

Testing of modern common rail fuel injectors

This paper presents an analysis of the operation of modern Bosch Common Rail solenoid-controlled fuel injector of generation 2.5. This generation is the latest type of Bosch solenoid-controlled fuel injectors. The paper describes the operation of tested fuel injector, methods of its testing, verification of components and possible defects which may occur during operation. During the tests, the volume of fuel injection doses and return fuel doses was measured and the fuel injector was disassembled into individual components which were then tested using a specialist microscope.

Key words: *fuel injector, compression ignition engine, common rail system, operating characteristic of fuel injector*

Badanie współczesnego wtryskiwacza paliwa układu common rail

Artykuł przedstawia analizę pracy współczesnego elektromagnetycznego wtryskiwacza Common Rail Bosch generacji 2.5. Generacja ta jest najnowszym typem wtryskiwaczy elektromagnetycznych firmy Bosch. Referat opisuje działanie badanego wtryskiwacza, sposoby jego testowania, weryfikację podzespołów oraz ewentualne usterki jakie mogą występować podczas eksploatacji. Podczas badań zmierzono wielkości dawek wtrysku oraz powrotnych, parametr opóźnienia wtrysku paliwa oraz dokonano rozłożenia wtryskiwacza na elementy składowe, które zostały przebadane przy użyciu specjalistycznego mikroskopu.

Słowa kluczowe: *wtryskiwacz paliwa, silnik o zapłonie samoczynnym, układ common rail, charakterystyka robocza wtryskiwacza paliwa*

1. Introduction

Design requirements for modern internal combustion engines refer, among others, to limitation of the emissions of toxic substances into the atmosphere and reduction of fuel consumption. A system being responsible for fuel delivery at the appropriate time and at a specific pressure to the engine's combustion chamber is the fuel supply system. Fuel supply systems (Common Rail) of modern compression ignition engines (CI) are composed of two systems: low pressure system and high pressure system [1]. In order to ensure proper engine operation, both systems must be technically efficient and function smoothly. The purpose of low pressure system is to continuously supply fuel at an appropriate pressure to the high pressure section of fuel injection pump where the high pressure zone begins. The last element of high pressure system, and at the same time the most precise and exposed to defects one, is a fuel injector. One of the latest modern Bosch fuel injectors is generation 2.5. Possibilities for testing this type of fuel injectors and for its potential repair are presented in this paper.

2. Development trends in modern fuel injectors

At the end of 1990s, the Common Rail (CR) system has been applied in CI engines. This system has replaced conventional fuel supply systems of diesel engines (e.g. with a rotary pump). In the

1. Wstęp

Wymagania konstrukcyjne stawiane współczesnym silnikom spalinowym odnoszą się między innymi do ograniczenia emisji substancji toksycznych do atmosfery i zmniejszania zużycia paliwa. Układem odpowiedzialnym za dostarczenie paliwa w odpowiednim momencie i pod właściwym ciśnieniem do komory spalania silnika jest układ zasilania. Układy zasilania (Common Rail) współczesnych silników o zapłonie samoczynnym (ZS) składają się z dwóch systemów: niskiego i wysokiego ciśnienia [1]. W celu zapewnienia prawidłowej pracy silnika oba systemy muszą być sprawne technicznie i funkcjonować bez zakłóceń. Zadaniem układu niskiego ciśnienia jest nieprzerwane podawanie paliwa pod odpowiednim ciśnieniem do pompy wysokiego ciśnienia, gdzie rozpoczyna się strefa wysokiego ciśnienia. Ostatnim elementem układu wysokiego ciśnienia, a zarazem najbardziej precyzyjnym i narażonym na usterki jest wtryskiwacz paliwa. Jednym z najnowszych współczesnych wtryskiwaczy paliwa firmy Bosch jest generacja 2.5. W referacie przedstawiono możliwości badania i ewentualnej naprawy tego typu wtryskiwaczy.

2. Tendencje rozwojowe współczesnych wtryskiwaczy paliwa

Pod koniec lat dziewięćdziesiątych XX wieku zastosowano w silnikach ZS układ Common Rail.

Common Rail system, the purpose of fuel injection pump is to produce appropriate fuel pressure, whereas that of fuel delivery control and high pressure control, or both, depending on design approach, is to maintain the pressure. On the other hand, the purpose of fuel injector is to spray and distribute fuel in an adequate dose and at an appropriate pressure in the engine's combustion chamber [2, 3, 5]. The difference between the CR system and the conventional one is that in CR a fuel injector is responsible for the volume of injected fuel dose, while in conventional systems a fuel injection pump. Fuel injection pressures are from 25-30 MPa at an idling dose to 135 MPa during full engine load in the first generation of that system and to 200 MPa in its latest solutions [6].

Figure 1 presents the types of fuel injectors produced by the leading manufacturers of Common rail electro-hydraulic fuel injectors (Bosch, Delphi, Denso and Siemens) [4].

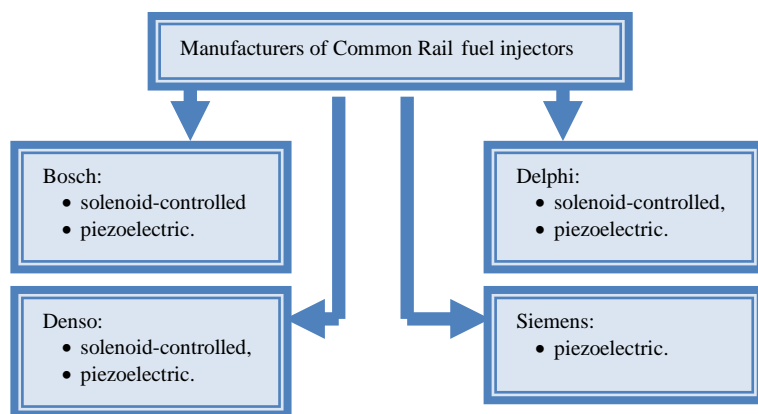


Fig. 1. Major manufacturers of CR fuel injectors
Rys. 1. Główni producenci wtryskiwaczy układu CR

In terms of diagnosing, testing and potential repair, Common Rail fuel injectors can be divided into different types as presented in Figure 2 [4].

3. Study objective and test scheme

The study objective was to present the testing process of modern Bosch CR fuel injector of generation 2.5. Tests were performed according to the following scheme:

- disassembly of a fuel injector into individual components,
- microscopic examination of fuel injector components,
- re-assembly of a fuel injector in accordance with the repair technology,
- test on a Carbon Zapp CRU2i test bench,
- test on a STPiW-3 (Fuel Injection Pump and Fuel Injector Test Bench) test bench with preparation of the operating characteristics of fuel injector.

System ten zastąpił konwencjonalne układy zasilania silników wysokoprężnych (np. z pompą rotacyjną). W rozwiązaniu Common Rail zadaniem pompy wysokiego ciśnienia jest wytworzenie odpowiedniego ciśnienia paliwa. Natomiast za utrzymanie tego ciśnienia odpowiada regulator wydatku. Zadaniem wtryskiwacza paliwa jest rozpylenie i rozprowadzenie paliwa o odpowiedniej dawce i pod odpowiednim ciśnieniem w komorze spalania silnika [2, 3, 5]. Różnicą pomiędzy systemem CR, a konwencjonalnym układem zasilania jest to, że w CR za odmierzanie dawki wtryskiwanego paliwa odpowiada wtryskiwacz, a w systemach konwencjonalnych pompa wtryskowa. Ciśnienia wtrysku są rzędu od 25 – 30 MPa przy dawce biegu jałowego i 135 MPa podczas pełnego obciążenia w pierwszych generacjach tego układu, do 200 MPa w najnowszych rozwiązaniach [6].

Na rys. 1 przedstawiono rodzaje wtryskiwaczy produkowane przez czołowych producentów wtryskiwaczy elektrohydraulicznych (Bosch, Delphi, Denso i Siemens) systemu Common Rail [4].

Pod kątem diagnozowania, badania i ewentualnej naprawy wtryskiwaczy układu Common Rail można podzielić jak to przedstawiono na rys. 2 [4].

3. Cel i program badań

Celem referatu jest przedstawienie procesu badawczego współczesnego wtryskiwacza paliwa generacji 2,5 firmy Bosch. Badania zostały wykonane wg następującego programu:

- demontaż wtryskiwacza na elementy składowe,
- badania mikroskopowe podzespołów wtryskiwacza paliwa,
- montaż wtryskiwacza paliwa zgodnie z technologią,
- test na urządzeniu Zapp CRU 2i.
- test na urządzeniu STPiW 3 z przygotowaniem charakterystyki roboczej wtryskiwacza paliwa.

4. Przedstawienie obiektu i stanowiska badawczego

Obiektem badawczym jest elektromagnetyczny wtryskiwacz paliwa generacji 2,5 firmy Bosch o numerze katalogowym 0445110369. Na rys. 3 przedstawiono rozłożony na elementy składowe elektromagnetyczny wtryskiwacz.

Badania laboratoryjne wykonano przy pomocy mikroskopu stereoskopowego FL 150/70 przedstawionego na rys. 4.

Analizę pracy, wielkości dawek oraz charakterystykę roboczą wtryskiwacza paliwa wykonano na urządzeniach STPiW 3 (rys. 5) oraz Zapp CRU 2i (rys. 6).

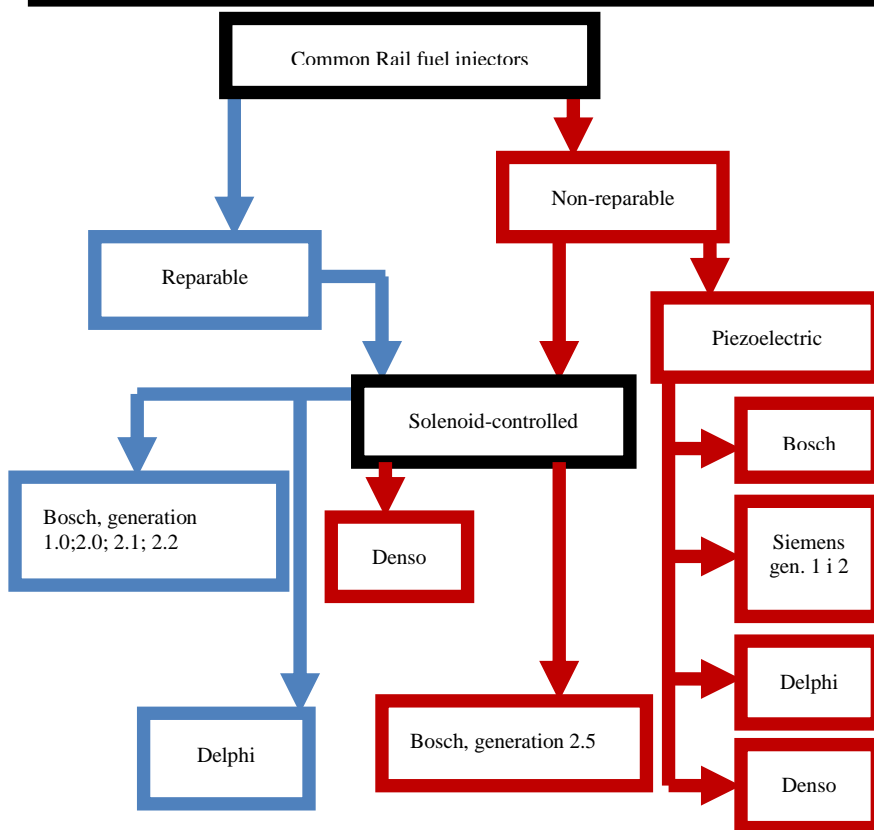


Fig. 2. Comparison of CR fuel injectors with regard to reparability

Rys. 2. Zestawienie wtryskiwaczy CR pod kątem ich możliwości naprawy

4. Presentation of test object and test stand

The test object was a Bosch solenoid-controlled fuel injector of generation 2.5, with the catalogue number 0445110369. Figure 3 presents the solenoid-controlled fuel injector disassembled into individual components.

Laboratory tests were conducted using a specialist stereoscopic microscope FL 150/70 presented in Figure 4.

The analysis of fuel injector operation, fuel dose volume and fuel injector operating characteristics was made on a STPiW-3 (Fuel Injection Pump and Fuel Injector Test Bench) (Fig. 5) and Carbon Zapp CRU2i (Fig. 6) test benches.

5. Course of the tests

Laboratory tests were performed in two stages. In the first stage, the fuel injector being disassembled into individual components was verified using a stereoscopic microscope. Figure 7 presents the valve unit controlling the operation of tested CR fuel injector with an armature a stator element. The major difference between previous generations of

5. Przebieg badań

Badania laboratoryjne zostały przeprowadzone dwuetapowo. W pierwszym etapie rozłożony na części składowe wtryskiwacz paliwa został zweryfikowany przy pomocy mikroskopu stereoskopowego. Na rys. 7 przedstawiono zespół zaworu sterującego pracą badanego wtryskiwacza paliwa z elementem twornika. Zasadniczą różnicą pomiędzy poprzednimi generacjami elektromagnetycznych wtryskiwaczy paliwa firmy Bosch jest zastąpienie zaworu kulowego trzpieniem sterującym pracą elementu twornika. Rysunek 8 przedstawia tłok sterujący elementem twornika razem z płytą twornika. Zdjęcia zostały zrobione przy pomocy mikroskopu stereoskopowego. Na badanych elementach widoczne są ślady opiłków pochodzące od pompy wtryskowej wysokiego ciśnienia.



Fig. 3. Bosch fuel injector of generation 2.5, disassembled into individual components

Rys. 3. Wtryskiwacz paliwa firmy Bosch generacja 2,5 rozłożony na elementy składowe

Opiłki widoczne są również na elementach zestawu zaworu (rys. 9). Szczególnie niebezpieczne dla poprawnej pracy wtryskiwacza paliwa są elementy metaliczne znajdujące się na parze precyzyjnej tłoczka. Powodują one zatarcia oraz zwiększenie nieszczelności układu. Na rys. 10 przedstawiono iglicę rozpylacza badanego wtryskiwacza paliwa. Na części prowadzącej iglicy widoczne są metaliczne opiłki pochodzące od pompy wtryskowej wysokiego ciśnienia.



Fig. 4. Stereoscopic microscope FL 150/70
Rys.4. Mikroskop stereoskopowy FL 150/70

Bosch solenoid-controlled fuel injectors is replacement of a ball valve with a pin controlling the armature stator element operation.

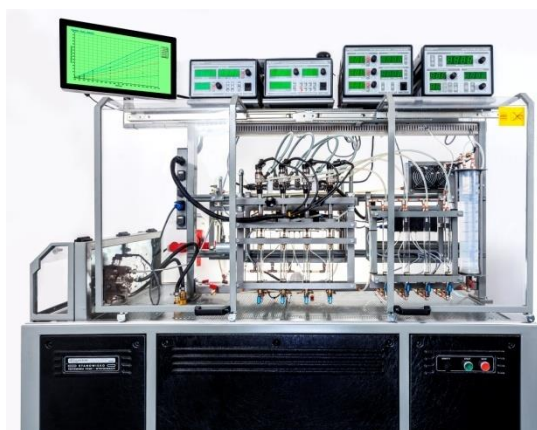


Fig. 5. Test bench for fuel injector and fuel injection pump testing STPiW-3

Rys. 5. Stanowiska badawcze: urządzenie do badania wtryskiwaczy paliwa i pomp wtryskowych STPiW-3

Figure 8 presents a plunger controlling the armature stator element together with the armature plate stator plate. These photographs were made using a stereoscopic microscope. Traces of metal filings shavings coming from fuel injection pump are visible on the tested elements.

Metal filings shavings are also visible on the valve unit elements (Fig. 9). Metal elements being found the plunger and barrel assembly are particularly dangerous for the proper operation of fuel injector. They induce seizures and increase leaking in the system.

Figure 10 presents a fuel spray needle of the tested fuel injector. Metal filings shavings coming from fuel injection pump are visible on the plunger and barrel assembly element.

After cleaning the fuel injector and its re-assembling, a test of operating parameters was performed on a Carbon Zapp CRU2i test bench (Tab. 1). The test bench used for tests has many opportunities in terms of testing fuel injectors.

Po wyczyszczeniu wtryskiwacza paliwa i złożeniu wykonano test parametrów roboczych na urządzeniu Zapp CRU 2i (tab. 1). Użyty do badań stół probierczy posiada wiele możliwości badania wtryskiwaczy paliwa. Poza zbadaniem wielkości dawek wtrysku i powrotnych istnieje możliwość analizowania ciśnienia otwarcia rozpylacza, jak również czasu opóźnienia wtrysku paliwa.



Fig. 6. Test bench for modern fuel injector testing Carbon Zapp CRU2i

Rys. 6. Stół probierczy do badania współczesnych wtryskiwaczy paliwa Zapp CRU 2i



Fig. 7. a) a valve unit controlling the operation of tested CR fuel injector, b) a valve of the tested CR fuel injector with an armature plate a stator plate element

Rys. 7. Elementy badanego wtryskiwacza: a) zespół zaworu sterującego pracą badanego wtryskiwacza CR, b) zawór badanego wtryskiwacza CR z elementem płyty twornika

Ostatnim etapem badań było opracowanie charakterystyki roboczej wtryskiwacza paliwa (rys. 11). Charakterystyka przedstawia wielkości dawek w całym zakresie roboczym wtryskiwacza paliwa.

Apart from testing the volume of fuel injection doses and return fuel doses, it is possible to analyse the opening pressure of fuel spray nozzle as well as the time of fuel injection delay.

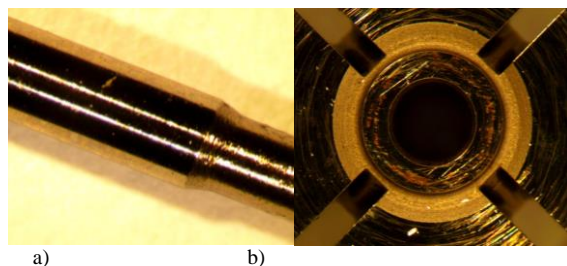


Fig. 8. a) a plunger controlling the armature stator, b) an armature plate a stator plate

Rys. 8. a) tłok sterujący elementem twornika, b) płyta twornika

Tab. 1. Results of fuel injector testing on a Carbon Zapp CRU2i test bench

Type of test	The range of values	Real values
LKT (leak test) [g/min] R 170 MPa, 300 s	0-70	4.83
eRLC [Ω] [μH]	0.40-0.80 250-470	0.60 356.00
IVM VTP 1 [mg/STRK] D STRK: 300, HP: 180 MPa, SUM [P]: 750 μs	43.50-53.50	47.36
IVM VTP 1 [mg/STRK] R STRK: 300, HP: 180 MPa, SUM [P]: 750 μs	5.00-80.00	14.25
IVM VTP 2 [mg/STRK] D STRK: 1000, HP: 80 MPa, SUM [P]: 610 μs	12.35-24.35	19.39
IVM VTP 3 [mg/STRK] D STRK: 2000, HP: 30 MPa, SUM [P]: 630 μs	2.50-9.50	5.54
IVM VTP 4 [mg/STRK] D STRK: 2000, HP: 80 MPa, SUM [P]: 245 μs	0.30-3.30	1.86
NOP MPa	120-200	140.00
RSP μs	100-400	381

The last stage of testing was to prepare the operating characteristics of fuel injector (Fig. 11). This operating characteristics presents the volume of fuel doses within the whole operating range of fuel injector.

6. Conclusion

At present, Bosch fuel injectors of generation 2.5 are sealed [not dismountable] and non-reparable due to the lack of repair technology and original spare parts. During the testing, an attempt was made to disassemble, analyse and re-assemble them. Despite design modifications in the control valve unit, this type of fuel injectors is similar to fuel injectors of generation 2.1. During the testing, the repair technology being used for these fuel injectors was applied. After disassembly of the fuel injector into individual components, high magnification photographs of the plunger and barrel assembly and the armature plate stator plate elements were made.

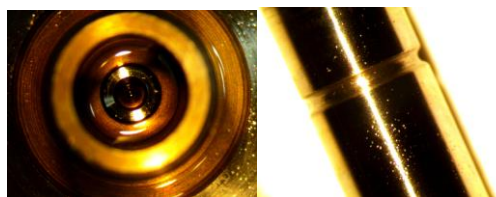


Fig. 9. a) a valve controlling the operation of fuel injector, b) a valve plunger

Rys. 9. a) zawór sterujący pracą wtryskiwacza paliwa, b) tłoczek zaworu

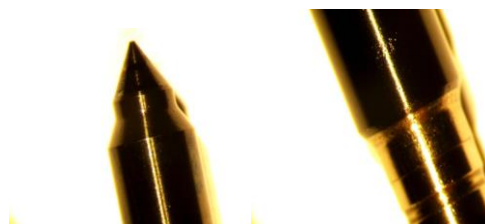


Fig. 10. a) a fuel injector needle tip, b) a plunger and barrel assembly element of fuel injector needle

Rys. 10. Iglica badanego wtryskiwacza: a) końcówka iglicy, b) element części prowadzącej iglicy wtryskiwacza paliwa

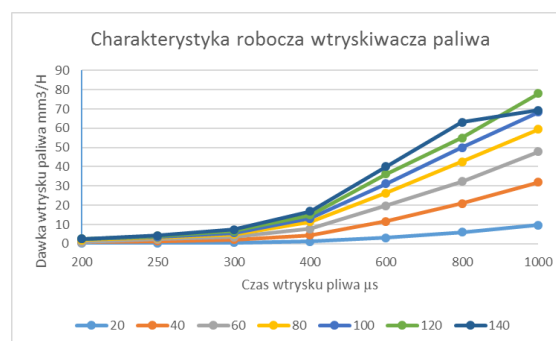


Fig. 11. The operating characteristics of Bosch solenoid-controlled fuel injector of generation 2.5

Rys. 11. Charakterystyka robocza elektromagnetycznego wtryskiwacza paliwa generacji 2,5

6. Zakończenie

Wtryskiwacze paliwa firmy Bosch generacji 2,5 obecnie są nierozbieralne i nienaprawialne ze względu na brak technologii oraz oryginalnych części zamiennych. Podczas badań została podjęta próba ich demontażu, analizy oraz montażu. Ten rodzaj wtryskiwaczy pomimo zmian konstrukcyjnych zespołu zaworu sterującego jest zbliżony do wtryskiwaczy generacji 2,1. Podczas badań zastosowano technologię stosowaną w tych wtryskiwaczach paliwa. Po demontażu wykonano zdjęcia z dużym powiększeniem elementów pary precyzyjnej oraz płyty twornika. Okazało się, że we wtryskiwaczu paliwa były metaliczne opiłki pochodzące od

It turned out that metal filings shavings coming from fuel injection pump were present in the fuel injector. The most sensitive element, apart from the plunger and barrel assemblies, is a pin controlling the operation of armature plate stator plate. The fouling from fuel, corrosion and metal filings shavings may induce a change in its operating parameters, which might affect the volume of fuel injection doses and the parameter of fuel injection delay. During the re-assembly of the fuel injector, a valve and solenoid seal being used in previous generation of Bosch fuel injectors was applied. After cleaning in ultrasonic cleaners and re-assembling, the fuel injector was tested on a Carbon Zapp CRU2i test bench. Not only the volume of fuel injection doses and return fuel doses were tested but also solenoid electrical resistance and inductance, fuel spray nozzle opening pressure and fuel injection delay. It turned out that the fuel injector is tight and keeps its all operating parameters. Therefore, it is possible to disassemble and clean a Bosch fuel injector of generation 2.5 and replace its seals if its other elements are technically efficient.

pompy wysokiego ciśnienia. Najbardziej delikatnym elementem oprócz par precyzyjnych jest trzpień sterujący pracą płyty twornika. Zanieczyszczenie pochodzące od paliwa, korozja oraz metaliczne opiłki mogą spowodować zmianę jego parametrów pracy, co może wpływać na wielkości dawek wtrysku oraz na opóźnienia wtrysku paliwa. Podczas montażu wtryskiwacza paliwa wykorzystano uszczelniacz zaworu oraz cewki elektromagnetycznej stosowany w poprzednich generacjach wtryskiwaczy paliwa firmy Bosch. Po wyczyszczeniu w myjkach ultradźwiękowych i montażu wtryskiwacz poddano badaniu na urządzeniu Zapp CRU 2i. Zbadano nie tylko wielkości dawek wtrysku i powrotnych, ale oporność i indukcyjność cewki elektromagnetycznej, ciśnienie otwarcia rozpylacza i opóźnienie wtrysku paliwa. Okazało się, że wtryskiwacz paliwa jest szczelny i utrzymuje wszystkie swoje parametry robocze. Zatem istnieje możliwość demontażu, wyczyszczenia i wymiany uszczelnień wtryskiwaczy paliwa generacji 2,5 firmy Bosch jeżeli pozostałe jego elementy są sprawne technicznie.

Nomenclature/Skróty i oznaczenia

LKT	leak test of fuel injector, an overflow dose tested / <i>test szczelności wtryskiwacza, badana dawka powrotna</i>	IVM VTP 2	volumetric test, a medium engine load dose tested / <i>test objętościowy, badana dawka wtrysku średniego obciążenia</i>
eRLC	electrical test of fuel injector, values tested: solenoid electrical resistance and inductance / <i>test elektryczny wtryskiwacza, badane wartości: opór elektryczny oraz indukcyjność cewki</i>	IVM VTP 3	volumetric test, an idling fuel injection dose tested / <i>test objętościowy, badana dawka wtrysku biegu jałowego</i>
IVM VTP 1	volumetric test, a full engine load dose tested at fuel injection and overflow v/ <i>test objętościowy badana dawka pełnego obciążenia przy wartości wtrysku i powrotu</i>	IVM VTP 4	volumetric test, a pilot fuel injection dose tested / <i>test objętościowy, badana dawka wtrysku pilotażowa</i>
		NOP	opening pressure of fuel spray nozzle / <i>ciśnienie otwarcia rozpylacza</i>
		RSP	fuel injection delay / <i>opóźnienie wtrysku paliwa</i>

Bibliography/Literatura

- [1] Ambrozik A., Ambrozik T., Łagowski P.: Fuel impact on emissions of harmful components of the exhaust gas from the CI engine during cold start-up, *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 1/2015
- [2] Günther H.: *Common Rail – Systeme in der Werkstattpraxis*. Technik, Prüfung, Diagnose. Bad Wörlhofen: Krafthand Verlag Walter Schultz GmbH, 2012
- [3] Osipowicz T., Kowalek S.: Evaluation of Modern Diesel Engine Fuel Injectors, TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, 3/2014
- [4] Osipowicz T. Stoeck T.: Repair contemporary Diesel engine injectors. *Autobusy, Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 10/2013
- [5] Stoeck T., Osipowicz T., Abramek K.F.: Methodology for the repair of Denso Common Rail solenoid injectors. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 2/2014
- [6] Stoeck T., Osipowicz T.: The use of Newton's method for interpolation in the bench testing of compression-ignition engine unit injector systems, *Combustion Engines*, 159(4)/2014.

Mr Tomasz Osipowicz, DEng. – Assistant Professor in the Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics at West Pomeranian University of Technology.

Dr inż. Tomasz Osipowicz – adiunkt na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.



Mr Tomasz Stoeck, DEng. – Assistant Professor in the Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics at West Pomeranian University of Technology.

Dr inż. Tomasz Stoeck – adiunkt na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.



Mr Karol F. Abramek, DSc., DEng. – Assistant Professor in the Faculty of Mechanical Engineering and Mechatronics at West Pomeranian University of Technology.

Dr hab. inż. Karol F. Abramek – adiunkt na Wydziale Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

