

Tomasz STOECK
Tomasz OSIPOWICZ
Karol Franciszek ABRAMEK

METHODOLOGY FOR THE REPAIR OF DENSO COMMON RAIL SOLENOID INJECTORS

METODYKA NAPRAWY WTRYSKIWACZY ELEKTROMAGNETYCZNYCH UKŁADÓW ZASILANIA COMMON RAIL DENSO*

This paper presents the problems of Denso Common Rail solenoid injector verification and repair. Due to conscious policy of the manufacturer who does not offer spare parts or special tooling, their servicing comes down most frequently to external cleaning, internal rinsing by the thermo-chemical method, and testing on test benches. Based on the analysis of failures and malfunctions being most frequently observed, own methodology for the repair process have been presented, specifying the successive stages of disassembly and final assembly. A possibility of effective fuel metering correction has been demonstrated, which is presented on the example of injectors in a 2.2 HDI engine of Citroën Jumper II delivery van.

Keywords: *compression-ignition engine, injectors, repair, adjustment.*

W artykule przedstawiono problematykę weryfikacji i naprawy wtryskiwaczy elektromagnetycznych Common Rail firmy Denso. Ze względu na świadomą politykę producenta, który nie oferuje części zamiennych i specjalistycznego oprzyrządowania, ich obsługa sprowadza się najczęściej do czyszczenia zewnętrznego, płukania wewnętrznego metodą termochemiczną oraz testowania na stołach probierczych. W oparciu o analizę najczęściej spotykanych uszkodzeń i niesprawności, zaprezentowano własną metodykę procesu naprawy, z wyszczególnieniem kolejnych etapów demontażu oraz montażu końcowego. Wskazano na możliwość efektywnej korekty dawkowania, którą pokazano na przykładzie wtryskiwaczy silnika 2,2 HDI pojazdu Citroën Jumper II.

Słowa kluczowe: *silnik o zapłonie samoczynnym, wtryskiwacze, naprawa, regulacja.*

1. Introduction

The Common Rail injectors are the most sensitive, i.e. damageable, elements of the fuel delivery system of modern car engines [7, 8, 10]. This is chiefly due to exceptionally difficult operation conditions which may include, among others, high pressure and temperature, ballistic phenomena, turbulent fluid flow, etc. Defects appear as a result of the normal wear of needle and nozzle assemblies and actuators, occurring usually after the time of longer operation or use of considerable intensity. There are also defects being induced by erosion and cavitation, in particular in the vicinity of nozzle holes and control valve seat [1, 5, 6, 9, 12, 13]. In some cases, however, hugely accelerated processes take place, leading to premature damages. Failure wear, being also called pathological wear, may occur due to the use of fuels with inappropriate physicochemical properties (viscosity, density, water and sulphur content) and those being contaminated, for example, with the filings from faulty high-pressure pump [2, 5, 6, 7, 9, 12]. The external damages, resulting from the improper assembly and disassembly of injectors being performed inconsistently with the recommendations of manufacturer or without specialist tools, e.g. slide tampers, hydraulic instruments, bench vices, repair kits, torque wrenches, etc., are a separate group.

2. Research objective

The Denso solenoid injectors are characterised by the design and the principle of operation being similar to the Bosch first-generation products which have been comprehensively discussed in the literature

[2, 3, 8, 10]. Therefore, the verification of respective parts is similar, focusing in particular on evaluation of the wear of: needle, nozzle tip, guide plunger, control unit (valve, body, mounting). Figure 1 also presents the elements which are taken into account when injector adjustment is needed, i.e. pressure spindle (full load fuel charge) and calibration and needle washers (pilot fuel charge and idle run fuel charge, respectively).

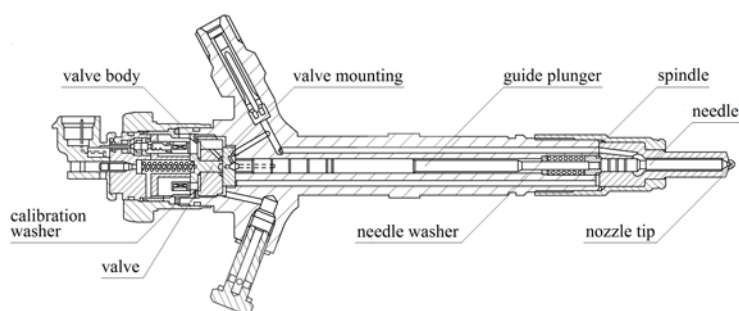


Fig. 1. A diagram showing Denso solenoid injector

The principal objective of this study was to provide a cognitive, factual evaluation of the reparability of Denso injectors, considering the given assumptions, i.e. lack of access to spare parts and necessity to determine guidelines for respective disassembly and assembly stages. These processes required an adapter to be prepared for unscrewing and screwing a nozzle nut which, due to wrench sizes, is not

(*) Tekst artykułu w polskiej wersji językowej dostępny w elektronicznym wydaniu kwartalnika na stronie www.ein.org.pl

provided with the tooling being used when servicing injectors made by other manufactures. The second objective, of an utilitarian nature, was to make an attempt to determine a method for the correction of fuel charge, the value of which was not within acceptable limits during the tests being performed.

3. Test object and test bed

The test object were Denso solenoid injectors which had been removed from a 2.2 HDI (*High Pressure Direct Injection*) engine of Citroën Jumper II delivery van with the mileage of 148 thousand km. It is a four-cylinder, 16-valve compression-ignition engine with a maximum power of 88 kW, with Common Rail direct fuel injection system. The repair of injectors was conducted on laboratory stands at VASCO Co. Ltd in Mierzyn near Szczecin, co-operating with the Department of Automotive Engineering of the West Pomeranian University of Technology (ZUT) in Szczecin. The following tests were used in this process:

- test benches (Diesel Bench CRU 2 Zapp, Diesel Tech DS2 Zapp),
- FL150/70 microscope with a camera for recording digital images on a PC-class computer,
- MIC-40700 LCR meter,
- Flexbar IP54 digital micrometer,
- ultrasonic cleaners (Elma Elmasonic S 10 H, Carbon Tech Ultrasonic Bath S15/C2),
- GRS Tools POWER HONE diamond grinder,
- vices and injector disassembly and assembly kits,
- torque wrenches.

4. Test scope and methodology

Tests were conducted according to an own methodology adopted which included three successive implementation stages (Fig. 2).

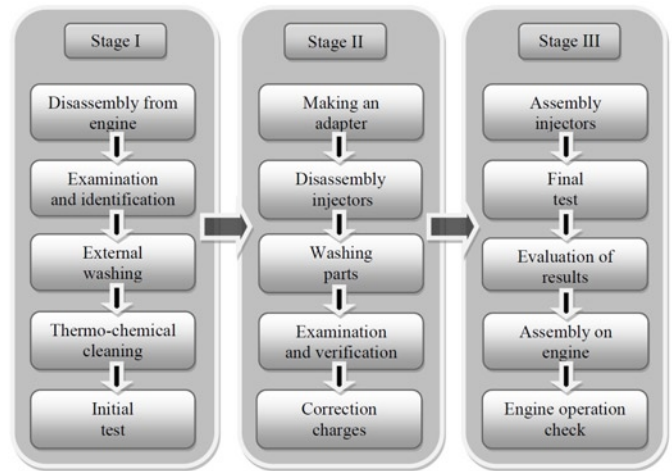


Fig. 2. Methodology for the repair of injectors being analysed

The steps included in respective stages match the standard Bosch procedures. The basic difference is the third step of repair introduced by the manufacturer, basing on the equipment and instrumentation dedicated solely for own products. A distinctive feature of the current technology in operation is earlier adjustment of injectors in order to obtain correct results on a test bench. The methodology being pre-

Table 1. Examples of the most frequent external damages of Denso injectors

Type of part	Type of defect	Possible causes
Main body	Cracking	Incorrect assembly on or disassembly from engine (too strong tightening of the mounting yoke, no lubricant, wrong tools selected)
	Deformation of shape	Incorrect assembly on or disassembly from engine; grinding of the surface is required to aid injector mounting
	Contamination, coking	Long-term operation of engine; fuelling with poor quality fuels or those with high level of vegetable component; combustion of lubricating oil due to scavenge phenomena
High pressure connector	Deformation of shape	Incorrect assembly on or disassembly from engine (tightening the injection pipe nut with too high torque, strong impact)
	Thread damage	
Control solenoid valve	Damages to plastic housing	Incorrect assembly on or disassembly from engine
	Damage to nut	Incorrect assembly or disassembly (tightening with too high torque, wrong tools selected)
	Damage to electrical connection	Incorrect assembly or disassembly of feeder cable plug
	Damage to overflow pipe and connector	Incorrect assembly or disassembly
Nozzle	Nozzle tip damage	Overheating; unauthorised cleaning
	Contamination, coking	Long-term operation of engine; fuelling with poor quality fuels or those with high level of vegetable component; combustion of lubricating oil due to scavenge phenomena
	Nozzle tip burning	Long-term and intensive operation of engine, fuelling with poor quality fuels
	Deformation of holes	Long-term operation of engine; fuelling with poor quality fuels; high combustion temperatures; erosion and cavitation processes

Table 2. Preset test parameters when measuring injector delivery rate

Type of fuel charge	Injection Pressure [MPa]	Injection time [μ s]	Set value of injection fuel charge [mg/skok]	Set value of return fuel charge [mg/skok]
Full load	160	910	$47,74 \pm 6,93$	$32,90 \pm 32,90$
Emission (half-load)	80	720	$18,28 \pm 4,20$	$25,00 \pm 25,00$
Idle run	25	710	$3,90 \pm 1,84$	$15,00 \pm 15,00$
Pilot	80	320	$1,84 \pm 1,22$	$15,00 \pm 15,00$

sented is a classic approach based on the long-standing workshop and laboratory practice but being possible to use in a much broader scope. It assumes a correction of fuel charges only after the results of initial test stage have been obtained. Furthermore, successive stages may be modified as required, enabling the repair of solenoid injectors of different types and manufactures. In the case of the Denso products, it was necessary to make an adapter for nozzle nut.

4.1. Stage I

First of all, the injectors were prepared to initial test. After their removal from the engine, the injectors were evaluated by visual assessment and completeness check of components. Examples of external damages, detectable in this stage, are summarised in Table 1. Next, theirs were identified, reading the numbers on the main body

and entering them into the memory of test benches in order to carry out the measuring stage.

The washing of injectors in ultrasonic cleaners was carried out so that control solenoid valves were not immersed in the cleaning fluid. This is because the plastic housing may soften and insulation may be damaged. Duration of this process did not exceed 30 min. Next, the injectors were dried and purged with compressed air.

The procedure of initial test was started checking the solenoid coil resistance and inductance and its fault to frame. This testing should be treated as a supplementary (additional) one because inspection of injectors on test benches includes within its scope basic electrical measurements. It should also be noted that defects of the element under discussion in Denso products have been occasionally encountered during several years of practice, which does not find confirmation in

Table 3. Examples of the most frequent internal damages of Denso injectors

Type of part	Type of defect	Possible causes
Control valve unit	Scratching or deformation of valve seat	Too large half-ball travel; poor fuel quality and fuel contamination; improper filtration; presence of solids (faulty pump); erosion and cavitation processes
	Scratching of valve spindle surface	Poor fuel quality (lubricating ability) and fuel contamination; improper filtration; presence of solids (faulty pump)
	Damages to the surface of valve body and mounting	Poor fuel quality and fuel contamination; improper filtration; presence of solids (faulty pump); erosion and cavitation processes
	Corrosion of the surface of valve body and mounting	Poor fuel quality (sulphur and water)
Guide plunger	Surface scratching or seizure	Poor fuel quality (lubricating ability) and fuel contamination; improper filtration; presence of solids (faulty pump)
	Surface corrosion	Poor fuel quality (sulphur and water)
Nozzle	Seat deformation	Poor fuel quality and fuel contamination; improper filtration; presence of solids (faulty pump)
	Worsening of the needle and nozzle assembly cooperation	Abrasive wear as a result of natural processes
	Surface scratching or seizure	Poor fuel quality (lubricating ability) and fuel contamination; improper filtration; presence of solids (faulty pump)
	Pressure face corroding	Poor fuel quality (sulphur and water)
	Contact zone overheating	Long-term and intensive operation of engine; too high temperature of operation
Needle	Worsening of the needle and nozzle assembly cooperation	Abrasive wear as a result of natural processes
	Damage to needle cone	Poor fuel quality (lubricating ability) and fuel contamination; improper filtration; presence of solids (faulty pump)
	Surface scratching or seizure	
	Surface corroding	Poor fuel quality (sulphur and water)
	Contact zone overheating	Long-term and intensive operation of engine; too high temperature of operation

the assessment being presented in the paper by Kuszewski and Usztrzycki [11].

In injector measurements made on testers, the following initial tests were carried out:

- electrical test „eRLC” (*Resistance, Inductance, Capacitance*), except the capacitance being checked for the products with piezoelectric elements,
- leakage test „LKT” (*Static Leak Test*),
- nozzle opening pressure test „NOP” (*Nozzle Opening Pressure*),
- volume test „iVM” (*Injector Volume Metering*) for respective fuel charges, the parameters of which are summarised in Table 2.

4.2. Stage II

To unscrew nozzle nuts, a special adapter was made, using a 30 mm hexagonal iron (Fig. 3). This was a necessary condition to carry out disassembly because adapters for injectors of other manufacturers have different dimensions.

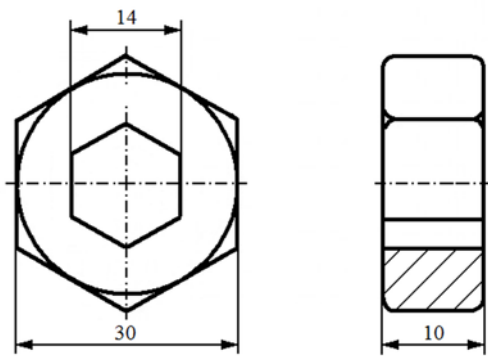


Fig. 3. An adapter enabling nozzle nut to be unscrewed

When unscrewing the nut, a torque of 150 Nm should not be exceeded because the sealing surface may be permanently damaged and the pins locating nozzle position against a fuel feed hole may be shorn. After this step, an access to the following elements was gained: needle, lower spring, needle washer, spindle and guide plunger. It should be noted that any resistance occurring when removing the latter from the main body is evidence of permanent seizure and impossibility to repair the injector.

Before disassembling the upper part, scribing markings were made, locating the original position of control solenoid valve against a high pressure connector. The unscrewing of nut enabled the following elements to be removed: valve shim and spring washer, upper spring, and half-ball valve. Access to the body and mounting, co-operating with the latter, required a special triple-bit wrench to be applied.

All parts, except solenoid valve, were rinsed in ultrasonic cleaners and then dried and purged with compressed air. Their evaluation and verification was done by the visual method (organoleptic assessment), as well as at high magnification of laboratory microscope. A summary of the most frequent internal defects, detectable in this stage, is presented in Table 3. Possible correction of fuel charges should take place after last stage, before assembling the injectors and carrying out the main tests.

4.3. Stage III

In the first instance, upper parts of the injectors were assembled, preserving the reverse order to disassembly. The tightening torque for the valve body should not exceed 75 Nm. The mounting of half-ball is important so that its flat surface is outside the seat. It must also be remembered that the original position of solenoid valve coil against a high pressure connector is to be preserved. Threads for solenoid valve and nozzle nuts should be lubricated with white mineral oil and their

tightening should be done with torques amounting to 10–15 Nm and 45 Nm.

Inspection of the injectors on test benches was carried out in a similar way to that for the initial test. Owing to that, a comparison of the test results from before and after the repair was possible. Next, the injectors were assembled on the engine, the operation of which was assessed during a test drive.

5. Results and discussion

Evaluation of the injectors did not show any external defects or missing components. After the preparation stage, initial tests were performed, the results of which are summarised in Table 4 and Figures 4 and 5. Electrical measurements excluded a failure solenoid coils, while no fault to frame in them was found in the supplementary test (outside test bench) These findings were consistent with the guidelines being presented by other authors [8, 9]. In the leakage tests, no fuel leaks on injector tips were found, while fuel overflow delivery rates were minimal. Also the nozzle opening pressure was positively evaluated. Any failures in this respect would induce an immediate termination of the test stage, disqualifying a given injector from further tests.

Table 4. Results of the initial tests for the Denso injectors being analysed

Injector number	Electrical test „eRLC”		Leakage test „LKT” [MPa]	Nozzle opening pressure test „NOP” [MPa]
	Coil resistance [Ω]	Coil inductance [μ H]		
1	0,54	181	81,80	16,00
2	0,72	184	82,70	18,50
3	0,55	179	90,30	15,50
4	0,72	179	86,80	16,00

The analysis of fuel delivery rate in the „iVM” test showed that idle run fuel charges for injector 2 and 4 were too small, amounting to 1.78 mg/stroke and 1.94 mg/stroke, respectively. The results pointed to the worsening of the needle and nozzle assembly co-operation, which became apparent only when setting low pressure on a tester. Malfunction of this type is one of the most frequently detectable defects, being also encountered in the products of other manufacturers, but it is usually observed in the injectors of engines with a relatively low operational mileage. In such cases, a change in the initial stress of lower spring is required, which reduces the lift of needle at low pressure and in consequence the charge of injected fuel. The correction of fuel charge is conducted by reducing needle washer thickness.

The process of disassembly was carried out for all products being analysed, mainly to wash and carefully verify their components. It can, however, be simplified in the situation when only idle run fuel charge adjustment is assumed, which requires the nozzle itself to be unscrewed and taken to pieces. Due to the fact that needle washer replacement is not possible, its butting face was ground off on a GRS Tools POWER HONE grinder. An assumption was made, like in the case of Bosch injectors, that thickness reduction by 0.1 mm would allow obtaining an increase in fuel delivery rate by about 1,5 mg/stroke. The size of fuel charges in the products being positively evaluated was also taken into account in order to obtain relatively similar injection parameters. Therefore, the thickness of needle washers in injectors 2 and 4 was reduced from 1.33 mm to 1.27 mm. Before assembling, evaluation of all parts was made in a microscopic examination, focusing in particular on the needle and nozzle assembly and actuators. No internal damages were detected.

The findings of main tests show that adjustment of the injectors being repaired produced advantageous results (Figs 6 and 7). An increase in idle run fuel charges by a predicted value of 0.75 and

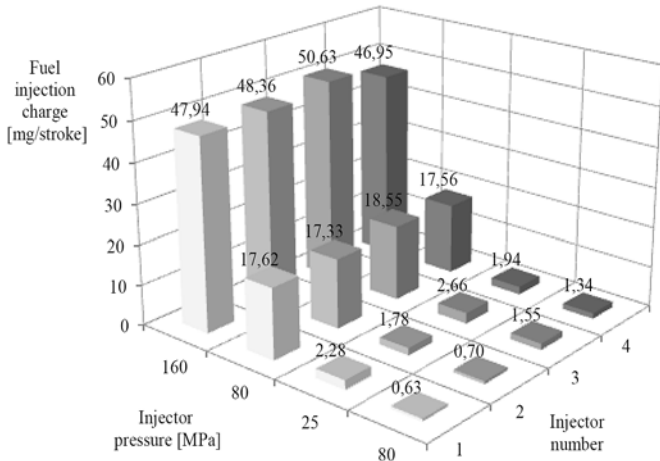


Fig. 4. Results for injected fuel delivery rate according to injection pressure obtained from the initial test for the injectors being analysed

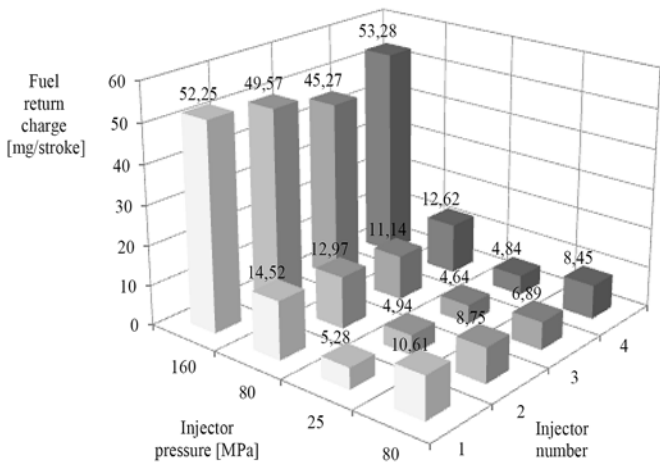


Fig. 5. Results for fuel return charge according to injection pressure obtained from the initial test for the injectors being analysed

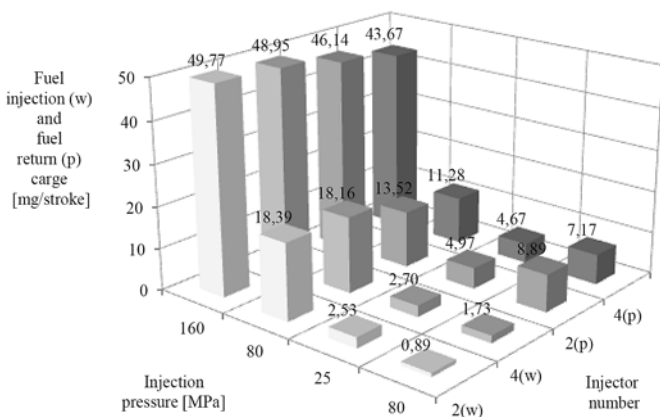


Fig. 6. Results for fuel injection and fuel return charge according to injection pressure obtained from the initial test for the analysed injectors after repair

0.76 mg/stroke. This means an improvement in the co-operation of needle and nozzle assemblies because needles in both products stopped to be blocked when setting low pressure. As a result, more fuel will go to given cylinders of the drive unit, while the rotational speed will not be lowered.

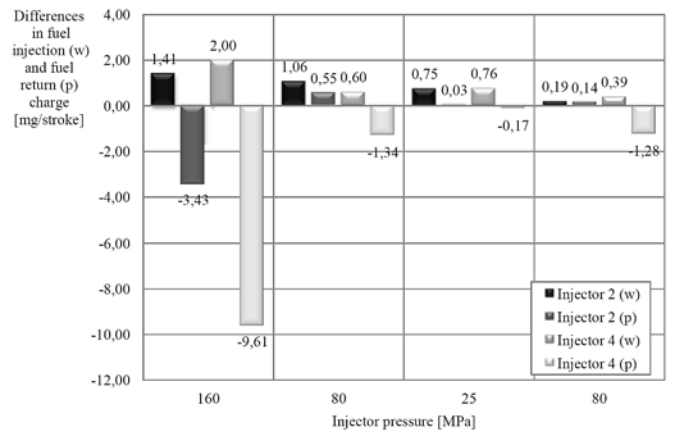


Fig. 7. Differences in fuel injection and fuel return charge according to injection pressure in the injectors being repaired

An intermediate effect on other fuel delivery rates was observed, in particular reduction of the fuel amount on most overflows. In injector 2, this effect occurred only with the full load, while for other fuel charges (emission, idle run and pilot fuel charges) the increase was negligibly small. In this respect, the repair process should be also positively assessed because excessive amount of fuel on the return might manifest in difficulties in starting the engine, its spontaneous stoppage, and observable loss of power at different load ranges. In the products being analysed, these problems should not be found. The test results being obtained on test benches and the verification of parts, in which other causes were excluded, e.g. damages to valve unit, loss of internal leak-tightness, nozzle hole plugging, is evidence of this.

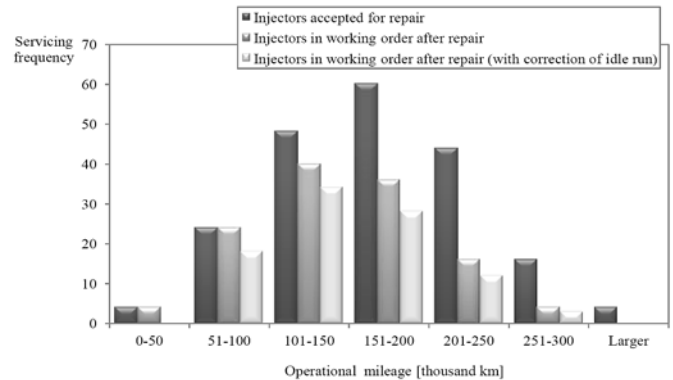


Fig. 8. Histogram of Denso solenoid injector repairs

Figure 8 presents the histogram of Denso solenoid injector repairs in VASCO Co. Ltd which were performed in the time period of October 2012 – February 2013. The data referring to the products being acknowledged operational represent the unimodal distribution, being characterised by a moderate right-side asymmetry. The obtained results indicate a high efficiency of this process with mileage to 200 thousand km but in most cases a correction of idle run fuel charge was necessary. Considerably less observations are grouped within the ranges being found at the end of the series. This is because the repairs become groundless with no spare parts, while the cleaning itself and adjustment brought selective benefits only. As a consequence, it was decided to limit acceptance of the injectors from motor-car engines with high operational mileage for repair.

6. Conclusions

The results of own study show that the repair of Denso Common Rail injectors may be conducted but its efficient depends on many factors. A crucial issue is the initial condition, and more specifically the type of malfunction being found, which - with lack of spare parts - may exclude a given product. This refers in particular to the needle and nozzle assembly and actuators, including control valve unit and guide plunger. The workshop practice shows that application of the substitute parts being found on the market is not indicated because, in respect of their quality, they decidedly fall behind the original elements, leading to accelerated (pathological) wear. A relatively numerous group is also external damages, developing frequently when disassembling or assembling the injectors which is performed without the tooling required or not observing the servicing procedures.

The proposed procedure methodology specifies the scope of activities to which attention should be paid during the repair process. Also, an adapter of own design has been presented, the making of which allowed disassembling the nozzle unit. The obtained results have broaden the scope of Denso solenoid injector servicing, which is usually reduced to external washing, internal cleaning and testing on test benches. However, it is noteworthy that, out of consideration for the aforesaid limitations, correction of respective fuel charges is possible for motor-car engines with a relatively low mileage, so for those with no serious internal damages.

References

1. Asi O. Failure of a diesel engine injector nozzle by cavitation damage. *Engineering Failure Analysis* 2006; 13: 1126-1133.
2. Bosch Robert GmbH. Diesel-Engine Management. Plochingen: Automotive Aftermarket Division; 2004.
3. Bosch Robert GmbH. Zasobnikowe układy wtryskowe Common Rail. Warszawa: WKiŁ; 2009.
4. Cisek J, Mruk A, Szczypiński-Sala W. Wpływ biopaliw (FAME) na właściwości eksploatacyjne rozpylaczy paliwa silnika z zapłonem samoczynnym. *Mechanika. Czasopismo Techniczne - Technical Transactions* 2012; 8: 233-244.
5. Dernotte J, Hespel C, Foucher F, Houille S, Mounad'm-Rousselle C. Influence of physical fuel properties on the injection rate in a Diesel injector. *Fuel* 2012; 96: 153-160
6. Galle J, Verhelst S, Sierens R, Goyos L, Castaneda R, Verhaege M, Vervaeke L, Bastiaen M. Failure of fuel injectors in a medium speed diesel engine operating on bio-oil. *Biomass and Bio-energy* 2012; 40: 27-35.
7. Gładyszek J, Gładyszek M. Ocena stanu wtryskiwaczy common rail. *Auto Moto Service* 2009; 9: 22-24.
8. Günther H. Układy wtryskowe Common Rail w praktyce warsztatowej: budowa, sprawdzanie, diagnostyka. Warszawa: WKiŁ; 2010.
9. Idzior M, Borowczyk T, Karpiuk W, Stobnicki P. Możliwości badania stanu technicznego nowoczesnych wtryskiwaczy silników o zapłonie samoczynnym. *Logistyka* 2011; 3: 933-942.
10. Knefel T. Ocena techniczna wtryskiwaczy Common Rail na podstawie doświadczalnych badań przelewów. *Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 2012; 1: 42-53.
11. Kuszewski H, Ustrzycki A. Metodyka diagnozowania wtryskiwaczy układu Common Rail z wykorzystaniem stołu probierczego EPS 815. *X Słupskie Forum Motoryzacji. Innowacje w motoryzacji a ochrona środowiska. Starostwo Powiatowe w Słupsku*; 2007: 243-252.
12. Olszowski S. Badanie przyczyn przybywania oleju w silnikach nowej generacji o zapłonie samoczynnym. *Transcomp - XIV international conference. Computer systems aide science, industry and transport* 2010; 6: 2581- 2588.
13. Salvador FJ, Romero JV, Rosello MD, Martinez-Lopez J. Validation of a code for modeling cavitation phenomena in Diesel injector nozzles. *Mathematical and Computer Modelling* 2010; 52: 1123-1132.

Tomasz STOECK

Tomasz OSIPOWICZ

Karol Franciszek ABRAMEK

West Pomeranian University of Technology

The Department of Automotive Engineering

Piastów 19 St., 70-310 Szczecin, Poland

E-mails: tstoeck@wp.pl, tosipowicz@zut.edu.pl, kabramek@zut.edu.pl

dr inż. Tomasz Stoeck

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych
Al. Piastów 19, 70-310 Szczecin, Polska
E-mail: tstoeck@wp.pl

dr inż. Tomasz Osipowicz

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych
Al. Piastów 19, 70-310 Szczecin, Polska
E-mail: tosipowicz@zut.edu.pl

dr inż. Karol Franciszek Abramek

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych
Al. Piastów 19, 70-310 Szczecin, Polska
E-mail: kabramek@zut.edu.pl

Metodyka naprawy wtryskiwaczy elektromagnetycznych układów zasilania Common Rail Denso

Słowa kluczowe: silnik o zapłonie samoczynnym, wtryskiwacze, naprawa, regulacja

Streszczenie: W artykule przedstawiono problematykę weryfikacji i naprawy wtryskiwaczy elektromagnetycznych Common Rail firmy Denso. Ze względu na świadomą politykę producenta, który nie oferuje części zamiennych i specjalistycznego oprzyrządowania, ich obsługa sprowadza się najczęściej do czyszczenia zewnętrznego, płukania wewnętrznego metodą termochemiczną oraz testowania na stołach probierczych. W oparciu o analizę najczęściej spotykanych uszkodzeń i niesprawności, zaprezentowano własną metodykę procesu naprawy, z wyszczególnieniem kolejnych etapów demontażu oraz montażu końcowego. Wskazano na możliwość efektywnej korekty dawkowania, którą pokazano na przykładzie wtryskiwaczy silnika 2,2 HDI pojazdu Citroën Jumper II.

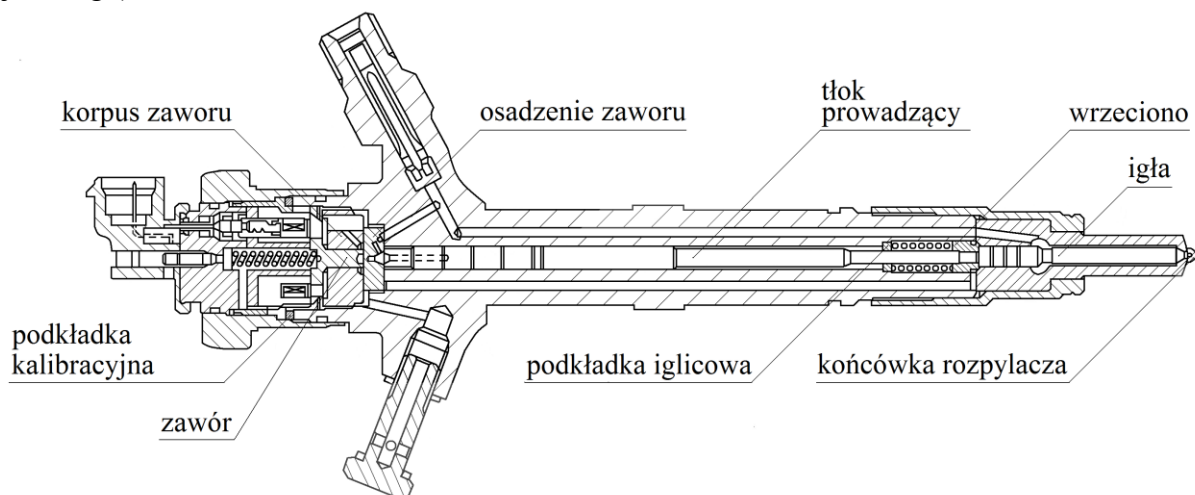
1. Wprowadzenie

Wtryskiwacze Common Rail stanowią najbardziej wrażliwe, czyli podatne na uszkodzenia elementy układu podawania paliwa współczesnych silników samochodowych [7, 8, 10]. Wynika to w głównej mierze z wyjątkowo trudnych warunków pracy, do których zaliczyć można m.in.: wysokie ciśnienia i temperatury, zjawiska balistyczne, turbulentny przepływ cieczy, itp. Usterki pojawiają się w efekcie normalnego zużycia par precyzyjnych i elementów wykonawczych, występując zazwyczaj po okresie dłuższej eksploatacji oraz znacznej intensywności użytkowania. Występują również defekty wywołane przez erozję i kawitację, szczególnie w okolicy otworów rozpylacza i gniazda zaworu sterującego [1, 5, 6, 9, 12, 13]. W niektórych przypadkach zachodzą jednak procesy znacznie przyspieszone, prowadzące do uszkodzeń przedwczesnych. Zużycie awaryjne, określane również mianem patologicznego, może następować w skutek stosowania paliw o nieodpowiednich właściwościach fizykochemicznych (lepkość, gęstość, smarność, zawartość wody i siarki)

oraz zanieczyszczonych, w tym opiłkami pochodzącymi z niesprawnej pompy wysokiego ciśnienia [2, 5, 6, 7, 9, 12]. Osobną grupę stanowią uszkodzenia zewnętrzne, wynikające z niewłaściwego montażu i demontażu wtryskiwaczy, prowadzonego niezgodnie z zaleceniami producenta lub bez zastosowania specjalistycznych narzędzi, np. podbijaków suwakowych, przyrządów hydraulicznych, imadeł stanowiskowych, zestawów naprawczych, kluczy dynamometrycznych, itp.

2. Cel badań

Wtryskiwacze elektromagnetyczne Denso charakteryzują się budową i zasadą działania zbliżoną do konstrukcji firmy Bosch pierwszych generacji, które kompleksowo zostały omówione w literaturze tematu [2, 3, 8, 10]. W związku z tym weryfikacja poszczególnych części przebiega w sposób analogiczny, ze szczególnym uwzględnieniem oceny stanu zużycia: igły, końcówki rozpylacza, tłoka prowadzącego, zestawu sterującego (zawór, korpus, osadzenie). Na rys. 1 przedstawiono również elementy, które bierze się pod uwagę przy potrzebie regulacji wtryskiwacza, tzn. wrzeciono ciśnieniowe (dawka pełnego obciążenia) oraz podkładki: kalibracyjna (dawka pilotażowa) i iglicowa (dawka biegu jałowego).



Rys. 1. Schemat wtryskiwacza elektromagnetycznego firmy Denso

Zasadniczym celem badań była poznawcza, faktyczna ocena możliwości naprawy wtryskiwaczy Denso, przy uwzględnieniu ogólnych założeń: braku dostępu do części zamiennych oraz konieczności określenia wytycznych dotyczących poszczególnych etapów demontażu i montażu. Procesy te wymagały przygotowania adaptera do odkręcania i przykręcania nakrętki rozpylacza, który ze względu na wymiary kluczy nie wchodzi w skład oprzyrządowania stosowanego przy obsłudze wtryskiwaczy innych firm. Drugim celem, o charakterze użytkowym, była próba określenia i sposobu korekty dawki, której wartość nie mieściła się w dopuszczalnych granicach w trakcie prowadzonych testów.

3. Obiekt i stanowiska badawcze

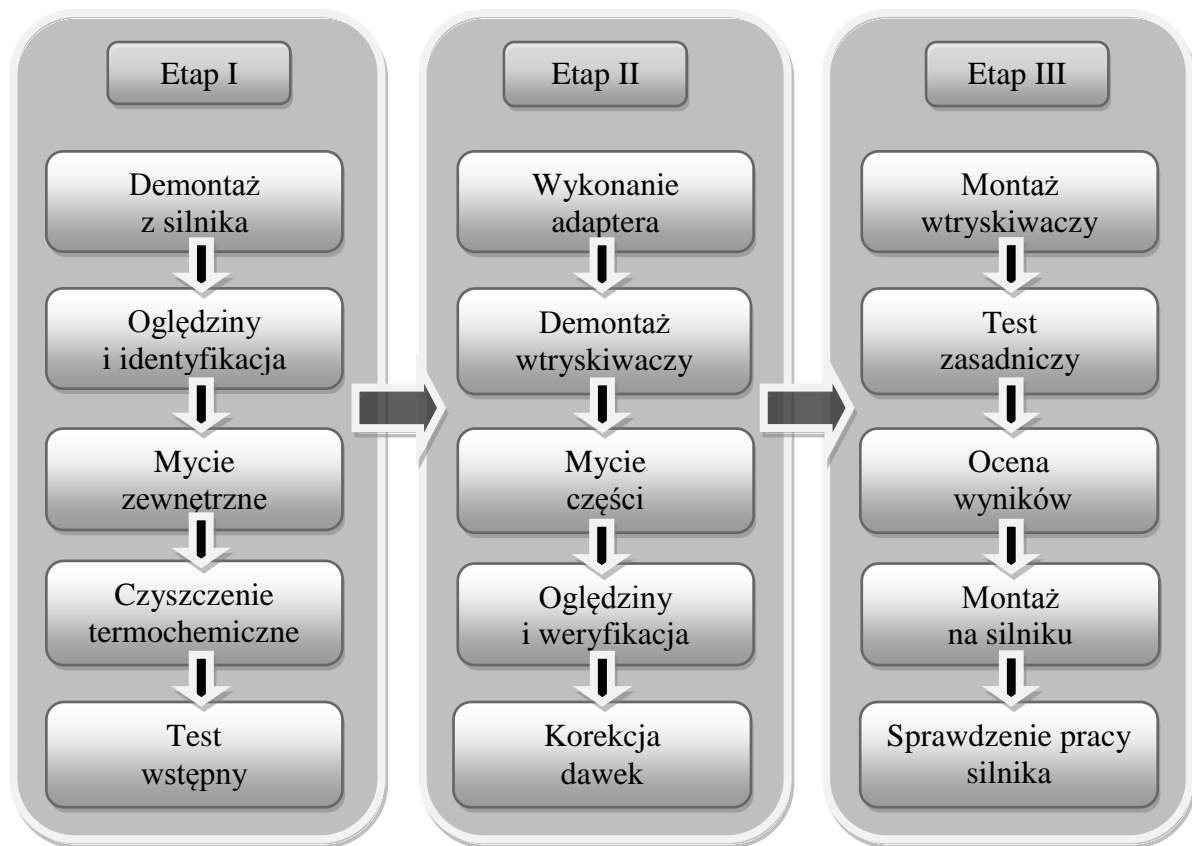
Obiekt badań stanowiły wtryskiwacze elektromagnetyczne firmy Denso, które wymontowano z jednostki napędowej 2,2 HDI (z ang. *High Pressure Direct Injection*) pojazdu dostawczego Citroën Jumper II o przebiegu 148 tys. km. Jest to czterocylindrowy, szesnastozaworowy silnik wysokoprężny o mocy maksymalnej 88 kW, z bezpośrednim wtryskiem paliwa w układzie Common Rail. Naprawę wtryskiwaczy prowadzono na

stanowiskach laboratoryjnych VASCO Sp. z o.o. z siedzibą w Mierzynie, która współpracuje z Katedrą Eksploatacji Pojazdów Samochodowych Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego (ZUT) w Szczecinie. W procesie tym wykorzystano m.in.:

- stoły probiercze (Diesel Bench CRU 2 Zapp, Diesel Tech DS2 Zapp),
- mikroskop FL150/70 z kamerą do cyfrowego zapisu obrazów na komputerze klasy PC,
- miernik indukcyjności MIC-40700,
- mikrometr cyfrowy IP54,
- myjki ultradźwiękowe (Elma Elmasonic S 10 H, Carbon Tech Ultrasonic Bath S15/C2),
- szlifierka diamentową GRS Tools POWER HONE,
- imadła i zestawy do demontażu oraz montażu wtryskiwaczy,
- klucze dynamoteryczne.

4. Zakres i metodyka

Badania prowadzono według przyjętej metodyki własnej, która obejmowała trzy, kolejne etapy realizacji (rys. 2).



Rys. 2. Metodyka naprawy badanych wtryskiwaczy

Zakres czynności ujętych w poszczególnych etapach częściowo pokrywa się ze standardowymi procedurami firmy Bosch. Zasadniczą różnicę stanowi wprowadzenie przez producenta trzeciego stopnia naprawy, bazującego na aparaturze i oprzyrządowaniu dedykowanemu wyłącznie dla własnych konstrukcji. Cechą charakterystyczną aktualnie obowiązującej technologii jest wcześniejsza regulacja wtryskiwacza w celu uzyskania prawidłowych wyników na stole probierczym. Prezentowana metodyka stanowi podejście klasyczne, oparte na długoletniej praktyce warsztatowej i laboratoryjnej, ale możliwej do

wykorzystywania w znacznie szerszym zakresie. Zakłada ona korekcję dawek dopiero po uzyskaniu wyników w fazie testu wstępnego. Ponadto w zależności od potrzeb kolejne etapy mogą podlegać modyfikacji, umożliwiając naprawę wtryskiwaczy elektromagnetycznych różnych typów i producentów. W przypadku konstrukcji Denso koniecznym stało się wykonanie adaptera pod nakrętkę rozpylacza.

4.1. Etap I

W pierwszym rzędzie wtryskiwacze przygotowano do testu wstępnego. Po demontażu z silnika przeprowadzono ich oględziny, które polegały na ocenie wzrokowej oraz sprawdzeniu kompletności części składowych. Przykłady uszkodzeń zewnętrznych, możliwych do wykrycia w tym etapie, zestawiono w tabeli 1. Następnie dokonano identyfikacji, odczytując numery z korpusów głównych i wprowadzając je do pamięci stołów probierczych celem przeprowadzenia fazy pomiarowej.

Tab. 1. Przykłady najczęstszych uszkodzeń zewnętrznych wtryskiwaczy Denso

Rodzaj części	Rodzaj usterki	Możliwe przyczyny
Korpus główny	Pęknięcie	Niewłaściwy montaż lub demontaż z silnika (zbyt silne dokręcanie jarzma mocującego, brak substancji smarnej, niewłaściwy dobór narzędzi)
	Deformacja kształtu	Niewłaściwy montaż lub demontaż z silnika; celowe zeszlifowanie powierzchni w celu łatwiejszego osadzenia wtryskiwacza
	Zanieczyszczenie, zakoksowanie	Długotrwała eksploatacja silnika; zasilanie paliwami złej jakości lub z wysoką zawartością komponentu roślinnego; spalanie oleju smarującego w skutek zjawiska przedmuchi
Króciec	Deformacja kształtu	Niewłaściwy montaż lub demontaż z silnika (dokręcanie nakrętki przewodu wtryskowego zbyt dużym momentem, silne uderzenie)
	Uszkodzenie gwintu	
Elektrozawór sterujący	Uszkodzenia osłon z tworzywa sztucznego	Niewłaściwy montaż lub demontaż z silnika
	Uszkodzenie nakrętki	Niewłaściwy montaż lub demontaż (dokręcanie zbyt dużym momentem, zły dobór narzędzi)
	Uszkodzenie przyłącza elektrycznego	Niewłaściwy montaż lub demontaż wtyczki przewodu zasilania
	Uszkodzenie przewodu i złącza przelewowego	Niewłaściwy montaż lub demontaż
Rozpylacz	Uszkodzenie końcówki	Przegrzanie; niedozwolone czyszczenie
	Zanieczyszczenie, zakoksowanie	Długotrwała eksploatacja silnika; zasilanie paliwami złej jakości lub z wysoką zawartością komponentu roślinnego; spalanie oleju smarującego w skutek zjawiska przedmuchi
	Wypalenie końcówki rozpylacza	Długotrwała i intensywne eksploatacja silnika, zasilanie paliwami złej jakości
	Deformacja otworków	Długotrwała eksploatacja silnika; zasilanie paliwami złej jakości; wysokie temperatury spalania; procesy erozji i kawitacji

Mycie wtryskiwaczy w myjkach ultradźwiękowych prowadzono w taki sposób, aby elektrozawory sterujące nie były zanurzone w płynie czyszczącym. Istnieje bowiem możliwość zmiękczenia osłon z tworzywa sztucznego oraz uszkodzenia izolacji. Czas tego

procesu nie przekroczył 30 min. Następnie wtryskiwacze osuszono i przedmuchano sprężonym powietrzem.

Procedurę testu wstępnego rozpoczęto od sprawdzenia: oporności i indukcyjności cewki elektromagnesu oraz jej zwarcie z masą. Badanie to należy traktować jako uzupełniające (dodatkowe), gdyż kontrola wtryskiwaczy na stołach probierczych obejmuje swym zakresem podstawowe pomiary elektryczne. Warto również podkreślić, iż w kilkuletniej praktyce sporadycznie spotykano się z usterkami omawianego elementu w konstrukcjach Denso, co nie znajduje potwierdzenia w ocenie prezentowanej w publikacji Kuszewskiego i Ustrzyckiego [11].

W pomiarach wtryskiwaczy na próbnikach przeprowadzono następujące rodzaje testów wstępnych:

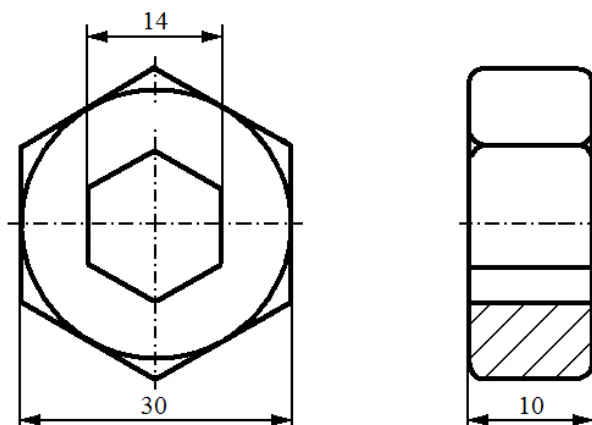
- elektryczny „eRLC” (z ang. *Resistance, Inductance, Capacitance*), z wyłączeniem pojemności sprawdzanej dla konstrukcji z elementami piezoelektrycznymi,
- szczelności „LKT” (z ang. *Static Leak Test*),
- ciśnienia otwarcia rozpylacza „NOP” (z ang. *Nozzle Opening Pressure*),
- objętości “iVM” (z ang. *Injector Volume Metering*) dla poszczególnych dawek, których parametry zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Parametry testowe zadane przy pomiarach wydatku wtryskiwaczy

Rodzaj dawki	Ciśnienie wtrysku [MPa]	Czas wtrysku [μ s]	Wartość zadana dawki wtrysku [mg/skok]	Wartość zadana dawki powrotnej [mg/skok]
Pełnego obciążenia	160	910	$47,74 \pm 6,93$	$32,90 \pm 32,90$
Emisyjna (połowy obciążenia)	80	720	$18,28 \pm 4,20$	$25,00 \pm 25,00$
Biegu jałowego	25	710	$3,90 \pm 1,84$	$15,00 \pm 15,00$
Pilotażowa	80	320	$1,84 \pm 1,22$	$15,00 \pm 15,00$

4.2. Etap II

W celu odkręcenia nakrętek rozpylaczy wykonano specjalny adapter, wykorzystując pręt stalowy sześciokątny 30 mm (rys. 3). Był to warunek konieczny przeprowadzenia procesu demontażu, gdyż nasadki do wtryskiwaczy innych producentów różnią się wymiarami.



Rys. 3. Adapter umożliwiający odkręcenie nakrętki rozpylacza

Przy odkręcaniu nakrętki nie należy przekraczać momentu 150 Nm, gdyż może dojść do trwałego zniszczenia powierzchni uszczelniających i ścięcia kołków, które ustalają

pozycję rozpylacza względem otworka zasilającego w paliwo. Po wykonaniu tej czynności uzyskano dostęp do następujących elementów: igły, sprężyny dolnej, podkładki iglicowej, wrzeczona oraz tłoka prowadzącego. Należy podkreślić, iż jakiegokolwiek opory występujące przy jego wyjmowaniu z korpusu głównego, świadczą o trwałym zatarciu i braku możliwości naprawy wtryskiwacza.

Przed demontażem górnej części wykonano znaczenia traserskie, ustalające położenie pierwotne elektrozaworu sterującego względem króćca wysokiego ciśnienia. Odkręcenie nakrętki umożliwiło wyjęcie: podkładki regulacyjnej i podsprężynowej, sprężyny górnej oraz zaworu z półkulką. Dostęp do współpracującego z nim korpusu i osadzenia wymagał zastosowania specjalnego klucza trójrzędowego.

Tab. 3. Przykłady najczęstszych uszkodzeń wewnętrznych wtryskiwaczy Denso

Rodzaj części	Rodzaj usterki	Możliwe przyczyny
Zespół zaworu sterującego	Zarysowanie lub deformacja gniazda zaworu	Zbyt duży skok półkulki; zła jakość i zanieczyszczenie paliwa; niewłaściwa filtracja; obecność ciał stałych (wadliwa pompa); procesy erozji i kawitacji
	Zarysowanie powierzchni trzpienia zaworu	Zła jakość (smarność) i zanieczyszczenie paliwa; niewłaściwa filtracja; obecność ciał stałych (wadliwa pompa);
	Uszkodzenia powierzchni korpusu i osadzenia zaworu	Zła jakość i zanieczyszczenie paliwa; niewłaściwa filtracja; obecność ciał stałych (wadliwa pompa); procesy erozji i kawitacji
	Korozja powierzchni korpusu i osadzenia zaworu	Zła jakość paliwa (zawartość siarki, wody)
Tłok prowadzący	Zarysowanie lub zatarcie powierzchni	Zła jakość (smarność) i zanieczyszczenie paliwa; niewłaściwa filtracja; obecność ciał stałych (wadliwa pompa)
	Korozja powierzchni	Zła jakość paliwa (zawartość siarki, wody)
Rozpylacz	Deformacja gniazda	Zła jakość i zanieczyszczenie paliwa; niewłaściwa filtracja; obecność ciał stałych (wadliwa pompa)
	Pogorszenie współpracy pary precyzyjnej	Zużycie ściernie w wyniku procesów naturalnych
	Zarysowanie lub zatarcie powierzchni	Zła jakość (smarność) i zanieczyszczenie paliwa; niewłaściwa filtracja; obecność ciał stałych (wadliwa pompa)
	Skorodowanie powierzchni prowadzącej	Zła jakość paliwa (zawartość siarki, wody)
	Przeegrzanie stref kontaktu	Długotrwała i intensywna eksploatacja silnika; zbyt wysokie temperatury pracy
Igła	Pogorszenie współpracy pary precyzyjnej	Zużycie ściernie w wyniku procesów naturalnych
	Uszkodzenie stożka	Zła jakość (smarność) i zanieczyszczenie paliwa; niewłaściwa filtracja; obecność ciał stałych (wadliwa pompa)
	Zarysowanie lub zatarcie powierzchni	
	Skorodowanie powierzchni	Zła jakość paliwa (zawartość siarki, wody)
	Przeegrzanie stref kontaktu	Długotrwała i intensywna eksploatacja silnika; zbyt wysokie temperatury pracy

Wszystkie części z wyjątkiem elektrozaworu umyto w myjkach ultradźwiękowych, a następnie osuszono i przedmuchano sprężonym powietrzem. Ich oględziny i weryfikację prowadzono metodą wzrokową (organoleptyczną), jak również przy dużym powiększeniu mikroskopu laboratoryjnego. Zestawienie najczęściej spotykanych usterek wewnętrznych,

możliwych do wykrycia w tym etapie, przedstawiono w tabeli 3. Ewentualna korekta dawek powinna nastąpić w ostatniej fazie, przed montażem wtryskiwaczy i przeprowadzeniem testów zasadniczych.

4.3. Etap III

W pierwszej kolejności złożone zostały górne części wtryskiwaczy, przy zachowaniu kolejności odwrotnej jak w procesie demontażu. Moment dokręcania korpusu zaworu nie powinien przekraczać 75 Nm. Istotne jest osadzenie półkulki, aby jej płaska powierzchnia znajdowała się poza gniazdem. Należy również pamiętać o zachowaniu pierwotnego położenia cewki elektromagnesu względem króćca wysokiego ciśnienia. Gwinty pod nakrętki elektrozaworu i rozpylacza należy przesmarować olejem wazelinowym, a ich dokręcanie powinno się odbywać momentami o wartościach: 10-15 Nm oraz 45 Nm.

Kontrolę wtryskiwaczy na stołach probierczych przeprowadzono w sposób analogiczny jak w przypadku testu wstępnego. Dzięki temu możliwe było porównanie wyników badań przed i po procesie naprawy. Następnie zamontowano je na silniku, którego pracę oceniano w trakcie jazdy próbnej.

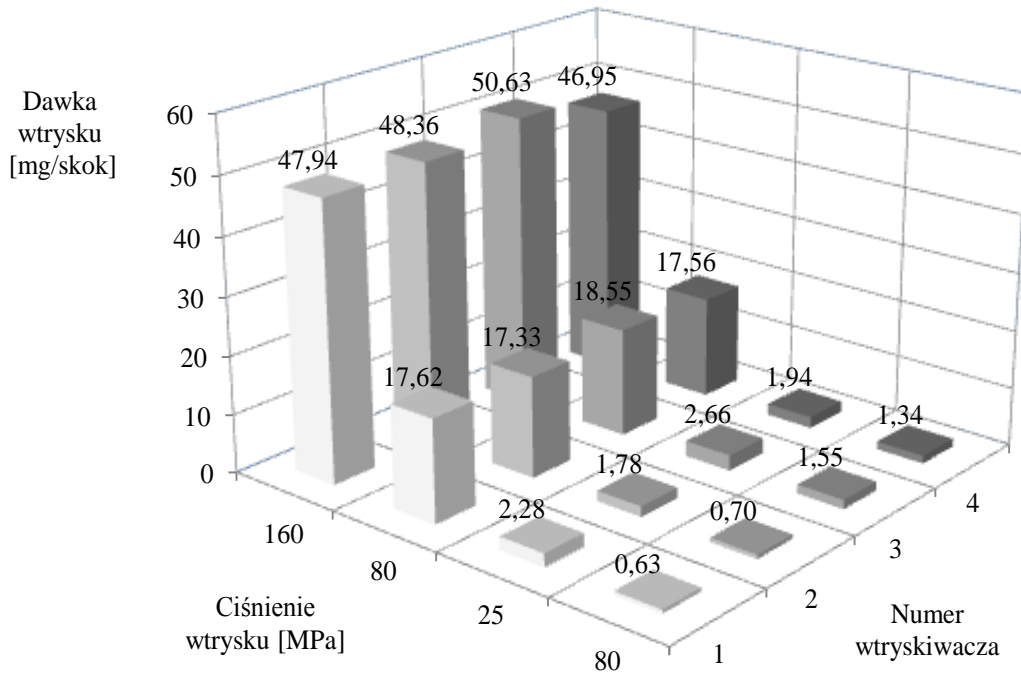
5. Wyniki badań i dyskusja

Ogłędziny wtryskiwaczy nie wykazały żadnych uszkodzeń zewnętrznych i braku elementów składowych. Po fazie przygotowawczej przeprowadzono testy wstępne, których wyniki zestawiono w tabeli 4 oraz na rys. 4 i 5. Pomiarów elektrycznych wykluczyły awarie cewek elektromagnesów, a w badaniu uzupełniającym (poza stołem probierczym) nie stwierdzono ich zwarcia z masą. Rezultaty były zgodne z wytycznymi prezentowanymi przez innych autorów [8, 9]. W próbach szczelności nie stwierdzono wycieków paliwa na końcówkach wtryskiwaczy, a wydatki przelewów były minimalne. Pozytywnie oceniono również ciśnienia otwarcia rozpylaczy. Jakikolwiek uchybienia w tym zakresie spowodowałyby natychmiastowe zakończenie fazy testowej, dyskwalifikując dany wtryskiwacz z dalszych badań.

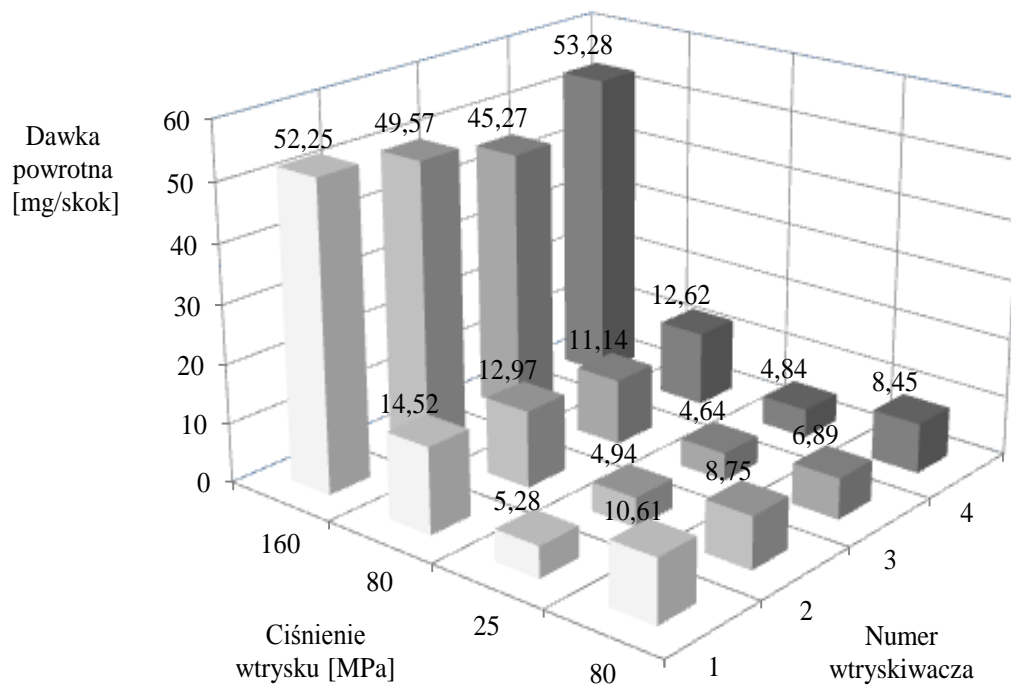
Tab. 4. Wyniki testów wstępnych badanych wtryskiwaczy Denso

Numer wtryskiwacza	Test elektryczny „eRLC”		Test szczelności „LKT” [MPa]	Test ciśnienia otwarcia rozpylacza „NOP” [MPa]
	Rezystancja cewki [Ω]	Indukcyjność cewki [μH]		
1	0,54	181	81,80	16,00
2	0,72	184	82,70	18,50
3	0,55	179	90,30	15,50
4	0,72	179	86,80	16,00

Analiza wydatków uzyskanych w teście “iVM” wykazała, iż dawki biegu jałowego dla wtryskiwaczy nr 2 i 4 były zbyt niskie, wynosząc odpowiednio: 1,78 mg/skok oraz 1,94 mg/skok. Wyniki wskazały na pogorszenie współpracy pary precyzyjnej igła-rozpylacz, która uwidoczniła się dopiero przy zadaniu niskiego ciśnienia na próbniku. Niesprawność tego rodzaju jest jedną z najczęściej wykrywanych usterek, spotykanych również u innych producentów, przy czym obserwuje się ją we wtryskiwaczach silników o stosunkowo niewielkim przebiegu eksploatacyjnym. W takich przypadkach wymagana jest zmiana naprężenia wstępnego sprężyny dolnej, która przy niewielkim ciśnieniu ogranicza wznios igły, a w efekcie dawkę wtryskiwanego paliwa. Korekcję prowadzi się poprzez zmniejszenie grubości podkładki iglicowej.



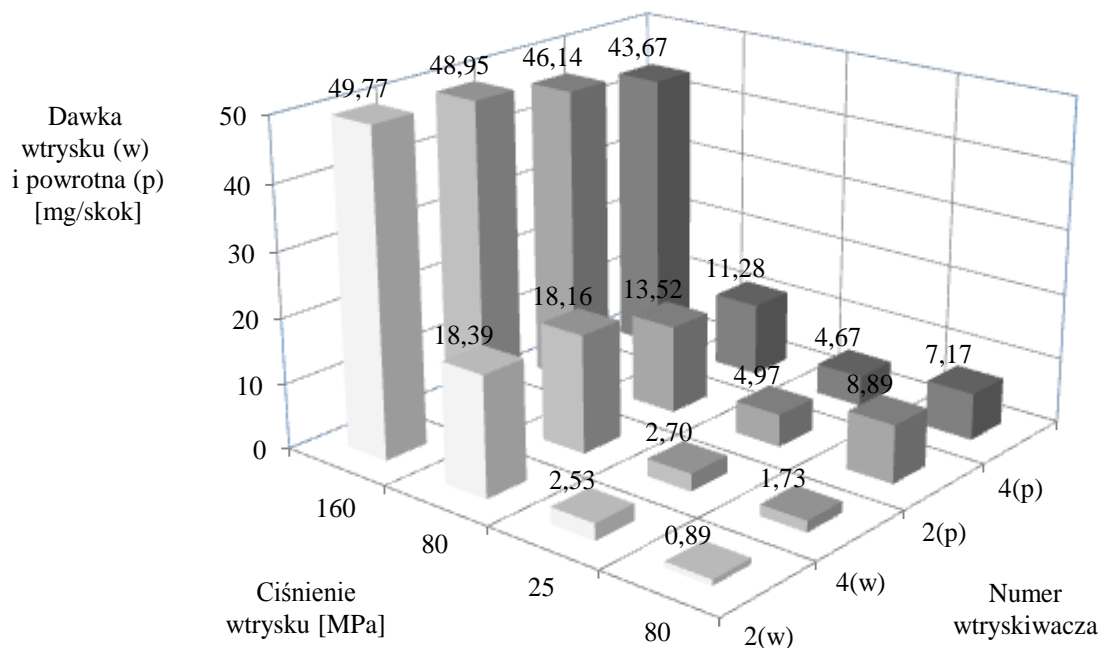
Rys. 4. Wyniki wydatku wtryskiwanego paliwa w zależności od ciśnienia wtrysku uzyskane z testu wstępnego dla badanych wtryskiwaczy



Rys. 5. Wyniki dawki powrotnej paliwa w zależności do ciśnienia wtrysku uzyskane z testu wstępnego dla badanych wtryskiwaczy

Proces demontażu przeprowadzono dla wszystkich badanych konstrukcji, głównie w celu umycia i dokładnej weryfikacji elementów składowych. Można go jednak uprościć w

sytuacji, gdy zakładana jest wyłącznie regulacja dawki biegu jałowego, wymagająca odkręcenia i rozłożenia samego rozpylacza. Z uwagi na niemożliwość wymiany podkładki iglicowej, przeprowadzono zeszlifowanie jej powierzchni czołowej na urządzeniu GRS Tools POWER HONE. Przyjęto założenie, analogiczne jak w przypadku naprawy wtryskiwaczy firmy Bosch, iż zmniejszenie grubości o 0,1 mm pozwoli uzyskać wzrost wydatku o ok. 1,5 mg/skok. Brano również pod uwagę wielkość dawek w konstrukcjach ocenionych pozytywnie, celem uzyskania względnie zbliżonych parametrów wtrysku. W związku z powyższym we wtryskiwaczach o nr 2 i 4 zmniejszono grubość podkładek iglicowych z wartości 1,33 mm na 1,27 mm. Przed montażem dokonano oględzin wszystkich części, ze szczególnym uwzględnieniem pary precyzyjnej i elementów wykonawczych w badaniu mikroskopowym. Nie wykryto jakichkolwiek uszkodzeń wewnętrznych.

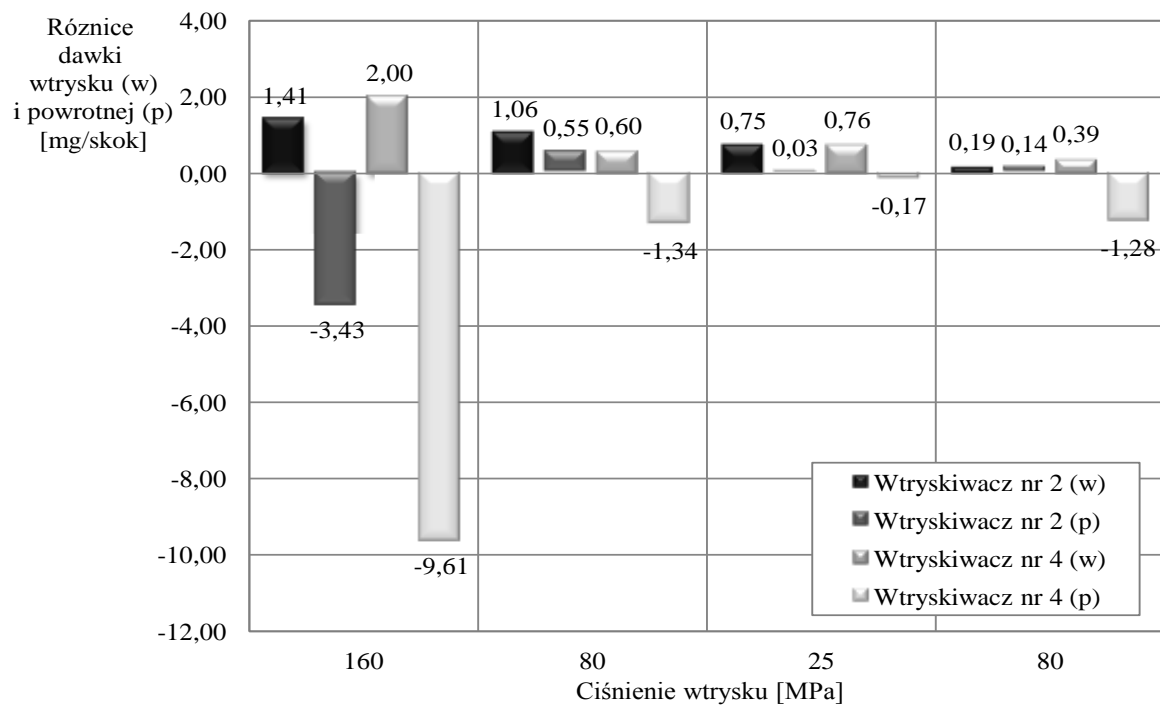


Rys. 6. Wyniki dawki wtrysku i powrotnej paliwa w zależności od ciśnienia wtrysku uzyskane dla badanych wtryskiwaczy po naprawie

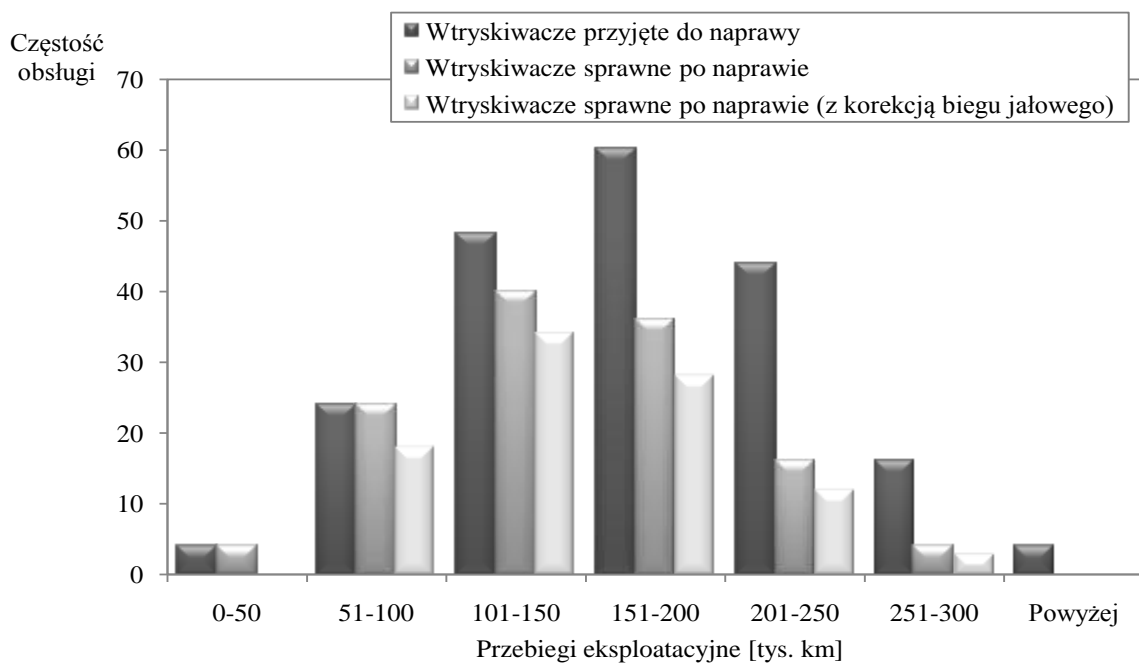
Wyniki testów zasadniczych wskazują, iż regulacja naprawianych wtryskiwaczy przyniosła korzystne rezultaty (rys. 6 i 7). Uzyskano wzrost dawek na biegu jałowym o wartość przewidzianą: 0,75 i 0,76 mg/skok. Oznacza to poprawę współpracy par precyzyjnych, gdyż igły w obu konstrukcjach przestały być blokowane przy zadawaniu niskiego ciśnienia. W efekcie do danych cylindrów jednostki napędowej trafiać będzie więcej paliwa, a prędkość obrotowa nie będzie zaniżana.

Zaobserwowano pośredni wpływ na pozostałe wydatki, a w szczególności ograniczenie ilości paliwa na większości przelewów. We wtryskiwaczu nr 2 efekt ten wystąpił jedynie przy pełnym obciążeniu, ale dla pozostałych dawek (emisyjnej, biegu jałowego i pilotażowej) wzrost był pomijalnie mały. W tym względzie proces naprawy również należy ocenić pozytywnie, gdyż nadmierna ilość paliwa na powrocie mogłaby objawiać się trudnościami z uruchomieniem silnika, jego samoczynnym zatrzymaniem oraz zauważalnym spadkiem mocy w różnych zakresach obciążenia. W analizowanych konstrukcjach problemy takie nie powinny występować. Świadczą o tym wyniki testów

uzyskane na stołach probierczych i przeprowadzona weryfikacja części, w której wykluczono inne przyczyny, np. uszkodzenia zespołu zaworowego, utratę szczelności wewnętrznej, zaczopowanie otworów rozpylaczy.



Rys. 7. Różnice dawki wtrysku i powrotnej w zależności od ciśnienia wtrysku w naprawianych wtryskiwaczach



Rys. 8. Histogram napraw wtryskiwaczy elektromagnetycznych Denso

Na rysunku 8 przedstawiono histogram napraw wtryskiwaczy elektromagnetycznych Denso w firmie VASCO, które prowadzono w okresie: 10.2012-02.2013r. Dane dotyczące

konstrukcji uznanych za sprawne stanowią rozkłady jednomodalne, charakteryzujące się umiarkowaną prawostronną asymetrycznością. Uzyskane wyniki wskazują na dużą efektywność tego procesu przy przebiegach do 200 tys. km., przy czym w większości przypadków konieczna była korekcja dawki biegu jałowego. Znacznie mniej obserwacji grupuje się w przedziałach znajdujących się na końcu szeregu. Prowadzenie napraw stało się bowiem bezzasadne przy braku części zamiennych, a samo czyszczenie i regulacja przynosiła zaledwie wybiórcze korzyści. W konsekwencji zdecydowano się na ograniczenie przyjęć wtryskiwaczy z silników pojazdów o dużych przebiegach eksploatacyjnych.

6. Wnioski

Wyniki badań własnych wskazują, iż naprawa wtryskiwaczy Common Rail firmy Denso może być prowadzona, ale jej skuteczność zależy od różnych czynników. Zasadniczą kwestię stanowi stan wyjściowy, a dokładniej rodzaj stwierdzonej niesprawności, która z braku części zamiennych może eliminować daną konstrukcję. W szczególności dotyczy to pary precyzyjnej igła-rozpylacz oraz elementów wykonawczych, w tym zespołu zaworu sterującego i tłoka prowadzącego. Z praktyki warsztatowej wynika, iż stosowanie pojawiających się na rynku zamienników nie jest wskazane, gdyż jakościowo zdecydowanie odstają one od elementów oryginalnych, prowadząc do zużycia przyspieszonego (patologicznego). Stosunkowo liczną grupę stanowią również usterki zewnętrzne, powstające często przy demontażu lub montażu wtryskiwaczy, przeprowadzanych bez wymaganego oprzyrządowania oraz przestrzegania procedur obsługowych.

Zaproponowana metodyka postępowania wyszczególnia zakres czynności, na które należy zwrócić uwagę w trakcie procesu naprawy. Przedstawiono również własny adapter, którego wykonanie pozwoliło na demontaż zespołu rozpylacza. Uzyskane rezultaty rozszerzyły zakres obsługi wtryskiwaczy elektromagnetycznych Denso, który sprowadzany był zazwyczaj do fazy mycia zewnętrznego, czyszczenia wewnętrznego oraz testowania na stołach probierczych. Warto jednak podkreślić, iż przez wzgląd na wspomniane ograniczenia korekta poszczególnych dawek możliwa jest dla konstrukcji silników o stosunkowo niewielkim przebiegu, a więc przy braku poważnych uszkodzeń wewnętrznych.

Literatura

1. Asi O. Failure of a diesel engine injector nozzle by cavitation damage. *Engineering Failure Analysis* 2006; 13: 1126-1133.
2. Bosch Robert GmbH. Diesel-Engine Management. Plochingen: Automotive Aftermarket Division; 2004.
3. Bosch Robert GmbH. Zasobnikowe układy wtryskowe Common Rail. Warszawa: WKiŁ; 2009.
4. Cisek J., Mruk A., Szczypiński-Sala W. Wpływ biopaliw (FAME) na właściwości eksploatacyjne rozpylaczy paliwa silnika z zapłonem samoczynnym. *Mechanika. Czasopismo Techniczne - Technical Transactions* 2012; 8: 233-244.
5. Dernotte J., Hespel C., Foucher F., Houille S., Mounad`m-Rousselle C. Influence of physical fuel properties on the injection rate in a Diesel injector. *Fuel* 2012; 96: 153-160
6. Galle J., Verhelst S., Sierens R., Goyos L., Castaneda R., Verhaege M., Vervaeke L., Bastiaen M. Failure of fuel injectors in a medium speed diesel engine operating on bio-oil. *Biomass and Bio-energy* 2012; 40: 27-35.
7. Gładyszek J., Gładyszek M. Ocena stanu wtryskiwaczy common rail. *Auto Moto Service* 2009; 9: 22-24.

8. Günther H. Układy wtryskowe Common Rail w praktyce warsztatowej: budowa, sprawdzanie, diagnostyka. Warszawa: WKiŁ; 2010.
9. Idzior M., Borowczyk T., Karpiuk W., Stobnicki P. Możliwości badania stanu technicznego nowoczesnych wtryskiwaczy silników o zapłonie samoczynnym. Logistyka 2011; 3: 933-942.
10. Knefel T. Ocena techniczna wtryskiwaczy Common Rail na podstawie doświadczalnych badań przelewów. Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability 2012; 1: 42-53.
11. Kuszewski H., Ustrzycki A. Metodyka diagnozowania wtryskiwaczy układu Common Rail z wykorzystaniem stołu probierczego EPS 815. X Słupskie Forum Motoryzacji. Innowacje w motoryzacji a ochrona środowiska. Starostwo Powiatowe w Słupsku; 2007: 243-252.
12. Olszowski S. Badanie przyczyn przybywania oleju w silnikach nowej generacji o zapłonie samoczynnym. Transcomp - XIV international conference. Computer systems aide science, industry and transport 2010; 6: 2581- 2588.
13. Salvador F. J., Romero J. V., Rosello M. D., Martinez-Lopez J. Validation of a code for modeling cavitation phenomena in Diesel injector nozzles. Mathematical and Computer Modelling 2010; 52: 1123-1132.