



Wincenty LOTKO, Marcin LECHOWSKI

DIAGNOSTYKA WYSOKOCIŚNIENIOWEJ POMPY PALIWA W SILNIKACH FSI

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę diagnozowania wysokociśnieniowej pompy paliwa w silnikach FSI z bezpośrednim wtryskiem benzyny za pomocą interpretacji przebiegów ciśnienia w obwodzie niskociśnieniowym. Ta metoda umożliwia wykrywanie usterek mechanicznych wysokociśnieniowej pompy paliwa oraz usterek elektrycznych zaworu regulacji ciśnienia paliwa bez konieczności wykonywania demontażu tych podzespołów. Dodatkowo został przedstawiony sposób regulacji układu wysokiego ciśnienia paliwa z uwzględnieniem jego pracy w trybie awaryjnym.

WSTĘP

Od czasu wprowadzenia do produkcji seryjnej silnika z bezpośrednim wtryskiem benzyny GDI (*Gasoline Direct Injection*) przez firmę Mitsubishi, coraz więcej producentów samochodów osobowych zaczęło opracowywać i wprowadzać tego typu rozwiązania układu wtryskowego również do swojego typoszeregu silników. Wśród nich warto wymienić:

- Renault – IDE (*Injection Direct Essence*),
- Grupa VAG – FSI (*Fuel Stratified Injection*),
- BMW – HPI (*High Precision Injection*),
- Alfa Romeo – JTS (*Jet Thrust Stoichiometric*),
- Toyota/Lexus – D4 (*Direct 4-stroke*),
- Mercedes-Benz – CGI (*Charged Gasoline Injection*).

Ta koncepcja układu wtryskowego wyznaczyła nowe możliwości dla silników o zapłonie iskrowym, a także nowe problemy związane z diagnostyką układu wtryskowego, który jest bardziej skomplikowany od tradycyjnego wtrysku pośredniego.

W silnikach FSI o bezpośrednim wtrysku benzyny układ wtryskowy podzielony jest na dwa obwody: niskiego i wysokiego ciśnienia paliwa. Obwód niskiego ciśnienia paliwa składa się z pompy wstępnej paliwa, przewodów paliwowych, filtra paliwa oraz czujnika niskiego ciśnienia paliwa. Natomiast w skład obwodu wysokiego ciśnienia paliwa wchodzi jednostłoczkowa pompa wysokociśnieniowa z zaworem regulacji ciśnienia paliwa, wtryskiwacze, zasobnik paliwa, przewody wysokociśnieniowe, zawór bezpieczeństwa oraz czujnik wysokiego ciśnienia paliwa [1, 2, 7, 8, 9].

Głównym elementem układu wtryskowego w silnikach FSI jest jednostłoczkowa pompa wysokociśnieniowa z regulowanym wydatkiem, która wytwarza wysokie ciśnienie paliwa w zakresie od 4 do 11 MPa [2, 7, 8]. Wybrane elementy wysokociśnieniowego układu wtryskowego paliwa mogą być diagnozowane poprzez ocenę przebiegów ciśnienia

w obwodzie niskiego ciśnienia paliwa. Pozwala to ocenić m.in. stan techniczny pompy wtryskowej oraz zaworu regulacyjnego ciśnienia bez konieczności ich demontażu z silnika.

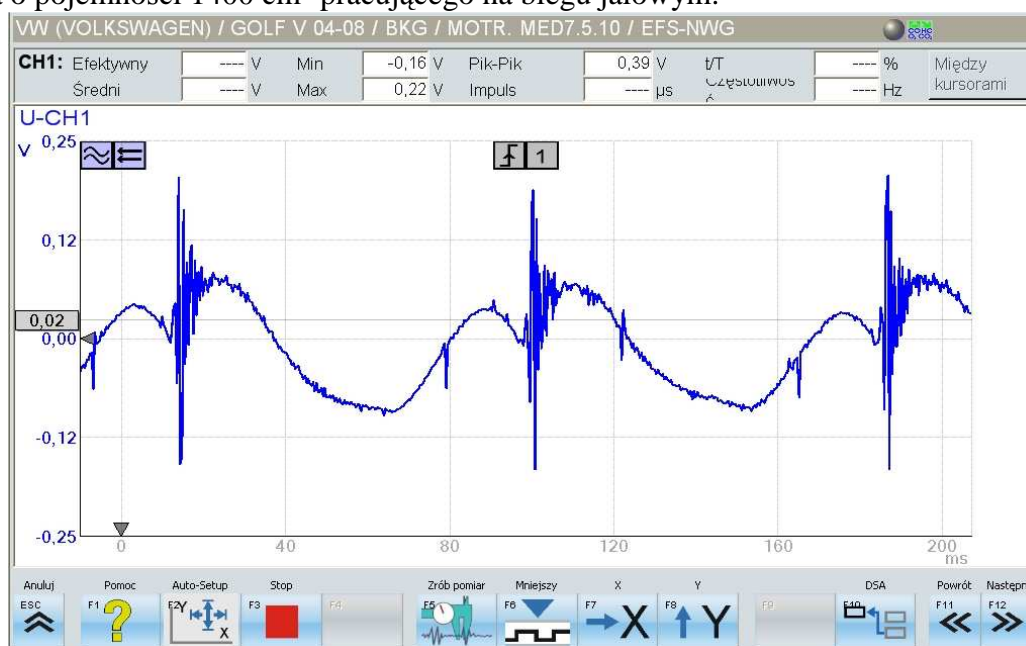
1. OBIEKT BADAWCZY I SPOSÓB PROWADZENIA POMIARÓW

Badania wysokociśnieniowej pompy paliwa przeprowadzono na czterocylindrowym silniku FSI, który jest produkowany przez koncern VW. Jest to jednostka czterocylindrowa z dwoma wałkami rozrządu. Kontrolę nad pracą silnika realizuje sterownik Motronic MED. Wyprodukowany przez firmę BOSCH [2, 7, 9]. W celu interpretacji zmian ciśnienia paliwa wykonano odpowiednie pomiary wykorzystując do tego celu sygnał z czujnika niskiego ciśnienia paliwa. Sposób jego wykonania przedstawiono na rys. 1.



Rys.1. Sposób podłączenia sond pomiarowych oscyloskopu do czujnika ciśnienia paliwa w silnik FSI pojazdu VW Golf V

W celu uzyskania prawidłowego obrazu oscyloskopowego dla tego typu silnika ustawiono oscyloskop na pomiar napięcia przemiennego AC, a podstawę czasu na 40ms/działkę. Prawidłowy sygnał nadfalistości ciśnienia paliwa przedstawiono na rys. 2 dla silnika o pojemności 1400 cm³ pracującego na biegu jałowym.



Rys.2. Prawidłowy przebieg sygnału ciśnienia paliwa zarejestrowany w pojeździe VW Golf V 1.4 FSI

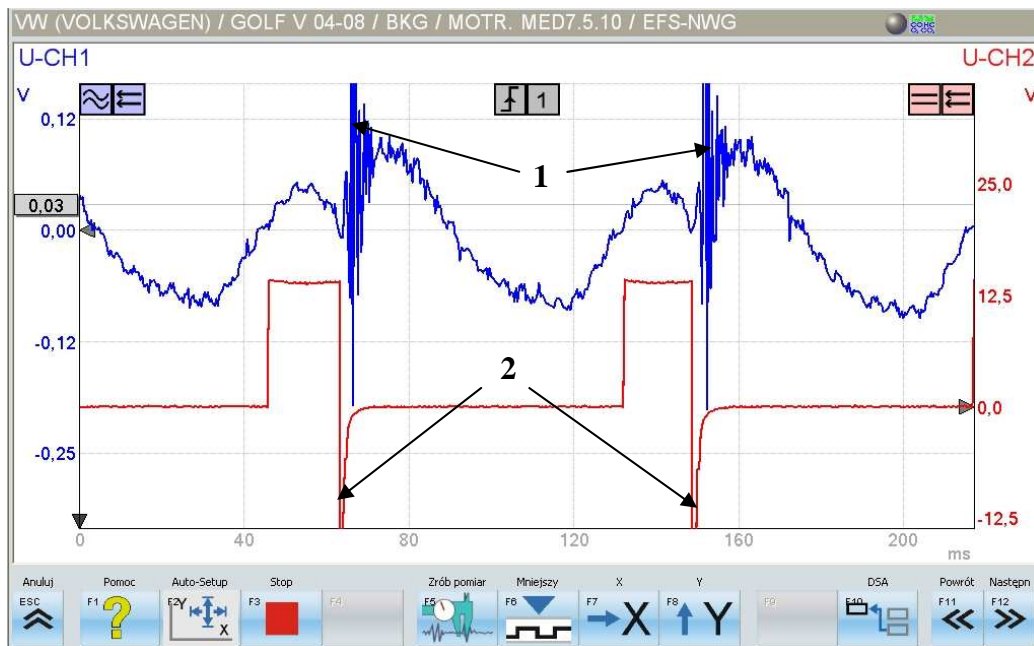
Przebieg sygnału napięciowego z czujnika ciśnienia paliwa jest zależny od rodzaju zastosowanej w pojeździe wysokociśnieniowej pompy. Z tego powodu interpretacja zarejestrowanych sygnałów wymaga posiadania przebiegów wzorcowych dla badanej pompy. Odmiennosc przebiegów zmian ciśnienia paliwa wynika z budowy układu wtryskowego (m.in. typu wtryskiwaczy, budowy wysokociśnieniowej pompy paliwa, rodzaju tłumika wahań ciśnienia paliwa, oraz sposobu jego regulacji). Dla przykładu w układzie JTS (Alfa Romeo GT 2.0 JTS) bezpośredniego wtrysku benzyny, pompa wysokociśnieniowa paliwa posiada trzy sekcje tłoczące oraz zawór regulacji ciśnienia paliwa zamontowany w zasobniku, generując w ten sposób inny przebieg ciśnienia paliwa. Typowy przykład przebiegu zmian ciśnienia paliwa dla tego typu pompy przedstawiono na rys. 3.



Rys.3. Przebieg zmian ciśnienia paliwa w pojeździe Alfa Romeo GT 2.0 JTS

2. PRZYKŁADOWA INTERPRETACJA ZAREJESTROWANEGO SYGNAŁU NISKIEGO CIŚNIENIA PALIWA

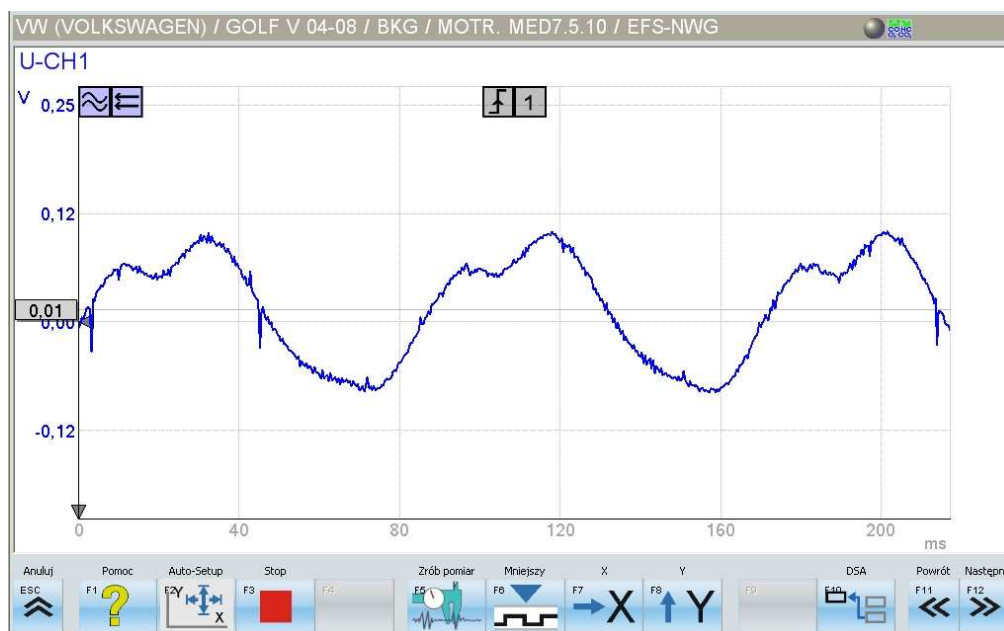
Metoda diagnozowania wysokociśnieniowej pompy paliwa w silniku FSI za pomocą interpretacji przebiegu zmian ciśnienia paliwa polega na ocenie mierzonego sygnału z czujnika ciśnienia paliwa i porównaniu go z sygnałem wzorcowym. Zmiany ciśnienia paliwa wynikają z cykliczności tłoczenia paliwa pod wysokim ciśnieniem do zasobnika. Dodatkowo konstrukcja pompy powoduje zwiększenie tych wahań jak to jest w przypadku jednotłoczkowej wysokociśnieniowej pompy paliwa [4]. Duży wpływ na przebieg zmian ciśnienia paliwa ma praca elektromagnetycznego zaworu ciśnienia. Dla przykładu na rysunku 4 przedstawiono zmiany przebiegu ciśnienia paliwa występujące na skutek powstałych impulsów wynikających z pracy zaworu wraz z jego sygnałem sterującym w postaci współczynnika szerokości impulsu PWM (*Pulse-Width Modulation*). Charakterystyczny długi impuls sygnału sterującego zaworem wynoszący około 58V powstaje na skutek samoindukcji w chwili wyłączenia zaworu [3, 6].



Rys.4. Wpływ pracy zaworu na sygnał zmian ciśnienia paliwa: 1 – impulsy powstałe na skutek regulacji ciśnienia paliwa przez zawór, 2 – Impuls powstały na skutek samoindukcji

Prawidłowy sygnał zmian ciśnienia paliwa (rys. 2) dla silnika FSI pracującego na biegu jałowym charakteryzuje się częstotliwością około 11Hz oraz wahaniami amplitudy napięcia o wartości ok. 390mV. Warto jednak zauważyć, że typowa amplituda napięcia tego sygnału bez składowej wynikającej z pracy zaworu regulacji ciśnienia paliwa wynosi ok. 180mV.

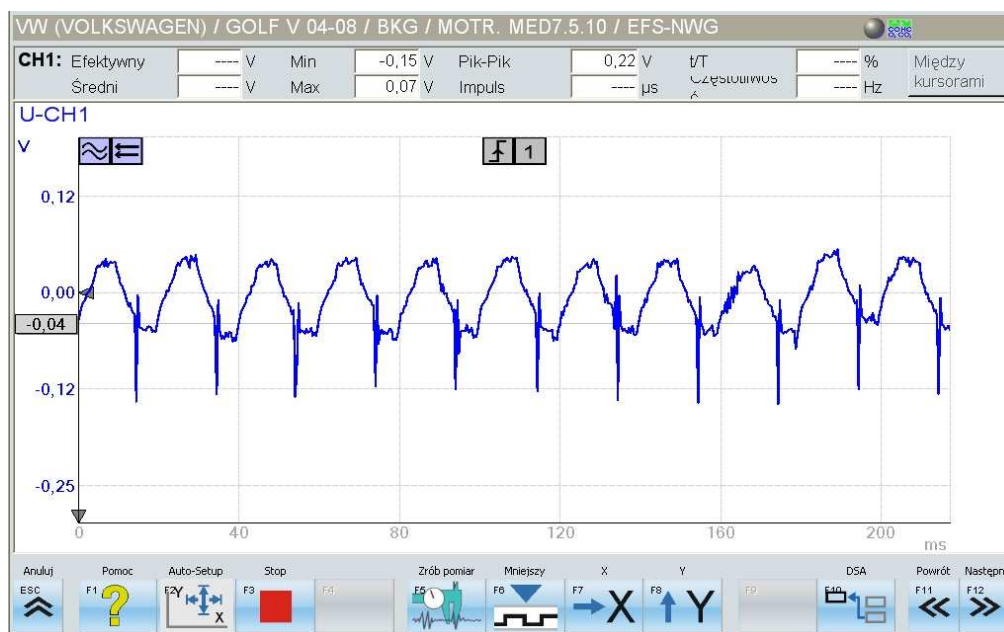
Na rys. 5 przedstawiono sygnał zmian ciśnienia paliwa uzyskany dla sprawnej mechanicznie wysokociśnieniowej pompy paliwa, ale z uszkodzonym zaworem (spalona cewka zaworu). Pomiar wykonano podczas pracy silnika na biegu jałowym. Z przeprowadzonych badań wynika, że na skutek uszkodzenia zaworu ulega zmniejszeniu amplituda sygnału napięcia, a częstotliwość jest stała. Taki sam sygnał zmian ciśnienia paliwa uzyskamy także w wyniku uszkodzenia instalacji elektrycznej tego zaworu.



Rys.5. Sygnał zmian ciśnienia paliwa – uszkodzona cewka zaworu

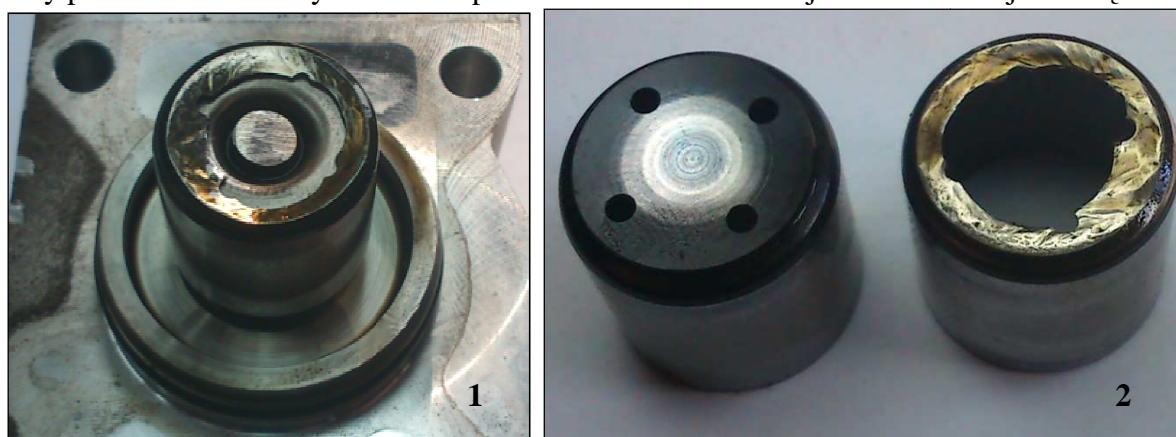
Natomiast sygnał zmian ciśnienia paliwa z uszkodzonej mechanicznie wysokociśnieniowej pompy paliwa przy przebiegu pojazdu 96,5 tys. km przedstawiono na rys. 6. Uzyskany sygnał przy tym uszkodzeniu charakteryzuje się zwiększoną częstotliwością wynoszącą 50Hz oraz wartością amplitudy napięcia ok. 220mV wraz ze składową wynikającą

z pracy zaworu w porównaniu do prawidłowego sygnału, który przedstawiono na rys. 2. Zwiększona częstotliwość sygnału oraz redukcja amplitudy napięcia spowodowane są zmniejszonym suwem tłoka pompy paliwa.



Rys.6. Sygnał zmian ciśnienia paliwa uszkodzonej wysokociśnieniowej pompy paliwa

Uszkodzenie to wystąpiło z powodu zatarcia się tłoka wysokociśnieniowej pompy paliwa w skutek, czego uległa przetarciu tuleja ochronna wałka rozrządu napędzającego pompę paliwa. W następstwie przetarcia tulei ochronnej nastąpiło ścieranie końcówki tłoka pompy, który przedstawiono na rys. 7 wraz z porównaniem uszkodzonej tulei ochronnej z nową.



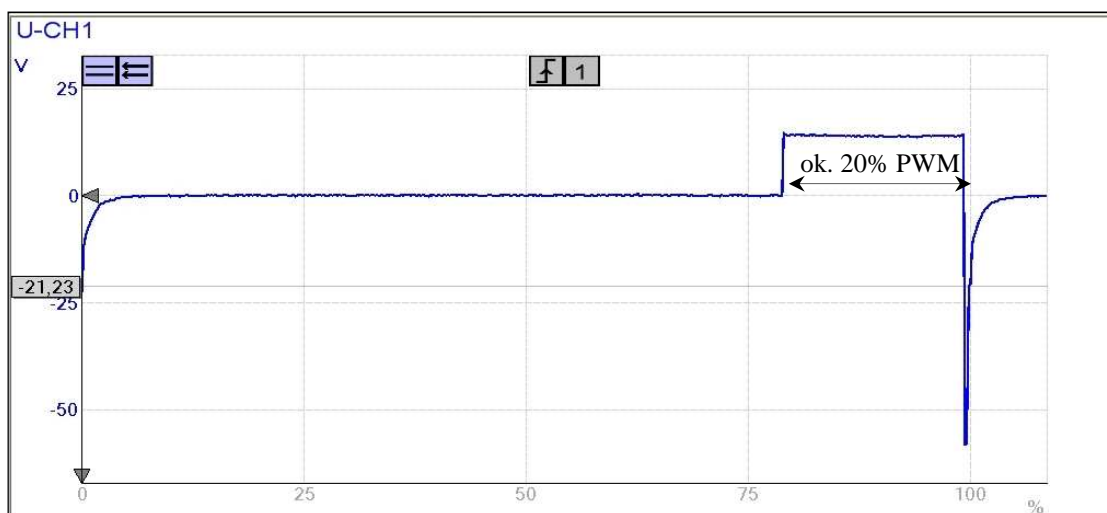
Rys.7. Uszkodzenie pompy na skutek zatarcia tłoka: 1 - zużyta końcówka tłoka pompy wraz z tuleją ochronną tłoka, 2 – porównanie tulei ochronnych

Po przetarciu się tulei ochronnej tłok przesuwiał się coraz niżej wypychany przez sprężynę z powodu ścierania się niezabezpieczonej końcówki tłoka oraz wałka rozrządu. Przyczyniło się to do pęknięcia tulei prowadzącej tłok, który został zaznaczony strzałką na rysunku poniżej. Dla przykładu na rys. 8.2 przedstawiono sprawny układ tłoka z tuleją prowadzącą.

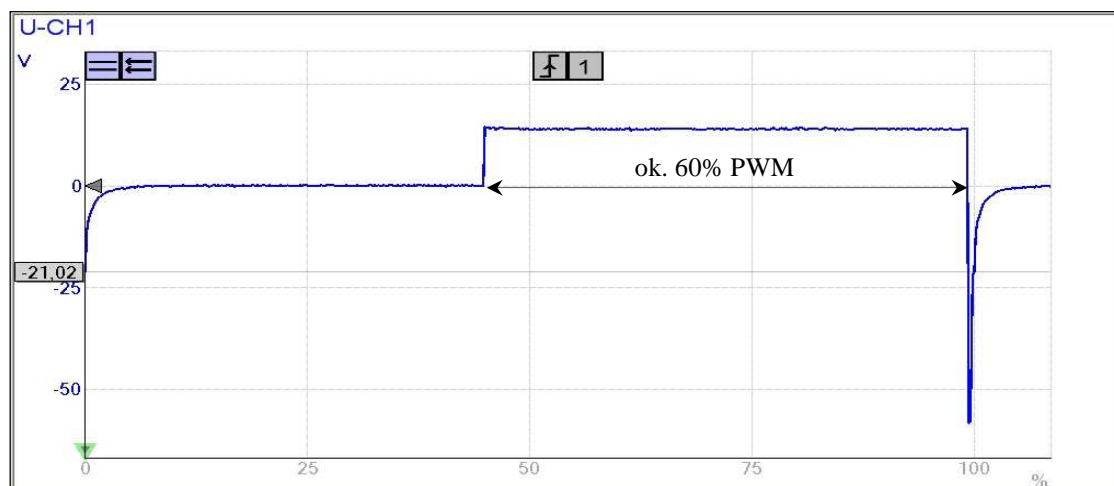


Rys.8. Uszkodzenie tulei prowadzącej tłok pompy: 1 – pęknięta tuleja prowadząca wraz ze startą końcówką tłoka pompy, 2 – nowy tłok pompy wraz z tuleją prowadzącą

W skutek wystąpienia tego uszkodzenia, system sterowania silnika zapisał kod błędu DTC (*Diagnostic Trouble Codes*) w pamięci diagnostycznej: P0191 – czujnik wysokiego ciśnienia paliwa – sygnał „niezrozumiały”. W takim przypadku sterownik przechodzi do awaryjnego trybu pracy zwiększając współczynnik wypełnienia impulsów sygnału sterującego zaworem regulacji ciśnienia paliwa na ok. 60%,. Dla porównania na rys. 9 i 10 przedstawiono sygnał PWM zaworu zarejestrowany podczas pracy silnika na biegu jałowym w trybie awaryjnym oraz w normalnych warunkach roboczych. Współczynnik wypełnienia impulsu tego zaworu dla sprawnego układu paliwowego wynosi ok. 20%.



Rys.9. Sygnał z zaworu regulacji ciśnienia paliwa przy sprawnym układzie paliwowym – bieg jałowy



Rys.10. Sygnał z zaworu regulacji ciśnienia paliwa w pompie wysokociśnieniowej – tryb awaryjny

PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono metodę diagnozowania wybranych elementów aparatury wtryskowej paliwa stosowanych w silnikach FSI. Wskazano na możliwość wykorzystania do tego celu oceny przebiegu napięciowego z czujnika niskiego ciśnienia paliwa. Analiza sygnału ciśnienia paliwa może być wykonywana przy pomocy oscyloskopu bez konieczności demontażu pompy z testowanego silnika. Pozwala to ograniczyć czas i koszty procesu diagnozowania. Podstawową trudnością w realizacji tego rodzaju badań jest prawidłowa interpretacja obserwowanych przebiegów, co wymaga doświadczenia kadry technicznej serwisu i ich umiejętności w zakresie prowadzenia pomiarów przy użyciu oscyloskopu.

DIAGNOSTICS OF HIGH PRESSURE FUEL PUMP IN FSI ENGINES

Abstract

This paper presents a method of diagnosing high pressure fuel pump In FSI engines with direct injection by interpreting trends of pressure in the low-pressure circuit. This method enables detection of mechanical failures of high pressure fuel pump and electrical faults of fuel pressure regulator valve without dismantling these components. Additionally this paper contains a description of a regulation method of high-pressure fuel system including its operation in limp-in mode.

BIBLIOGRAFIA

1. Robert Bosch GmbH: *Sterowanie silników o zapłonie iskrowym*. WKiŁ, Warszawa 2008.
2. Robert Bosch GmbH: *Platforma informacyjna ESI [Tronic]*. 2012/1.
3. Halliday D., Resnick R.: *Fizyka*. Tom 2, Wydanie dwunaste, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
4. Spegar T. D.: *Minimizing Gasoline Direct Injection (GDI) Fuel System Pressure Pulsations by Robust Fuel Rail Design*. SAE International. 04/12/2011.
5. Hubertus G.: *Układy wtryskowe Common rail w praktyce warsztatowej*. WKiŁ, Warszawa 2010/11.
6. Kneba Z., Makowski S.: *Pojazdy samochodowe – Zasilanie i sterowanie silników*. WKiŁ. Warszawa 2004.

7. *Zeszyt do samodzielnego kształcenia nr. 103, Motronic MED. 9.5.10. SEAT S.A.,* Wydanie 1. maj 2004.
8. *Zeszyt do samodzielnego kształcenia nr 296, Silniki 1,4l i 1,6 FSI z łańcuchem rozrządu, Budowa i zasada działania, Volkswagen AG, Wolfsburg 2003.*
9. *Zeszyt do samodzielnego kształcenia nr 253, Bezpośredni wtrysk benzyny i układ sterowania Bosch Motronic MED7, Budowa i zasada działania. Volkswagen AG, Wolfsburg 2002.*

Autorzy:

prof. dr hab. inż. Wincenty LOTKO – Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny w Radomiu

mgr inż. Marcin LECHOWSKI – Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny w Radomiu