Na rysunku 1 przedstawiono uszkodzony zawór, a w tabeli 1 przedstawiono zmianę ciśnienia sprężania w 1. cylindrze przy zastosowaniu uszkodzonych elementów.



Rys. 1. Widok uszkodzonego zaworu

Tabela 1. Ciśnienie w 1. cylindrze dla różnych stanów uszkodzenia.

| Silnik sprawny | Małe uszkodzenie zaworu | Duże uszkodzenie zaworu | Uszkodzenie uszczelki pod głowicą |
|----------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| 3[MPa] | 2,75[MPa] | 2,5[MPa] | 2,8[MPa] |

Metodyka badań była podobna jak w przypadku silników ZI [7]. Badania prowadzono przy stałych prędkościach obrotowych silnika na II-gim, III-cim i IV-tym biegu z kilkoma stałymi prędkościami obrotowymi silnika 1500, 2000 i 3000 obr/min.

Zgodnie z oczekiwaniami w żadnym z analizowanych przypadków system OBD nie rozpoznał wprowadzonej usterki, co oznacza że żaden z parametrów analizowanych przez system nie osiągnął wartości granicznych, w związku z tym jego działanie ograniczyło się jedynie do zmiany parametrów regulacyjnych tak by nie dopuścić do nadmiernej toksyczności spalin.

Już z wcześniejszych badań prowadzonych na silnikach ZI wynikało, że wykrywanie usterek mechanicznych nie jest sprawą prostą. Pomimo wielu prób diagnostyka tego typu uszkodzeń pozostaje nadal sprawą otwartą.

Tak jak w przypadku silników ZI próba rozpoznania uszkodzenia za pomocą miar odnoszących się do przebiegu czasowego nie dały pozytywnego

skutku.

W przypadku silników ZS wydaje się, że z powodu większego stopnia sprężania efekty drganiowe procesu spalania powinny być bardziej widoczne, dzięki czemu powinna być możliwa analiza oparta na niższych harmonicznych niż w przypadku silników ZI (Rys. 2).

Wstępne analizy pokazały, że pomimo takiego udogodnienia odwołanie się do miar obliczanych bezpośrednio z widma amplitudowego z sygnału pozwalają na rozróżnienie stanu dobrego i awaryjnego ale nie pozwalają na identyfikację typu uszkodzenia (Rys. 3).

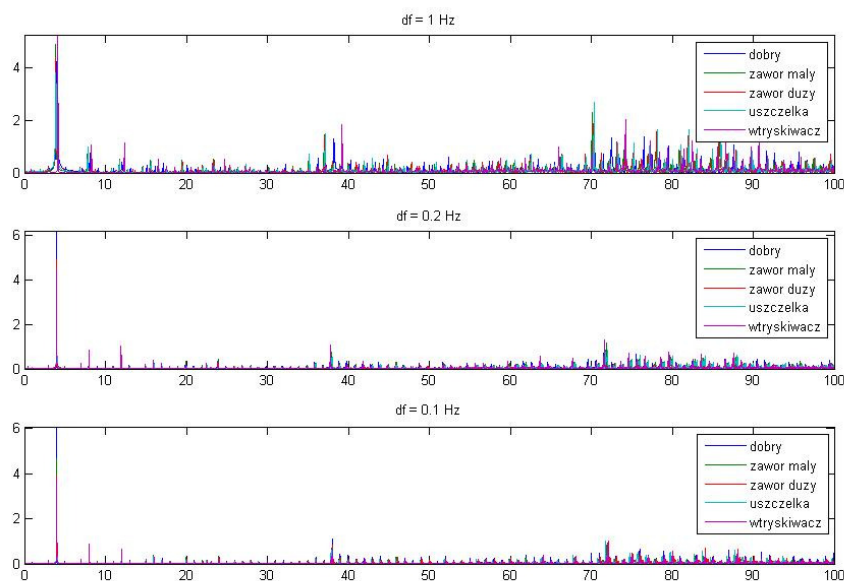
Ponieważ drugim głównym celem jest znalezienie zależności pomiędzy rodzajem uszkodzenia a zmianą strukturalną sygnału WA postanowiono przeanalizować związki fazowe sygnału WA.

Na rysunku 4 przedstawiono fragment widma mocy z fazy sygnału WA obejmujący pasmo kilku pierwszych harmonicznych częstotliwości wału korbowego. Wyraźnie widać, że szczególnie interesującym jest wąskie pasmo w zakresie do 2. harmonicznej, w którym wyraźnie widać różną strukturę sygnału dla różnych postaci uszkodzeń.

Wstępne analizy pokazują, że takie podejście może w znaczący sposób poprawić diagnostykę tego typu uszkodzeń.

Wnioski

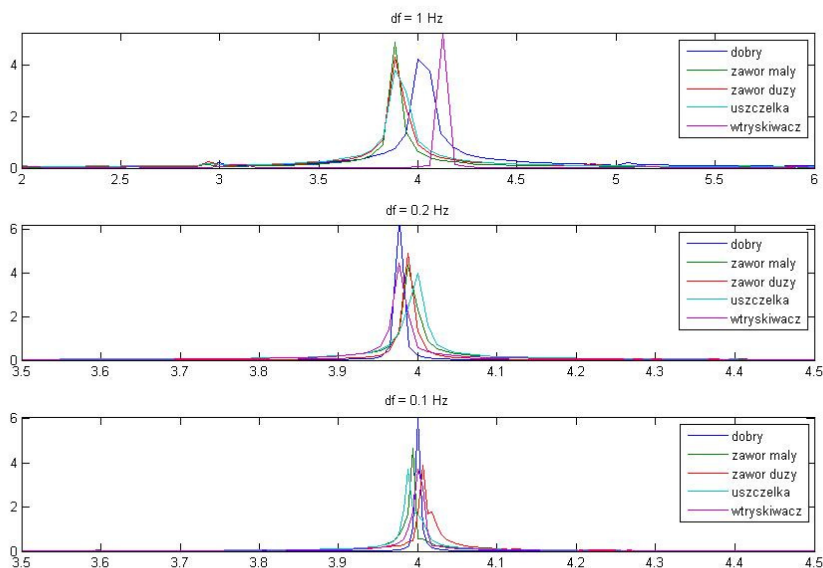
Jak widać wprowadzone usterki mechaniczne nie zostały wykryte przez pokładowy system OBD jako stany uszkodzenia. Pomimo tego, analizy widmowe oparte na sygnale WA dały pozytywne rezultaty



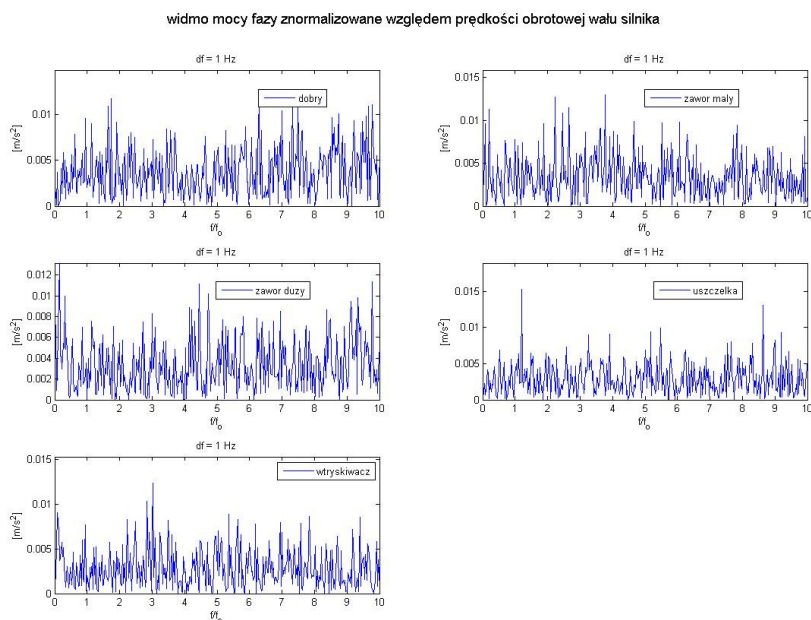
Rys. 2. Przykładowe widma mocy sygnału przyspieszeń drgań głowicy dla silnika ZS

skutkując większą efektywnością rozróżnienia stanu sprawnego i stanu uszkodzenia to nadal pozostaje otwarta sprawa rozróżnienia typu uszkodzenia. Sięgnięcie do analizy związków fazowych znacznie poprawiło identyfikację rodzaju uszkodzeń co daje

podstawy do tego by uznać sygnał WA jako użyteczny do budowania miar tego typu uszkodzeń silników ZS.



Rys. 3. Przykładowy fragment widma mocy sygnału przyspieszeń drgań głowicy obejmujący pasmo wokół 2. harmonicznej częstotliwości obrotowej wału korbowego dla różnych rozdzielczości częstotliwościowych



Rys. 4. Przykładowe widmo mocy fazy sygnału przyspieszeń drgań głowicy

Nomenclature/Skróty i oznaczenia

ZI Petrol Engine/silnik o zapłanie iskrowym
 Sygnał WA vibroacoustic signal/sygnał wibroakustyczny

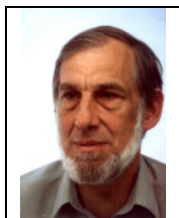
ZS Self-Ignition Engines (Diesel Engine) /silnik z zapłonem samoczynnym

Bibliography/Literatura

- [1] Dąbrowski Z., Madej H., Masking mechanical damages in the modern control systems of combustion engines, Journal of KONES Powertrain and Transport, vol. 13, No. 3.
- [2] Dąbrowski Z., Madej H., O użyteczności symptomów wibroakustycznych w nowoczesnej diagnostyce silników spalinowych, Przegląd Mechaniczny nr 1/2007.
- [3] Madej H., Diagnostowanie uszkodzeń układu wymiany ładunku silnika spalinowego ZI metodami wibroakustycznymi, Przegląd Mechaniczny nr 4/2009.
- [4] Madej H., Diagnostowanie uszkodzeń mechanicznych silników spalinowych metodami wibroakustycznymi, Przegląd Mechaniczny nr 1/2008.
- [5] Górnicka D., Diagnostowanie uszkodzeń w silniku spalinowym techniką WA (niewykrywalnych przez system OBD), praca dyplomowa.
- [6] Deuzkiewicz P., Górnicka D. Analiza możliwości diagnostyki uszkodzeń mechanicznych silnika ZI przez system OBDII na przykładzie uszkodzenia zaworu, XXXV Jubileuszowe Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Węgierska Górka 2008.
- [7] Deuzkiewicz P., Górnicka D., Mechaniczne uszkodzenie silnika spalinowego a sygnał drganiowy, XIV Konferencja naukowa Wibroakustyki i Wibrotechniki, IX Ogólnopolskie Seminarium Wibroakustyka w systemach technicznych WIBROTECH, Kraków 2008.
- [8] Deuzkiewicz P., Górnicka D., Częstość RICE'a jako miara uszkodzenia zaworu silnika spalinowego, Przegląd Mechaniczny nr 4/2009.
- [9] Dąbrowski Z., Górnicka D., Próba diagnozowania uszkodzeń zaworu wylotowego silnika o zapłonie iskrowym metodami wibroakustycznymi, XVI Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe Motoryzacyjne problemy ochrony środowiska, Warszawa 2008.
- [10] Merkisz J., Mazurek St., Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych, Warszawa WKiŁ 2007.
- [11] Pięta A., Systemy współczesnego diagnozowania silników spalinowych, Journal of KONES Powertrain and Transport, vol. 7, No. 1-2.

Mr Dąbrowski Zbigniew, DSc., DEng. – Professor in the Faculty of Automotive and Construction Machinery Engineering at Warsaw University of Technology.

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski – profesor na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej.



Mr Zawisza Maciej, PhD. Eng. – employed at the Faculty of Automotive and Construction Machinery Engineering at Warsaw University of Technology.

Dr hab. inż. Zawisza Maciej – adiunkt na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej.

