

MONITORING OF THE COMBUSTION PROCESS QUALITY OF THE TRACTIONAL DIESEL ENGINE IN THE EOBD REQUIREMENTS ASPECT

Andrzej Piętak

Wojskowa Akademia Techniczna

ul. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, tel. fax: 0-22-6837602;

email: apietak@wat.edu.pl

Abstract

The basic requirements of the OBD II/EOBD systems for diesel combustion engines are present in the paper. The necessity of combustion process parameters monitoring in the engine is pointed. There are shown the results of the UTD-20 engine tests concerning the FFT analysis of quick-changeable measurements of temporary rotational speed and temporary accelerations of engine crankshaft for the purposes of fuel combustion process monitoring.

MONITOROWANIE JAKOŚCI PROCESU SPALANIA TRAKCYJNEGO SILNIKA O ZS W ASPEKCIE WYMAGAŃ EOBD

Streszczenie

W referacie przedstawiono podstawowe wymagania systemów OBDII/EOBD dla silników spalinowych o ZS. Wskazano na konieczność monitorowania parametrów procesu spalania w silniku. Podano wyniki badań silnika UTD-20 dotyczące analizy FFT szybkozmiennych pomiarów chwilowej prędkości obrotowej chwilowych przyspieszeń wału korbowego do celów monitorowania procesu spalania paliwa.

1. Wprowadzenie

Pomimo wielu wad i zagrożeń dla środowiska naturalnego, silnik spalinowy pozostanie w najbliższej przyszłości podstawowym źródłem napędu środków transportowych. Jednak jego rozwój będzie ukierunkowany głównie na spełnienie coraz ostrzejszych norm ekologicznych. Problemy z zanieczyszczeniem powietrza doprowadziły do zaostrzenia przepisów dotyczących ochrony środowiska i dotknęły one przede wszystkim pojazdy samochodowe. Dla spełnienia obecnie obowiązujących i przewidzianych w przyszłości do wprowadzenia norm emisji toksycznych składników spalin, współcześnie produkowane silniki muszą zostać zaopatrzone w kompleksowe systemy diagnostyczne i sterujące, w tym w autonomiczne, pokładowe systemy diagnostyki pokładowej OBD (On Board Diagnostic) [6].

Obowiązkową funkcją najnowszych systemów diagnostyki pokładowej (OBDII/EOBD) jest pomiar i ciągle monitorowanie podstawowych parametrów układu napędowego, w tym wszystkich parametrów emisyjnie krytycznych tzn. takich, które bezpośrednio lub pośrednio wskazują na możliwość wystąpienia zwiększonej emisji toksycznych składników spalin z układu wylotowego lub par paliwa z układu zasilania. Innym celem stosowania OBD II jest wyeliminowanie pozapokładowych systemów pomiarowo-diagnostycznych [1,2,3,4] i zastąpienie ich jednym, zunifikowanym systemem pokładowym, za pomocą którego będzie można dokonywać kontroli i diagnostyki układu napędowego, a docelowo całego pojazdu.

Zastosowanie systemu OBD II (w Europie nazywanego EOBD) w samochodzie oznacza wyposażenie pojazdu w standardowy zespół czujników, urządzeń i jednostek sterujących,

które zapewniają spełnienie norm i uregulowań OBD II w zakresie kontroli zanieczyszczenia środowiska. Dla silnika o ZS (oraz innych silników na paliwa alternatywne) procedury EOBD/OBD II obowiązywać mają obligatoryjnie od 1.01.2005r. i obejmować następujące funkcje monitorujące i sterujące: odprowadzenie zwrotne spalin (recykulacja), wypadanie „obiegów”, regulacja początku wtrysku, regulacja ciśnienia (temperatury) doładowania, obsługa magistrali CAN, czujniki i elementy wykonawcze związane ze sterownikiem.

Niesprawność silnika polegająca na braku spalania (lub niedostatecznej jakości procesu) opisana potoczny polskim terminem „wypadanie zapłonów” dla silnika o ZI („wypadanie obiegów” dla silnika o ZS) zdefiniowana jest w Dyrektywie 98/69NE jako: „brak spalania w cylindrze silnika o ZI spowodowany brakiem iskry zapłonowej, ubogą mieszanką, zbyt małym stopniem sprężania (*tłumaczenie: raczej ciśnieniem sprężania*), lub jakąkolwiek przyczyną”. Definicja ta wprost ma zastosowanie dla silnika o ZS. Problem „wypadania obiegów” i monitorowanie tego zjawiska w rzeczywistym silniku urasta do rangi poważnego problemu, którego rozwiązanie może przyczynić się do istotnej poprawy parametrów ekologicznych i trwałościowych eksploatowanych silników. Prowadzone szeroko prace nad bezpośrednim monitorowaniem ciśnienia spalania nie dały jeszcze aplikacyjnych rezultatów. W pracy zaprezentowano wyniki badań wstępnych nad możliwością zastosowania do tego celu szybkozmiennych pomiarów prędkości obrotowych i chwilowych przyspieszeń wału korbowego w szerszym aspekcie diagnozowania silnika o ZS.

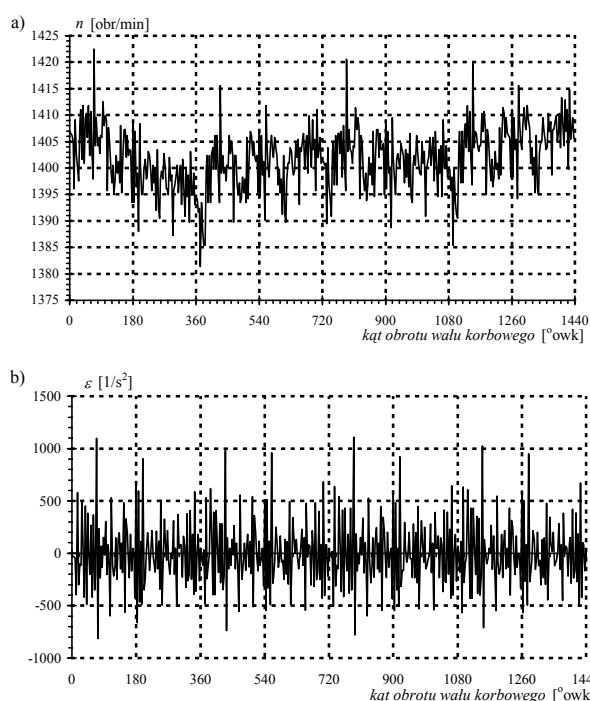
2. Metodologia pomiarów

Do pomiarów chwilowej prędkości obrotowej wału korbowego silnika zastosowano specjalnie opracowaną kartę pomiarową, która umożliwia pomiar i rejestrację względnego czasu przejścia czoła impulsów znaczących koła zębatego (odpowiadających przejściu czoła zęba przed czujnikiem reluktancyjnym) oraz liczbę impulsów pomiędzy kolejnymi odczytami czasu. Pozwala to na obliczenie odstępów czasu pomiędzy kolejnymi impulsami, a na tej podstawie wartości chwilowej prędkości obrotowej i jej pochodnych - przyspieszenia kąowego i momentu obrotowego. Ponadto karta umożliwia identyfikację położenia kąowego wału korbowego.

3. Wyniki pomiarów i obliczeń

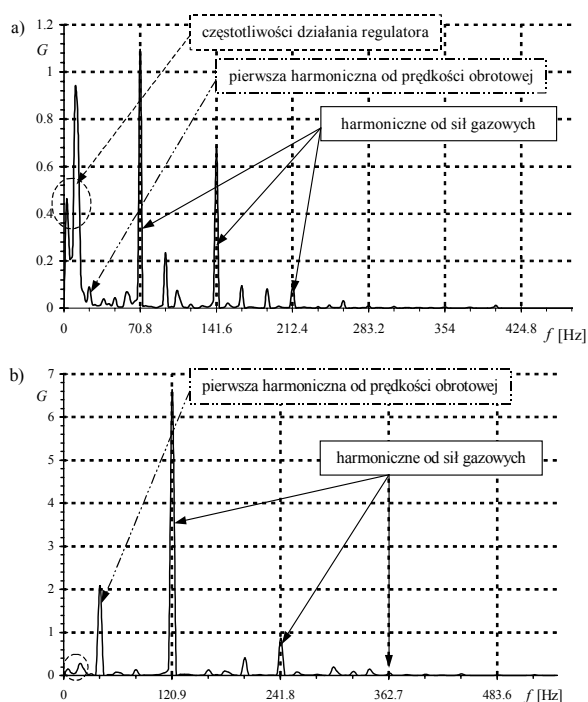
Wykonano pomiary chwilowej prędkości obrotowej wału korbowego silnika bojowego wozu piechoty z rozdzielczością 114 punktów pomiarowych na każdy obrót wału korbowego. Badania wykonano w warunkach ustalonych, podczas pracy silnika z quasiustaloną prędkością obrotową, w zakresie 600 obr/min - 2800 obr/min. Przykładowy przebieg prędkości (oraz przyspieszeń kąowych) zarejestrowany dla pracy silnika z prędkością około 1400 obr/min pokazano na rys. 1. Zarejestrowane podczas pomiarów przebiegi prędkości obrotowej (a zwłaszcza przebiegi jej pochodnej - przyspieszenia kąowego) w zależności od kąta obrotu wału korbowego, zawierają zniekształcenia wynikające z błędów pomiaru i zakłóceń, w tym wynikających z nierównomierności dawkowania poszczególnych sekcji pompy wtryskowej oraz działania regulatora prędkości obrotowej (zakres częstotliwości zaznaczony obwiednią na rys. 2a i 2b). Odtworzenie właściwego przebiegu wymaga więc minimalizacji czynników zniekształcających. W tym celu zarejestrowane przebiegi (dla każdej prędkości obrotowej po około 20000 próbek) poddano analizie częstotliwościowej. Uzyskane w wyniku analizy FFT gęstości widmowe dla wybranych prędkości obrotowych silnika podano na rys. 2. Analiza ta wykazała, że podstawowymi częstotliwościami dla rozpatrywanych sygnałów, niosącymi w sobie najwięcej informacji są częstotliwości pochodzące od sił gazowych, których kolejne 3 harmoniczne wskazano na rys. 2 strzałkami.

Oprócz nich widoczne są prążki (częstotliwości) pochodzące od prędkości obrotowej (odpowiednio 23,6 Hz dla $n \approx 1400$ obr/min i 40,3 Hz dla $n \approx 2400$ obr/min) oraz ich kolejne wielokrotności.



Rys. 1. Przebiegi chwilowej prędkości obrotowej i przyspieszeń kątowych silnika: chwilowa prędkość obrotowa silnika, b). przyspieszenia kątowe.

Fig. 1. The courses of temporary rotational speed and angular accelerations of the engine, a) temporary rotational speed of the engine, b) angular acceleration



Rys. 2. Gęstości widmowe mocy dla prędkości obrotowej a) -1400 obr/min, b) -2400obr/min

Fig. 2. Spectrum densities of the power for rotational speed, a) 1400 rpm, b) 2400 rpm.

4. Błędy pomiaru prędkości obrotowej

Szczegółowa analiza źródeł błędów w stosowanym torze pomiarowym prędkości obrotowej [7] pozwoliła na oszacowanie błędu pomiaru czasu (czyli w praktyce błąd pomiaru prędkości obrotowej) na około 0,1 %. Dla prędkości obrotowych poniżej 1000 obr/min dokładność pomiaru wynosi ≈ 1 obr/min, dla zakresu 2000-3000 obr/min około 3 obr/min.

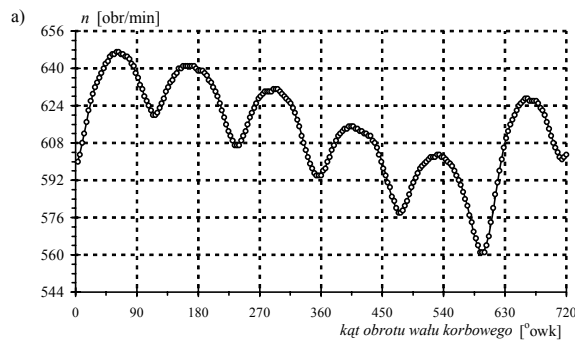
Uzyskanie informacji diagnostycznej o stanie technicznym silnika na podstawie przebiegu prędkości obrotowej [5] (przyspieszenia kątowego) implikuje konieczność jej analizy dla przebiegu pozbawionego zakłóceń. Przyjęto założenie, że podstawowym czynnikiem powodującym zmianę prędkości obrotowej w funkcji kątowego położenia wału jest działanie sił gazowych (wytwarzanie momentu obrotowego w poszczególnych cylindrach). Zarejestrowane przebiegi prędkości obrotowej poddano filtracji, stosując filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości granicznej ustalonej oddzielnie dla każdego rozpatrywanego pomiaru na poziomie nieco wyższym niż wartość 3-ej harmonicznej pochodzącej od sił gazowych. Na przykład dla prędkości obrotowych 1400 obr/min i 2600 obr/min wynosiły one odpowiednio 221 Hz i 379 Hz. Uzyskane w ten sposób przebiegi po usunięciu wyższych składowych (częstotliwości) porównano z przebiegami przed filtracją. Wyznaczony współczynnik korelacji dla obu rozpatrywanych przebiegów (podobnie jak i dla

pozostałych prędkości obrotowych) posiada wartość większą niż 0,99. Przebiegi prędkości obrotowej przed i po filtracji przedstawiono na rys. 3 i 5.

Rejestrowane przebiegi prędkości obrotowej są bardzo powtarzalne. Ilustruje to rys.4 na którym pokazano przebieg 10 kolejnych cykli pracy silnika (20 obrotów) oraz na ich tle wyznaczoną wartość średnią. Dla tego przebiegu, w całym przedziale kąтового położenia wału korbowego maksymalne odchylenie bieżącej wartości prędkości obrotowej (dla dowolnego przebiegu z zaznaczonych 10-ciu) od wartości średniej nie przekracza 0,3 % wartości średniej. Dla innych prędkości obrotowych otrzymano podobne wartości.

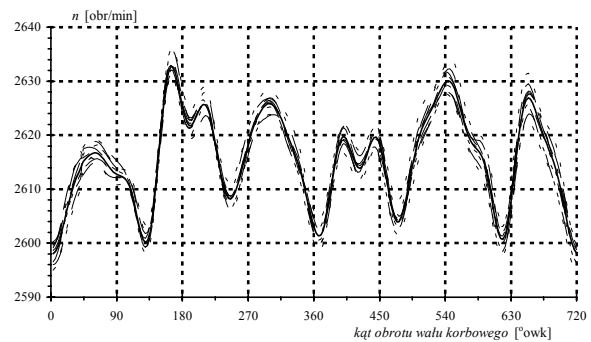
Wyznaczone przebiegi prędkości obrotowej (po filtracji, uśrednione z 10 przebiegów) poddano różniczkowaniu, wyznaczając przebieg przyspieszeń kątowych - rys. 5a i 5b.

Analiza otrzymanych wykresów wskazuje, że wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika przebieg przyspieszeń kątowych (jako proporcjonalnych do chwilowego momentu obrotowego silnika wytwarzanego przez poszczególne cylindry – patrz rys. 5b) jest zniekształcany prawdopodobnie działaniem sił bezwładności, wzrastających wraz ze zwiększaniem prędkości obrotowej silnika.



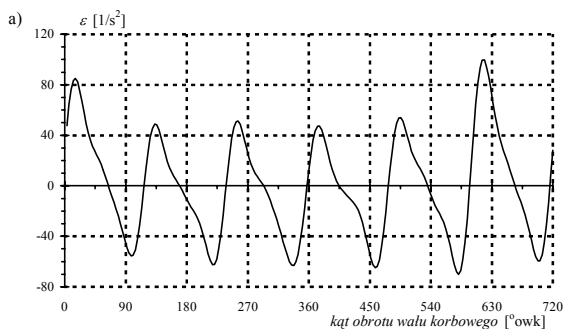
Rys. 3. Przebieg prędkości obrotowej silnika (600 obr/min ($10^1/s$)), przed (okregi) i po filtracji (linia ciągła)

Fig. 3. The run of engine rotational speed (600 rpm ($10^1/s$)), before (circles) and after filtration (continuous line)



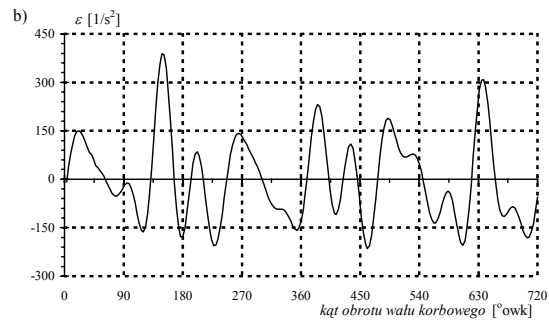
Rys. 4. Przebieg 10 kolejnych cykli pracy silnika (linią grubą zaznaczono wartość uśrednioną dla tego samego kąтового położenia wału korbowego)

Fig. 4. The run of the 10 subsequent cycles of the engine operation (by the thick line the mean value for the same crankshaft angular location is indicated).



Rys. 5a. Przebieg przyspieszeń kątowych wału korbowego silnika UTD-20, $n=600$ obr/min.

Fig. 5a. The course of angular accelerations of UTD-20 engine crankshaft, $n=600$ rpm.



Rys. 5b. Przebieg przyspieszeń kątowych wału korbowego silnika UTD-20, $n=2400$ obr/min.

Fig. 5b. The course of angular accelerations of UTD-20 engine crankshaft, $n=2400$ rpm.

5. Wnioski

- Prezentowana metodyka pomiaru i analizy prędkości obrotowej (przyspieszeń) wału korbowego może stanowić podstawę do lokalizacji „gorzej pracujących” cylindrów dla systemu EOBD.
- Metoda ta może mieć skuteczne zastosowanie dla silnika o zapłonie samoczynnym, a w przypadku dobrze odseparowanego od zakłóceń sygnału o prędkości obrotowej, także dla silników o zapłonie iskrowym.
- Efektywne zastosowanie tej metody możliwe jest w przypadku wyposażenia silnika w impulsator związany bezpośrednio z wałem korbowym silnika o minimum 60 impulsach pomiarowych na jeden obrót wału korbowego.

Literatura

- [1] Gerhard D., Sills T.: *Microprocessor control for diesel powered equipment*. Ingersoll - Rand, Mocksville, NC, USA, Diesel Progress North American Vol. 53, No. 7, July 1987.
- [2] Pięta A.: *Diagnozowanie silników o ZS na podstawie przebiegu procesu przejściowego*. Seria Rozprawy, Politechnika Poznańska, 1998r.
- [3] Fuller E. J.: *The Practical Realization of an Automated Diagnostic System for Diesel Powered Vehicles*, SAE Paper 760838.
- [4] D. SARNA, J. STEYAERT, *Diagnostic Equipment Development for Military Vehicle Applications*, SAE, Technical Paper Series, 780029.
- [5] Cichy M.: Model energetyczny silnik-odbiornik w stanach nieustalonych. Sympozjum Modelowanie cyfrowe w technice samochodowej, Kazimierz Dolny, 1989r.
- [6] 6 Merkiś J. Mazurek St.: *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych*. Wydawnictwa Komunikacji Łączności, Warszawa 2002
- [7] Olchowik W.: *Metrologiczne aspekty diagnozowania silników o ZS na podstawie wartości chwilowego momentu obrotowego*. Rozprawa doktorska, WAT, 1999r.