

Łukasz KONIECZNY¹, Błażej ADAMCZYK², Grzegorz ADAMCZYK³

DIAGNOSTYKA I REGENERACJA WTRYSKIWACZY CR

Streszczenie. W ramach artykułu przedstawiono metodykę diagnostyki, regeneracji oraz regulacji wtryskiwaczy Common Rail na profesjonalnych stołach probierczych. Maszyna EPS 815 firmy Bosch umożliwia sprawdzenie i naprawę wszystkich rodzajów wtryskiwaczy firmy BOSCH, zgodnie z wymogami i standardami stawianymi przez producenta. W artykule przedstawiono przykładową diagnostykę wtryskiwaczy na tych stanowiskach oraz stosowane metody regeneracji i kodowania wtryskiwaczy po regeneracji.

Słowa kluczowe: wtryskiwacze Common Rail, diagnostyka, stoły probiercze

DIAGNOSTICS AND REGENERATION OF COMMON RAIL INJECTORS

Summary. The article presents the methodology of Common Rail injector diagnostic, regeneration and regulation with use of professional test stands. The EPS 815 machine can be used to test and repair all BOSCH injectors fully satisfying the producer requirements and standards. The article describes an example injector diagnosis with use of such test stand and additionally presents appropriate injector regeneration and encoding techniques.

Keywords: Common rail injectors, diagnostics, professional test stands

1. WPROWADZENIE

Wtryskiwacze są elementami wykonawczymi całego układu CR, któreysterowane są przez sygnał (napięcie) podawany z sterownika silnika (modułu sterującego). W układzie tym wtryskiwacz pełni rolę regulacyjną początku wtrysku i dawki wtrysku (w odróżnieniu od starszych wersji zasilania silników Diesla, gdzie elementem regulującym była pompa wtryskowa). Układ zasilania Common Rail do prawidłowej pracy całego układu wymaga informacji (sygnałów) z takich czujników, jak czujnik: prędkości obrotowej, fazy rozrządu oraz pedału przyspieszenia.

¹Faculty of Transport, The Silesian University of Technology, Gliwice, Poland, e-mail: lukasz.konieczny@polsl.pl

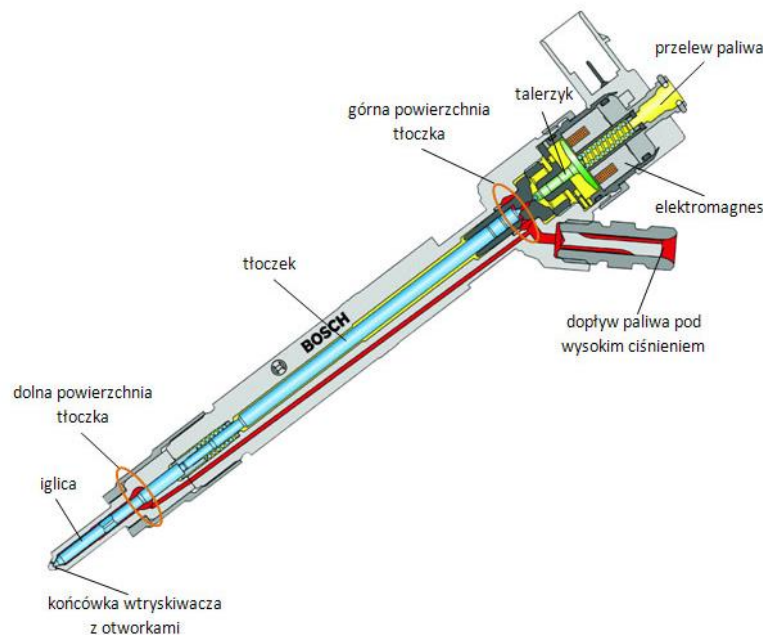
² Faculty of Automatic Control, Electronics and Computer ScienceThe Silesian University of Technology, Gliwice, Poland, e-mail: blazej.adamczyk@polsl.pl

³ DIESEL CENTER ADAMCZYK e-mail: adamczyk@bosch-service.pl

Głównymi częściami składowymi wtryskiwacza są trzy elementy (rys. 1):

- rozpylacz,
- hydrauliczny układ wspomagający,
- zawór elektromagnetyczny (cewka elektromagnetyczna).

W układach zasilania silników ZS ze wspólną szyną zasilającą (szyny Common Rail) wtryskiwacz zasilany jest bezpośrednio z zasobnika przez przewód wysokiego ciśnienia. Ciśnienie w zasobniku wytwarzane jest przez pompę wysokiego ciśnienia, regulowane przez zawór regulujący wysokie ciśnienie paliwa w całym układzie (są dwie lokalizacje regulatorów wysokiego ciśnienia w układach na: szynie CR oraz pompie wysokiego ciśnienia CR), a dodatkowo kontrola wartości wysokiego ciśnienia prowadzona jest przez odczyt z czujnika ciśnienia, za którego pomocą sterownik silnika ma możliwość jego ciągłego monitoringu.



Rys. 1. Wtryskiwacz elektromagnetyczny BOSCH [10]

Fig. 1. BOSCH electromagnetic injector

We wtryskiwaczu paliwo przez kanał kierowane jest do rozpylacza – końcówki wtrysku. Paliwo przepływa przez dławik znajdujący się pod zaworem sterującym wtryskiwacza. Komora zaworu jest wypełniona paliwem pod wysokim ciśnieniem, lecz ze względu na fakt, że siła naciskająca na tłok zaworu sterującego wtryskiwacza jest mniejsza od siły docisku iglicy końcówki wtrysku, nie może nastąpić wtrysk paliwa do komory spalania silnika. Dopiero podanie napięcia na cewkę generuje siłę elektromagnetyczną powoduje ściśnięcie sprężyny górnej tłoczka i otwarcie wtryskiwacza. Elektromagnes unosi talerzyk i kulka na jego końcu odsłania kanał łączący przestrzeń niskiego i wysokiego ciśnienia. Wysokie ciśnienie na dolnej przestrzeni tłoczka unosi tłoczek wraz z iglicą. Podniesiona iglica otwiera otworki na końcu wtryskiwacza, a paliwo pod wysokim ciśnieniem jest wtryskiwane do cylindra. Paliwo, które wydostało się z górnej przestrzeni tłoka do przestrzeni niskiego ciśnienia przez przewody przelewowe trafia do zbiornika paliwa [1-10].

Na chwilę obecną na rynku motoryzacyjnym wyróżnić można czterech producentów układów zasilania paliwem silników wysokoprężnych typu CR:

-Bosch

- elektromagnetyczne (jest technologia naprawy)
- piezoelektryczne (nie ma technologii naprawy)

-Delphi

- elektromagnetyczne (jest technologia naprawy)
- piezoelektryczne (nie ma technologii naprawy)

-Denso

- elektromagnetyczne (jest technologia naprawy, ale tylko dla niektórych numerów referencyjnych)
- piezoelektryczne (nie ma technologii naprawy)

-Siemens (Continental/VDO)

- tylko piezoelektryczne (jest technologia naprawy, ale tylko dla niektórych numerów referencyjnych).

Firma Bosch jako pierwsza wprowadziła technologię naprawy wraz ze specjalistycznymi stanowiskami probierczymi, służącymi do sprawdzenia i regulacji wtryskiwaczy CR (elektromagnetyczne) oraz sprzedaż części i podzespołów składowych. Na chwilę obecną technologia naprawy wtryskiwaczy CR elektromagnetycznych firmy Bosch przewiduje pełną, 3-stopniową naprawę swoich wtryskiwaczy. W dalszej kolejności technologię naprawy wprowadziły następujące firmy: Delphi (pełna naprawa wtryskiwaczy elektromagnetycznych), Siemens - piezoelektryczne (niepełna - tylko jeden stopień - wymiana końcówki i regulacja), Denso (tylko niektóre numery wtryskiwaczy elektromagnetycznych podlegają naprawie, naprawa niepełna - tylko jeden stopień - wymiana końcówki i regulacja).

Budowa wtryskiwaczy elektromagnetycznych firm Bosch, Denso umożliwia regulację poszczególnych dawek za pomocą doboru odpowiedniej grubości podkładek regulacyjnych. Liczba podkładek regulacyjnych we wtryskiwaczu to od trzech do pięciu. Dzięki zastosowaniu rozwiązania umożliwiającego regulowanie dawek, możemy korygować w pewnym stopniu dawki względem wymaganych wartości wtryskiwacza wzorcowego. Jesteśmy również częściowo w stanie skorygować różnice powstałe w fazie produkcji elementów składowych wtryskiwaczy, np. rozpylacz. Dopiero dokładna korekcja dawek wykonywana jest za pomocą kodu IMA. We wtryskiwaczach elektromagnetycznych Delphi nie ma możliwości regulacji dawek (wtryskiwacz nie ma żadnych podkładek regulacyjnych), cała korekcja dawek odbywa się jedynie za pomocą nadanego kodu C2i lub C3i.

Obecnie wszystkie wtryskiwacze Common Rail są wyposażone w indywidualny kod (np. C2i - szesnastocyfrowy, heksadecymalny kod Individual Injector Characterisation, lub w nowszych układach C3i – dwudziestocyfrowy kod Improved Individual Injector Characterisation code C3i). Kod ten odnosi się do cech charakterystycznych dla każdego wtryskiwacza tzn:

- wartości przepływu,
- czasu reakcji,
- wydajności przy różnych ciśnieniach.

Cechy wtryskiwacza są kodowane na etapie produkcji i dołączane do wtryskiwacza, lub podczas autoryzowanej naprawy na stołach probierczych. Podczas ich montowania w samochodzie kody te programuje się (wprowadza) w układzie sterowania pracą silnika (ECU). Umożliwia to precyzyjne zarządzanie dawką paliwa do każdego z cylindrów oraz uzyskiwanie optymalnej wydajności pracy silnika, a także kalibrację układu sterowania (ECU) za pomocą układu wtryskowego.

Ze względu na liczbę podzespołów wtryskiwaczy, które mają wpływ na jego parametry, takich jak: rozpylacz, zawór hydrauliczny, cewka elektromagnetyczna, niemożliwe jest osiągnięcie idealnej powtarzalności w fazie produkcji. Różnice pomiędzy nimi mogą spowodować różnicę w ilości dostarczanego przez nie paliwa, co w konsekwencji powoduje obniżenie wydajności pracy silnika i może wiązać się ze zmniejszeniem jego mocy oraz zwiększeniem emitowanego hałasu oraz dymienia.

Ponieważ ilość paliwa wtryskiwanego przez wtryskiwacz jest proporcjonalna do czasu wtryskiwania (impulsu) oraz ciśnienia szyny, więc istnieje możliwość wyrównania różnic produkcyjnych przez zarządzanie czasem impulsu dla danego, konkretnego wtryskiwacza.

Kody charakterystyki firmy Delphi są generowane przez pomiar wskaźnika przepływu każdego wtryskiwacza przy czterech różnych wartościach ciśnienia (400, 800, 1200 i 1600 barów). Następnie, pomiary te są porównywane ze wzorcową charakterystyką pracy wtryskiwacza, w celu oszacowania wartości regulacji czasu impulsu, która pozwala osiągnąć odpowiednią dawkę paliwa. Regulacja ta jest kodowana za pomocą 16- lub 20-cyfrowego kodu C2i lub C3i.

W przypadku wtryskiwaczy Bosch, wtryskiwacze CR pierwszej generacji CRI 1 (1997-2000) wykonywano jako zwykle (nieklasyfikowane) elektrowtryskiwacze przystosowane do pracy przy ciśnieniach do 1350 bar. Wtryskiwacze CR pierwszej generacji CRI 1 klasyfikowane były (1999-2000) najczęściej jednopozycyjnie. Użyto rozwiązania polegającego na korygowaniu dokładności wtrysku za pomocą indywidualnego doboru jego czasu wtrysku. Zastosowano podział wtryskiwaczy na klasy. Klasyfikacja oznacza, że po pomiarze dawkowania na stanowisku testowym wtryskiwacze najczęściej dzieli się na trzy (1,2,3 lub A,B,C lub X,Y,Z), a czasem cztery klasy, zależnie od uzyskanych odchyłek w stosunku do wtryskiwacza, mającego wzorcową charakterystykę. Na podstawie tych klas do sterownika silnika wprowadzało się odpowiednie parametry korekcyjne czasu wysterowania wtryskiwaczy tak, aby wyrównać dawki wtryskiwanego paliwa w poszczególnych cylindrach.

Wtryskiwacze CR drugiej generacji CRI 2 klasyfikowane dwu- lub trypozycyjne (wtryskiwacz klasyfikowany jest w 2 lub 3 ważnych punktach, np. wolne obroty ok. 300 bar, dawka częściowych obciążeń ok. 800 bar oraz pełne obciążenie powyżej 1000 bar).

Niezależnie od rozwiązania, konieczne jest wprowadzenie zmian w układzie sterowania w celu zaadoptowania nowych parametrów korekcyjnych wymienionych wtryskiwaczy.

Nieprawidłowe wykonane naprawy wtryskiwaczy bez prawidłowego testu, którego warunkiem jest wyznaczenie klas, może doprowadzić do uszkodzenia silnika, katalizatora oraz układu oczyszczania spalin.

Seria CRS2 nadaje się do silników wysokoprężnych z maksymalnie ośmioma cylindrami i szerokim zakresie mocy i momentem obrotowym. Systemy modułowe mogą być dostosowane do różnych typów silnika. W przypadku rozwiązań preferowanych przez firmę BOSCH w powszechnym zastosowaniu jest seria CRS2-16, pracująca przy ciśnieniu 1600 bar. Na podstawie tego systemu opracowano systemy CRS2-18 z 1800 bar i CRS2-20 z 2000 bar. Systemy z podwyższonym ciśnieniem i modyfikacjami technicznymi pozwalają na większą swobodę przy projektowaniu silników i spełnienie wymogów zawartych w normach emisji spalin.

Tabela 1

Parametry wtryskiwaczy elektromagnetycznych

	CRS2-16	CRS2-18	CRS2-20
Engine cylinders	2 - 6	3 - 6	3 - 8
Max. system pressure	1600 bar	1800 bar	2000 bar
Max. number of injections	8	8	8
Min. injection separation time	800 μ s	350 μ s	200 μ s
Operating voltage	12/24 V	12 V	12 V
Emission target corresponding to	Euro 4/5/6	Euro 5/6	Euro5/6
Service life (PC/LD)	300,000/400,000 km		
Application	PC, LD		

Obok systemów opartych na wtryskiwaczach elektromagnetycznych stosowane są również rozwiązania z wtryskiwaczami piezoelektrycznymi CRI3-18 i-20. Wtryskiwacze piezoelektryczne umożliwiają precyzyjne i szybkie dawkowanie wtrysku (dawka pilotażowa, zdecydowanie krótszy czas zwłoki pomiędzy momentem podania sygnału a otwarciem końcówki itp.). Wynika to z faktu braku sił bezwładności, które są obecne i znamienne we wtryskiwaczach elektromagnetycznych, a wiążą się z elementami układu elektromagnetycznego. Wtryskiwacze piezoelektryczne są niewielkie i wymagają mniej przestrzeni montażowej niż wtryskiwacze elektromagnetyczne.

Tabela 2

Parametry wtryskiwaczy piezoelektrycznych

Engine cylinders	4 - 12
Max. system pressure	1800/2000 bar
Max. number of injections	8
Min. injection separation time	200 μ s
Operating voltage	12 V/24 V
Emission target	Euro 5, Euro 6, T2B5, US10, JPNT
Service life PC/LD	300,000/400,000 km
Applications	PC, LD

2. REGENERACJA WTRYSKIWACZY

Regeneracja nie jest kłopotliwa w przypadku wtryskiwaczy elektromagnetycznych firm Bosch oraz Delphi. Wszystkie niesprawne elementy podlegają wymianie na nowe (poza cewką wtryskiwaczy Delphi, która jest niedostępna). Producent przewiduje możliwość rozebrania wtryskiwaczy na drobne elementy, oczyszczenie ich, wymianę niezbędnych części, regulację i ponowne skalibrowanie oraz nadanie nowego, indywidualnego kodu.

Typowe symptomy uszkodzenia wtryskiwaczy Common Rail w silniku Diesla:

- świecąca się kontrolka błędu silnika lub świec żarowych,
- kłopoty z uruchomieniem silnika,

- spadek mocy lub gaśnięcie silnika pod obciążeniem,
- dymienie z rury wydechowej (na czarno lub biało),
- nierówna praca silnika na biegu jałowym,
- podwyższanie się poziomu oleju (w niektórych modelach),
- wycieki paliwa z okolic wtryskiwaczy,
- wydmuchanie podkładki pod wtryskiwaczem (kompresja wychodząca spod wtryskiwacza),
- zauważalnie podwyższone zużycie paliwa,
- głośniejsza praca wtryskiwaczy, w szczególności pod obciążeniem.

Typowa usługa sprawdzenia wtryskiwacza polega na:

- myciu wstępnym (myjki wysokociśnieniowe oraz ultradźwiękowe),
- test na maszynie EPS 815 lub CRi-PC.

Jeżeli wtryskiwacz nie zalicza testu to należy:

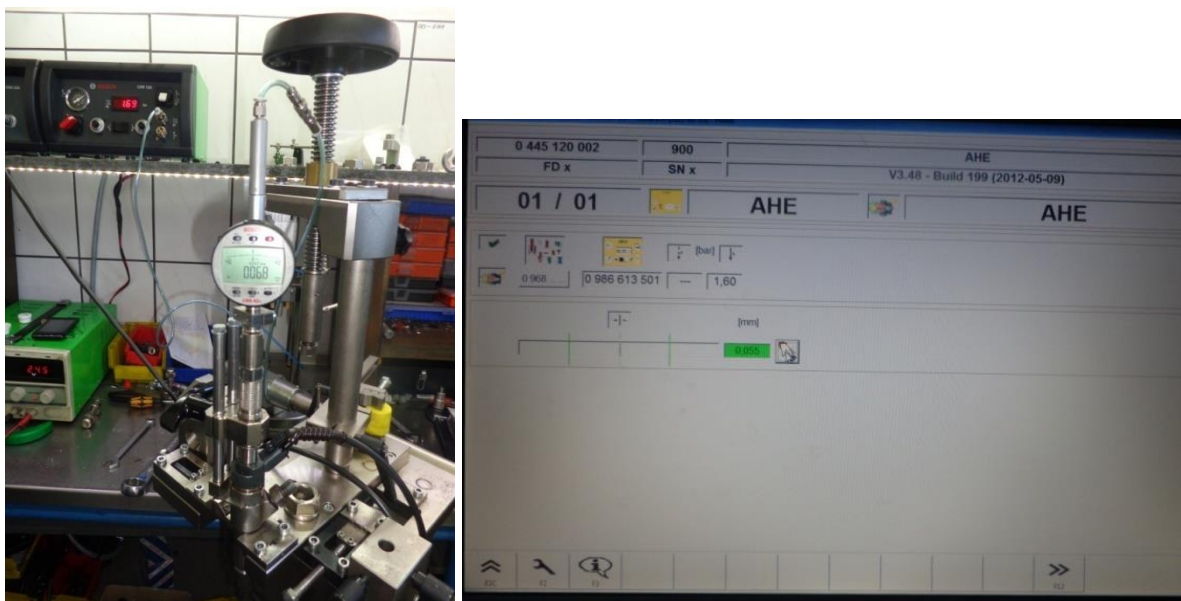
- go rozebrać i zweryfikować podzespoły (mikroskop) - jeżeli nie zalicza testu,
- wycenić i zatelefonować do klienta.

Po pozytywnie zaliczonym teście bądź po naprawie, przekazywany jest wraz z wtryskiwaczami wydruk kalibracyjny z indywidualnie wygenerowanymi nowymi kodami, które następnie trakcie montażu w samochodzie należy wprowadzić do sterownika silnika przy użyciu odpowiedniego testera diagnostycznego w zależności od producenta pojazdu.

Na naprawę składa się:

- sprawdzenie i wycena wtryskiwacza,
- wymiana uszkodzonych elementów na nowe, oryginalne Bosch,
- złożenie wtryskiwacza,
- regulacja wszystkich trzech stopni,
- kalibracja na maszynie wraz z nadaniem nowego kodu.

W celu dokonania prawidłowego doboru wszystkich podkładek regulacyjnych (zazwyczaj we wtryskiwaczu mamy 5 podkładek) przeprowadza się kilka pomiarów stałych elementów wtryskiwacza, następnie dzięki obliczeniom ustala się odpowiednie wartości dla każdej z podkładek (podkładki są stopniowane do kilku setnych mm, jedynie podkładka regulująca skok kulki jest stopniowana z większą dokładnością, tj. co kilka tysięcznych mm).



Rys. 2. BOSCH urządzenie do pomiaru skoku kulki zaworu wtryskiwacza oraz widok okna programu
Fig. 2. BOSCH device used to measure injector valve jump and the corresponding computer display view

Najistotniejszą i mającą największy wpływ na prawidłową pracę oraz odpowiednie dawki paliwa wartością regulacyjną jest grubość podkładki ustalającej skok kulki zaworu. W tym miejscu warto również wspomnieć o bardzo istotnej, z praktycznego punktu widzenia, rzeczy, a mianowicie zmiana grubości którejkolwiek z podkładek regulacyjnych wtryskiwacza ma z reguły największy wpływ na jeden rodzaj dawki, natomiast w mniejszym stopniu, ale również zmienia wartości pozostałych. Jest to nie bez znaczenia, jeżeli chodzi o regulację jednej, konkretnej dawki, należy pamiętać o kontrolowaniu pozostałych, przy każdej zmianie.

Regeneracja wtryskiwaczy BOSCH polega na rozebraniu wtryskiwacza i czyszczeniu poszczególnych elementów składowych w myjce ultradźwiękowej oraz weryfikacji stanu wybranych elementów na mikroskopach. Na podstawie pomiarów na stanowisku do pomiaru skoku ustalana jest wartość grubości podkładki (podkładki są stopniowane co kilka lub kilkanaście tysięcznych mm – rys. 3) po złożeniu wtryskiwacza z wykorzystaniem nowych części naprawczych.



Rys. 3. Komplet wymiarowy podkładek regulacyjnych
Fig. 3. The injector regulation pad packages

Po dopasowaniu odpowiedniej wartości podkładek regulacyjnych w połączeniu z dynamometrycznym kluczem pobierany jest moment i kąt obrotu klucza – rys. 4 (na podstawie wprowadzonego numeru wtryskiwacza z bazy danych).



Rys. 4. Klucz dynamometryczny
Fig. 4. The torque wrench

Po zakończeniu naprawy wtryskiwacza konieczna jest szczegółowa kontrola wszystkich parametrów i dawek wtryskiwanego paliwa na stole probierczym Bosch – rys. 5. Po regeneracji i sprawdzeniu wtryskiwaczy automatycznie generowany jest protokół ze stołu probierczego, co świadczy o tym, że osiągnięte zostały parametry fabrycznie nowego wtryskiwacza. Wtryskiwacz zostaje zakodowany i otrzymuje wygenerowany kod IMA.



Rys. 5. Stół probierczy BOSCH EPS 815
Fig. 5. The BOSCH EPS 815 test stand

3. PODSUMOWANIE

Wtryskiwacze stosowane w nowoczesnych rozwiązaniach zasilania silników z zapłonem samoczynnym Common Rail są kosztownymi elementami układu. Zakup nowych wtryskiwaczy może się wiązać ze sporymi kosztami. Regeneracja oparta na oryginalnych częściach zamiennych oraz wykonana zgodnie z technologią producenta niejednokrotnie umożliwia znaczne zredukowanie kosztów takiej naprawy, nawet do poziomu 40% wartości nowego wtryskiwacza. Prawidłowo wykonana regeneracja wtryskiwaczy elektromagnetycznych wymaga zastosowania specjalistycznego oraz bardzo drogiego osprzętu, jak na przykład stół probierczy, ale daje gwarancję prawidłowego funkcjonowania regenerowanych wtryskiwaczy. Warto w tym miejscu dodać również o szalenie poważnych konsekwencjach źle przeprowadzonej naprawy wtryskiwaczy bądź zastosowaniu wtryskiwacza używanego, nieznanego pochodzenia. Prawidłowe wprowadzenie paliwa, dobrze rozpylonego, pod odpowiednim kątem (odpowiednia liczba otworków wtryskowych rozpylaczy, pod odpowiednim kątem, o określonej średnicy każdy) w odpowiedniej ilości i odpowiednim czasie gwarantuje poprawne działanie całego silnika i uniknięcie poważnych konsekwencji, takich jak:

- uszkodzenie turbosprężarki np. nadpalenie łopatek,
- wypalenie zaworów głowicy,
- wypalenie gniazd zaworowych,
- przegrzanie silnika,
- wypalenie tłoków cylindrów,
- zatykanie katalizatorów i filtrów cząstek stałych.

Warto również dodać, że na polskim rynku motoryzacyjnym obserwuje się złe dobieranie wtryskiwaczy do silnika samochodu przez niekompetentnych fachowców. Pojawiają się samochody z zamontowanymi wtryskiwaczami o innych numerach (inny rozpylacz, inne dawki paliwa), co, podobnie jak w przypadku źle działającego wtryskiwacza, ma znamienny wpływ na pracę i żywotność całego silnika i wielu jego, zazwyczaj kosztownych, podzespołów.

Bibliografia

1. Czech P. 2013. „Wykorzystanie probabilistycznych sieci neuronowych i sygnałów drganiowych do diagnozowania uszkodzeń wtryskiwaczy silnika ZS”. [In Polish: “Application of probabilistic neural network and vibration signals for diesel car engine fuel injectors damage”]. *Zeszyty Naukowe Pol.Śl., seria Transport* 81: 25-30.
2. Górnicka D., M. Zawisza, Z. Stanik. 2010. „Sygnał wibroakustyczny jako symptom usterek mechanicznych silnika ZS uzupełniający system OBD”. [In Polish: „Vibroacoustic signal as a symptom of mechanical failures diesel engine supplementing the OBD system”]. *XV Konferencja Naukowa Wibroakustyki i Wibrotechniki i X Ogólnopolskie Seminarium Wibroakustyka w Systemach Technicznych*: 109-110. Sękocin Stary, 29-30 listopada 2010.
3. Gładyszek J., M. Gładyszek. 2009. „Ocena stanu wtryskiwaczy common rail”. [In Polish: „Assessment of common rail injectors”]. *Auto Moto Service* 9. Kraków.
4. Günther H. 2006. *Diagnozowanie silników wysokoprężnych*. [In Polish: *Diagnosis of diesel engines*]. Warszawa: WKiŁ.
5. Idzior M., T. Borowczyk, W. Karpiuk, P. Stobnicki. 2011. „Możliwości badania stanu technicznego nowoczesnych wtryskiwaczy silników o zapłonie samoczynnym”. [In Polish: „Możliwości badania stanu technicznego nowoczesnych wtryskiwaczy silników o zapłonie samoczynnym”]. *Logistyka* 3.
6. Ignaciuk P., L. Gil. 2014. “Damages to injectors in diesel engines”. *Advances in Science and Technology Research Journal* 8(21): 58-61.
7. Konieczny Ł., R. Burdzik, P. Fabiś, P. Czech. 2012. „Statistical analysis of maximum power of chosen engines”. *J. Pol. CIMAC* 7(1): 33-38.
8. Osipowicz T., T. Stoeck. 2013. „Regeneracja współczesnych wtryskiwaczy paliwowych silników o zapłonie samoczynnym”. [In Polish: „Regeneration of modern fuel injection compression ignition engines”]. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe* 14(10): 210-212.
9. Stoeck T., T. Osipowicz, K.F. Abramek. 2014. „Methodology for the repair of Denso common rail solenoid injectors”. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 16(2): 270-27.
10. http://www.magazyn-motoryzacyjny.pl/common_rail.html

Artykuł opracowany w ramach projektu „Transfer wiedzy i praktyki” współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

