

## WPŁYW ZANIECZYSZCZENIA PALIWA NA CHARAKTERYSTYKĘ PRACY WTRYSKIWACZY COMMON RAIL

*Współczesne samochody z silnikami Diesla zasilanymi układami Common Rail są chętnie wybierane przez użytkowników. Cechuje je duża moc i elastyczność, niskie spalanie oraz spełnianie ekologicznych norm emisji. Jednak niewielu użytkowników jest świadomych jak istotna jest jakość paliwa użytego do zasilania silnika z układem Common Rail. Kompleksowa regeneracja układu wtryskowego CR wraz z oczyszczeniem obiegu niskiego oraz wysokiego ciśnienia paliwa może przekroczyć rynkową wartość samochodu kilkuletniego. W sytuacji takiej oszczędności płynące ze stosowania paliwa słabej jakości są pozorne. W artykule przedstawiono badania wpływu zanieczyszczenia paliwa na charakterystykę pracy wtryskiwaczy Common Rail.*

### WSTĘP

Silniki o zapłonie samoczynnym, znane jako silniki wysoko- i średnio- i silniki diesla, są to silniki tłokowe, o zapłonie samoczynnym, w których powietrze wypełniające cylinder sprężane jest do ciśnienia około 30 bar. Sprężanie gazu powoduje wzrost jego temperatury, dzięki temu wtrysnięte paliwo samoczynnie się zapala. Podczas rozruchu silnika spalinowego następuje tworzenie się mieszaniny paliwowo-powietrznej oraz inicjowanie jej spalania w cylindrach silnika. Wymagane są odpowiednie warunki cieplne, w których temperatura sprężanego powietrza byłaby podczas suwu sprężania wyższa od temperatury samozapłonu wtryskiwanego paliwa. Do uzyskania tego efektu stosuje się wtrysk paliwa pod wysokim ciśnieniem do sprężonego w cylindrze lub komorze wstępnej powietrza.[1-6]

W trakcie uruchamiania silnika o zapłonie samoczynnym podnoszona jest dawka paliwa, co powoduje wzrost udziału mniejszych kropeł w paliwie, które jest wtryskiwane. Mniejsze krople pozwalają na odparowanie i uzyskanie składu mieszanki-powietrznej, umożliwiającej samozapłon. [1-6].

Większość silników spalinowych w pojazdach samochodowych emituje do atmosfery szkodliwe związki, takie jak dwutlenek węgla, tlenek węgla, związki azotu, węglowodory, cząstki stałe, związki ołowiu oraz siarki [7, 8]. W latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku w Stanach Zjednoczonych zaczęto zwracać uwagę na zanieczyszczenia emitowane przez pojazdy samochodowe. Z tego też względu w roku 1988 powołano Kalifornijską Radę ds. Zasobów Powietrza CARB (California Air Resources Board), której zadaniem było opracowanie wykorzystania diagnostyki pokładowej przez pojazd samochodowy [9, 10]. W krajach rozwiniętych tlenki azotu stanowią 40-70%, tlenek węgla 60-80%, a węglowodory 40-50% całkowitej ilości zanieczyszczeń, mających swoje źródło w działalności człowieka. Pojazdy samochodowe obciążają środowisko więcej niż 15 tysiącami związków chemicznych. Samochody stanowią największe źródło skażenia ekosystemu [7, 8].

Transport samochodowy charakteryzuje się wysokim poziomem generowanego hałasu, wysokim poziomem emisji zanieczyszczeń, energochłonnością oraz najwyższym poziomem zagrożenia bezpieczeństwa [7, 8].

Niewątpliwym wpływem na zanieczyszczenie środowiska naturalnego ma sposób eksploatacji pojazdów. Istotne jest także to, że stan

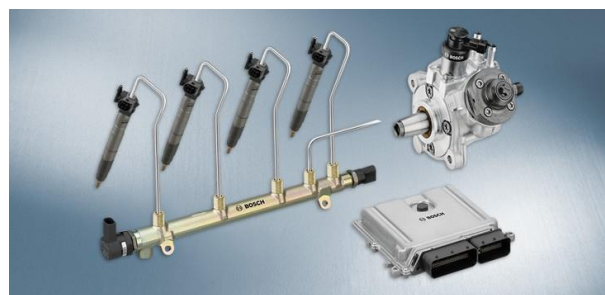
techniczny elementów układów w pojazdach ulega degradacji podczas ich eksploatacji. Przykładowo, układy paliwowe ulegają uszkodzeniom, które w przeważającej części przypadków spowodowane są nieodpowiednim składem lub jakością paliwa.

Przeprowadzone badania pozwalają odpowiedzieć na pytanie dotyczące wpływu zastosowanego paliwa na charakterystykę pracy jednego z elementów układu wtryskowego w silniku ZS, tzn. wtryskiwaczy w układzie Common Rail.

### 1. SYSTEM COMMON RAIL (CR)

System wtryskowy Common Rail po raz pierwszy wprowadzony został w roku 1997 przez firmę Bosch (rys. 1). Pierwszymi pojazdami samochodowymi, które wyposażone były w ten system, były Alfa Romeo 156 JTD i Mercedes Benz C 220 CDI.

Dokonana na przestrzeni lat optymalizacja systemu Common Rail zapewnia konkurencyjność w stosunku do innych rozwiązań i umożliwia spełnienie wymogów norm Euro. Pierwsze układy wtryskowe Common Rail zapewniały ciśnienie wtrysku 1350 [bar]. W drugiej generacji CR ciśnienie wtrysku wynosiło już 1600 [bar]. Nowoczesne systemy CR wyposażone we wtryskiwacze z przekładnią hydrauliczną generują ciśnienie wtrysku nawet do 2400[bar].



Rys. 1. System Common Rail [11]

Dokładne informacje dotyczące tego rozwiązania można znaleźć w [12-14].

Cechą charakterystyczną układu Common Rail jest magazynowanie paliwa gotowego do wtrysku w zasobniku – listwie. Posiada ona dużą objętość, dzięki czemu możliwe jest tworzenie ciśnienia i wtrysk paliwa, niezależnie od prędkości obrotowej i dawki paliwa .

Ciśnienie paliwa w zasobniku jest wytwarzane dzięki pompie wysokiego ciśnienia, która napędzana jest bezpośrednio od silnika. Najczęściej skonstruowana jest ona jako pompa promieniowa tłoczka lub rzędowa [12-14].

W układzie tego typu znacznemu skomplikowaniu uległ elektroniczny system zarządzany przez sterownik, który kompletuje niezbędne do poprawnej pracy całego układu informacje, dotyczące prędkości obrotowej wału korbowego, położenia pedału przyspieszenia, położenia wału rozrządu, temperatury zasysanego powietrza, ciśnienia w magistrali paliwowej, temperatury cieczy chłodzącej, a także ciśnienia panującego w układzie dolotowym. Zadaniem układu sterującego jest określanie wielu innych procesów związanych z np. doładowaniem, uruchomieniem świec żarowych, recyrkulacją spalin oraz diagnozowaniem silnika [12-14].

Ważnym elementem pracy układu zasobnikowego jest regulacja ciśnienia paliwa w zasobniku, która może odbywać się [12-14]:

- w obwodzie wysokiego ciśnienia, w którym zawór przekazuje część paliwa do części niskociśnieniowej. Zaletą takiego rozwiązania jest mała zwłoka dostosowania ciśnienia paliwa w zasobniku, w zależności od zmiennych warunków pracy;
- od strony zasysania, przy użyciu dozownika ciśnienia, który znajduje się na kołnierzu pompy wysokiego ciśnienia, zapewniając dokładne tłoczenie dawki paliwa do zasobnika. Utrzymuje jednocześnie ciśnienie wtrysku, które jest wymagane przez układ wtryskowy. Rozwiązanie to zapewnia dostarczanie mniejszych dawek sprężanych paliwa oraz mniejszy pobór mocy pompy;
- w układzie mieszanym, w którym regulacja ciśnienia jest realizowana poprzez podwójną regulację, dzięki zastosowaniu wysokociśnieniowego zaworu regulacyjnego, a także od strony zasysania paliwa przez dozownik ciśnienia.

W układzie wysokiego ciśnienia znajdują się trzy podstawowe sekcje [12-14]:

- sekcja pierwsza, odpowiedzialna za tworzenie ciśnienia, której głównym elementem jest pompa wysokiego ciśnienia;
- sekcja magazynująca paliwo, w skład której wchodzi elementy takie jak zasobnik paliwa, czujnik ciśnienia paliwa i zawór regulacyjny;
- sekcja dawkująca paliwo, w skład której wchodzi wtryskiwacze paliwa, wtryskujące paliwo do każdego z cylindrów oddzielnie.

Istotnym elementem obwodu jest pompa wysokiego ciśnienia, której zadaniem jest wytwarzanie wysokiego ciśnienia paliwa w zasobniku. Ciśnienie paliwa, jakie pompa może wygenerować, wynosi 1300÷2500 bar, w zależności od generacji układu CR. W samochodach osobowych w układach CR najczęściej stosowane są tłoczki pompy promieniowe. Smarowanie, a także chłodzenie pompy, odbywa się przez przepływający olej napędowy [12-14].

Z zasobnikiem paliwa połączone są wtryskiwacze, z których paliwo trafia bezpośrednio do cylindra. Jest to możliwe przez zastosowanie wtryskiwaczy sterowanych elektronicznie, których działanie koryguje oraz steruje jednostka sterująca silnika. Wyróżnia się dwa rodzaje wtryskiwaczy [12-14]:

- wtryskiwacze elektromagnetyczne,
- wtryskiwacze piezoelektryczne.

Wtryskiwacz elektromagnetyczny zasilany jest paliwem, dostarczonym pod odpowiednim ciśnieniem bezpośrednio z szyny Common Rail. Ciśnienie tworzy siłę nacisku, która działa na górną i na dolną powierzchnie tłoczka. Generowana siła nacisku górnej powierzchni w stosunku do dolnej, jest proporcjonalnie większa, i za pośrednictwem tłoczka dociska iglicę. Powyżej tłoczka znajduje się

zawór oddzielający przestrzeń wysokiego ciśnienia, od przestrzeni niskiego ciśnienia. Otwarcie wtryskiwacza następuje w chwili, kiedy elektromagnes uniesie talerzyk, a kulka odblokuje kanał łączący przestrzeń niskiego i wysokiego ciśnienia. Sterownik silnika włącza przepływ prądu przez cewkę, którego wartość wynosi 20 [A]. Wznios iglicy wtryskiwacza następuje po upływie 0,2 [ms], osiągając po skoku 0,05 [mm] całkowite otwarcie wtryskiwacza. Dawka paliwa wtryskiwanego odbywa się po upływie 0,35 [ms], oraz osiąga swoją nominalną prędkość wtryskiwania po 0,5 [ms] od początku wysłania impulsu przez sterownik. Czas trwania wtrysku paliwa wynosi 1,5 [ms] [12-14].

Wtryskiwacze piezoelektryczne składają się z czterech głównych podzespołów [12-14]:

- siłownik piezoelektryczny,
- przetwornik hydrauliczny,
- zawór sterujący,
- rozpylacz.

Siłownik piezoelektryczny jest głównym elementem tego rodzaju wtryskiwaczy. Wykorzystujący efekt piezoelektryczny poprzez dostarczenie zmiennego napięcia do jego krańców, co powoduje odkształcenie stosu kryształów kwarcowych znajdujących się wewnątrz wtryskiwacza, który jest w odpowiedni sposób ukształtowany oraz posiada właściwość anizotropowego odkształcenia. Wywołując przemieszczenie iglicy w procesie sterowania przepływem dawki wtryskiwanego paliwa. Wartość napięcia doprowadzanego do siłownika piezoelektrycznego uzależnione jest m.in. od wartości ciśnienia panującego w zasobniku, która jest pobierana z mapy sterownika [12-14].

Zadaniem obwodu niskiego ciśnienia układu Common Rail jest przechowywanie, filtrowanie i zasilanie obwodu wtryskowego olejem napędowym, o odpowiednim ciśnieniu. Obwód ten składa się z [12-14]:

- zbiornika paliwa,
- filtra paliwa wstępnego oczyszczania,
- filtra paliwa dokładnego oczyszczania,
- elektrycznej pompy zasilającej tak zwanej pompy wstępnej,
- mechanicznej pompy zasilającej,
- zaworu regulacyjnego,
- przewodów paliwowych wraz z chłodnicą powracającego do zbiornika paliwa,

Zbiornik paliwa układu niskiego ciśnienia cechuje się odpornością na korozję oraz szczelnością. Układ niskiego ciśnienia powinien cechować się możliwością wyrównywania nadciśnienia [12-14].

Pompa zasilająca zapewnia dostarczenie paliwa do elementów obwodu wysokiego ciśnienia, niezależnie od warunków pracy i pod odpowiednim ciśnieniem. Napęd pompy może być realizowany elektrycznie lub mechanicznie. Najczęściej stosowaną pompą jest wporowa pompa rolkowa [12-14].

W układach zasilania typu CR, filtr dokładnego oczyszczania, pełni następujące funkcje [12-14]:

- podgrzewania paliwa – znajduje zastosowanie w zimowych warunkach, zapobiegając krystalizacji oleju napędowego, czyli wytworzeniu parafiny. Podgrzewanie odbywa się na drodze elektrycznej jak również wykorzystując podgrzane paliwo wracające z układu wysokiego ciśnienia;
- sygnalizację zanieczyszczenia filtra, której działanie odbywa się na zasadzie różnicy ciśnienia paliwa przed i za filtrem,
- napełnienia oraz odpowietrzenia układu zasilania paliwem – odbywa się przez wykorzystanie ręcznej pompki umieszczonej na obudowie.

## 2. BADANIE WPŁYWU ZANIECZYSZCZENIA PALIWA NA PRACĘ ELEMENTÓW UKŁADU COMMON RAIL

W silnikach o zapłonie samoczynnym coraz częściej stosuje się układy zasilania w paliwo typu Common Rail. Poprawne działanie całego układu CR zależy od jakości oleju napędowego oraz jego składu. Olej napędowy chłodzi i smaruje wszystkie mechaniczne elementy układu CR. Wtryskiwacz, który odpowiada za prawidłowe rozpylenie paliwa i jego rozprowadzanie w komorze spalania, narażony jest zarówno na wysokie ciśnienie oraz wysokie temperatury [1-6, 12-14].

Z uwagi na wysokie ciśnienie wtrysku wszystkie elementy muszą być wykonywane z dużą precyzją. Ciśnienia wtrysku paliwa we współczesnych silnikach wysokoprężnych sięgają do 2400 [bar] [1-6, 12-14].

Olej napędowy jest często nie tylko zanieczyszczony, a także zawiera wodę, co przyczynia się do zużywania elementów układu wtryskowego silnika. Najbardziej narażone na różnego rodzaju zanieczyszczenia są rozpylacz z iglicą oraz zestaw zaworu wysokiego ciśnienia CR. Zła jakość paliwa powoduje zmiany wielkości dawek wtrysku oraz dawek powrotnych. Przyczynia się także do wadliwej pracy silnika, pogorszenia parametrów roboczych i ekologicznych, a także szybszego zużywania się jego podzespołów.

Na rysunku 2 pokazano wygląd przykładowych cieczy pochodzących z układów paliwowych dostarczonych do naprawy w jednym z punktów zajmujących się taką działalnością.



Rys. 2. Przykładowe ciecze pochodzące z układów paliwowych

Celem przeprowadzonych badań było określenie, w jakim stopniu wybrane zanieczyszczenia oleju napędowego wpływają na pracę wtryskiwaczy typu Common Rail.

Cztery wtryskiwacze Common Rail produkcji BOSCH (rys. 3) zostały zregenerowane według wytycznych producenta. Regeneracja polegała na wymianie dwóch kluczowych, podlegających zużyciu elementów wtryskiwacza – zaworu oraz końcówki wtrysku.

Zanotowano parametry pracy wtryskiwaczy zregenerowanych uzyskane w trakcie badania na stole probierczym nr 1 (rys. 4).

Parametry wymagane dla wtryskiwacza zregenerowanego przedstawiono w tabeli 1, gdzie:

- MAX POWER – ustawienia symulujące pracę w trakcie maksymalnego obciążenia,
- MID RANGE – ustawienia symulujące pracę w trakcie średniego obciążenia,
- IDLE – ustawienia symulujące pracę na biegu jałowym,
- PRE INJECTION – ustawienia symulujące pracę w trakcie przedwtrysków,

- SEAT TEST – sprawdzanie szczelności wtryskiwaczy przy statycznym obciążeniu ciśnieniem (wtrysk nie wykonuje pracy),
- START OF INJECTION (S.O.I.) – sprawdzenie początku wtrysku, najniższego pułapu ciśnienia, przy którym wtryskiwacz zaczyna poprawnie rozpylać paliwo,
- NOZZLE TEST (NOZ.) – sprawdzenie szczelności końcówki wtryskiwacza przy statycznym obciążeniu wysokim ciśnieniem (wtrysk nie wykonuje pracy).



Rys. 3. Wtryskiwacze użyte w badaniu



Rys. 4. Stół probierczy nr 1

Tab. 1. Parametry wymagane dla wtryskiwacza zregenerowanego

Prędkość obrotowa pompy [obr/min]	Ciśnienie [bar]	Długość impulsu [μs]	Dawka [mm <sup>3</sup> /wtrysk]	Przelew [mm <sup>3</sup> /wtrysk]	Krok
1500	1350	900	64-69	<3,5	MAX POWER
1000	1150	1200	75-80	–	MAX TORQUE
1000	800	600	22-26	–	MID RANGE
1000	850	100	0,5-2,5	–	PRE INJECTION
400	250	700	9-10	<20	IDLE
2000	1350	–	–	<12,5	SEAT TEST
1500	1350	–	–	–	NOZ.
400	150-200	700	–	–	S.O.I.

Każdy wtryskiwacz został poddany procesowi celowej degradacji, wykonując pracę na stole probierczym nr 2 (rys. 5), będąc zasilanym w zanieczyszczone paliwo.





**Rys. 5.** Stół probierczy nr 2

Praca wtryskiwacza polegała na pięciogodzinnej ciągłej pracy przy nastawieniach MID RANGE, pod średnim obciążeniem (5 bieg + utrzymywanie prędkości na poziomie 100 [km/h]), co odpowiada dystansowi 500 [km] przejechanemu przez samochód.

Po każdej operacji degradowania przejrane zostały elementy stołu probierczego, które mogły ulec uszkodzeniu i zniszczyć dodatkowo wtryskiwacze, zaburzając wyniki badania – pompa wysokiego ciśnienia, zawory, filtr.

Następnie następował demontaż, oczyszczenie i ponowny montaż zdegradowanych wtryskiwaczy. Wtryskiwacze były badane po raz drugi na stole probierczym nr 1. Wyznaczono parametry pracy wtryskiwaczy zdegradowanych.

### 3. WYNIKI BADAŃ

W trakcie badań wtryskiwacze były zasilane następującymi paliwami:

- 100% olej opalowy,
- 80% olej napędowy + 20% przerepracowany olej silnikowy,
- 95% olej napędowy + 5% woda,
- 20% benzyna (Pb95) + 80% olej napędowy.

#### 3.1. Test 1

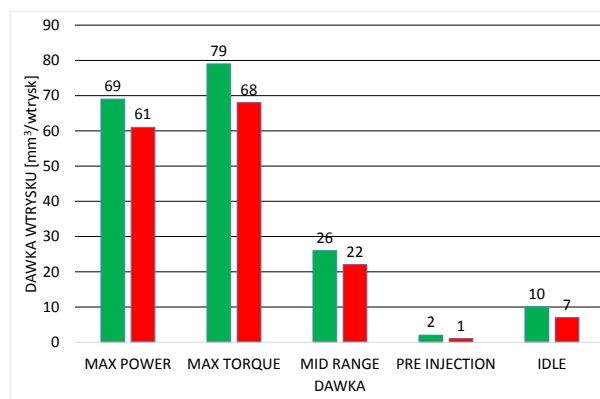
Wyniki pomiarów parametrów wtryskiwacza zasilanego 100% olejem opalowym pokazano w tabelach 2 i 3 oraz na rysunkach 6 i 7.

**Tab. 2.** Parametry wtryskiwacza po regeneracji

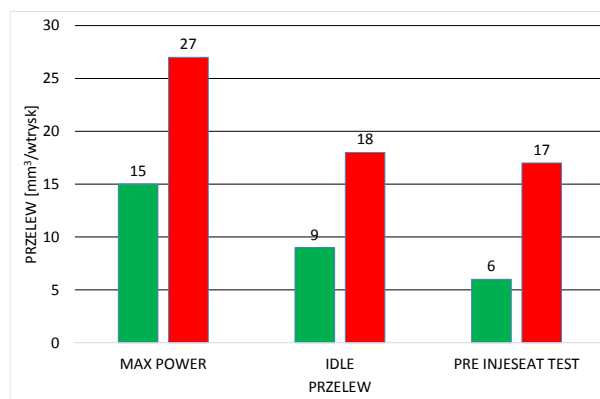
WYNIK		WYTYCZNA		KROK
DAWKĄ	PRZELEW	DAWKĄ	PRZELEW	
[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	
69,0	15,0	64,0-69,0	<35,0	MAX POWER
79,0	–	75,0-80,0	–	MAX TORQUE
26,	–	22,0-26,0	–	MID RANGE
2,0	–	0,5-2,5	–	PRE INJECTION
10,0	9,0	9,0-10,0	<20,0	IDLE
–	6,0	–	12,5	SEAT TEST
OK	–	–	–	NOZ.
OK	–	–	–	S.O.I.

**Tab. 3.** Parametry wtryskiwacza po degradacji

WYNIK		WYTYCZNA		KROK
DAWKĄ	PRZELEW	DAWKĄ	PRZELEW	
[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	
61,0	27,0	64,0-69,0	<35,0	MAX POWER
68,0	–	75,0-80,0	–	MAX TORQUE
22,0	–	22,0-26,0	–	MID RANGE
1,0	–	0,5-2,5	–	PRE INJECTION
7,0	18,0	9,0-10,0	<20,0	IDLE
–	17,0	–	<12,5	SEAT TEST
OK	–	–	–	NOZ.
OK	–	–	–	S.O.I.



**Rys. 6.** Porównanie wielkości dawek wtryskiwacza



**Rys. 7.** Porównanie wielkości przelewu wtryskiwacza

Niedostateczne właściwości smarujące oleju opalowego spowodowały degradację części wtryskiwacza odpowiedzialnych za jego szczelność wewnętrzną:

- iglica rozpylacza + korpus rozpylacza (para precyzyjna),
- trzpień zaworu + korpus zaworu - prowadzenie trzpienia (para precyzyjna),
- kulka zaworu + gniazdo kulki zaworu.

Właściwości smarujące paliwa zapewniają elementom długotrwałe i prawidłowe działanie.

Degradacja elementów spowodowała wzrost wartości przelewu. Swobodniejsza ucieczka paliwa pod ciśnieniem do obwodu przelewowego przez zdegradowane punkty szczelności prowadzi do spadku wartości dawek osiągniętych przez wtryskiwacz.

Wtryskiwacz po procesie degradacji nadaje się do dalszej eksploatacji.

Należy zwrócić uwagę, że jeżeli w krótkim czasie badania wtryskiwacz w znaczącym stopniu się zdegradował to dalsza jego eksploatacja z użyciem oleju opalowego spowoduje postęp procesu i wtryskiwacz ulegnie w końcu zniszczeniu.

#### 3.2. Test 2

Wyniki pomiarów parametrów wtryskiwacza zasilanego mieszanką 80% olej napędowy + 20% przerepracowany olej silnikowy pokazano w tabelach 4 i 5 oraz na rysunkach 8 i 9.

**Tab. 4. Parametry wtryskiwacza po regeneracji**

WYNIK		WYTYCZNA		KROK
DAWKĄ [mm³/wtrysk]	PRZELEW [mm³/wtrysk]	DAWKĄ [mm³/wtrysk]	PRZELEW [mm³/wtrysk]	
67,0	18,0	64,0-69,0	<35,0	MAX POWER
80,0	–	75,0-80,0	–	MAX TORQUE
24,0	–	22,0-26,0	–	MID RANGE
2,0	–	0,5-2,5	–	PRE INJECTION
10,0	10,0	9,0-10,0	<20,0	IDLE
–	8,0	–	<12,5	SEAT TEST
OK		–	–	NOZ.
OK		–	–	S.O.I.

**Tab. 6. Parametry wtryskiwacza po regeneracji**

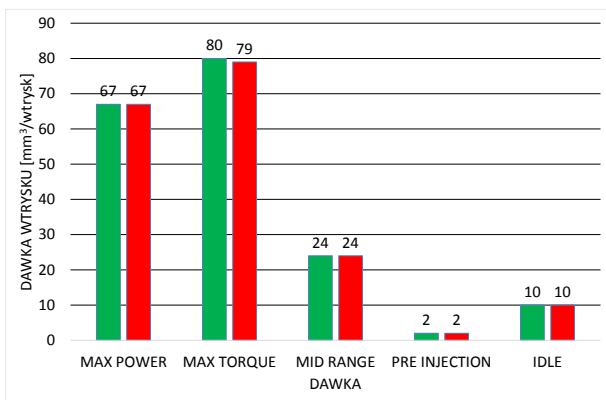
WYNIK		WYTYCZNA		KROK
DAWKĄ [mm³/wtrysk]	PRZELEW [mm³/wtrysk]	DAWKĄ [mm³/wtrysk]	PRZELEW [mm³/wtrysk]	
65,0	16,0	64,0-69,0	<35,0	MAX POWER
79,0	–	75,0-80,0	–	MAX TORQUE
25,0	–	22,0-26,0	–	MID RANGE
2,5	–	0,5-2,5	–	PRE INJECTION
10,0	8,5	9,0-10,0	<20,0	IDLE
–	7,5	–	<12,5	SEAT TEST
OK		–	–	NOZ.
OK		–	–	S.O.I.

**Tab. 5. Parametry wtryskiwacza po degradacji**

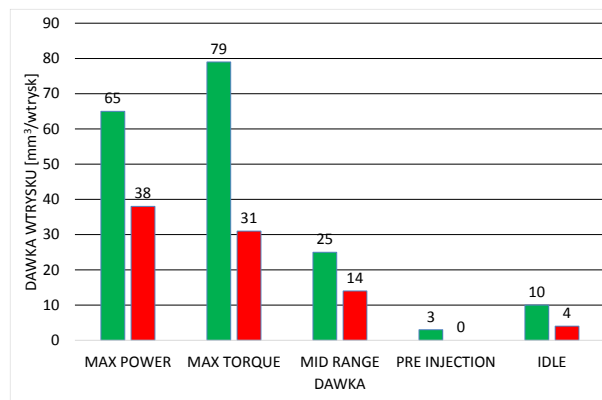
WYNIK		WYTYCZNA		KROK
DAWKĄ [mm³/wtrysk]	PRZELEW [mm³/wtrysk]	DAWKĄ [mm³/wtrysk]	PRZELEW [mm³/wtrysk]	
67,0	18,5	64,0-69,0	<35,0	MAX POWER
79,0	–	75,0-80,0	–	MAX TORQUE
24,0	–	22,0-26,0	–	MID RANGE
2,0	–	0,5-2,5	–	PRE INJECTION
10,0	10,0	9,0-10,0	<20,0	IDLE
–	8,0	–	<12,5	SEAT TEST
OK		–	–	NOZ.
OK		–	–	S.O.I.

**Tab. 7. Parametry wtryskiwacza po degradacji**

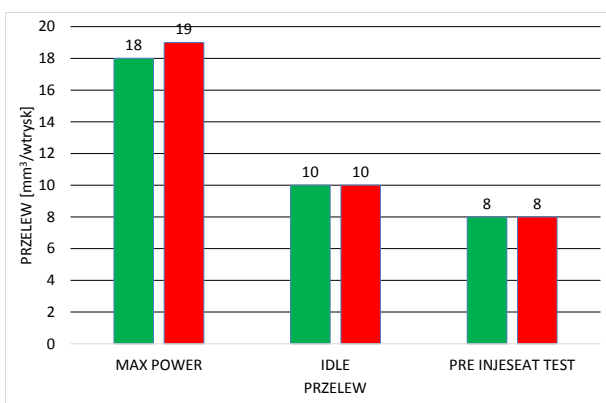
WYNIK		WYTYCZNA		KROK
DAWKĄ [mm³/wtrysk]	PRZELEW [mm³/wtrysk]	DAWKĄ [mm³/wtrysk]	PRZELEW [mm³/wtrysk]	
38,0	110,0	64,0-69,0	<35,0	MAX POWER
31,0	–	75,0-80,0	–	MAX TORQUE
14,0	–	22,0-26,0	–	MID RANGE
0,0	–	0,5-2,5	–	PRE INJECTION
4,0	80,0	9,0-10,0	<20,0	IDLE
–	54,0	–	<12,5	SEAT TEST
NIE OK		–	–	NOZ.
NIE OK		–	–	S.O.I.



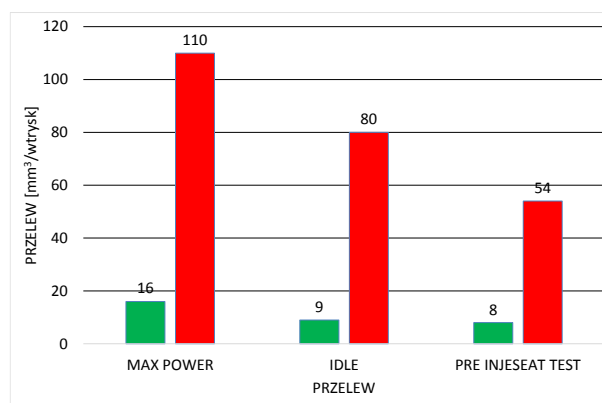
**Rys. 8. Porównanie wielkości dawek wtryskiwacza**



**Rys. 10. Porównanie wielkości dawek wtryskiwacza**



**Rys. 9. Porównanie wielkości przelewu wtryskiwacza**



**Rys. 11. Porównanie wielkości przelewu wtryskiwacza**

Nie odnotowano znaczących zmian po procesie degradacji wtryskiwacza.

Wtryskiwacz nadaje się do dalszej eksploatacji.

### 3.3. Test 3

Wyniki pomiarów parametrów wtryskiwacza zasilanego mieszanką 95% olej napędowy + 5% wody pokazano w tabelach 6 i 7 oraz na rysunkach 10 i 11.

Wtryskiwacz uległ uszkodzeniu. Stwierdzono kilkakrotnie przekroczone dopuszczalne wartości przelewów. Wtryskiwacz generuje dawki poniżej 50% wymaganego poziomu. Wystąpił niekontrolowany wyciek paliwa przez nieszczelny rozpylacz. Nierówne strugi w trakcie rozpylania. Ciśnienie otwarcia wtryskiwacza podniesione do 270 [bar] –dopuszczalne maksimum to 200 [bar].

Wtryskiwacz nie nadaje się do dalszej eksploatacji.

## 3.4. Test 4

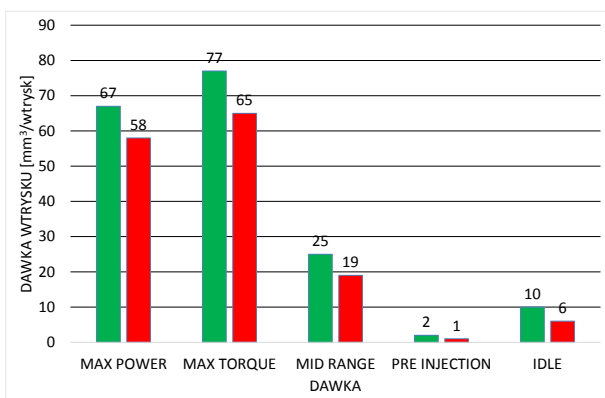
Wyniki pomiarów parametrów wtryskiwacza zasilanego mieszkanką 80% olej napędowy + 20% benzyny pokazano w tabelach 8 i 9 oraz na rysunkach 12 i 13.

**Tab. 8. Parametry wtryskiwacza po regeneracji**

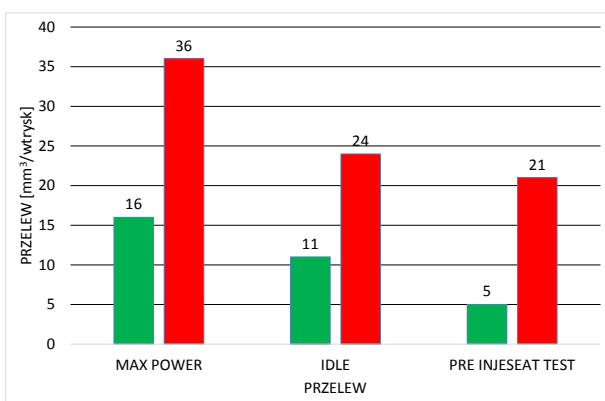
WYNIK		WYTYCZNA		KROK
DAWKĄ	PRZELEW	DAWKĄ	PRZELEW	
[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	
67,0	15,5	64,0-69,0	<35,0	MAX POWER
77,0	–	75,0-80,0	–	MAX TORQUE
25,0	–	22,0-26,0	–	MID RANGE
2,0	–	0,5-2,5	–	PRE INJECTION
9,5	11,0	9,0-10,0	<20,	IDLE
–	5,0	–	<12,5	SEAT TEST
OK	–	–	–	NOZ.
OK	–	–	–	S.O.I.

**Tab. 9. Parametry wtryskiwacza po degradacji**

WYNIK		WYTYCZNA		KROK
DAWKĄ	PRZELEW	DAWKĄ	PRZELEW	
[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	[mm <sup>3</sup> /wtrysk]	
67,0	15,5	64,0-69,0	<35,0	MAX POWER
77,0	–	75,0-80,0	–	MAX TORQUE
25,0	–	22,0-26,0	–	MID RANGE
2,0	–	0,5-2,5	–	PRE INJECTION
9,5	11,0	9,0-10,0	<20,0	IDLE
–	5,0	–	<12,5	SEAT TEST
OK	–	–	–	NOZ.
OK	–	–	–	S.O.I.



**Rys. 12. Porównanie wielkości dawek wtryskiwacza**



**Rys. 13. Porównanie wielkości przelewu wtryskiwacza**

Niedostateczne właściwości smarujące mieszaniny oleju napędowego z benzyną spowodowały degradację części wtryskiwacza, odpowiedzialnych za jego szczelność wewnętrzną:

- iglica rozpylacza + korpus rozpylacza (para precyzyjna),

- trzpień zaworu + korpus zaworu - prowadzenie trzpienia (para precyzyjna),
- kulka zaworu + gniazdo kulki zaworu.

Degradacja tych części spowodowała wzrost wartości przelewu. Swobodniejsza ucieczka paliwa pod ciśnieniem do obwodu przelewowego przez zdegradowane punkty szczelności prowadzi do spadku wartości dawek osiąganych przez wtryskiwacz.

Po procesie degradacji wtryskiwacz nie nadaje się do dalszej eksploatacji. Przekroczył maksymalne dopuszczalne wartości przelewu, jednocześnie poziom dawkowania jest poniżej poziomu dopuszczalnego minimum.

## PODSUMOWANIE

Technologia silników z zapłonem samoczynnym przeszła ogromny rozwój od chwili ich wynalezienia. Ciężkie i większe od benzynowych jednostek silniki ZS, początkowo stosowane jako urządzenia stacjonarne, powoli zyskiwały na popularności. Dynamiczny rozwój pozwolił na zastosowanie ich kolejno w statkach, lokomotywach, samochodach ciężarowych i w końcu samochodach osobowych. Wzrost popularności silniki te zawdzięczają przede wszystkim rozwojowi technologii stosowanych w nich układów wtryskowych. Układy wtryskowe mają bezpośredni wpływ na osiągi, czystość spalin, zużycie paliwa. Olej napędowy odpowiada za smarowanie mechanicznych elementów części układów wtryskowych. Wysokie ciśnienia, duże siły oddziałujących na siebie części, wysokie prędkości elementów ruchomych wymagają nienagannych właściwości smarujących. Jakiegokolwiek zanieczyszczenia oleju napędowego drastycznie obniżają właściwości smarujące. Olej napędowy o niezachowanych parametrach smarujących może doprowadzić do zniszczenia elementów układu paliwowego w bardzo krótkim czasie.

Badania związane z wpływem zanieczyszczenia paliwa na pracę wtryskiwaczy w układzie Common Rail pokazują, że:

- chemiczne zanieczyszczenia paliwa są bardzo niebezpieczne dla układów wtryskowych. Należy zwrócić uwagę, że zanieczyszczenia chemiczne w przeciwieństwie do zanieczyszczeń mechanicznych nie są wyłapywane przez filtry paliwa;
- wtryskiwacze typu Common Rail charakteryzują się bardzo niską odpornością na chemiczne zanieczyszczenia w paliwie. Eksploatacja współczesnych samochodów z silnikami wysokoprężnymi wymaga od użytkowników zwracania szczególnej uwagi na paliwo, którym samochody są zasilane;
- przeprowadzone badania pokazują wyraźnie, że wystarczy pokonać kilkaset kilometrów samochodem z silnikiem zasilanym zanieczyszczonym paliwem, aby doprowadzić do zniszczenia wtryskiwaczy typu Common Rail;
- wtryskiwacz zasilany mieszaniną oleju napędowego z benzyną został zniszczony i nie nadawał się do dalszej eksploatacji;
- wtryskiwacz zasilany mieszaniną oleju napędowego z wodą został zniszczony i nie nadawał się do dalszej eksploatacji;
- wtryskiwacz zasilany olejem opalowym uległ degradacji w stopniu umożliwiającym co prawda dalszą pracę, natomiast dalsze zasilanie go takim paliwem w krótkim czasie doprowadziłoby do jego zniszczenia;
- procesowi degradacji nie uległ wtryskiwacz zasilany mieszaniną oleju napędowego z olejem silnikowym. Olej silnikowy posiada dobre właściwości smarujące, mechaniczne drobiny znajdujące się w nim zostały bez problemu wyłapane przez filtr paliwowy stołu probierczego i nie miały wpływu na degradację wtryskiwacza.

Należy mieć świadomość, że wadliwa praca elementów układu paliwowego powoduje negatywne skutki dla środowiska naturalnego [7-10]. Może również przyczynić się do uszkodzenia całego silnika, czego konsekwencją jest wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia wypadku drogowego. Dlatego też na całym świecie prowadzone są liczne badania związane ze zwiększeniem niezawodności elementów w układach pojazdów [15-23].

## BIBLIOGRAFIA

1. Idzior M., *Studium optymalizacji doboru parametrów rozpylaczy wtryskiwaczy silników o zapłonie samoczynnym w aspekcie właściwości użytkowych silnika*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004.
2. Jaroński J., *Techniki czystego spalania*. WNT, Warszawa 1996.
3. Luft S., *Podstawy budowy silników*. WKiŁ, Warszawa 2009.
4. Mysłowski J., *Rozruch silników samochodowych z zapłonem samoczynnym*, WNT, Warszawa 1996.
5. Wajand J.A., Wajand J.T., *Tłokowe silniki spalinowe średnio i szybkoobrotowe*. WNT, Warszawa 2005.
6. Wendeker M., *Sterowanie napełnieniem w silniku samochodowym*, Lublin 1999.
7. Bielaczyc P., Merksiz J., Pielecka J., *Stan cieplny silnika spalinowego a emisja związków szkodliwych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2001.
8. Chłopek Z., *Ochrona środowiska naturalnego*, WKiŁ, Warszawa 2002.
9. Merksiz J., Mazurek St., *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych OBD*, WKiŁ, Warszawa 2007.
10. Rokosch U., *Układy oczyszczania spalin i pokładowe systemy diagnostyczne samochodów*, WKiŁ, Warszawa 2007.
11. *Common Rail diesel injection from Bosch*, <http://http://de.bosch-automotive.com>.
12. Günther H., *Układy wtryskowe Common Rail w praktyce warsztatowej*, WKiŁ, Warszawa 2011.
13. Kędzia R., *Systemy Common Rail – parametry systemów i ich diagnostyka*, Materiały Szkoleniowe, Centrum Szkolenia Motorzacji „Autoelektronika Kędzia”, Poznań 2009.
14. *Zasobnikowe układy wtryskowe Common Rail*, Informator Techniczny Bosch, WKiŁ, Warszawa 2005.
15. Figlus T., Konieczny Ł., Burdzik R., Czech P., *The effect of damage to the fuel injector on changes of the vibroactivity of the diesel engine during its starting*, "Vibroengineering Procedia" 2015, vol. 6, p. 180-184, ISSN: 2345-0533.
16. Grega R., Homišin J., Kaššay P., Krajňák J., *The analyse of vibrations after changing shaft coupling in drive belt conveyer*, "Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport" 2011, vol. 72, p. 23-31, ISSN: 0209-3324.
17. Harachová D., Medvecká-Beňová S., *Applying the modularity principle in design of drive systems in mechanotherapeutic devices*, "Grant Journal" 2013, vol. 2(2), p. 80-82, ISSN 1805-062X.
18. Homišin J., *Tuning torsionally vibrating mechanical systems using pneumatic couplings: a compendium of performance research*, ATH, Bielsko-Biala 2008.
19. Konieczny Ł., Burdzik R., Warczek J., Czech P., Wojnar G., Młyńczak J., *Determination of the effect of tire stiffness on wheel accelerations by the forced vibration test method*, "Journal of Vibroengineering" 2015, vol. 17(8), p. 4469-4477, ISSN: 1392-8716.
20. Medvecká-Beňová S., Vojtková J., *Analysis of asymmetric tooth stiffness in eccentric elliptical gearing*, "Technológ" 2013, vol. 5(4), p. 247-249, ISSN: 1337-8996.
21. Puškár M., Bigoš P., Puškárová P., *Accurate measurements of output characteristics and detonations of motorbike high-speed racing engine and their optimization at actual atmospheric conditions and combusted mixture composition*, "Measurement" 2012, vol. 45, p. 1067-1076, ISSN: 0263-2241.
22. Urbanský M., Homišin J., Krajňák J., *Analysis of the causes of gaseous medium pressure changes in compression space of pneumatic coupling*, "Transactions of the Universities of Košice" 2011, vol. 2, p. 35-40, ISSN: 1335-2334.
23. Zuber N., Bajrić R., Šostakov R., *Gearbox faults identification using vibration signal analysis and artificial intelligence methods*, "Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance And Reliability" 2014, vol. 16(1), p. 61-35, ISSN: 1507-2711.

### The influence of fuel contamination on operating characteristics of Common Rail injectors

*Modern cars with diesel engines powered by Common Rail systems are willingly chosen by users. They are characterized by high power and flexibility, fuel efficiency, fulfilling the ecological emission standards. However, very few users are aware of how important is the quality of the fuel used to power the engine with Common Rail injection system. Comprehensive regeneration of CR injection system, including cleaning of the high and low fuel pressure cycle may exceed the market value of several years car. In this situation savings deriving from the use of poor quality fuels are apparent. The article presents a study on the impact of fuel contamination on the operating characteristics of Common Rail injectors.*

Autorzy:

inż. **Piotr Osadnik** – Wydział Transportu, Politechnika Śląska  
dr hab. inż. **Piotr Czech**, prof. nzw. Pol. Śl. – Wydział Transportu, Politechnika Śląska  
prof. dr hab. inż. **Bogusław Łazarz** – Wydział Transportu, Politechnika Śląska  
dr inż. **Tomasz Matyja** – Wydział Transportu, Politechnika Śląska  
inż. **Michał Juzek** – Wydział Transportu, Politechnika Śląska