

Marek IDZIOR¹
Tomasz BOROWCZYK²
Wojciech KARPIUK³
Paweł STOBNIKI⁴

MOŻLIWOŚCI BADANIA STANU TECHNICZNEGO NOWOCZESNYCH WTRYSKIWACZY SILNIKÓW O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM

Streszczenie: W artykule przedstawiono ogólną charakterystykę układów wtryskowych CR aktualnie stosowanych w silnikach o zapłonie samoczynnym oraz informacje dotyczące diagnostyki wtryskiwaczy w tych układach. Opisano podstawowe metody umożliwiające pełną ocenę faktycznego stanu eksploatowanych wtryskiwaczy.

THE FEASIBILITY RESEARCH OF A TECHNICAL CONDITION OF MODERN INJECTORS FOR COMPRESSION IGNITION ENGINES

Abstract: The article presents the general characteristics of the CR injection systems are currently used in compression ignition engines as well as information on the diagnosis of injectors in these systems. Describes the basic methodology to enable a full assessment of the actual state operated injectors.

1. WSTĘP

Układ zasilania typu common rail stosowany jest w silnikach spalinowych z zapłonem samoczynnym od ponad 13 lat (pierwszy silnik: Fiat JTD 1997 r.). Układ ten pozwolił przede wszystkim na rozdzielenie procesu wtrysku od procesu tłoczenia paliwa, niezależność ciśnienia wtrysku od prędkości obrotowej silnika, podział wtryskiwanej dawki paliwa na części i wiele innych. Układ jest bardzo precyzyjną aparaturą, której pracą nadzoruje elektroniczny układ sterujący. Schemat układu przedstawiono na (rys. 1).

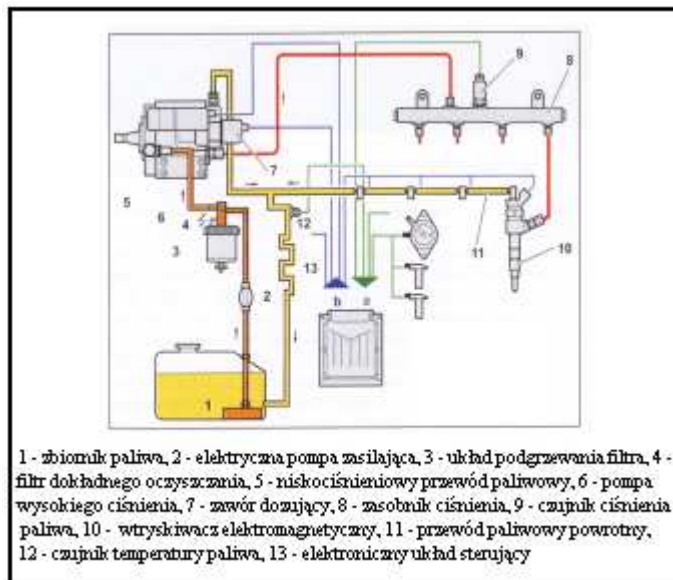
Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu; 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3.

¹ Tel: + 48 61-665-23-57, E-mail: marek.idzior@put.poznan.pl

² Tel: + 48 61-647-58-62, E-mail: tomasz.borowczyk@doctorate.put.poznan.pl

³ Tel: + 48 61-665-27-05, E-mail: wojciech.karpiuk@doctorate.put.poznan.pl

⁴ Tel: + 48 61-665-20-49, E-mail: pawel.stobnicki@doctorate.put.poznan.pl



Rys. 1. Schemat układu wtryskowego typu CR [3]

Od czasu jego zastosowania powstały cztery generacje tego systemu. W pierwszych latach stosowania układu common rail pojawiające się usterki dotyczyły najczęściej wtryskiwaczy, pomp wysokiego ciśnienia i zaworów sterujących. W warsztatach dokonywano wymiany całych elementów na nowe (z powodu tworzenia dopiero bazy usterek), co wiązało się z dużymi kosztami. Obecnie stosuje się procedury diagnozy i oceny stanu technicznego poszczególnych elementów układu. Rozszerzyła się także możliwość wykonywanych napraw.

Istnieje kilka przyczyn pojawiania się usterek w układzie wtryskowym. Mogą one być wynikiem normalnego zużycia ściernego par precyzyjnych tłoczka i cylinderka pompy wysokiego ciśnienia oraz pary precyzyjnej iglicy rozpylacza z korpusem. Niektóre elementy układu mogą ulec zużyciu na skutek procesów erozji i kawitacji (otwarki rozpylacza, elementy sterowania wewnętrznego wtryskiwacza i pompy wysokiego ciśnienia, elementy zaworów elektromagnetycznych). Usterki spowodowane procesami zużycia normalnego uwiadcniają się jednak najczęściej po dłuższym okresie eksploatacji z znaczą intensywnością. Często zdarza się, że podczas eksploatacji silnika dochodzi do patologicznego zużycia elementów układu wtryskowego. Zużywanie patologiczne może mieć miejsce szczególnie w obszarze wspomnianych par precyzyjnych układu, na skutek niedostatecznego smarowania i przegrzania stref kontaktu. Z racji tego, że w większości układów common rail czynnikiem smarującym jest paliwo (olej napędowy), jego stopień czystości ma ogromny wpływ na trwałość jego podzespołów. Kilkunastoletnia praktyka (zwłaszcza warsztatowa, a także laboratoryjna) potwierdza, że najczęstszą przyczyną niesprawności tego typu układów wtryskowych jest niewłaściwa jakość paliwa [4]. Szczególnie niebezpieczne są stałe, twarde zanieczyszczenia paliwa (niebezpieczne dla układu wtryskowego są także te o wymiarach $< 3\mu$), a także

zanieczyszczenia pochodzenia chemicznego - związki siarki (przyczyniające się do korozji elementów metalowych). Ważne znaczenie mają także właściwości fizyczne oleju napędowego (szczególnie lepkość i gęstość). Jako ciekawostkę można podać, że w roku 2007 został opracowany szczegółowy raport Urzędu Ochrony Konkurencji i Konsumentów dotyczący jakości paliw sprzedawanych na stacjach benzynowych w Polsce i w innych krajach europejskich [2].

W układach typu common rail zdarzają się także usterki i awarie zespołów elektrycznych oraz elektronicznych. Mogą one dotyczyć niesprawności elektronicznego układu sterowania, a także cewek zaworów elektromagnetycznych czy siłowników piezoelektrycznych. Praktyka warsztatowa potwierdza, że najczęstszą przyczyną niesprawności systemu wtryskowego common rail są wtryskiwacze.

2. OCENA STANU WTRYSKIWACZY

Stan zużycia wtryskiwaczy można określić na podstawie podstawowych metod oceny uszkodzeń, uwzględniając:

- weryfikację sygnałów sterujących pracą wtryskiwacza (na podstawie których możliwe jest stwierdzenie m.in. wielkości dawek korekcyjnych),
- badania przepływowe - pomiar ilości paliwa trafiającego na przelew wtryskiwacza,
- organoleptyczne lub przy pomocy mikroskopu optycznego stwierdzenie stanu elementów wtryskiwacza (m.in. stanu par precyzyjnych, a także korozji elementów metalowych wtryskiwacza i ubytków materiału),
- testowanie parametrów wtryskiwaczy na specjalnych testerach (test można wykonać zarówno przed jak i po ewentualnej naprawie wtryskiwacza) pozwalających zbadać wielkość m.in. szczelność, dawkowanie, strumień paliwa trafiającego na przelew.

2.1. Ocena sygnałów sterujących pracą wtryskiwacza

Podstawowe badania elektryczne wtryskiwaczy elektromagnetycznych opierają na pomiarze:

- rezystancji i indukcyjności cewki elektromagnesu,
- sygnałów prądowych i napięciowych cewki,
- sygnału napięcia czujnika wysokiego ciśnienia w zasobniku.

Pomiar rezystancji i indukcyjności cewki dokonuje się za pomocą multimetru (rys. 2). W większości wtryskiwaczy rezystancja cewki wynosi 0,3 Ω (względem masy powinna być nieskończenie duża). Indukcyjność cewek zależy od rodzaju wtryskiwacza, w praktyce wynosić może kilkaset μ H.

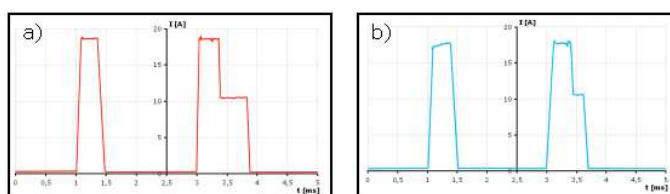
Zarówno oporność cewki jak i jej indukcyjność podawane są przez danego producenta wtryskiwaczy. Jeżeli zmierzone wartości oporu i indukcyjności odbiegają znacznie od wartości nominalnej, cewkę wtryskiwacza należy uznać za uszkodzoną.

Najszybszym i najbardziej miarodajnym pomiarem jest sprawdzenie prądu wtryskiwacza za pomocą szczypiec prądowych i oscyloskopu. Prąd ten mierzy się przez przewód pośredni, bezpośrednio na wtryskiwaczu lub na sterowniku [1].

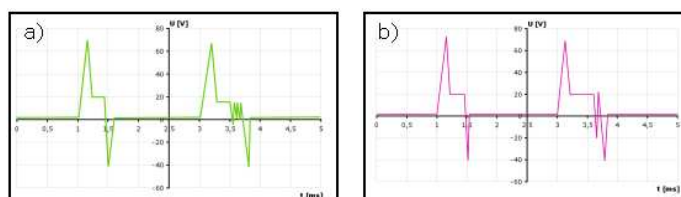


Rys. 2. Pomiar indukcyjności (a) i rezystancji (b) cewki wtryskiwacza elektromagnetycznego [3]

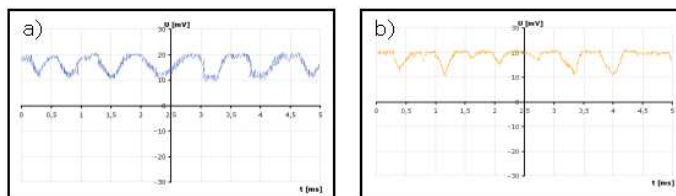
Pomiaru dokonuje się na pracującym silniku, a przebieg prądu sterującego zaworem elektromagnetycznym widoczny jest na ekranie oscyloskopu (rys. 3). W układach CR pierwszej generacji, w większości obszarów pracy silnika dawka wtryskiwanego paliwa dzielona była na dwie części: dawkę pilotażową (wstępną) oraz dawkę zasadniczą. Czas sterowania podczas wtrysku dawki wstępnej wynosi 0,4 ms i jest zawsze stały, a podczas wtrysku dawki zasadniczej jest zależny od obciążenia silnika. W pierwszej fazie wtrysku przez cewkę płynie duży prąd przyciągania (ok. 20 A), który powoduje szybkie otwarcie zaworu elektromagnetycznego. W drugiej fazie wtrysku prąd płynący przez cewkę zostaje ograniczony (do ok. 12 A), dzięki temu ułatwione jest zamknięcie zaworu elektromagnetycznego [1]. O wadliwości wtryskiwacza świadczyć może odmienny charakter przebiegu prądu sterowania od przebiegu wzorcowego. Trafność diagnozy potwierdza dodatkowa analiza przebiegów napięciowych cewki wtryskiwacza (rys. 4).



Rys. 3. Przebieg prądu sterowania wtryskiwacza CR przy pełnym obciążeniu (a), oraz na biegu jałowym (b)



Rys. 4. Przebieg napięcia wtryskiwacza CR przy pełnym obciążeniu (a), oraz na biegu jałowym (b)



Rys. 5. Sygnał napięcia z czujnika ciśnienia paliwa w zasobniku działającego prawidłowo (a) i wadliwie (b)

Pomocne w ocenie wstępnej wtryskiwacza może być odczytanie przebiegu sygnału napięciowego z czujnika ciśnienia w zasobniku paliwa [1], także przy pomocy oscyloskopu (rys. 5). W prawidłowo działającym układzie CR ciśnienie w zasobniku paliwa powinno utrzymywać się na względnie stałym poziomie (w danym punkcie pracy silnika), przebieg napięcia czujnika oscyluje względem stałej wartości. O uszkodzeniu jednego z wtryskiwaczy świadczyć może zmienność tego ciśnienia, co objawia się wahaniami napięcia widocznymi na ekranie oscyloskopu.

2.2. Badania przepływowe wtryskiwacza

Prostą, mało inwazyjną oraz wystarczająco miarodajną metodą jest ocena ilości paliwa trafiającego na przelew wtryskiwacza (rys. 6). Badanie przeprowadza się na pracującym silniku (na biegu luzem, przy różnych prędkościach obrotowych), bez konieczności demontażu wtryskiwaczy. Pomiar polega na zamontowaniu zestawu menzurek, połączonych przewodami z króćcami przelewowymi wtryskiwaczy. Różnice do 30% w wielkości przelewów uznawane są za normalne. Szczególnie duże różnice obserwowane są na biegu jałowym. Przy znamionowej prędkości obrotowej wielkość przelewu nie powinna przekraczać ok. $200 \text{ cm}^3/\text{min}$ dla wtryskiwacza (wartość maksymalna jest zależna od generacji i producenta). Jeżeli któryś z wtryskiwaczy wykazuje wyraźnie większy strumień paliwa trafiającego na przelew ($>30\%$, $>200 \text{ cm}^3/\text{min}$) wnioskować można o jego uszkodzeniu.

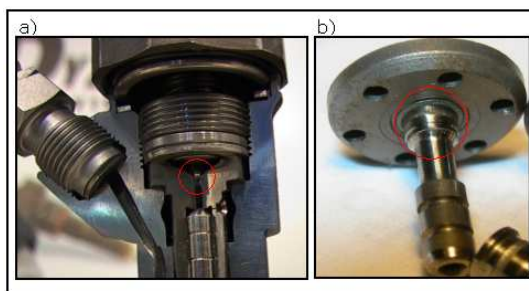


Rys. 6. Układ pomiarowy wielkości przelewów paliwa wtryskiwaczy układu CR [3]

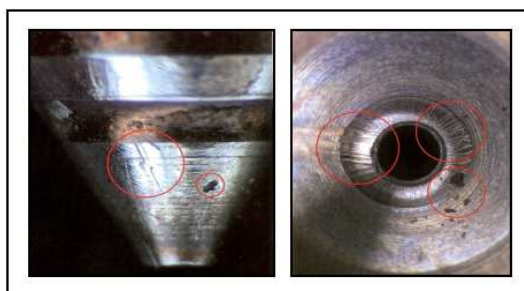
2.3. Ocena stanu wtryskiwacza metodą organoleptyczną

Kolejnym etapem diagnozy układu CR (po zdemontowaniu wtryskiwaczy) jest ocena pod kątem usterek widocznych „gołym okiem” tzw. metoda organoleptyczna. Ocenie wzrokowej podlega m.in.:

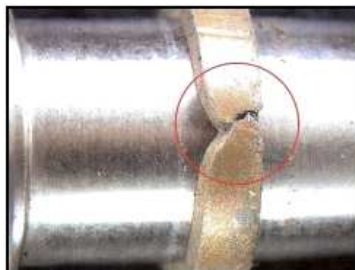
- skorodowanie elementów wtryskiwacza (iglica, rozpylacz) – spowodowane złą jakością paliwa, najczęściej jego zaszarczeniem,
- pęknięcie korpusu wtryskiwacza – spowodowane niewłaściwym montażem lub demontażem (zbyt silne dokręcenie jarzma mocującego, brak zastosowania substancji smarnej podczas montażu),
- deformacja króćca zasilającego – zbyt duży moment dokręcenia nakrętki przewodu wtryskowego,
- zużycie elementów wykonawczych wtryskiwacza tj. np. w wtryskiwaczach BOSCH (rys. 7a) odkształcenie (względnie ubytek) strefy kontaktu kulka – gniazdo, w DELPHI (rys. 7b) zużycie powierzchni prowadzącej zaworu sterującego,
- uszkodzenie (zarysowanie) powierzchni par precyzyjnych (gniazdo - iglica) rozpylacza, spowodowane najczęściej obecnością twardych zanieczyszczeń stałych pochodzących m.in. z zużytej pompy wysokiego ciśnienia (rys. 8),
- pęknięcie uszczelnienia wysokociśnieniowego wtryskiwacza (rys. 9).



Rys. 7. Zużycie elementów wykonawczych wtryskiwacza marki BOSCH (a) i DELPHI (b) [3]



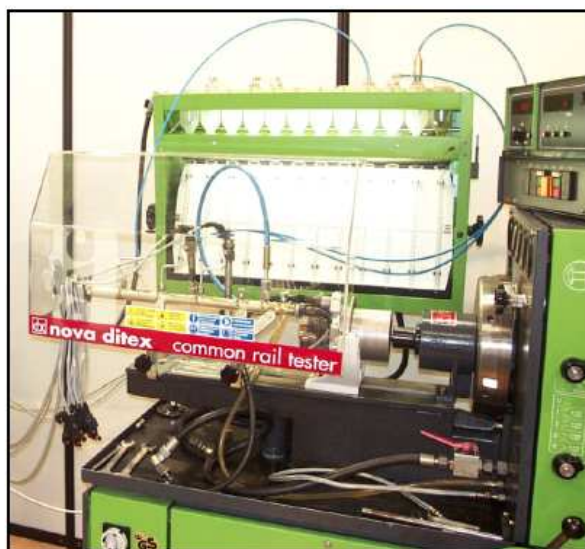
Rys. 8. Zarysowanie powierzchni par precyzyjnych rozpylacza [5]



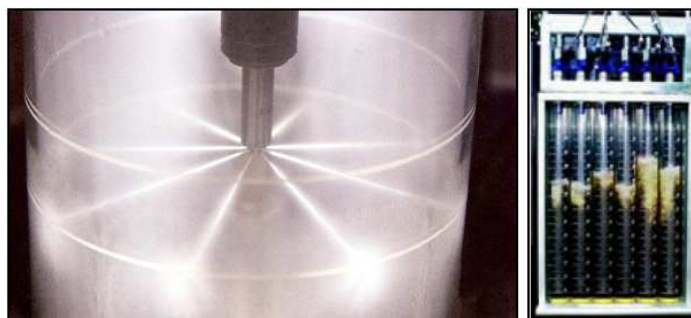
Rys. 9. Pęknięcie uszczelnienia wysokociśnieniowego wtryskiwacza [5]

2.4. Testowanie parametrów wtryskiwaczy

Końcowym etapem diagnozy wtryskiwaczy jest ich sprawdzanie na urządzeniach testujących. Testowanie polega na zbadaniu wtryskiwacza w cyklu pomiarowym i wyznaczeniu parametrów, a następnie porównaniu ich z bazą danych producenta. Istnieje wiele firm zajmujących się produkcją urządzeń testujących wtryskiwacze (m.in. z firm zagranicznych BOSCH, NOVA-DITEX, z firm polskich Autoelektronika Kędzia). Przykład urządzenia testującego przedstawiono na (rys. 10). W skład stanowiska badawczego wchodzi: silnik elektryczny połączony z pompą wysokiego ciśnienia (zamontowaną na stałe) oraz układ służący do badania wtryskiwaczy (wielkości wtryskiwanej dawki paliwa i strumienia paliwa trafiającego na przelew). Ponadto układ daje możliwość obserwacji kształtu strugi rozpylanego paliwa przy pomocy szklanych menzurzek (rys. 11) oraz zmianę parametrów wtrysku (m.in. ciśnienie paliwa w zasobniku, wielkość dawek). Najczęściej pierwszym etapem testowania jest pomiar szczelności gniazda rozpylacza. Polega on na obserwacji końcówki rozpylacza poddanego wysokiemu ciśnieniu, ale bez impulsów wyzwalających wtrysk. Równocześnie obserwowana jest wielkość wewnętrznych przelewów wtryskiwacza. Wszelkie nieszczelności i zbyt duże przelewy dyskwalifikują dany wtryskiwacz. Drugi etap testowania odbywa się najczęściej w cyklu automatycznym. Pomiary przeprowadzane są przy różnych ciśnieniach, czasach wysterowania i częstotliwości impulsów przy jednoczesnym zachowaniu stałej temperatury płynu testującego. Badane są dawki pilotażowe, dawki biegu jałowego, częściowego i pełnego obciążenia oraz wielkości przelewów. Uzyskane wyniki porównywane są z bazą danych urządzenia testującego, bądź ze zgromadzoną praktyczną wiedzą warsztatową. Jeśli po przeprowadzeniu testu uzyskamy negatywny wynik, świadczy to o uszkodzeniu wtryskiwacza [6].



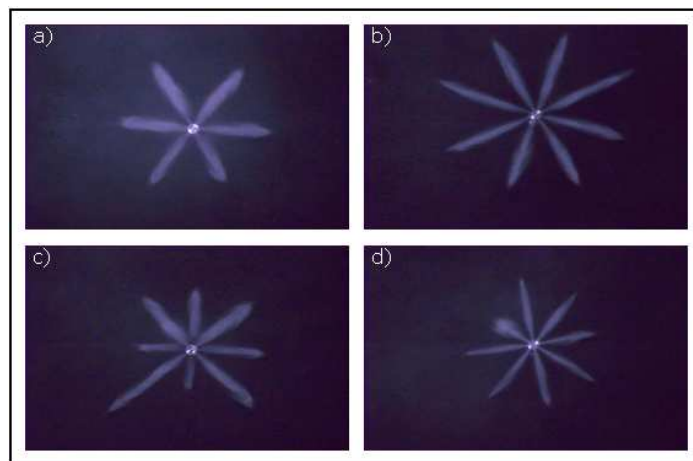
Rys. 10. Przykład urządzenia testującego wtryskiwacze firmy NOVA-DITEX [7]



Rys. 11. Obserwacja kształtu strugi rozpylanego paliwa w menzurkach testujących [6]

2.5. Badania optyczne procesu rozpylenia paliwa

Obserwacja wtryskiwanej strugi paliwa na stanowisku do badań optycznych jest kolejną z metodą przydatną w diagnozowaniu stanu wtryskiwaczy. Wykonuje się ją przez wykorzystanie specjalnego toru pomiarowego, którego główną część stanowi kamera do szybkich zdjęć. Tego typu kamera wchodzi w skład m.in. aparatury laboratoryjnej wykorzystywanej w optycznych badaniach przebiegu wtrysku i spalania w cylindrze (w laboratorium Silników Spalinowych na Politechnice Poznańskiej wykorzystuje się Engine Video System 513D firmy AVL). Rejestracja zdjęć odbywa się techniką stroboskopową. Oznacza to wykonywanie kolejnych zdjęć po wielu następujących po sobie cyklach wtrysku. Zarejestrowane ujęcia (bądź ich cała seria) obserwowane są na ekranie monitora. Przykładowe, pojedyncze zdjęcia wykonane w tej technice przedstawiono na (rys. 12).



Rys. 12. Przykładowe zdjęcia procesu rozpylania paliwa: a), b) poprawny kształt strugi, c), d) niewłaściwe rozpylenie

Otrzymane obrazy wtryskiwanej strugi mogą posłużyć do diagnozowania stanu używanego wtryskiwacza (szczególnie rozpylacza), bądź zweryfikowania poprawności wykonanej naprawy. O właściwie działającym wtryskiwaczu świadczy równomierne rozpylenie paliwa wypływającego z poszczególnych otworków rozpylacza, zbliżony zasięg oraz powierzchnia strugi (rys. 12a,b). Jeśli rozpylana struga paliwa nie jest równomierna, ma np. inny zasięg lub powierzchnię któregoś z otworków (rys. 12c,d) może to świadczyć m.in. o uszkodzeniach: w obrębie jednego z otworków rozpylacza lub w obrębie końcówki iglicy, w skojarzeniu pary precyzyjnej korpus – iglica.

3. WNIOSKI

Układ common rail łączy w sobie cechy układu mechanicznego, hydraulicznego, elektrycznego i elektronicznego. Elementy tego układu podlegają więc procesom zużycia normalnego oraz patologicznego. Statystyki wskazują, że najczęstszą przyczyną niesprawności układu CR są wtryskiwacze. Aktualnie została opracowana procedura weryfikacji uszkodzeń wtryskiwaczy (szczególnie elektromagnetycznych). Najszybszą metodą diagnozowania aktualnego stanu wtryskiwaczy jest pomiar jego podstawowych sygnałów sterujących, jak również pomiar wielkości strumienia paliwa trafiającego na przelew wtryskiwacza. Oba pomiary można wykonać bez konieczności demontażu wtryskiwaczy z silnika pojazdu. Większą jednak ilość informacji o ich stanie uzyskujemy demontując je z układu zasilania. Daje to możliwość organoleptycznej oceny zużycia elementów wtryskiwaczy. Dzięki temu w łatwy i prosty sposób można wskazać źródło usterki badanych układów wykonawczych. Najbardziej miarodajnym sposobem oceny stanu zużycia wtryskiwaczy jest testowanie ich parametrów przy pomocy specjalnych urządzeń testujących. Dzięki przeprowadzonym testom jednoznacznie można określić stan wtryskiwacza. Wykonane testy można uzupełnić także o wizualizację procesu wtrysku przy

użyciu stanowiska do silnikowych badań optycznych. Przedstawione metody umożliwiają ocenę stanu technicznego opisywanych wtryskiwaczy, o niezwykle skomplikowanej i wysoko zaawansowanej konstrukcji, w sposób stosunkowo szybki oraz uzyskując wiarygodne i wystarczające informacje.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Günther H.: Diagnostowanie silników wysokoprężnych, WKiŁ Warszawa 2006.
- [2] Janków A.: Garstecki Ł., Jakość paliw, Ekspertyza Urzędu Ochrony Konkurencji i Konsumentów, Warszawa 2007 .
- [3] Kędzia R.: Materiały szkoleniowe, Autoelektronika Kędzia, Poznań 2009.
- [4] Borowczyk T.: Analiza procesów zużywania i uszkodzeń aparatury wtryskowej współczesnych silników spalinowych o zapłonie samoczynnym, Praca magisterska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej, Poznań 2009.
- [5] Gładyszek J, Gładyszek M.: Ocena stanu wtryskiwaczy common rail, artykuł miesięcznika: Auto Moto Service, Kraków 9/2009.
- [6] Gładyszek J, Gładyszek M.: Naprawa wtryskiwaczy common rail, artykuł miesięcznika: Auto Moto Service, Kraków 10/2009.
- [7] www.ditex.it