

LONGWIC Rafał, SANDER Przemysław, LOTKO Wincenty,  
GIELNIEWSKI Robert, GARDYŃSKI Leszek

## **PROBLEMY EKSPLOATACYJNEGO ZUŻYCIA WTRYSKIWACZY STOSOWANYCH W ZASOBNIKOWYCH UKŁADACH WTRYSKU OLEJU NAPĘDOWEGO**

### *Streszczenie*

*W pracy dokonano analizy przyczyn niezdatności par precyzyjnych zasobnikowego układu wtrysku oleju napędowego. Wykonano badania eksploatacyjnego zużycia wtryskiwaczy pojazdu dostawczego wiodącej marki. Oceniono wybrane parametry trybologiczne materiału, z którego wykonano wtryskiwacz oraz parametry fizykochemiczne oleju napędowego, którym zasilano silnik. Dokonano uogólnień w zakresie przyczyn powstawania stanu niezdatności, zwłaszcza w przypadku niewielkich przebiegów pojazdu.*

### **WSTĘP**

Układy wtryskowe współczesnych silników o zapłonie samoczynnym muszą umożliwić spełnienie norm toksyczności spalin oraz zapewnić odpowiednie osiągi silnika. Silnik o zapłonie samoczynnym, szczególnie przy wyższych prędkościach obrotowych, wymaga dla prawidłowego przebiegu procesu spalania odpowiedniego przygotowania mieszaniny palnej [2]. Jest to możliwe jedynie wówczas gdy zastosuje się wysokie wartości ciśnienia wtrysku oraz zoptymalizuje proces sterowania otwarciem wtryskiwacza. W przypadku szybkoobrotowych silników z wtryskiem bezpośrednim uzyskanie odpowiednich parametrów mieszaniny palnej stało się niemożliwe przy ciśnieniach wtrysku poniżej 100 MPa. Z uwagi na powyższe, od kilkunastu lat rozwija się konstrukcję zasobnikowych układów wtrysku oleju napędowego tzw. systemów Common Rail (CR). Do chwili obecnej opracowano cztery odmiany konstrukcyjne systemów Common Rail różniące się konstrukcją wtryskiwacza i uzyskiwanymi maksymalnymi ciśnieniami wtrysku. W układach IV generacji ciśnienia wtrysku przewyższają 200 MPa a piezoelektryczny wtryskiwacz umożliwia nawet pięciokrotne dawkowanie paliwa w czasie trwania cyklu pracy silnika [3].

Obserwacje w zakresie eksploatacji zasobnikowych układów wtrysku oleju napędowego wskazują, że dość często uzyskują one stan niezdatności. Powstanie stanu niezdatności wiąże się zazwyczaj z nieodpowiednimi własnościami stosowanego paliwa a zwłaszcza jego zanieczyszczeniami stałymi, bądź obecnością domieszek paliw roślinnych [1]. Dopuszczalną wartość zanieczyszczeń stałych w paliwie określa się zgodnie z normą PN-EN 590/2006 na poniżej 24 mg/kg paliwa. Należy zauważyć, że podana wartość obowiązywał również w czasach powszechnej eksploatacji konwencjonalnych układów wtryskowych i nie uległa zmianie. W przedstawionej pracy podjęto zatem próbę ustalenia czy ilość zanieczyszczeń w paliwie mieszcząca się w zakresie normatywnym może wpłynąć na uszkodzenie par

precyzyjnych układu Common Rail. Badania dotyczyły układu wtryskowego pojazdu Fiat Ducato 2,3 JTD MultiJet, którego przebieg do momentu wystąpienia uszkodzenia wynosił poniżej 25 000 km. W oparciu o przeprowadzone badania w podsumowaniu pracy dokonano uogólnienia w zakresie problemów eksploatacyjnych układów wtryskowych Common Rail.

## **1. WARUNKI PRACY WTRYSKWACZY STOSOWANYCH W ZASOBNIKOWYCH UKŁADACH WTRYSKU ON**

W systemach CR pierwszej i drugiej generacji wtryskiwacze sterowane są elektromagnetycznie. Iglicę zaworu uruchamia w nich jedno lub dwuczęściowa zwora elektromagnesu zasilanego impulsami elektrycznymi, formowanymi przez elektroniczny sterownik. W trzeciej i czwartej generacji urządzeń wtryskowych CR stosuje się wtryskiwacze piezoelektryczne, wykorzystujące zjawisko odkształcania się kryształów określonych materiałów pod wpływem przyłożonego do nich napięcia elektrycznego.

Poszczególne generacje systemu Common Rail charakteryzuje również uzyskiwane maksymalne ciśnienie paliwa [5]:

- CR I generacji - do 135 MPa,
- CR II generacji - do 160 MPa,
- CR III generacji - do 180 MPa,
- CR IV generacji - ponad 200 MPa.

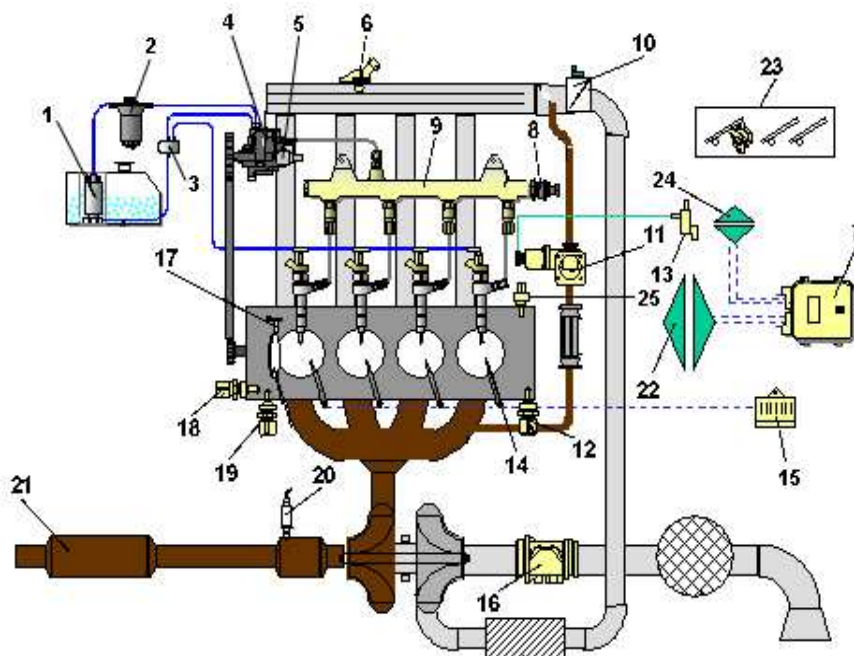
W artykule omówiono zasadę działania i warunki pracy systemu Common Rail z wtryskiwaczami elektromagnetycznymi produkcji firmy Bosch (CR II generacji), na przykładzie silnika samochodu dostawczego Fiat Ducato o pojemności 2,287 dm<sup>3</sup> i mocy 109 kW (150 KM).

W omawianym układzie paliwowym ciśnienie paliwa utrzymujące się w zasobniku wynosi ok. 160 MPa i jest stałe i niezależnie od obciążenia silnika i jego prędkości obrotowej. Paliwo z listwy zasilającej podawane jest do wtryskiwaczy skąd jest wtryskiwane bezpośrednio do komory spalania. Dzięki zastosowaniu wtryskiwaczy sterowanych elektronicznie możliwe jest dowolne kształtowanie czasu wtrysku, jego długości oraz dawki paliwa zależnie od wielu czynników (np. obciążenia silnika). Daje to również możliwość podziału wtrysku paliwa na 3 etapy: etap pierwszy - dawka pilotująca, etap drugi - dawka właściwa i etap trzeci - dopalanie paliwa. Taka realizacja procesu wtrysku umożliwia poprawę przebiegu procesu spalania paliwa, zmniejszenie zużycia paliwa oraz spełnienie norm toksyczności w zakresie dyrektywy EURO5 [4].

Obwód wysokiego ciśnienia układu wtryskowego Common Rail dzieli się na trzy bloki funkcjonalne: wytwarzania ciśnienia, akumulacji ciśnienia i dawkowania paliwa. Wysokie ciśnienie wytwarza pompa. Akumulacja ciśnienia odbywa się w zasobniku paliwa wyposażonym w czujnik ciśnienia paliwa oraz zawór regulacyjny lub zawór redukcyjny ciśnienia. Dawkowanie paliwa odbywa się za pomocą wtryskiwaczy elektromagnetycznych. Wszystkie zespoły obwodu wysokiego ciśnienia są połączone przewodami wysokiego ciśnienia. Na rysunku 1 pokazano elementy omawianego systemu zasilania.

Pompa wysokiego ciśnienia jest napędzana z wału korbowego silnika za pomocą paska zębatego. Realizacja faz i czas trwania wtrysku są w tym systemie wtrysku realizowane elektronicznie. Pompa wysokiego ciśnienia ma jedynie za zadanie utrzymania w sposób ciągły ciśnienia paliwa znajdującego się w kolektorze na poziomie ciśnienia zadanego. Ruch tłoków pompy wysokiego ciśnienia powodowany jest obrotem mimośrodków w kształcie trójkąta połączonych na stałe z wałkiem pompy. Każdy zespół pompujący wyposażony jest w jeden zawór ssący talerzowy i jeden zawór zasilający kulkowy. Wszystkie trzy pompujące elementy zasilające połączone są w sposób stały z pompą i przetłaczają paliwo do wspólnego kolektora poprzez jeden kanał. Szczególną cechą pompy wysokiego ciśnienia Common Rail

jest to, że jest ona równocześnie smarowana i chłodzona tym samym olejem napędowym, który znajduje się w jej wnętrzu poprzez odpowiednie kanały przepływowe. Pompa zasilająca systemu Common Rail określana jest jako Radialjet ponieważ efekt pompowania realizowany jest za pomocą trzech elementów pompujących (tłoków), których osie skierowane są promieniowo w stosunku do osi obrotu wałka pompy. Odległość katowa pomiędzy osiami elementów tłoczących wynosi 120°.



**Rys. 1.** Schemat systemu zasilania pojazdu Fiat Ducato 2,3 JTD MultiJet: 1 - dodatkowa pompa paliwa, 2 - filtr paliwa, 3 - kolektor powrotu paliwa, 4 - pompa wysokiego ciśnienia, 5 - regulator ciśnienia, 6 - czujnik ciśnienia doładowania, 7 - sterownik układu wtrysku, 8 - czujnik ciśnienia paliwa, 9 - szyna wtryskowa, 10 - korpus przepustnicy, 11 - elektrozawór EGR, 12 - czujnik poziomu oleju, 13 - siłownik sterujący EGR, 14 - świece żarowe, 15 - sterownik świec żarowych, 16 - przepływomierz, 17 - czujnik prędkości obrotowej, 18 - czujnik faz rozrządu, 19 - wyłącznik minimalnego ciśnienia oleju, 20 - sonda lambda na katalizatorze wstępnym, 21 - katalizator główny, 22 - wiązka przewodów elektrycznych silnika, 23 - dźwignie sterujące, 24 - wiązka przewodów elektrycznych pojazdu, 25 - czujnik temperatury płynu chłodzącego, 14 - świece żarowe

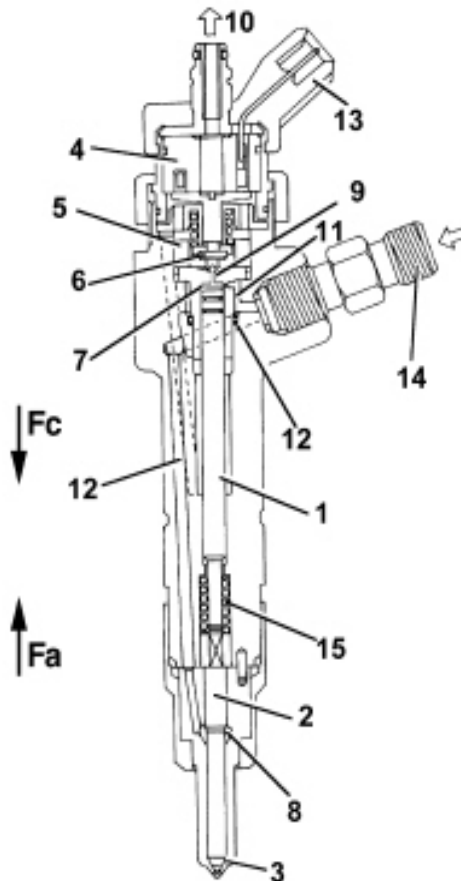
Źródło: mat. szkoleniowe firmy FIAT

W przeciwieństwie do układów z klasyczną pompą wtryskową, w których sterowanie chwilą otwarcia wtryskiwacza odbywało się poprzez odpowiedni przyrost ciśnieniem paliwa, w układach akumulacyjnych początkiem, przebiegiem i zakończeniem wtrysku paliwa, steruje sterownik poprzez podawanie odpowiedniego sygnału sterującego do elektromagnesów wtryskiwaczy elektrohydraulicznych. Paliwo z akumulatora paliwa dopływa pod wysokim ciśnieniem nie tylko do dolnej części rozpylacza, ale także poprzez dyszę dławiaczą do przestrzeni bezpośrednio nad rozpylaczem. Dzięki temu iglica jest dociskana do gniazda nie tylko za pomocą sprężyny, ale także w wyniku działania ciśnienia paliwa na jej powierzchnię przekroju poprzecznego. Przestrzeń nad iglicą połączona jest z odpływem paliwa za pomocą zaworka sterowanego elektromagnesem. Podanie napięcia na cewkę elektromagnesu powoduje spadek ciśnienia w komorze sterującej, dzięki temu siła ciśnienia paliwa pokonuje siłę w sprężynie wtryskiwacza powodując jego otwarcie. Przerwanie zasilania elektrycznego cewki elektromagnesu powoduje zamknięcie wtryskiwacza, a tym samym zakończenie

wtrysku paliwa. Sterowanie elektroniczne parametrami wtrysku paliwa umożliwia optymalny dobór ich wartości dla każdego stanu pracy silnika, co w połączeniu z lepszym rozdrobnieniem paliwa, dzięki wysokim ciśnieniom wtrysku, prowadzi do zmniejszenia jednostkowego zużycia paliwa. W celu obniżenia hałasu generowanego w drugiej fazie procesu spalania, wtrysnięcie głównej dawki paliwa jest poprzedzone jedną lub dwiema małymi dawkami paliwa, tzw. dawkami pilotującymi.

Wtryskiwacz elektromagnetyczny można podzielić na dwie części – rys. 2:

- siłownik/rozpylacz składający się z trzonka (1), trzpień (2) i dyszy (3);
- elektrozawór sterujący składający się z cewki (4) i zaworu sterującego (5).



**Rys. 2.** Schemat wtryskiwacza elektromagnetycznego pojazdu Fiat Ducato 2,3 JTD MultiJet: 1 – trzonek, 2 – trzpień, 3 – dysza, 4 – cewka, 5 – zawór sterujący, 6 – element zamykający, 7 – obszar sterowania, 8 – strefa zasilenia, 9 – strefa kontroli, 10 – złączka wyjściowa paliwa (niskie ciśnienie), 11 – kanał kontrolny, 12 – kanał zasilenia, 13 – złącze elektryczne, 14 – złącze wejściowe paliwa (wysokie ciśnienie), 15 – sprężyna

Źródło: mat. szkoleniowe firmy FIAT

Działanie wtryskiwacza elektromagnetycznego dzieli się na trzy fazy:

- w pierwszej fazie tj. w położeniu spoczynkowym do cewki (4) nie jest doprowadzony sygnał napięciowy, a element zamykający (6) znajduje się w pozycji zamkniętej i uniemożliwia wprowadzenie paliwa do cylindra;  $F_c > F_a$ , gdzie  $F_c$  jest siłą wywieraną przez ciśnienie w strefie sterowania (7) trzonka (1), a  $F_a$  jest siłą wywieraną przez ciśnienie działające w strefie zasilenia (8);
- w drugiej fazie następuje początek wtrysku, w którym do cewki (4) doprowadzony jest impuls napięciowy, powoduje to podniesienie elementu zamykającego (6), paliwo przepływa ze strefy kontrolnej (9) do kolektora powrotnego powodując spadek ciśnienia w strefie kontroli (7), równocześnie ciśnienie, poprzez kanał zasilenia (12) wytwarza w

strefie zasilania (8) siłą  $F_a > F_c$ , powodując podniesienie trzpienia (2), a w konsekwencji wprowadzenie paliwa do cylindrów;

- w końcowej fazie – trzeciej następuje koniec wtrysku, do cewki (4) nie doprowadzany jest sygnał napięciowy co powoduje powrót elementu zamykającego (6) do pozycji zamkniętej, następuje równowaga sił i trzpień wraca do położenia zamkniętego (2) - następuje koniec wtrysku.

Przedstawiony opis zasobnikowego układu wtryskowego II generacji pozwoli w dalszej części pracy na uzasadnienia w zakresie uzyskania stanu niezdatności przez badany wtryskiwacz elektromagnetyczny.

## **2. BADANIA EMPRYCZNE W ZAKRESIE ZUŻYCIA WTRYSKIWACZY – ANALIZA PRZYCZYNOWA**

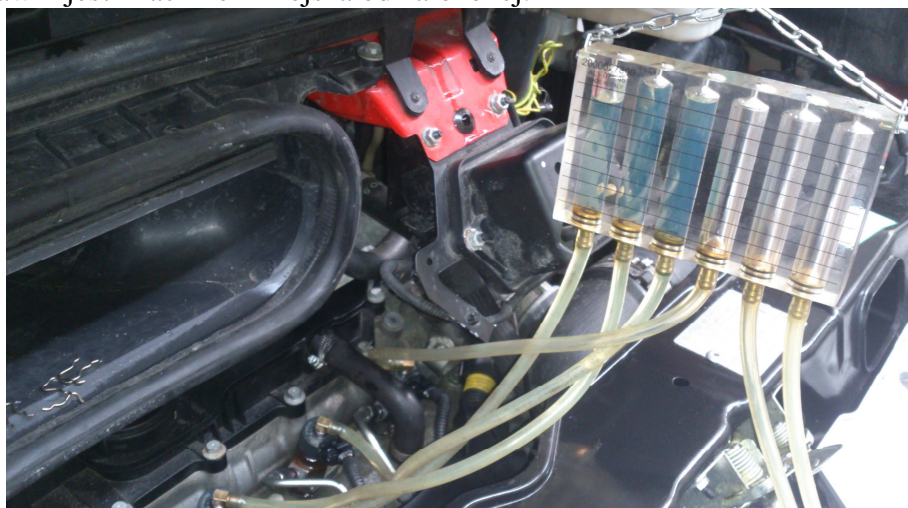
### **2.1. Diagnostyka wstępna, badania w powiększeniu mikroskopu metalograficznego**

Badaniom poddano wtryskiwacz elektromagnetyczny firmy Bosch pochodzące z silnika samochodu Fiat Ducato 2,3 JTD MultiJet. Wtryskiwacz uległ uszkodzeniu przy przebiegu pojazdu 24 238 km (I przegląd techniczny winien odbywać się po 60 000 km).

Silnik pojazdu posiadał objawy niesprawności w postaci:

- trudności z uruchomieniem silnika;
- okresowe włączanie się kontrolki układu EOBD „Check Engine”,
- nierównomierna praca silnika;
- spadek wartości mocy.

Wstępną diagnostykę stanu niesprawności prowadzono poprzez dołączenie do układu przelewowego zestawu menzurek – rys. 3. Wymieniono wtryskiwacz cylindra nr 4 na fabrycznie nowy. Stwierdzono, że ilość paliwa tłoczonego do układu przelewowego z wtryskiwaczy od 1 do 3 jest znacznie większa od ilości paliwa tłoczonego do układu przelewowego z wtryskiwacza nr 4. Fakt ten świadczy o nieszczelności wewnętrznej w obrębie trzech wtryskiwaczy – wtryskiwacze nie dawkują w każdym cyklu pracy silnika lub wielkość dawki jest znacznie mniejsza od założonej.



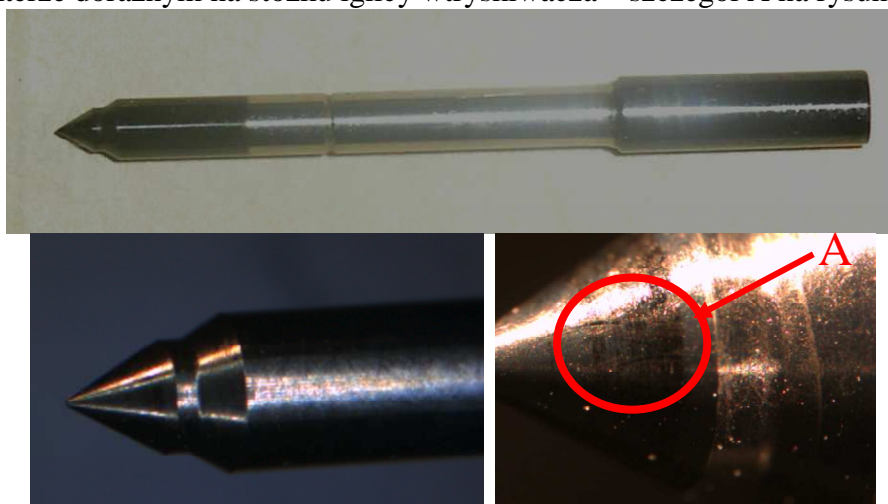
**Rys.3.** Wstępna diagnostyka układu wtryskowego

Uszkodzone wtryskiwacze wymontowano z silnika pojazdu po czym elementy wewnętrzne zostały poddane szczegółowym badaniom pod mikroskopem metalograficznym. Widok ogólny elementów badanego wtryskiwacza BOSCH o numerze seryjnym 445 110 418 (cylinder 1) pokazano na rysunku 4.



**Rys. 4.** Widok ogólny elementów badanego wtryskiwacza

Badania w powiększeniu mikroskopu metalograficznego wykazały występowanie dwóch rys o charakterze doraźnym na stożku iglicy wtryskiwacza – szczegół A na rysunku nr 5.



**Rys. 5.** Uszkodzenia iglicy badanego wtryskiwacza

Powyższe uszkodzenie nie skutkowało jednak występowaniem zjawiska „podciekania” wtryskiwacza oraz nie mogły powodować zwiększonego przepływu paliwa do układu przelewowego. Istotne uszkodzenia dla występowania nadmiernego dawkowania do układu przelewowego stwierdzono na powierzchni grzybka zaworu (elementu zamykającego – patrz

rys. 2) – rys. 6. Na powierzchni grzybka zaworu widoczne są ubytki materiału, wżery i zarysowania. Najistotniejsze są jednak ubytki na krawędzi sterującej – szczegół B, rys. 6. Występują one od strony wlotu paliwa do wtryskiwacza i są przyczyną wspomnianego nadmiernego dawkowania do układu przelewowego.



**Rys. 6.** Uszkodzenia grzybka zaworu (elementu zamykającego) badanego wtryskiwacza

## **2.2. Własności fizykochemiczne stosowanego paliwa**

Z pojazdu, w którym uległ uszkodzeniu układ wtryskowy pobrano próbki paliwa ze zbiornika paliwa (oznaczono jako próbka nr 1), oraz z przewodu paliwowego – za filtrem paliwa (oznaczono jako próbka nr 2). Pobrane próbki paliwa poddano badaniu w ORLEN Laboratorium Sp. z o.o. w Lublinie.

Po przeprowadzonej analizie wyników badań stwierdzono, że w badanej próbce paliwa nr 1 -zawartość zanieczyszczeń stałych jest większa od 30 mg/kg - dopuszczalne wartości max. 24 mg/kg. Świadczy to o depozycji zanieczyszczeń w obrębie zbiornika paliwa. Przy

sprawnie działającym układzie filtracyjnym nie powinno to skutkować uszkodzeniem wtryskiwaczy.

W badanej próbce paliwa nr 2 stwierdzono:

- zawartość wody 60 mg/kg - dopuszczalne wartości max. 200 mg/kg;
- zawartość zanieczyszczeń stałych 13,3 mg/kg - dopuszczalne wartości max. 24 mg/kg;
- zawartość estrów metylowych kwasów tłuszczowych Fame 0,24% - dopuszczalne wartości max 7%;
- gęstość w temp. 15<sup>0</sup>C 831,8 kg/m<sup>3</sup> – dopuszczalne wartości min 820 – max 845 kg/m<sup>3</sup>;
- lepkość w temp. 40<sup>0</sup>C 2,708 mm<sup>2</sup>/s – dopuszczalne wartości min 2,00 – max 4,50 mm<sup>2</sup>/s.

Wyniki powyższych badań pozwalają stwierdzić, że stosowane paliwo spełniało wymagania normy PN-EN 590/2006.

### **2.3. Własności metalograficzne materiałów konstrukcyjnych wtryskiwaczy**

Badaniom materiałowym poddano elektrowtryskiwacz produkcji Bosch nr kat 445 110 418 pochodzący z omawianego silnika pojazdu Fiat Ducato. Dokonano oceny twardości wybranych elementów wtryskiwacza celem stwierdzenia czy zastosowano materiał o własnościach zbliżonych do stali stosowanych w budowie wtryskiwaczy wysokociśnieniowych tj.: stale chromowo-niklowo-aluminiowe (38HMJ), chromowo-niklowo-wolframowe (18H2N4WA), stale niklowe (18Ni350). Uzyskano następujące wyniki pomiarów mikrotwardości (twardościomierz LM 70 AT):

- powierzchnia boczna igły w części nie pokrytej warstwą ceramiczną - 1077-1102HV (obciążenie 100g);
- powierzchnia boczna igły w części pokrytej warstwą ceramiczną - 1458-1653HV (obciążenie 500g);
- powierzchnia boczna tłoczka w części współpracującej z zaworem - 840-894 HV (obciążenie 100g).

Uzyskane wyniki pomiarów twardości wskazują na to, że wtryskiwacz badany wykonano z materiałów właściwych dla tego typu konstrukcji. Z dużym prawdopodobieństwem technicznym należy zatem wykluczyć wadę materiałową w obrębie badanego wtryskiwacza.

## **3. PODSUMOWANIE - SYNTEZA W ZAKRESIE PRZCZYN STANU NIEZDATNOŚCI WTRYSKIWACZY**

Powodem stanu niezdatności układu wtryskowego silnika badanego pojazdu była niezdatność wtryskiwaczy silnika. Charakter uszkodzeń ww. wtryskiwaczy jest doraźny tj. stwierdzono lokalne, nisko powierzchniowe ubytki materiału w obrębie zaworu sterującego (głównie w pobliżu krawędzi sterujących) oraz w okolicy tworzącej stożka iglicy. Wydaje się, że główną przyczyną niezdatności tegoż wtryskiwacza są wspomniane ubytki materiału na powierzchni zaworu sterującego. Objawiało się to brakiem wtrysku – wtryskiwacz pracował na tzw. „przelew”. Jest to typowy objaw uszkodzenia zasobnikowych układów wtrysku oleju napędowego. Znaczne ubytki na powierzchni stożkowej iglicy powodowałyby podciekanie wtryskiwacza a więc twardą pracę silnika (znaczące wartości przyrostów ciśnień spalania) – takich objawów w silniku badanego pojazdu nie było – choć jak wspomniano wykryto rysę na tworzącej stożka iglicy. Brak realizacji procesu wtrysku powodował nierównomierną pracę silnika i skutkowało włączeniem kontrolki „check engine”.

Zasobnikowe układy wtryskowego Common Rail pracują przy ciśnieniach wtrysku 160-200 MPa. Takie wartości ciśnień powodują, że układy te przy pasowaniach par precyzyjnych mierzonych w nanometrach są szczególnie narażone na niszczące działanie zanieczyszczeń zawartych w paliwie. Nie można twierdzić, że przed zanieczyszczeniami tymi całkowicie chroni wtryskiwacz układ filtrów paliwa. Filtr paliwa ma bowiem jedynie pewną określoną



probabilistycznie skuteczność filtracji tak aby nie generował zbyt dużego oporu ciśnienia. Charakter uszkodzeń zaworu przedmiotowego wtryskiwacza wskazuje na to, że powstały one nie w wyniku normalnego zużycia przez tarcie a w wyniku doraźnego zadziałanie skupionej siły o znacznej wartości. Mechanizm powstania wspomnianej siły skupionej jest następujący:

- znaczne wartości ciśnień paliwa powodują olbrzymie prędkości w rdzeniu strumienia paliwa – dochodzą one nawet do 400 m/s;
- drobina zanieczyszczeń zawarta w paliwie osiąga na skutek tychże prędkości olbrzymie wartości pędu;
- zmiana pędu cząstki w czasie (na skutek zderzenia z elementami wtryskiwacza) generuje powstanie siły o olbrzymich wartościach.

Siły ta działając na powierzchni rzutu drobin zanieczyszczeń na płaszczyznę np. zaworu wtryskiwacza generują powstanie naprężeń większych od wytrzymałości granicznej materiału. Skutkiem przedstawionego mechanizmu jest powstanie lokalnego ubytku powierzchni wtryskiwacza. Ubytki materiału powodują utratę szczelności par precyzyjnych a w efekcie stan niezdatności wtryskiwacza.

Przeprowadzone badania paliwa wskazują, że poziom zanieczyszczeń zawartych w paliwie za układem filtrów (próbka nr 2) był prawidłowy. Poziom zanieczyszczeń w zbiorniku paliwa nieznacznie przekraczał normę (próbka nr 1) o 25%. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że mogło to być efektem depozycji zanieczyszczeń z wielu „tankowań” pojazdu, a zatem jest to z punktu widzenia eksploatacji zjawisko normalne. Nie można zatem zarzucić użytkownikowi pojazdu celowego braku dbałości o jakość paliwa. Powstałe uszkodzenia mają charakter losowy i nie są związane z zaniedbaniami eksploatacyjnymi.

Przeanalizowany przykład dotyczy pojazdu o niewielkim przebiegu. Dla przebiegu takiego nie przewidziano nawet pierwszego przeglądu technicznego. Z uwagi na fakt, że opisany przypadek nie jest odosobniony należy rozważyć czy w konstrukcjach zasobnikowych systemów zasilania nie rozważyć stosowania nowych rozwiązań w zakresie filtracji cieczy, np. filtrów membranowych działających na zasadzie zjawiska odwróconej osmozy.

## BIBLIOGRAFIA

1. Huhtala, K., Vilenius, M., *Study of a common rail fuel injection system*. SAE Technical Paper 2001-01-3184.
2. Luft S., *Podstawy budowy silników*. WKiŁ, Warszawa 2011.
3. Matsumoto, S., Klose, C., Schneider, J., Nakane, N. et al., *4<sup>th</sup> Generation Diesel Common Rail System: Realizing Ideal Structure Function for Diesel Engine*. SAE Technical Paper 2013-01-1590
4. Prabhakar, B. and Boehman, A., *Effect of Common Rail Pressure on the Relationship between Efficiency and Particulate Matter Emissions at NOx Parity*. SAE Technical Paper 2012-01-0430.
5. *Zasobnikowe układy wtryskowe Common Rail*. Informator Bosch, WKiŁ, Warszawa 2009.

# WEAR AND TEAR PROBLEMS USED INJECTORS IN COMMON RAIL SYSTEMS

## *Summary*

*In an analysis of the causes of failure of precise pairs the storage Common Rail systems. The test was performed and tear wear injector delivery vehicle of a leading brand. Rated parameters tribological material of the injector made and physico-chemical parameters of diesel fuel, which was made as to the engine. Generalizations have been made in terms of causes of State failure, especially in the case of small runs of the vehicle.*

## **Autorzy:**

dr hab. inż. **Rafał Longwic**, prof. PL – Politechnika Lubelska, Katedra Pojazdów Samochodowych

mgr inż. **Przemysław Sander** – Politechnika Lubelska, Katedra Pojazdów Samochodowych

prof. dr hab. inż. **Wincenty Lotko** – Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny w Radomiu, Zakład Technicznej Eksploatacji Pojazdów

mgr inż. **Robert Gielniewski** – Uniwersytet Technologiczno – Humanistyczny w Radomiu, Zakład Technicznej Eksploatacji Pojazdów

dr inż. **Leszek Gardyński** - Politechnika Lubelska, Katedra Inżynierii Materiałowej