

Dorota TYPAŃSKA
Łukasz PUTZ

BADANIA SAMOCHODU NAPĘDZANEGO SILNIKIEM FSI – SYSTEMEM ELEKTRONICZNEGO STEROWANIA BEZPOŚREDNIM WTRYSKIEM BENZYNY

STRESZCZENIE *W artykule zaprezentowano szczegółową analizę systemu bezpośredniego wtrysku benzyny FSI (Fuel Stratified Injection) stosowanego w samochodach koncernu Volkswagen Group. W pracy przedstawiono charakterystyczne elementy budowy z opisem ich wpływu na działanie tego typu silnika. Następnie przedstawiono wyniki badań mocy silnika, momentu obrotowego, emisji zanieczyszczeń oraz zużycia paliwa, przeprowadzonych na modelu VW Passat 2.0 FSI oraz porównano z wynikami badań odpowiednika o wtrysku pośrednim – VW Passat 2.0 MPI.*

Słowa kluczowe: *bezpośredni wtrysk paliwa, elektroniczne sterowanie silnikiem, FSI, mieszanka jednorodna, mieszanka uwarstwiona, silnik benzynowy*

1. WSTĘP

Silniki FSI (*Fuel Stratified Injection*, czyli wtrysk paliwa z uwarstwieniem ładunku) są pierwszą generacją systemów bezpośredniego wtrysku benzyny, zastosowanych w koncernie Volkswagena. Idea FSI po raz pierwszy została zastosowana w 2000 roku w Volkswagencie Lupo. Według producenta jest to

mgr inż. Dorota TYPAŃSKA

e-mail: dorota.typanska@put.poznan.pl

mgr inż. Łukasz PUTZ

e-mail: lukasz.putz@put.poznan.pl

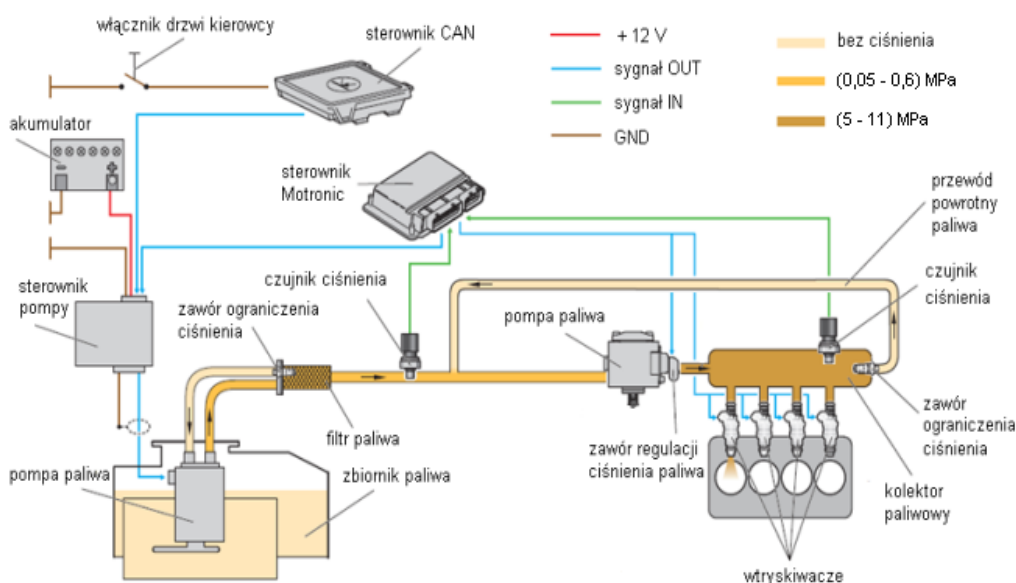
Politechnika Poznańska, Wydział Elektryczny

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 260, 2012

zupełnie nowy rodzaj silników, zarówno ekologicznych, wydzielających mniej zanieczyszczeń, jak i bardziej dynamicznych, w porównaniu z wcześniejszymi rodzajami wtrysku [4].

2. UKŁAD ZASILANIA W PALIWO W SYSTEMIE FSI

Układ zasilania w paliwo ma budowę klasyczną dla systemów bezpośredniego wtrysku benzyny, czyli z rozdziałem na dwie części: nisko- i wysokociśnieniową (rys 1). W obwodzie niskiego ciśnienia ciśnienie paliwa jest regulowane (w zależności od potrzeb) w zakresie $(0,05 \div 0,5)$ MPa. Przy rozruchu silnika wzrasta do 0,6 MPa.



Rys. 1. Schemat układu zasilania w paliwo w systemie FSI [5]

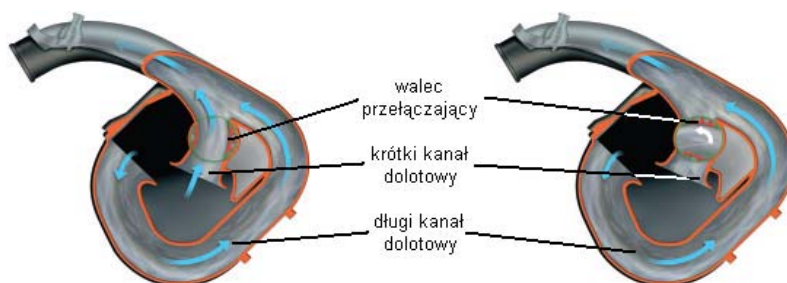
Najważniejszym elementem w obwodzie wysokiego ciśnienia jest pompa wysokociśnieniowa. Ma ona konstrukcję jednoczkową i jest zasilana z podwójnej krzywki umieszczonej na dolotowym wałku rozrządu. Ciśnienie wytwarzane przez pompę może wynieść maksymalnie 12 MPa. Dzięki zaworowi regulacyjnemu możliwe jest tłoczenie paliwa według aktualnych potrzeb silnika. Zawór składa się z cewki, tłoka sterującego pracą zaworu i sprężyny dociskającej zawór dolotowy. Wytworzone przez cewkę pole magnetyczne wciąga tłok. Zawór dolotowy zostaje zamknięty i pompa może tłoczyć niezbędną ilość paliwa [6].

3. UKŁAD DOLOTOWY POWIETRZA W SYSTEMIE FSI

W silnikach FSI kluczową rolę w tworzeniu mieszanki uwarstwionej odgrywa odpowiednie ukształtowanie strumienia powietrza zasysanego. Odpowiedni kształt strumienia uzyskuje się głównie dzięki zastosowaniu zmiennych parametrów geometrycznych kanałów dolotowych oraz odpowiedniemu wyprofilowaniu denka tłoka w komorze spalania [6].

Zmiana parametrów geometrycznych kanałów dolotowych odbywa się na dwa sposoby [2]:

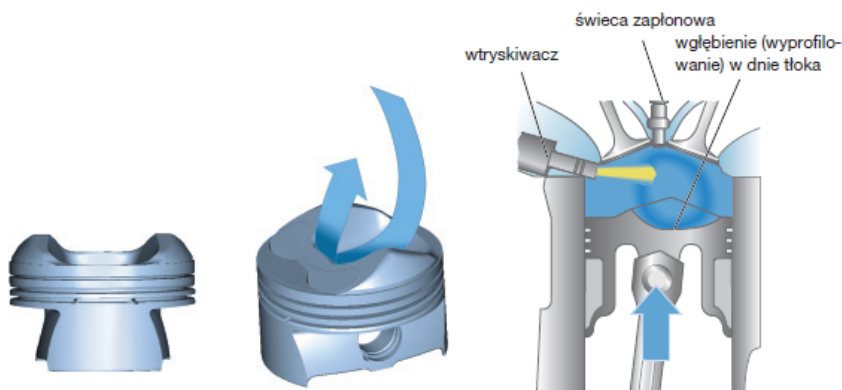
- a) przez zmianę długości (rys. 2) – służy do tego dwupołożeniowy walec przełączający, którego położeniem kieruje sterownik silnika; na podstawie obciążenia, prędkości obrotowej i temperatury silnika dobierane jest właściwe położenie walca; oprócz odpowiedniego ukształtowania strumienia powietrza uzyskuje się także optymalizację mocy użytecznej i momentu obrotowego; kiedy powietrze zasysane jest krótkimi i długimi przewodami dolotowymi, uzyskuje się optymalną moc użyteczną; natomiast w przypadku zasysania powietrza długimi kanałami, dobierany jest optymalny moment obrotowy;



Rys. 2. Zmienna długość kanałów dolotowych w silniku FSI [5]

- b) przez podział na dwie części dolną i górną – przepływ w dolnej części przewodu dolotowego jest regulowany za pomocą dodatkowej przepustnicy; przy pracy na mieszance jednorodnej (duże obciążenia i prędkości obrotowe) kłapa jest otwarta i powietrze dostaje się do cylindra całym przekrojem kolektora dolotowego; podczas pracy na mieszance uwarstwionej (małe obciążenia i prędkości obrotowe) kłapa zamyka dolną część, a powietrze jest zasysane tylko górną częścią kolektora dolotowego, strumień powietrza ukształtowany w ten sposób, pozytywnie wpływa na tworzenie ubogiej mieszanki paliwowo-powietrznej.

Aby wzmocnić rotację powietrza już zassanego do komory spalania, stosuje się odpowiednio wyprofilowane tłoki, ze specjalnym wgłębieniem zawirowującym strumień powietrza (rys. 3). Przy pracy na mieszance ubogiej paliwo jest wtryskiwane w pobliże elektrod świecy zapłonowej, w obłok powietrza ukształtowany dzięki tłokowi. Powstała w ten sposób mieszanka praktycznie nie styka się z denkiem tłoka ani ze ściankami cylindra. Jest to tzw. proces spalania sterowany strumieniem paliwa [6].



Rys. 3. Wpływ ukształtowania denka tłoka na tworzenie mieszanki uwarstwionej w silniku FSI [5]

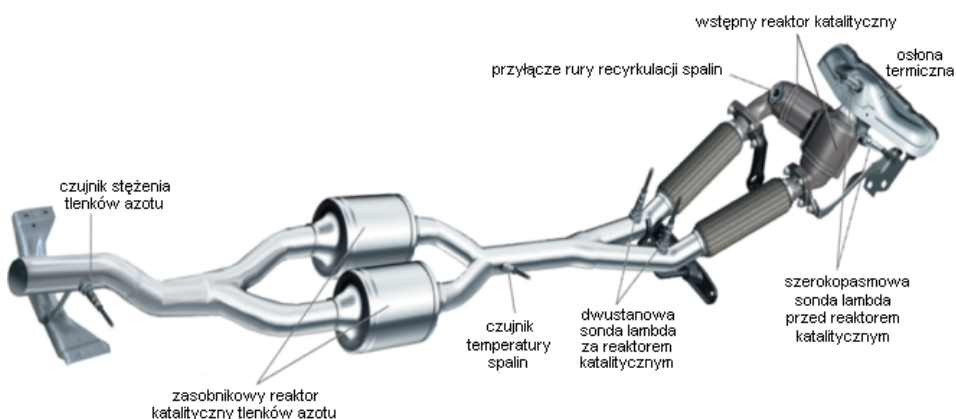
4. UKŁAD WYLOTOWY SILNIKA FSI

Układ wylotowy (rys. 4) jest wykonany w dwóch miejscach jako dwururowy. Po wyjściu z cylindra kolektor wylotowy rozdziela się na dwie gałęzie, w których umieszczone są wstępne trójfunkcyjne reaktory katalityczne. Przed nimi znajdują się szerokopasmowe sondy lambda, nadzorujące skład mieszanki. Natomiast za reaktorami katalitycznymi ulokowane są skokowe (dwustanowe) sondy służące do sterowania pracą reaktorów katalitycznych.

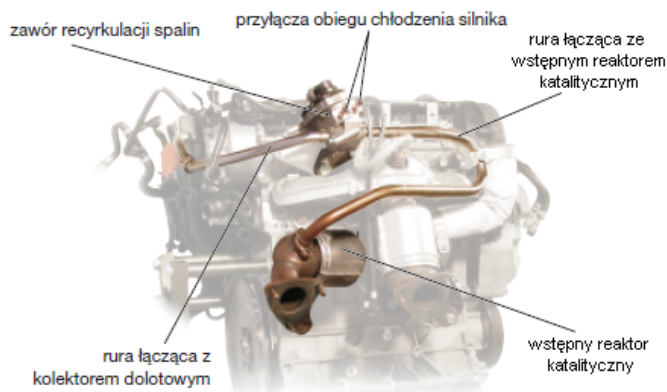
Dalej układ odprowadzania spalin łączy się w jedną gałąź, w której umieszczony jest czujnik temperatury spalin, a następnie ponownie rozdziela się. W miejscu rozdzielenia znajdują się zasobnikowe reaktory katalityczne tlenków azotu. Dalsza część układu wylotowego jest już wykonana jako jednorurowa. Tam też zamontowano czujnik stężenia tlenków azotu, kontrolujący pracę zasobnikowego reaktora katalitycznego. Takie rozwiązanie pozwoliło jednocześnie spełnić wymagania emisji spalin zawarte w normie EURO 4 oraz zwiększyć moment obrotowy silnika dla małych prędkości obrotowych [6].

5. UKŁAD RECYRKULACJI SPALIN

W silniku FSI zastosowana została zewnętrzna recyrkulacja spalin. Dzięki układowi recyrkulacji spalin możliwe jest szybsze nagrzanie silnika oraz zmniejszenie szczytowej temperatury spalania, co skutkuje mniejszym wydzielaniem tlenków azotu w spalinach. Spaliny są pobierane z reaktora katalitycznego wstępnego i specjalną rurką przepływają przez zawór recyrkulacji spalin AGR do kolektora dolotowego. Sterownik silnika może regulować ilość recyrkulowanych spalin za pomocą zaworu AGR, który składa się z dwóch głównych części: kłapy regulującej przepływ spalin oraz silnika elektrycznego z potencjometrem recyrkulacji spalin. Recyrkulacja nie jest prowadzona na biegu jałowym oraz przy dużych obciążeniach powyżej prędkości obrotowej 4000 obr/min. Budowę układu recyrkulacji spalin przedstawiono na rysunku 5 [2].



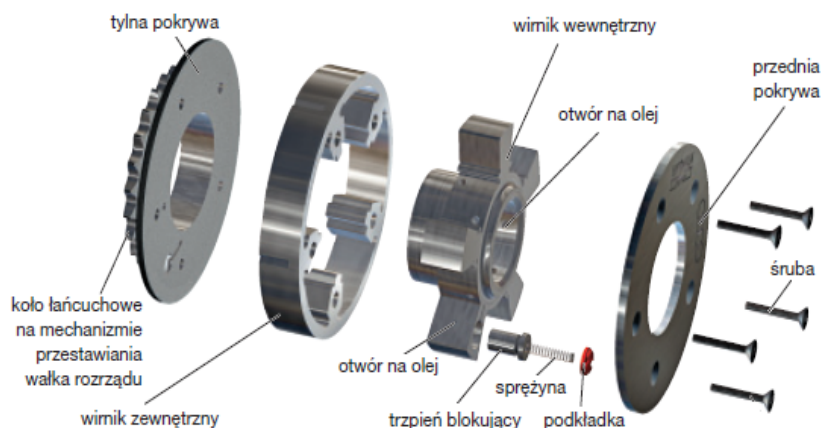
Rys. 4. Budowa układu odprowadzania i redukcji spalin [5]



Rys. 5. Układ recyrkulacji spalin w silniku FSI [5]

6. ZMIENNE FAZY ROZRZĄDU

Mechanizm przestawiania dolotowego wałka rozrządu (rys. 6) jest zamontowany na wałku wylotowym i przez łańcuch napędowy jest sprzężony z wałkiem dolotowym. Dzięki mechanizmowi możliwe jest przestawienie jednego wałka względem drugiego o 21 stopni. Wartość kąta przestawienia jest dobierana przez sterownik z zaprogramowanej charakterystyki na podstawie prędkości obrotowej, obciążenia i temperatury silnika. Wirnik wewnętrzny jest na stałe połączony z wałkiem, natomiast do wirnika zewnętrznego przykręcone są przednia i tylna pokrywa przestawiacza. Na pokrywie tylnej umieszczone jest koło łańcuchowe. Obrót jednego wirnika względem drugiego jest przenoszony przez łańcuch na wałek dolotowy. Przestawienie pozycji wirników między sobą możliwe jest przez regulację ilości oleju między łopatkami wirników, za pomocą modułu zasilania w olej [6].



Rys. 6. Budowa mechanizmu przestawiania wałka rozrządu [5]

7. STEROWANIE SYSTEMEM WTRYSKU FSI

Głównym sterownikiem silnika jest układ Motronic MED 9.5.10 firmy Bosch. Jego zadaniem jest kierowanie pracą silnika odpowiednio do jego aktualnego stanu pracy, zależnego przede wszystkim od prędkości obrotowej i obciążenia. Żeby obliczyć obciążenie, sterownik musi otrzymać sygnały z czujników [2]:

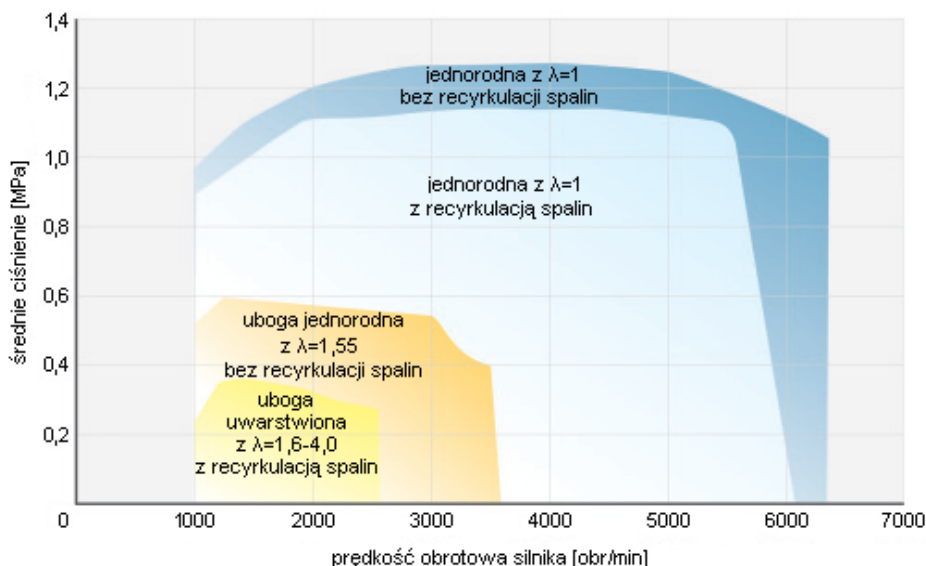
- a) I i II temperatury powietrza zasysanego,
- b) ciśnienia atmosferycznego i ciśnienia w kolektorze dolotowym,

- c) prędkości obrotowej i położenia wału korbowego,
- d) I i II położenia pedału przyspieszenia,
- e) położenia klap dodatkowej przepustnicy w kolektorze dolotowym.

Spalanie sterowane strumieniem paliwa może odbywać się na dwóch rodzajach mieszanek: jednorodnej i uwarstwionej. Po obliczeniu obciążenia sterownik wybiera, jaki rodzaj mieszanki jest najlepszy. Podczas pracy na mieszance uwarstwionej współczynnik $\lambda = 1,6\div 4,0$; czyli w mieszance występuje duży nadmiar powietrza. Gdy prędkość obrotowa wzrasta, czas na powstanie mieszanki gwałtownie maleje i nie może wytworzyć się mieszanka łatwo zapalna. W tym momencie sterownik silnika zaczyna wzbogacać powstającą mieszankę, aż do przejścia na całkowicie jednorodną ($\lambda = 1$).

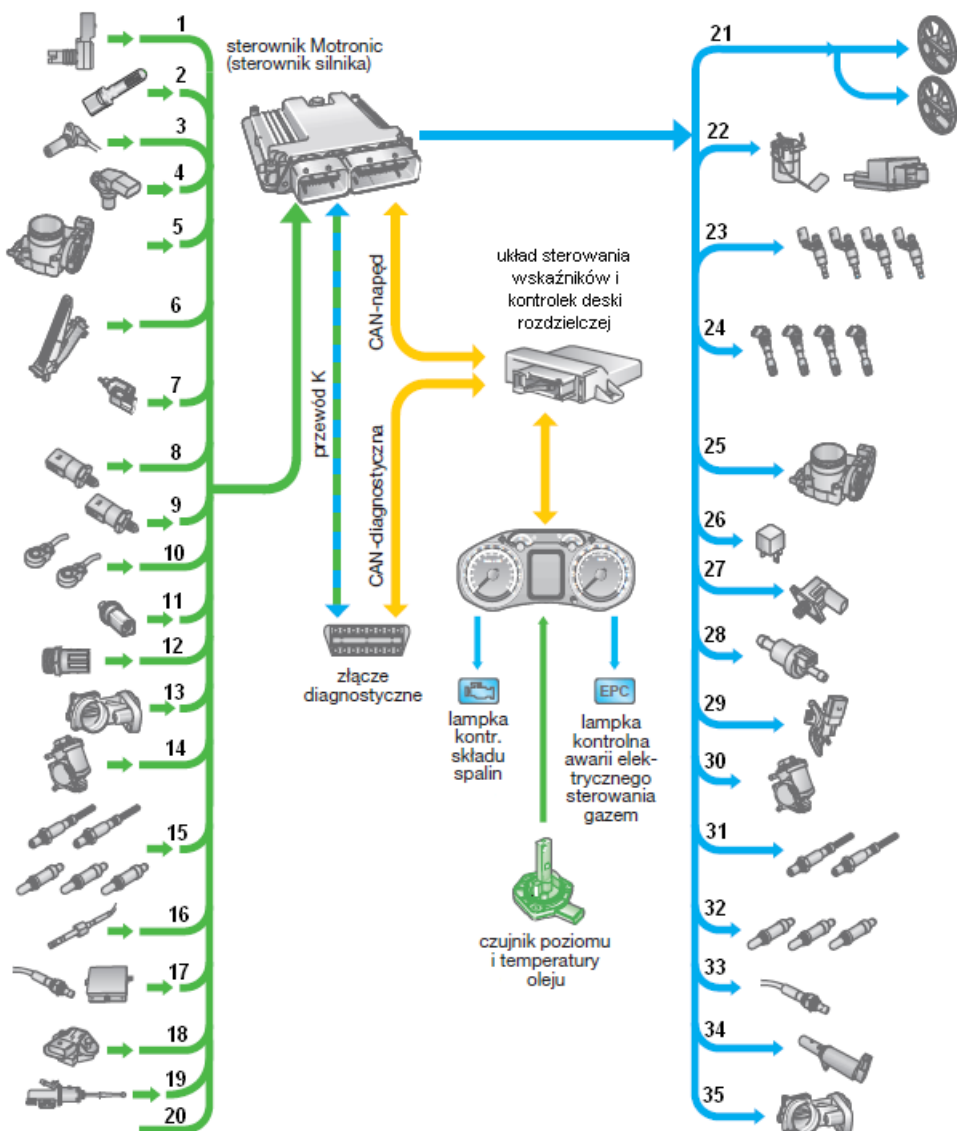
W czasie jazdy występują cztery główne rodzaje pracy (rys. 7) [6]:

- a) z ubogą mieszanką uwarstwowioną z $\lambda = 1,6\div 4,0$, z recyrkulacją spalin,
- b) z ubogą mieszanką jednorodną z $\lambda = 1,55$, bez recyrkulacji spalin,
- c) z mieszanką jednorodną stechiometryczną z $\lambda = 1$, z recyrkulacją spalin,
- d) z mieszanką jednorodną stechiometryczną z $\lambda = 1$, bez recyrkulacji spalin.



Rys. 7. Główne zakresy pracy silnika FSI [5]

Schemat układu sterowania silnika FSI przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Schemat układu sterowania w silniku FSI [5]:

1 – czujnik ciśnienia i temperatury powietrza; 2 – czujnik 2 temperatury powietrza; 3 – czujnik prędkości obrotowej; 4 – czujnik Halla; 5 – czujniki zespołu przepustnicy; 6 – czujniki pedału przyspieszenia; 7 – włącznik pedału hamulca; 8, 9 – czujniki ciśnienia paliwa; 10 – czujniki spalania stukowego; 11 – czujnik temperatury silnika; 12 – czujnik temperatury cieczy chłodzącej; 13 – potencjometr klap kolektora dolotowego; 14 – potencjometr recykulacji spalin; 15 – sondy lambda 1, 2 i 1, 2, 3 za reaktorem katalitycznym; 16 – czujnik temperatury spalin; 17 – sterownik i czujnik stężenia tlenków azotu; 18 – czujnik ciśnienia wspomaganie hamulców; 19 – czujnik położenia sprzęgła; 20 – sygnały dodatkowe; 21 – sterownik i włączniki wentylatorów; 22 – sterownik i pompa paliwa; 23 – wtryskiwacze 1, 2, 3, 4; 24 – cewki zapłonowe 1, 2, 3, 4; 25 – zespół sterujący przepustnicy; 26 – przekaźnik układu sterowania silnika; 27 – regulator ciśnienia paliwa; 28 – elektrozawór odpowietrzania zbiornika paliwa; 29 – elektrozawór klap kolektora dolotowego; 30 – zawór recykulacji spalin; 31, 32 – ogrzewanie sond lambda 1, 2 i 1, 2, 3 za reaktorem katalitycznym; 33 – ogrzewanie czujnika stężenia tlenków azotu; 34 – zawór przestawiania wałka rozrządu; 35 – silnik klap kolektora dolotowego

8. BADANIA I ANALIZA OSIĄGÓW SILNIKA FSI

W celu sprawdzenia wydajności silnika 2.0 FSI, zostały na nim wykonane badania w zakresie mocy użytkowej, momentu obrotowego, emisji zanieczyszczeń oraz zużycia paliwa. Jednocześnie dla uzyskania obiektywnego porównania przebadano także silnik pośredniego wtrysku benzyny 2.0 MPI. Obydwa omawiane silniki były zamontowane w modelu Volkswagen Passat o nadwoziu typu sedan [1].

Wszystkie badania przeprowadzone zostały zgodnie z Europejską Dyrektywą 98/69/WE, na hamowni podwoziowej należącej do jednej z poznańskich stacji diagnostycznych.

Pierwszą część przeprowadzanych badań stanowił test jezdny NEDC. Pozwolił on wyznaczyć ilość emitowanych zanieczyszczeń oraz zużycie paliwa (tab. 1). Test NEDC jest symulacją jazdy samochodem w mieście i poza miastem. Przed testem badany pojazd nie powinien pracować przez przynajmniej 6 godzin. Po uruchomieniu pojazdu test się natychmiast rozpoczyna i włączane są urządzenia pomiarowe.

Pierwszą częścią nazywaną UDC (*Urban Driving Cycle*) jest symulacja jazdy po mieście. Stanowią ją cztery identyczne cykle, trwające po 195 sekund i przeprowadzane bez przerwy czasowej między nimi. Omawiana część badania charakteryzuje się częstymi przyspieszeniami, hamowaniami oraz postojami. Łącznie samochód pokonuje nieco ponad 4 km w 780 s, a maksymalna prędkość wynosi 50 km/h. Zaraz po cyklu miejskim przeprowadzana jest część pozamiejska zwana EUDC (*Extra Urban Drive Cycle*). Tutaj już maksymalna prędkość pojazdu wynosi 120 km/h. Pokonywany jest dystans blisko 7 km, w czasie 400 s. Łącznie w całym teście NEDC, który trwa 19 minut i 40 sekund, przejechane zostaje 11,007 km [3].

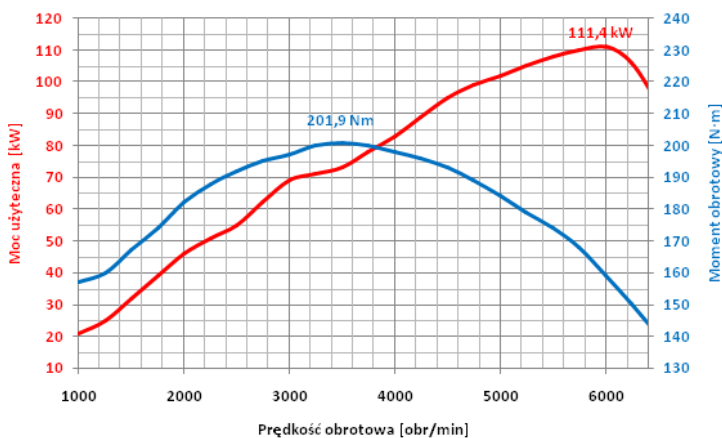
W czasie trwania testu, odpowiednio przygotowane spaliny, pobierane były do tzw. worka pomiarowego. Przygotowanie spalin polegało na schłodzeniu i wymieszaniu ich z pewną ilością powietrza oraz uzyskaniu odpowiedniego ciśnienia i temperatury. Analityzatory spalin (CO₂, CO, HC i NO_x) dokonywały co sekundę pomiarów chwilowych toksyczności spalin zawartych w worku pomiarowym i zapisywały je jako wartości zmodulowane odpowiednio do obciążenia silnika. Ostatecznie wartości chwilowe pomiarów zostały zsumowane, dając pełny wynik pomiaru w teście NEDC.

Drugą część badań stanowiło wyznaczenie charakterystyk prędkościowych silników o wtrysku bezpośrednim (rys. 9) oraz pośrednim (rys. 10) wraz z wyznaczeniem maksymalnej mocy użytecznej i maksymalnego momentu obrotowego. Charakterystyki zostały wyznaczone zgodnie z Dyrektywą 98/69/WE.

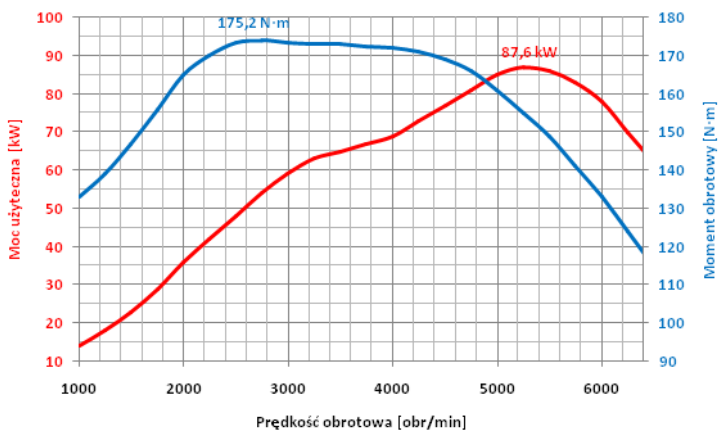
TABELA 1

Zestawienie wyników przeprowadzonych testów

Parametry		Wyniki badań		Dane producenta	
		2.0 FSI	2.0 MPI	2.0 FSI	2.0 MPI
Moc użyteczna [kW]		125 (6200)	113 (6200)	110 (6000)	85 (5200)
Moment [N·m]		207 (3300)	184 (3700)	200 (3500)	172 (2600)
Zużycie paliwa wg testu NEDC	Miasto [dm ³ /100 km]	11,1	13,0	11,3	12,9
	Trasa [dm ³ /100 km]	6,9	7,5	6,4	7,5
	Średnio [dm ³ /100 km]	8,4	10,0	8,2	9,5
Emisja drogowa spalin wg testu NEDC	CO ₂ [g/km]	202	241	197	228
	CO [g/km]	0,276	0,528	< 2,3	< 2,3
	HC [g/km]	0,185	0,176	< 0,2	< 0,2
	NO _x [g/km]	0,092	0,065	< 0,15	< 0,15



Rys. 9. Charakterystyka prędkościowa silnika VW Passat 2.0 FSI



Rys. 10. Charakterystyka prędkościowa silnika VW Passat 2.0 MPI

Przed pomiarem w pojeździe rozgrzano silnik. Następnie wprowadzono go na rolki pomiarowe hamowni i odpowiednio zabezpieczono. Dalsze przygotowanie do pomiaru polegało na wyznaczeniu przekładni skrzyni biegów oraz przekładni głównej biegu, na którym wykonywany był pomiar (w tym przypadku biegu czwartego). Następnie sprawdzany był promień dynamiczny kół samochodu. Wyznaczone dane zostały wprowadzone do programu hamowni podwozowej i pomiary można było rozpocząć.

Pojazd został rozpędzony do maksymalnej prędkości obrotowej. W tym momencie została pomierzona moc użyteczna i moment obrotowy przekazany na koła samochodu. Następnie rozłączone zostało sprzęgło i samochód swobodnie zaczął wytracać prędkość, aż do całkowitego zatrzymania. W tym czasie zmierzono moc użyteczną i moment strat układu napędowego. Ostatecznie osiągi samego silnika są sumą wcześniej zmierzonych wielkości. Cały pomiar trwał dość krótko, około 1 minuty rozpędzania oraz około 5 minut swobodnego toczenia, aż do zatrzymania pojazdu [3].

Przeprowadzone testy pozwalają dokonać analizy na dwa różne sposoby. Po pierwsze można porównać wyniki z danymi producenta. W tym wypadku wyraźnie widać podobieństwo (tab. 1). Charakterystyki mocy użytkowej i momentu obrotowego silnika w zależności od prędkości obrotowej wyznaczone na hamowni podwozowej odzwierciedlają wykresy publikowane przez koncern Volkswagen Group. Niewielkie różnice między wynikami badań a danymi producenta należy wytłumaczyć przede wszystkim niejednakowym stanowiskiem pomiarowym oraz tym, że badane samochody miały już pewien niezerowy przebieg (około 150 tys. km) – zużycie lub starzenie się materiałów.

W drugim przypadku dokonano porównania dwóch rodzajów silników: o bezpośrednim oraz pośrednim wtrysku benzyny. Z analizy wyraźnie wynika, że silnik o pośrednim wtrysku benzyny ustępuje parametrami silnikowi o wtrysku bezpośrednim. Moc użyteczna oraz moment obrotowy są znacznie większe dla silnika 2.0 FSI.

Zużycie paliwa w niektórych przypadkach nieznacznie odbiega od danych producenta dla samochodu z silnikiem o wtrysku zarówno pośrednim, jak i bezpośrednim. Jednak nawet przy odstępstwach od danych fabrycznych, silnik 2.0 FSI zużywa średnio o 1,3 dm³/100 km benzyny mniej niż silnik 2.0 MPI.

Emisja zanieczyszczeń w przypadku tlenków azotu jest mniejsza dla silnika o wtrysku pośrednim. Emisja węglowodorów i dwutlenku węgla są porównywalne dla obu silników. Natomiast na uwagę zasługuje dwukrotne zmniejszenie emisji tlenku węgla w silniku 2.0 FSI w porównaniu do 2.0 MPI.

9. PODSUMOWANIE

Analiza otrzymanych charakterystyk mocy użytecznej i momentu obrotowego prowadzi do jednoznacznego stwierdzenia, że korzystniejsze charakterystyki uzyskuje silnik z systemem bezpośredniego wtrysku benzyny. Samochody wyposażone w tego typu silniki, charakteryzują się zwiększoną dynamiką i elastycznością, pozytywnie wpływając na komfort jazdy.

Przeprowadzone badania i ich analiza porównawcza wykazała wyższość systemów bezpośredniego wtrysku benzyny nad układami wtrysku pośredniego. Niniejsza praca dowiodła, że możliwe jest uzyskanie większej mocy użytecznej i momentu obrotowego silnika, przy względnie mniejszym zużyciu paliwa oraz przy mniejszej emisji tlenu węgla do atmosfery.

Silniki z bezpośrednim wtryskiem benzyny stają się obecnie coraz bardziej popularne. Coraz więcej koncernów samochodowych zaczyna stosować tego typu silniki w swoich pojazdach. Przedstawione zalety systemów bezpośredniego wtrysku benzyny wskazują, że mogą one zastąpić układy wtrysku pośredniego i stać się poważnym konkurentem dla silników o zapłonie samoczynnym, pod względem zużycia paliwa i emisji spalin [1].

LITERATURA

1. Auto Moto Serwis (3/2007). Magazyn motoryzacyjny.
2. Bosch Team: Informatory techniczne Bosch. Sterowanie silników ZI. Zasada działania. Podzespoły. WKiŁ, Warszawa 2008.
3. Dyrektywa 98/69/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 13 października 1998 r.
4. Herner A., Riehl H.J.: Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych. WKiŁ, Warszawa 2002.
5. Materiały szkoleniowe firmy Volkswagen: Budowa i działanie silnika 2.0 FSI.
6. Putz Ł.: Praca dyplomowa magisterska. Samochodowe systemy bezpośredniego wtrysku benzyny. Politechnika Poznańska, Poznań 2009.

FSI – ELECTRONIC CONTROL OF GASOLINE DIRECT INJECTION SYSTEM

Dorota TYPAŃSKA
Łukasz PUTZ

ABSTRACT *In this article is presented a detailed analysis of FSI (Fuel stratified injection) gasoline direct injection system used in the Volkswagen Group cars. In the paper are also presented characteristic elements of the construction with a description of their impact on the operation such a type of engine. Next are presented results of research like engine power, torque, exhaust emissions and fuel consumption, carried out on the VW Passat 2.0 FSI and compared with test results in the indirect injection equivalent – VW Passat 2.0 MPI.*

Keywords: *electronic engine control, FSI, fuel direct injection, gasoline engine, homogeneous mixture, stratified mixture*



Mgr inż. Dorota TYPAŃSKA – asystent w Instytucie Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej. Ukończyła studia inżynierskie na kierunku Automatyka i Zarządzanie na Wydziale Informatyki Politechniki Poznańskiej oraz studia magisterskie na kierunku Elektrotechnika na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej. Od października 2011 roku podjęła studia doktoranckie Nowoczesna Inżynieria Elektryczna i Informatyczna. Dotychczasowy dorobek naukowy to dwa artykuły dotyczące badania wydajności energetycznej oświetlenia wewnątrz obiektów sportowych i biurowych.

Mgr inż. Łukasz PUTZ – absolwent jednolitych studiów magisterskich na kierunku Elektrotechnika na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej. Specjalność: Układy Elektryczne i Informatyczne w Przemysle i Pojazdach. Pracę dyplomową obronił w czerwcu 2009 r.; uzyskała ona wyróżnienie w konkursie Stowarzyszenia Elektryków Polskich na najlepszą pracę magisterską. Od października 2009 r. asystent na Wydziale Elektrycznym Politechniki Poznańskiej oraz student studiów doktoranckich Nowoczesna Inżynieria Elektryczna i Informatyczna. Dotychczasowy dorobek naukowy obejmuje 22 publikacje, większość o tematyce wyższych harmonicznych generowanych przez elektroluminescencyjne źródła światła.



