ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2007
Seria: TRANSPORT z. 61 Nr kol. 1704

Tomasz FIGLUS

DIAGNOZOWANIE LUZÓW ZAWOROWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono badania, których celem jest diagnozowanie zwiększonego luzu zaworowego silnika spalinowego, spowodowanego uszkodzeniem hydraulicznych, automatycznych kasowników luzu zaworowego lub nadmiernym zużyciem elementów głowicy silnika. W badaniach prowadzono pomiary przyśpieszeń drgań dwóch silników spalinowych znajdujących się w stanie dobrym oraz z modelowanymi w eksperymentach uszkodzeniami zaworów.

Analizy przeprowadzono na podstawie rzeczywistych i przetworzonych sygnałów drganiowych silników spalinowych.

DIAGNOSING OF THE VALVE CLEARANCE OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Summary. The paper presents a research, whose aim is the diagnosing of increased valve clearance of the internal combustion engine, that is caused by damage of valve hydraulic compensation system of clearance or excessive wear of cylinder head elements. In the study, there is measured acceleration of vibration of two internal combustion engines, that were in good condition and with valve damage modeled in the test.

The analysis was carried out on the basis of real and transformed vibration signal of the internal combustion engines.

1. WSTĘP

Diagnozowanie stanu silnika spalinowego wymaga prowadzenia pomiarów z zastosowaniem pokładowych urządzeń diagnostycznych i tzw. diagnoskopów samochodowych oraz pomiarów tradycyjnych opartych m.in. na obsłuchiwaniu poszczególnych elementów silnika. W pierwszym przypadku bada się przede wszystkim podzespoły wyposażone w oprzyrządowanie elektryczne, a w drugim diagnozować można podzespoły typowo mechaniczne, a zwłaszcza występujące luzy.

Szczególnie trudne są badania nadmiernego zużycia i pierwszych symptomów uszkodzeń elementów mechanicznych silnika spalinowego. Stosowane do tego celu urządzenia diagnostyczne nie zawsze posiadają odpowiednio zaawansowane możliwości pomiarów, a tradycyjne metody warsztatowe mogą okazać się niewystarczające do szybkiego wskazania wadliwego elementu. Przedstawione kwestie powodują, iż poszukuje się nowych metod diagnozowania elementów silnika spalinowego, które pomogą przy wykrywaniu zużycia i uszkodzeń jego elementów mechanicznych. Zastosować można do tego celu metody analizy sygnałów drganiowych.

W pracy przedstawiono pomiary i analizy sygnałów drganiowych silnika spalinowego wykonane w celu diagnozowania zwiększonego luzu zaworowego, który może być

spowodowany uszkodzeniem hydraulicznych, automatycznych kasowników luzu zaworowego lub nadmiernym zużyciem elementów głowicy.

2. PROBLEM USZKODZEŃ HYDRAULICZNYCH AUTOMATYCZNYCH KASOWNIKÓW LUZU ZAWOROWEGO

Stosowane w samochodowych silnikach spalinowych bezobsługowe układy rozrządu wykorzystują w układzie do kasowania luzu zaworowego automatyczne elementy hydrauliczne, którymi w zależności od rozwiązania mogą być [1, 2]:

- popychacze hydrauliczne normale i szklankowe,
- dźwigienki dwuramienne zakończone popychaczem hydraulicznym zaworu,
- hydrauliczne wsporniki dźwigienek jednoramiennych.

Urządzenia te wykorzystują w działaniu jednokierunkowe zaworki kulkowe, które w razie konieczności przepuszczają olej wydłużając długość popychacza. Umożliwia to płynną regulację luzu zaworowego i jednocześnie bezobsługową pracę tego układu. Na rysunku 1 zamieszczono przykładowe rozwiązania tych układów.

a) b)

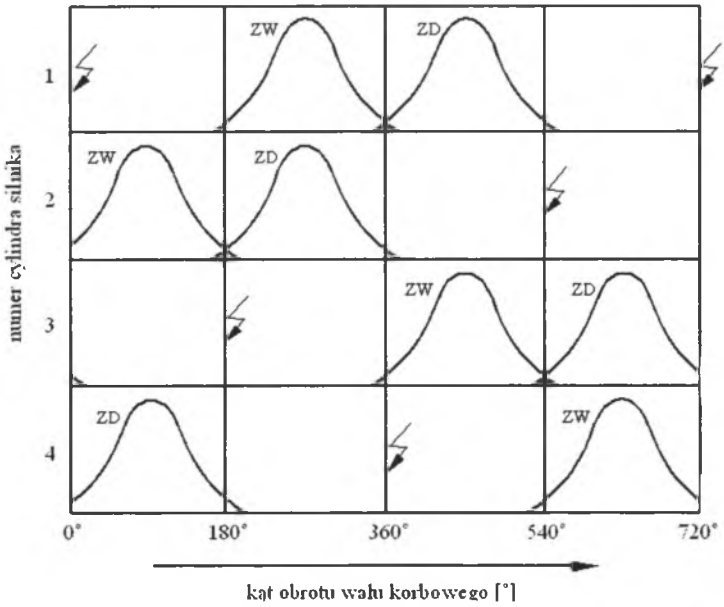
Rys. 1. Przekrój budowy dwóch hydraulicznych kasowników luzu zaworowego: a) popychacz szklankowy, b) popychacz montowany wewnatrz dzwigienki

Fig. 1. The example presents internal section of the two valve hydraulic compensation system: a) hydraulic bucket tappet, b) tappet installed in inner part of rocker arm

Z doświadczeń pracowników serwisów samochodowych wynika, że w układach rozrządu występować mogą uszkodzenia automatycznych kasowników luzu zaworowego. Uszkodzenia te objawiają się charakterystycznym stukiem występującym w pobliżu głowicy, zarówno przy uruchamianiu silnika (co w niektórych rozwiązaniach traktuje się jako normalne zjawisko), tak i w czasie normalnej pracy silnika, po rozgrzaniu.

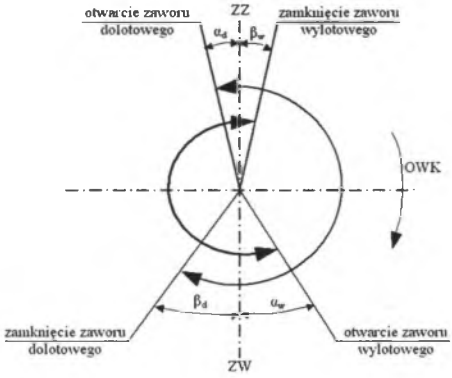
Do diagnozowania uszkodzeń kasowników luzu zaworowego w materiałach serwisowych niektórych firm proponuje się zastosowanie metody z klinem [3], którym naciskając na popychacz szklankowy określamy prawidłowość działania kasownika. Po stwierdzeniu możliwości występowania jego uszkodzenia zaleca się wymieniać komplet popychaczy. Do wykrywania uszkodzeń popychaczy hydraulicznych stosować można również metodę obsłuchiwania głowicy w celu dokładnej lokalizacji uszkodzonego popychacza. Badania takie bywają niestety zawodne z powodu transmitancji drgań pomiędzy elementami głowicy i kadłuba silnika oraz braku informacji o chwilowym położeniu wału korbowego.

W pracy do diagnozowania tego uszkodzenia zastosowano pomiary i analizy sygnałów drganiowych silnika. W celu prawidłowej interpretacji sygnału drganiowego silnika na rysunku 2 zmieszczono schemat zmian otwarcia i zamknięcia poszczególnych zaworów silnika 4-cylindrowego, w zależności od kąta obrotu wału korbowego, i zaznaczono moment zapłonu w poszczególnych cylindrach silnika. Natomiast na rysunku 3 zaprezentowano zmianę kątów faz rozrządu silnika w zależności od zwrotu zewnętrznego (ZZ) i wewnętrznego (ZW).



Rys. 2. Schemat zmian otwarcia i zamknięcia poszczególnych zaworów 4-cylindrowego silnika spalinowego w zależności od kąta obrotu wału korbowego silnika, gdzie: numery cylindrów silnika oznaczono zaczynając od napędu rozrządu, ZW – zawór wylotowy, ZD – zawór dolotowy

Fig. 2. The diagram of the opening and closing valves change of the 4-cylinder internal combustion engine in dependence of angle rotation of crankshaft, where: the cylinder numbers are marked beginning with timing chain, ZW – exhaust valve, ZD – intake valve



Rys. 3. Fazy rozrządu silnika, gdzie:
α_d – kąt wyprzedzenia otwarcia zaworu dolotowego,
β_d – kąt opóźnienia zamknięcia zaworu dolotowego,
α_w – kąt wyprzedzenia otwarcia zaworu wylotowego,
β_w – kąt opóźnienia zamknięcia zaworu wylotowego,
OWK – kierunek obrotu silnika

Fig. 3. The phases of valve timing, where:
α_d – the angle of lead opening of the intake valve,
β_d – the angle of lag closing of the intake valve,
α_w – the angle of lead opening of the exhaust valve,
β_w – the angle of lag closing of the exhaust valve,
OWK- the direction of the engine rotation

3. METODA BADAŃ

Badania wykonano na dwóch silnikach spalinowych samochodów osobowych Fiat Punto 1,2 dm^3 o przebiegu 130 tys. km oraz FSO Polonez 1,6 dm^3 o przebiegu 160 tys. km. Każdy z silników wyposażony był w głowice 8-zaworowe. W tabeli 1 zamieszczono kąty faz rozrządu badanych silników zgodnie z rys. 3.

W badaniach modelowano uszkodzenie kasowników luzu zaworowego popychaczy przez 2-krotne zwiększenie nominalnego luzu zaworowego przewidzianego dla badanych silników. W silniku Fiat 1,2 dm^3 uszkodzenie modelowano na zaworach 2. cylindra silnika, natomiast w silniku Polonez 1,6 dm^3 na zaworach 1. cylindra.

Tabela 1

Kąty faz rozrządu badanych silników

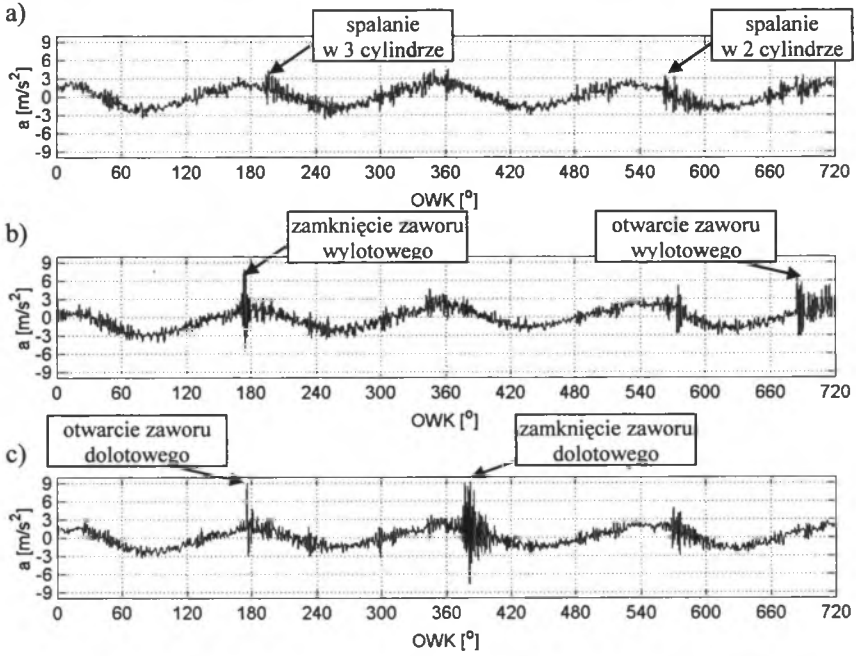
Fiat 1,2	α_d	7°	α_w	41°
	β_d	43°	β_w	5°
Polonez 1,6	α_d	6°	α_w	48°
	β_d	44°	β_w	2°

Do diagnozowania uszkodzeń zaworów stosowano układ pomiarowy składający się z:
- przetwornika piezoelektrycznego wyposażonego w magnes, którym mierzono przyśpieszenia drgań elementów silnika zgodnie z kierunkiem osi ruchu tłoka,
- czujnika laserowego, którym określano pozycje wału korbowego,
- analizatora sygnałów DSPT SigLab,
- komputera do rejestracji sygnałów.

Sygnały drganiowe rejestrowano z częstotliwości 25,6 kHz. Do obróbki sygnałów stosowano oprogramowanie Matlab-Simulink [4], w którym przeprowadzono ich dolnoprzepustową filtrację. Dalszym analizom poddano sygnał przenoszący informacje w zakresie częstotliwości 0 – 3,2 kHz.

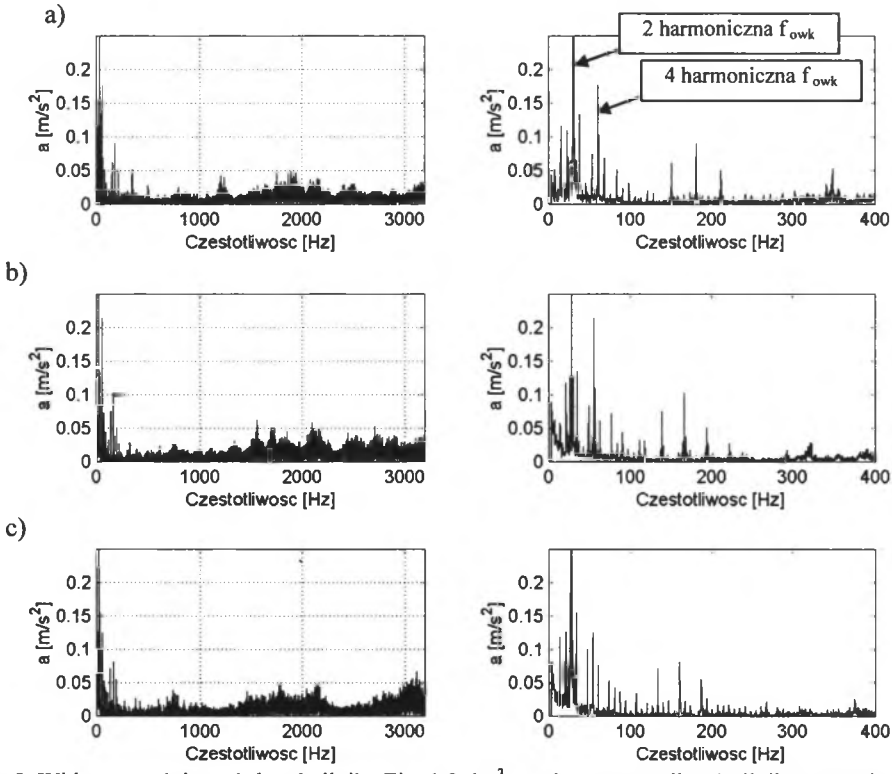
4. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Na rysunkach 4 i 5 zamieszczono przyśpieszenia drgań oraz ich widma zarejestrowane dla silnika Fiat 1,2 dm^3.



Rys. 4. Sygnały przyśpieszeń drgań silnika Fiat 1,2 dm^3 zarejestrowane dla: a) silnika w stanie dobrym, b) silnika z modelowanym uszkodzeniem zaworu wylotowego, c) silnika z modelowanym uszkodzeniem zaworu dolotowego

Fig. 4. Signal acceleration of vibration of the Fiat 1,2 dm^3 engine, that are measured when: a) the engine is in a good condition, b) in the engine, there is modeled damage of the exhaust valve c) in the engine, there is modeled damage of the intake valve



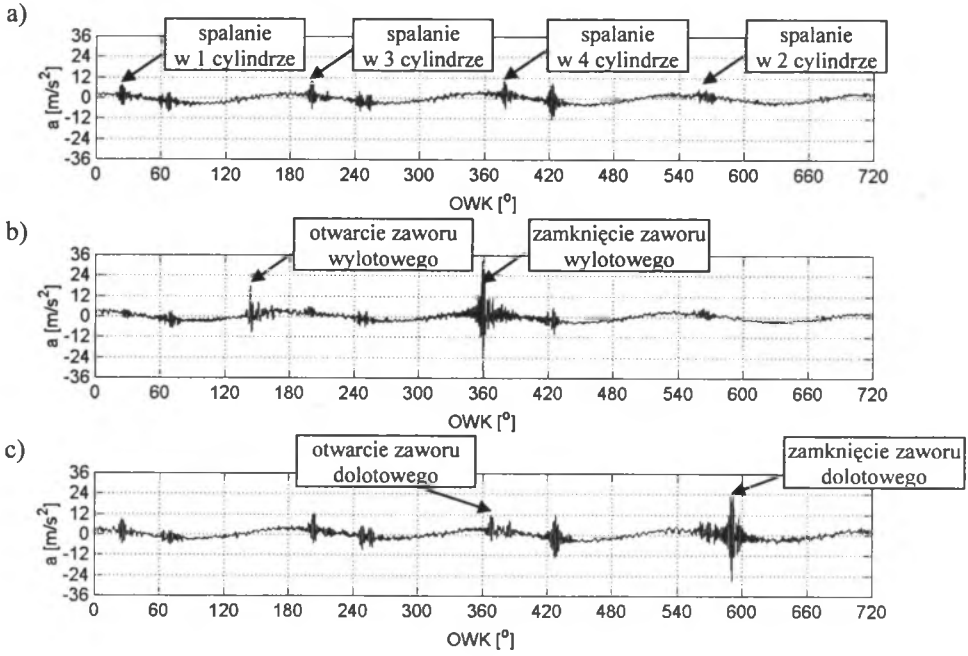
Rys. 5. Widma przyśpieszeń drgań silnika Fiat 1,2 dm^3 zarejestrowane dla: a) silnika w stanie dobrym, b) silnika z modelowanym uszkodzeniem zaworu wylotowego, c) silnika z modelowanym uszkodzeniem zaworu dolotowego

Fig. 5. The spectrum of the acceleration of vibration signal of the Fiat 1,2 dm^3 engine, that are measured when: a) the engine is in a good condition, b) in the engine, there is modeled damage of the exhaust valve c) in the engine, there is modeled damage of the intake valve

Na przebiegu zarejestrowanych przyśpieszeń drgań zaobserwować można znaczącą zmianę jakościową sygnału drganiowego, spowodowaną uszkodzeniem kasownika luzu zaworowego, modelowanego przez zwiększenie luzu nominalnego zaworu w głowicy. Zarówno dla uszkodzenia zaworu wylotowego, jak i dolotowego obserwuje się zmianę amplitudy sygnału drganiowego, przy czym wzrost jest znacząco większy przy zamykaniu zaworu niż przy jego otwieraniu.

W wyznaczonych na podstawie przebiegów czasowych sygnałów drganiowych widmach obserwuje się zmiany jakościowe spowodowane diagnozowanym uszkodzeniem w zakresie częstotliwości powyżej 1 kHz. W niższym zakresie częstotliwości zaobserwować można zmiany amplitudy harmonicznej częstotliwości obrotowej wału korbowego oznaczone na rysunkach f_{ow}.

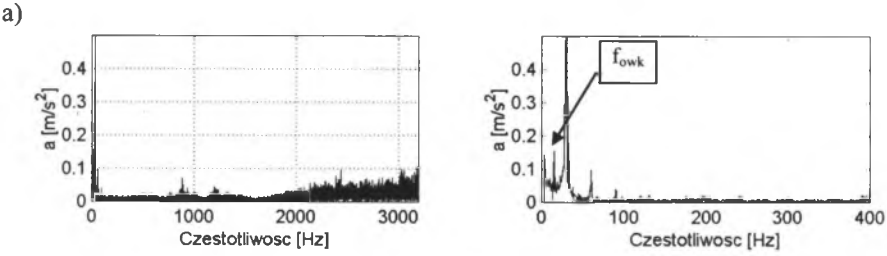
Wyniki pomiarów sygnału drganiowego silnika samochodu Polonez 1,6 dm^3 zamieszczono na rysunkach 6 i 7. Również w tym przypadku obserwuje się znaczące zmiany energetyczne, spowodowane modelowanym uszkodzeniem. W sygnale drganiowym silnika nieuszkodzonego, oprócz zmian wywołanych procesami spalania w poszczególnych cylindrach, zaobserwować można lokalne wzrosty amplitudy sygnału. Powodem takiego stanu jest znaczące zużycie silnika i prowadzenie jego badań diagnostycznych tuż przed naprawą główną.

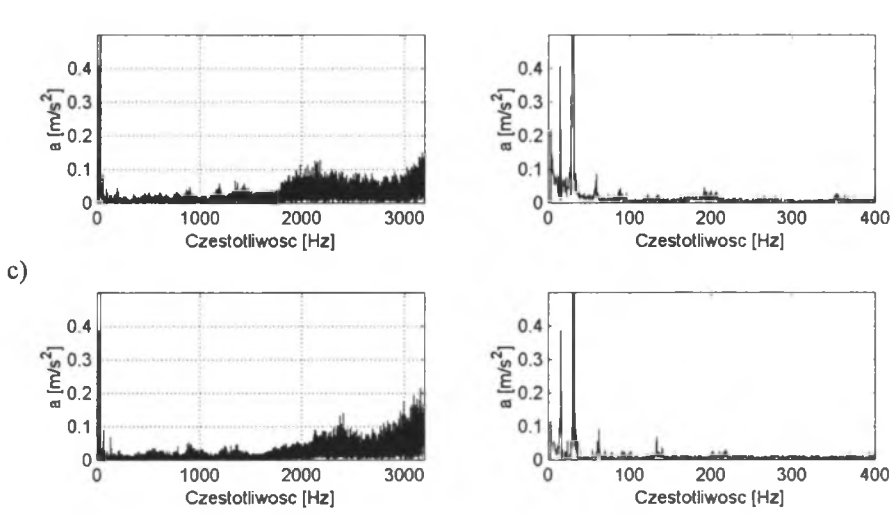


Rys. 6. Sygnały przyśpieszeń drgań silnika Polonez 1,6 dm^3 zarejestrowane dla: a) silnika w stanie dobrym, b) silnika z modelowanym uszkodzeniem zaworu wylotowego, c) silnika z modelowanym uszkodzeniem zaworu dolotowego

Fig. 6. Signal acceleration of vibration of the Polonez 1,6 dm^3 engine, that are measured when: a) the engine is in a good condition, b) in the engine, there is modeled damage of the exhaust valve c) in the engine, there is modeled damage of the intake valve

W wyznaczonych na podstawie przyśpieszeń drgań silnika widmach zaobserwować można zmiany podobne do występujących w silniku 1,2 dm^3 samochodu Fiat. W tym przypadku zmiany towarzyszące diagnozowanemu luzowi zaworowemu występują również przy częstotliwości obrotowej wału korbowego silnika f_{ow} oraz w zakresie częstotliwości powyżej 1 kHz.





Rys. 7. Widma przyśpieszeń drgań silnika Polonez 1,6 dm^3 zarejestrowane dla: a) silnika w stanie dobrym, b) silnika z modelowanym uszkodzeniem zaworu wylotowego, c) silnika z modelowanym uszkodzeniem zaworu dolotowego

Fig. 7. The spectrum of the acceleration of vibration signal of the Polonez 1,6 dm^3 engine, that are measured when: a) the engine is in a good condition, b) in the engine, there is modeled damage of the exhaust valve c) in the engine, there is modeled damage of the intake valve

5. PODSUMOWANIE

Diagnozowanie silników spalinowch samochodów osobowych jest ciągle rozwijającą się dziedziną badań. Dzięki rozwojowi techniki komputerowej do ich diagnozowania można obecnie stosować dodatkowe badania, wykorzystujące pomiary i analizy sygnałów drganiowych.

Przedstawione w pracy eksperymenty, których celem było diagnozowanie uszkodzeń hydraulicznych, automatycznych kasowników luzu zaworowego, modelowanych przez zwiększenie luzu zaworów, wskazują na przydatność zaproponowanej w pracy metody.

Zastosowanie pomiarów i analiz sygnałów drganiowych silnika jednoznacznie wskazuje na występujący znaczny luz zaworów. Powiązanie zmian jakościowych amplitudy sygnałów drganiowych w zakresie otwierania i zamykania uszkodzonych zaworów z informacją na temat faz rozrządu dla danego silnika umożliwia wskazanie uszkodzonego hydraulicznego kasownika zaworu.

Proponowaną metodę testowano w przypadku znacznego luzu zaworowego silnika. Dalsze badania wymagają diagnozowania niewielkich luzów zaworowych silnika, przekraczających wartości nominalne, oraz prowadzenia badań silników z zapłonem samoczynnym.

Literatura

1. Ubysz A.: Współczesne silniki samochodowe. Cz. 1. Wybrane zagadnienia z konstrukcji i technologii produkcji. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2003.
2. Ubysz A., Figlus T.: Ćwiczenia laboratoryjne z silników spalinowych i ochrony środowiska. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.

3. Instrukcja napraw samochodu VW Golf, Bora, Volkswagen AG 2001.
4. Signal Processing Toolbox for Use with Matlab, User's Guide Version 4.2. The MathWorks, 1988-1999.
5. Lehmann W.: Reparatur – und Einstelltabelen. Kfz-betrieb. Vogel Wurzburg Ausgabe 1998/99.
6. Bocheński C., Janiszewski T.: Diagnostyka silników wysokoprężnych. WKŁ, Warszawa 1996.

Recenzent: Prof. nzw. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski

Praca wykonana w ramach BW 489/RT2/2007