

Kazimierz LEJDA\*

## Systemy wtryskowe szybkoobrotowych silników wysokoprężnych i tendencje ich dalszego rozwoju

*Aktualny rozwój motoryzacji jest uwarunkowany minimalizacją negatywnych skutków w odniesieniu do otaczającego środowiska. Wynika to nie tylko z ograniczeń odnośnie limitów zwizków szkodliwych w spalinach wprowadzanych przez kolejne normy, ale również gwarantuje sukces rynkowy danego pojazdu. Przeprowadzone badania preferencji klientów salonów motoryzacyjnych w krajach UE potwierdziły, że przy kupnie samochodu osobowego kierują się głównie bezpieczeństwem ekologicznym oraz bezpieczeństwem użytkownika w warunkach ruchu drogowego. Dopiero dalsze miejsca zajmują takie kryteria, jak osiągi i trwałość, które dotychczas były dominujące.*

*Analiza kierunków rozwoju tłokowych silników spalinowych wskazuje wyraźnie, że dominującą konstrukcją staje się silnik o zapłonie samoczynnym, z bezpośrednim wtryskiem paliwa i doładowany turbosprężarką o regulowanej geometrii. Silniki te wykazują dobre wskaźniki pracy, znaczne wartości sprawności ogólnej oraz właściwości ekologiczne korzystniejsze niż silniki o zapłonie iskrowym.*

*Uzyskanie pożądanych wskaźników eksploatacyjnych przez silnik wysokoprężny w dużym stopniu zależy od zastosowanych w tych silnikach systemów wtryskowych. Treścią artykułu są charakterystyki układów wtryskowych montowanych do współczesnych szybkoobrotowych silników o zapłonie samoczynnym, stanowiących jednostki napędowe samochodów osobowych. Opisano układy sterowane elektronicznie z pompami rozdzielaczowymi, z indywidualnymi zespołami wtryskowymi oraz z zasobnikiem ciśnienia. Określono ponadto wymagania stawiane systemom wtryskowym.*

*Słowa kluczowe: szybkoobrotowy silnik wysokoprężny, systemy wtryskowe, wtryskiwacz, pompa wtryskowa, elektroniczne sterowanie*

### Injection systems of high-speed diesel engines and development trends

*Current development of automotive industry is conditioned by the minimization of negative effects in relation to the environment. It results from the restrictions regarding exhaust emission limits which are introduced by the consecutive standards but it also guarantees market success of a given vehicle. Research carried out regarding customer preferences in UE countries have confirmed that during the purchase of a car they make decisions based on vehicle's ecological properties and the safety of use in road conditions. Next such criteria follow as performance and durability which has so far been dominant.*

*The analysis of the development trends of internal combustion engines clearly shows that the dominant engines are direct injection compression-ignition VGT engines. These engines have better work indices, significant values of total efficiency and most favorable ecological properties as opposed to spark-ignition engine.*

*The obtainment of desirable utilization indices by diesel engine depends to a high degree from the injection systems applied in these engines. In the article characteristics of injection systems which are fitted in modern high-speed diesel engines as prime vehicle drive unit have been discussed. Systems with distributor injection pumps, with individual injection units and with pressure accumulators have too been presented. The requirements from injection systems have been qualified herein.*

*Key words: high-speed diesel engine, injection systems, injector, injection pump, electronic control*

### 1. Wstęp

W ostatnich latach sukcesywnie następuje wyraźny postęp w rozwoju konstrukcji i sposobie sterowania układów wtryskowych silników wysokoprężnych przeznaczonych do pojazdów użytkowych. Stymulacja tego postępu, jak to niejednokrotnie bywa w przypadku urządzeń technicznych, jest wymuszona przez normy legislacyjne i rynek. W przypadku silników wysokoprężnych są to uregulowania prawne dotyczące poziomu emisji substancji toksycznych, widma hałasu i aspektów recyklingu. Z drugiej strony, użytkownicy pojazdów oczekują dalszej minimalizacji kosztów eksploatacji, wyrażonej głównie zmniejszeniem zużycia paliwa, przy zachowaniu odpowiednio wysokich właściwości dynamicznych samochodu.

### 1. Introduction

The recent years see the gradual and conspicuous progress in the development of structures and methods of control of injection systems in high-speed diesel engines designed for heavy duty vehicles. The stimulation of such progress is forced by the legislative norms and the market, as it often happens to technical equipment. In case of high-speed diesel engines these are the law regulations concerning the emission levels, noise spectrum and recycling aspects. On the other hand, the vehicle users expect the further minimization of operating costs, expressed mainly by the reduction of fuel consumption, maintaining the vehicle's dynamic properties at the same time.

Wymienione okoliczności spowodowały znaczne przyspieszenie prac badawczych i rozwojowych odnośnie silników wysokoprężnych. Poprawa parametrów ekologicznych i użytkowych jest zdeterminowana przebiegiem procesu tworzenia i spalania mieszanki paliwowo-powietrznej. Na proces tworzenia odpowiedniej makro- i mikrostruktury mieszanki decydujący wpływ posiada system wtrysku paliwa, stąd też postęp w tym zakresie jest najbardziej widoczny.

## 2. Wymagania odnośnie systemów wtryskowych

Działanie tłokowego silnika spalinowego polega na zamianie energii chemicznej zawartej w dostarczonym do komory spalania paliwie na pracę mechaniczną, która jest odbierana na wale korbowym w postaci momentu obrotowego. Aby mógł być zrealizowany proces przemiany chemicznej na pracę mechaniczną w silniku wysokoprężnym, należy:

- dostarczyć do przestrzeni nadłokowej powietrze,
- zapewnić odpowiednie sprężenie powietrza, aby uzyskać temperaturę przewyższającą temperaturę samozapłonu par paliwa,
- dostarczyć do komory spalania paliwo w odpowiedniej ilości, stosownie do obciążenia silnika,
- przygotować właściwą strukturę mieszanki paliwowo-powietrznej,
- spowodować samozapłon mieszanki,
- przetworzyć uzyskane w wyniku spalania ciśnienie gazów spalinowych na pracę mechaniczną.

Dostarczenie paliwa w odpowiedniej postaci oraz jego penetrację i rozmieszczenie w przestrzeni komory spalania należy do systemu wtryskowego. Warunkuje on bezpośrednio jakość przygotowanej mieszanki i przebieg procesu spalania, co z kolei przekłada się na parametry użytkowe, ekologiczne i ekonomiczne pracy silnika. Spośród wielu czynników wpływających na jakość przygotowania mieszanki palnej i właściwe spalanie, które są bezpośrednio uzależnione od systemów wtryskowych, można wymienić [2, 8, 9]:

- ciśnienie i prędkość wtryskiwanego paliwa,
- początek, czas trwania i koniec wtrysku,
- charakterystyki procesu wtrysku i przebiegu wtrysku,
- wielkość jednorazowej dawki paliwa,
- usytuowanie strumienia wtryskiwanego paliwa w komorze spalania.

Znaczenie tych czynników jest różne i związane głównie z systemem wtrysku (wtrysk pośredni lub bezpośredni), rodzajem komory spalania (wstępna, wirowa, zasobnikowa, toroidalna, kulista, systemu M) oraz wymaganiami dotyczącymi konkretnego typu silnika.

Optymalizacja silników wysokoprężnych wymaga doboru parametrów systemów wtryskowych do zmieniających się w czasie rzeczywistym różnych obciążeń i prędkości obrotowych, które są nieodłącznie związane z pracą silników trakcyjnych. Zrealizowanie tego zadania wymaga precyzyjnego sterowania parametrami procesu i przebiegu wtrysku.

Do podstawowych wymagań stawianych systemom wtryskowym, które muszą być zgodne z aktualnie obowiązującymi przepisami normalizacyjnymi i homologacyjnymi od-

The said circumstances caused significant acceleration of research and development work related to high-speed diesel engines. The improved environmental and operating parameters are determined by the process of formation and combustion of the fuel-air mixture. The process of creating the proper macro- and microstructure of the mixture is significantly affected by the fuel injection system, therefore the progress in this field is most conspicuous.

## 2. Requirements towards high-speed diesel engine injection systems

The operation of the piston combustion engine consists in the transformation of the chemical energy contained in the fuel supplied to the combustion chamber into the mechanical work received as the torque on the crankshaft. In order to perform the chemical transformation into the mechanical work in a high-speed diesel engine, one should:

- supply air to the combustion chamber,
- provide appropriate air-compression, in order to obtain temperature exceeding the fuel vapor self-ignition temperature,
- supply appropriate amount of fuel to the combustion chamber, correspondingly to the engine load,
- prepare appropriate structure of the fuel-air mixture,
- induce self-ignition of the mixture,
- transform the combustion gas pressure obtained as a result of combustion into mechanical work.

The supply of fuel in an appropriate form and its penetration and distribution inside the combustion chamber are included in the injection system. It directly conditions the quality of the mixture prepared and the course of the combustion process, which in turn translates into operating, environmental parameters as well as the engine operation economy. Out of the numerous factors influencing the quality of the combustible mixture preparation and the proper combustion that are directly dependent on the injection systems, the following can be enumerated [2, 8, 9]:

- pressure and speed of the fuel injected,
- beginning, duration and end of injection,
- injection process and course characteristics,
- size of a single fuel dose,
- location of the fuel injected spray in the combustion chamber.

The significance of the factors varies and is mainly related to the injection system (indirect or direct injection), type of combustion chamber (preliminary, rotary, storage, toroidal, spherical, M system) and requirements related to a specific engine type.

The optimization of the high-speed diesel engines requires the matching of the injection system parameters to the loads and engine speeds, inherently related to the operation of traction engines and varying in real time. The accomplishment of this task requires precise control over the injection process and the parameters of its course.

The basic requirements made towards the injection systems, that are to comply with the currently applicable standardization and homologation regulations concerning the

nośnie czystości spalin i hałaśliwości pracy oraz oczekiwanym zmniejszeniem zużycia paliwa, możemy zaliczyć [2, 9]:

- możliwość sterowania procesem wtrysku w zależności od obciążenia, prędkości obrotowej i temperatury silnika,
- możliwość adaptacyjnej zmiany dawki paliwa (przebiegu wtrysku) w zależności od obciążenia, prędkości obrotowej i temperatury silnika oraz ciśnienia powietrza dolotowego,
- zapewnienie optymalnych prędkości otwierania i zamykania iglicy rozpylacza oraz wartości wzniosu iglicy dla zmieniających się dynamicznie warunków pracy silnika,
- możliwość wytworzenia odpowiednio wysokich ciśnień wtrysku dostosowanych indywidualnie do aktualnych warunków pracy silnika,
- zapewnienie precyzyjnej powtarzalności dawki paliwa w poszczególnych cylindrach oraz w kolejnych cyklach pracy stosowanie do aktualnego obciążenia, prędkości obrotowej i stanu cieplnego silnika,
- możliwość aplikacji do różnych typów silników wynikających z konkretnych zastosowań (samochody osobowe, ciężarowe, pojazdy szynowe, urządzenia stacjonarne itp.).

Aby spełnić wymagania współczesnych silników wysokoprężnych systemy wtryskowe muszą być sterowane elektronicznie. Hydromechaniczne układy wtrysku paliwa, pomimo zaawansowanych konstrukcyjnie i technologicznie rozwiązań, tylko w ograniczonym zakresie umożliwiają spełnienie wymagań oczekiwanych przez producentów i użytkowników silników wysokoprężnych.

### 3. Charakterystyka współczesnych systemów wtryskowych

Rozwój silników wysokoprężnych obecnie, w tym silników szybkoobrotowych, zmierza w kierunku wtrysku bezpośredniego i układów wysokociśnieniowych, gdzie ciśnienia wtrysku przekraczają znacznie wartości 100 MPa. Tradycyjne rzędowe pompy wtryskowe, sterowane hydraulicznie, nie są w stanie spełnić aktualnych wymagań oczeki-

purty of exhaust and noise of operation as well as the reduced fuel consumption, may include [2, 9]:

- the possibility of controlling the injection process depending on the load, engine speed and engine temperature,
- the possibility of adaptive change of fuel dose (injection course) depending on the load, engine speed and engine temperature,
- providing the optimum speeds of opening and closing of the spray needle and the needle lift values for the dynamically changing operating conditions of the engine,
- possibility of creating appropriately high pressures of injection adapted individually to the current operating conditions of the engine,
- providing the precise repeatability of the fuel dose in the particular cylinders and in the subsequent operating cycles, according to the current load, engine speed and thermal condition of the engine,
- the possibility of application to various types of engines resulting from specific applications (passenger cars, trucks, railed vehicles, stationary equipment, etc...).

In order to fulfill the requirements of the modern high-speed diesel engines, the injection systems must be electronically controlled. The hydro-mechanical fuel injection systems, despite high-tech structural and technological solutions, enable the compliance of the requirements expected by the manufacturers and users of high-speed diesel engines only to a limited extent.

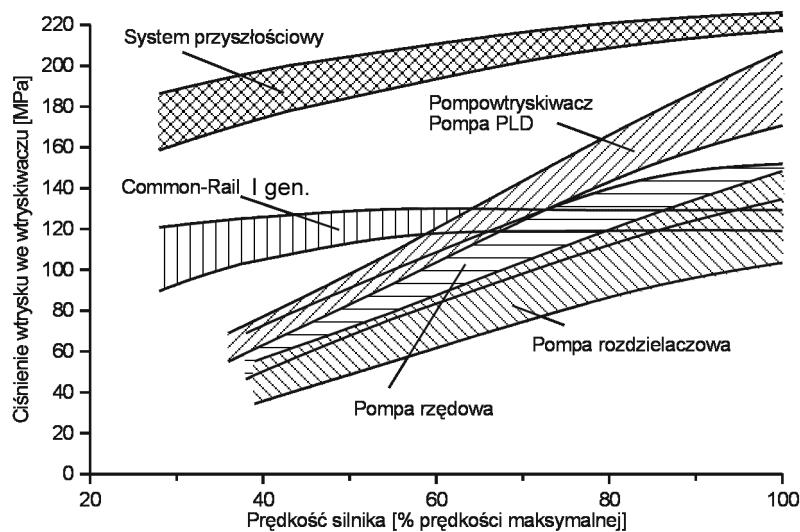
### 3. Contemporary injection system characteristics

The development of diesel engines, including the high-speed diesel engines, tends to direct injection and high-pressure systems, where the injection pressures significantly exceed 100 MPa. The traditional in-line injection pumps, hydraulically controlled cannot meet the requirements expected of high-speed diesel engines. This refers both to the injection pressures and dosing repeatability. Fig. 1 presents the possibility of obtaining the appropriate injection pressures through various injection systems, both of the older and the latest generation [6].

The high-speed diesel engines now produced by automotive manufacturers are fitted with the following injection systems (Fig. 2):

- systems with distributor injection pump (axial or radial),
- systems with individual injection units (in the form of pump injectors or unit pump systems),
- accumulation systems (with pressure accumulator).

The systems with distributor pump are used in two pump variants: axial and radial. The fuel pressure is created therein by a single pumping section. In the axial variant, there is one piston-distributor located centrally that makes the plane-reflexive and rotating movements. The injection pressures obtained in the present solutions reach the order of



Rys. 1. Ciśnienia wtrysku generowane przez różne systemy wtryskowe  
Fig. 1. Injection pressures generated by different injection systems

wanych od silników szybkoobrotowych. Dotyczy to zarówno generowanych ciśnień wtrysku, jak i powtarzalności dawkowania. Na rysunku 1 przedstawiono możliwości uzyskiwania odpowiednich ciśnień wtrysku przez różne systemy wtryskowe, zarówno starszej, jak i najnowszej generacji [6].

Szybkoobrotowe silniki wysokoprężne produkowane obecnie przez koncerny motoryzacyjne są wyposażone w następujące systemy wtryskowe (rys. 2):

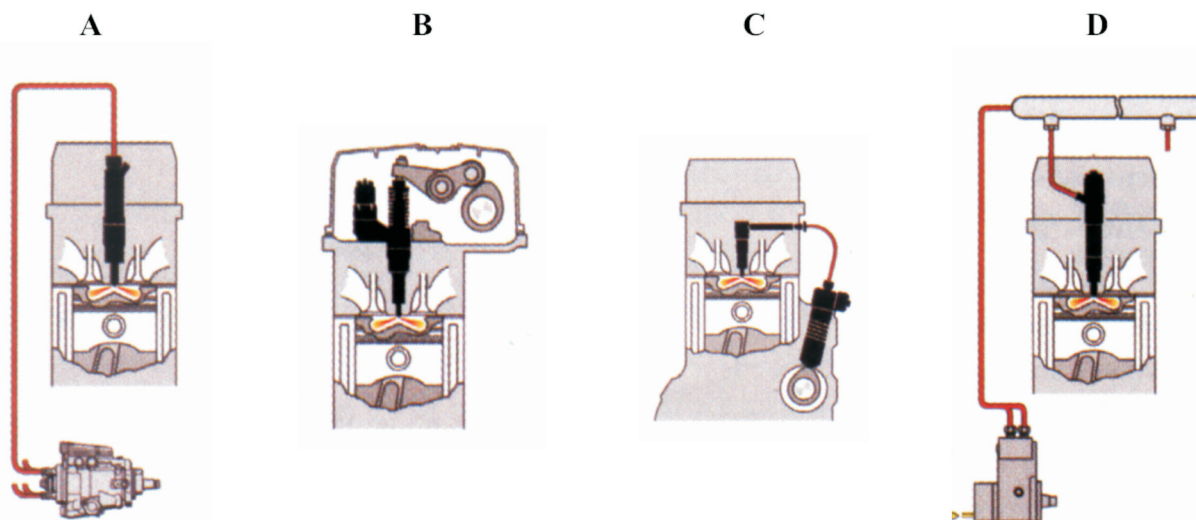
- układy z rozdzielaczową pompą wtryskową (osiową lub promieniową),
- układy z indywidualnymi zespołami wtryskowymi (w postaci pompowtryskiwaczy lub jednocylindrowych pomp wtryskowych),
- układy zasobnikowe<sup>1)</sup> (z zasobnikiem ciśnienia).

**Układy z pompą rozdzielaczową** są stosowane w dwóch odmianach pompy: osiowej i promieniowej. Ciśnienie paliwa

140-160 MPa. The radial variant characterizes with backward moving small pistons inside the cam ring. The injection pressures obtained here reach 170-180 MPa. The injection supply system in this system consists of the distributor pump, high-pressure pipe and the injector.

The modern distributor pumps are electronically controlled by means of electrical valves. Thus the sequential injection is possible, divided into the initial (pilot) dose, main dose and secondary injection. Thanks to the initial dose, especially for the units with undivided combustion chamber, the operating noise and the  $\text{NO}_x$  content in the exhaust gases are reduced. The secondary injection phase influences the reduction of particulate emission PM.

The latest generation distributor pumps are fitted with an independent controller or are integrated with the engine's controller. The processes of generation of the pressure and



Rys. 2. Systemy wtryskowe stosowane aktualnie w szybkoobrotowych silnikach wysokoprężnych: A – układ z pompą rozdzielaczową, B – układ z indywidualnym zespołem wtryskowym (pompowtryskiwacz), C – układ z indywidualnym zespołem wtryskowym (pompa-przewód-wtryskiwacz), D – układ zasobnikowy

Fig. 2. Injection systems at the present applied to high-speed diesel engines: A – system with distributor pump, B – Unit Injector System (UIS), C – Unit Pump System (UPS), D – Common Rail System

jest w nich wytwarzane przez jedną sekcję tłoczącą. W odmianie osiowej występuje centralnie usytuowany tłok rozdzielacz, który wykonuje ruchy posuwisto-zwrotne i obrotowe. Uzyskiwane ciśnienia wtrysku w obecnych rozwiązaniach sięgają rzędu 140-160 MPa. Odmiana promieniowa charakteryzuje się przeciwbieżnie poruszającymi się tłoczkami wewnątrz pierścienia krzywkowego. Osiąga się tutaj ciśnienia wtrysku dochodzące do 170-180 MPa. Wtryskowy układ zasilania w tym systemie składa się z pompy rozdzielaczowej, przewodu wysokociśnieniowego i wtryskiwacza.

Współczesne pompy rozdzielaczowe są sterowane elektronicznie za pomocą elektrozaworów. Dzięki temu możliwy jest wtrysk sekwencyjny, z podziałem dawki na wstępną (pilotową), główną i dotrysk. Dzięki dawce wstępnej, zwłaszcza dla jednostek z niedzielną komorą spalania, uzyskuje

course of injection are mutually correlated. The engine speed of the driving unit is controlled by the regulating unit selecting the fuel dose. The electro-hydraulic injection changer matches the injection initiation to the momentary engine operation conditions (load, engine speed and coolant temperature) and weather conditions (ambient pressure and temperature). The main units of the distributor injection pump in the axial variant are shown in Fig. 3.

In the case of the systems with distributor pump, it is significant to conduct and profile (bend) high-pressure conduits that must be of absolutely equal length. This assembly requirement is the consequence of the pressure wave run in the pipe, the waves being the main source of disturbances in the injection process. One must remember that the distributor pumps are exceptionally sensitive to the diesel oil quality (including the presence of water).

**The Unit Injector Systems** are currently fitted in the high-speed diesel engines in two solutions: with the appli-

<sup>1)</sup> W literaturze spotyka się różne określenia: układy zasobnikowe, akumulatorowe (akumulacyjne) lub z j. ang. *common rail* (przyp. red.)

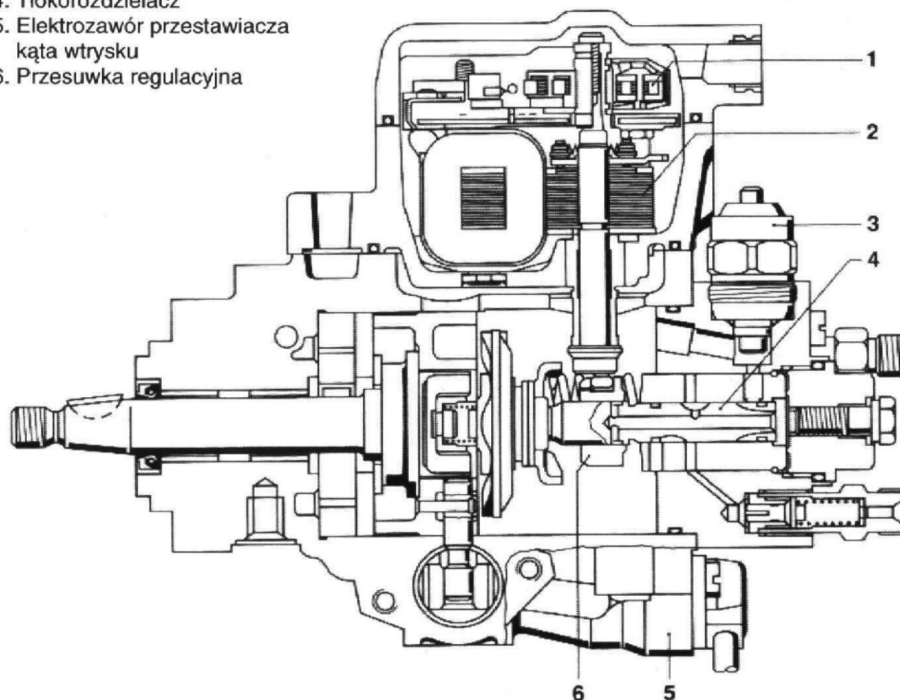


się zmniejszenie hałaśliwości pracy oraz obniżenie zawartości  $\text{NO}_x$  w spalinach. Faza dotrysku paliwa wpływa na zmniejszenie emisji cząstek stałych PM.

Pompy rozdzielaczowe najnowszej generacji posiadają niezależny sterownik lub są zintegrowane ze sterownikiem silnika. Procesy generowania ciśnienia i przebiegu wtrysku są wzajemnie skorelowane. Regulacji prędkości obrotowej

#### Rozdzielaczowa pompa wtryskowa sterowana elektronicznie

1. Czujnik położenia przesuwki
2. Nastawnik dawki paliwa
3. Elektromagnetyczny zawór odcinający
4. Tłok rozdzielacz
5. Elektrozawór przestawiacza kąta wtrysku
6. Przesuwka regulacyjna



Rys. 3. Rozdzielaczowa pompa wtryskowa typu osiowego sterowana elektronicznie

Fig. 3. Axial type distributor injection pump with electronic control

jednostki napędowej dokonuje nastawnik, dobierający dawkę paliwa. Elektrohydrauliczny przestawiacz wtrysku dopasowuje początek wtrysku do chwilowych warunków pracy silnika (obciążenia, prędkości obrotowej i temperatury cieczy chłodzącej) oraz atmosferycznych (ciśnienia i temperatury otoczenia). Główne zespoły rozdzielaczowej pompy wtryskowej w odmianie osiowej pokazano na rysunku 3.

Istotną sprawą w przypadku układów z pompą rozdzielaczową jest odpowiednie ukształtowanie przewodów wysokiego ciśnienia, które muszą być bezwzględnie równej długości. Ten wymóg montażowy wynika z charakteru przebiegu fal ciśnienia w przewodach, które stanowią główne źródło zakłóceń w procesie wtrysku. Należy pamiętać, że pompy rozdzielaczowe są wyjątkowo wrażliwe na jakość oleju napędowego (w tym na obecność wody).

Układy z indywidualnymi zespołami wtryskowymi występują obecnie w szybkoobrotowych silnikach wysokoprężnych w dwóch rozwiązaniach: z zastosowaniem pompowtryskiwaczy lub jednocylindrowych pomp wtryskowych. Podstawą tych rozwiązań było wyeliminowanie z systemu

całkowicie przewodów wysokiego ciśnienia. Podstawą dla takich rozwiązań było wyeliminowanie przewodów wysokiego ciśnienia z systemu, które deformują przebieg procesu wtrysku, wpływając na jakość mieszanki i jej spalanie.

Pompa wtryskowa jest jedną z jednostek sterujących, która stanowi kombinację układu przesyłającego (mały tłok – mały cylinder) pompy wtryskowej i rozpylacza. Każda pompa wtryskowa jest jednostką sterującą dla jednego cylindra. Istotą tego rozwiązania jest brak przewodu wysokiego ciśnienia w systemie, który służyłby do zakłócania przepływu paliwa do komór spalania, gdzie ciśnienie oscyluje, co wpływa na dozowanie i rozpylenie, co prowadzi do nieprawidłowej pracy silnika.

Pompy wtryskowe mogą być sterowane mechanicznie lub hydraulicznie, w zależności od rozwiązania. Istotą tego rozwiązania jest osiowy wał, który jest sterowany mechanicznie, gdzie tłok pompy wtryskowej jest sterowany przez wał i dźwignię (rys. 4).

Struktura tłoka jest prosta, bez sterujących krawędzi, ponieważ funkcją dozowania i inicjacji wtrysku przejął elektrozawór. Jest sterowany przez moduł sterujący (ECM - *Electronic Control Module*). Tłok ma stały przebieg i jego

przebieg zależy od kształtu wału. Ilość paliwa wtryskiwanego do cylindra zależy od czasu dostawy prądu do elektrozaworu, sterowanego przez ECM, w zależności od dawki paliwa i prędkości tłoka w cylindrze. Pompy wtryskowe z napędem mechanicznym pozwalają na osiągnięcie wyższych ciśnień w układach akumulacyjnych, dochodzących nawet do 200 MPa.

Systemy wtryskowe z napędem hydraulicznym pompy wtryskowej są wyjątkowym rozwiązaniem [5]. Są sterowane elektronicznie, natomiast przebieg tłoka w cylindrze jest sterowany przez olej silnikowy zgromadzony w akumulatorze. Schemat takiego systemu jest przedstawiony na rysunku 5. Istotą tego systemu jest obecność dwóch obwodów: oleju i paliwa. Zadaniem obwodu oleju jest doprowadzenie oleju silnikowego z miski olejowej do akumulatora i wytworzenie ciśnienia ok. 25 MPa. Ciśnienia tego rzędu są wytwarzane przez mały tłokowy pompki olejowej i wartość ciśnienia w kolektorze jest utrzymywana przez RPCV. Obwód paliwa służy do dostarczenia oleju silnikowego do rozpylaczy pompy wtryskowej. Ciśnienie w obwodzie jest ok. 0,2 MPa i jest sterowane przez zawór sterujący.

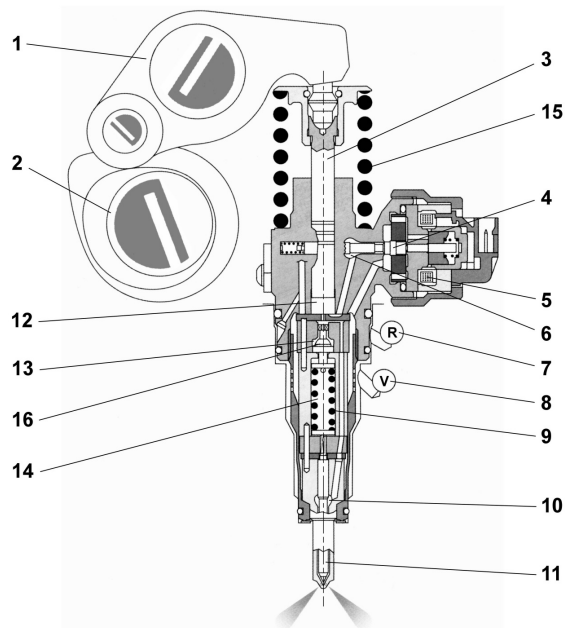
przewodów wysokociśnieniowych, które deformują przebieg procesu wtrysku, wpływając na jakość tworzenia mieszanki i jej spalanie.

Pompowtryskiwacz stanowi jeden zwarty zespół, łączący w sobie układ tłoczący (tłoczek–cylinderek) pompy wtryskowej i rozpylacz wtryskiwacza. Każdy pompowtryskiwacz jest indywidualnym zespołem dla oddzielnego cylindra. Istotą tego rozwiązania jest brak w systemie wtryskowym przewodów wysokiego ciśnienia, które zakłócają przepływ paliwa do komór spalania. Powstają tutaj bowiem wahania ciśnienia, które wpływają na rozrzuty dawkowania, co skutkuje niewłaściwą pracą silnika.

W zależności od rozwiązania, pompowtryskiwacze mogą być napędzane mechanicznie lub hydraulicznie. Przy mechanicznym napędzie występuje wałek krzywkowy umieszczony w głowicy, gdzie przez indywidualną krzywkę i dźwignię uruchamiany jest tłok pompowtryskiwacza (rys. 4).

Konstrukcja tłoka jest prosta, bez krawędzi sterujących, ponieważ funkcję sterowania wielkością dawki paliwa i początkiem wtrysku przejął zawór elektromagnetyczny. Jest on uruchamiany przez ECM (*Electronic Control Module*). Skok tłoka pompowtryskiwacza jest stały, a jego przebieg zależy od zarysu krzywki. Wielkość wtrysniętej do cylindra dawki paliwa zależy od czasu zasilania prądem zaworu elektromagnetycznego, ustalanego przez ECM w zależności od aktualnych warunków obciążenia silnika. Maksymalne ciśnienia tłoczenia dla danych warunków pracy silnika zależą od wielkości dawki paliwa oraz prędkości tłoka w cylindrze roboczym. Pompowtryskiwacze z napędem mechanicznym umożliwiają realizację wyższych ciśnień niż w systemach zasobnikowych, bo dochodzą one nawet do 200 MPa.

Oryginalnym rozwiązaniem są układy wtryskowe z pompowtryskiwaczami napędzanymi hydraulicznie [5]. Są one również sterowane elektronicznie, natomiast przesuw tłoka w cylindrze roboczym jest uruchamiany olejem silnikowym kumulowanym w zasobniku. Schemat takiego układu jest



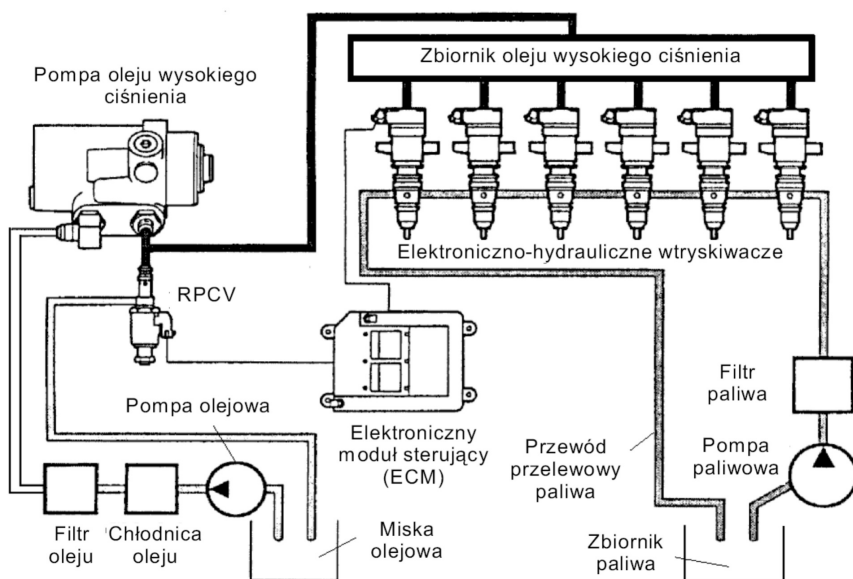
Rys. 4. Pompowtryskiwacz z napędem mechanicznym: 1 – dźwignia rolkowa, 2 – wał rozrządu, 3 – tłok pompowtryskiwacza, 4 – iglica zaworu elektromagnetycznego, 5 – elektromagnes, 6 – komora zaworu elektromagnetycznego, 7 – kanał przelewowy, 8 – kanał zasilający, 9 – sprężyna rozpylacza, 10 – komora rozpylacza, 11 – iglica rozpylacza, 12 – komora wysokiego ciśnienia, 13 – komora suwaka, 14 – komora sprężyny rozpylacza, 15 – sprężyna powrotna, 16 – suwak

Fig. 4. Injection unit with power drive: 1 – drive shaft, 2 – injection unit piston, 3 – electromagnetic valve needle, 4 – electromagnet, 5 – electromagnetic valve chamber, 6 – overflow channel, 7 – inlet channel, 8 – sprayer spring, 9 – sprayer chamber, 10 – sprayer needle, 11 – high pressure chamber, 12 – slider chamber, 13 – sprayer spring chamber, 14 – return spring, 15 – slider

The latest injection systems with hydraulically driven pump injectors allow the performance of the injection pressures within the range 160-170 MPa. The important thing is that the injection pressures do not depend on the engine speed or load (the dose amount). Another advantage is the lack of the cam shaft in the head additionally loading the engine system and complicating the valve mechanics, particularly in the multi-valve systems.

The electronic control of the electromagnetic valve in both types of the pump injectors enables the performance of the sequential injection, usually two-phase (pilot and principal dose), for the whole range of loads and engine speeds.

The individual injection unit in the form of a one-cylinder injection pump differs from the pump injector by the structural separation of the injector from the pump that generates high pressures within the range 180-200 MPa. Both units are connected by a short high-pressure pipe [1].



Rys. 5. Schemat układu wtryskowego z pompowtryskiwaczami napędzanymi hydraulicznie

Fig. 5. Scheme of injection system with hydraulic drive of injection unit

przedstawiony na rysunku 5. Występują tutaj dwa obwody cieczowe: olejowy i paliwowy. Zadaniem obwodu olejowego jest doprowadzenie oleju silnikowego z miski olejowej do zasobnika oleju i wytworzenie tam ciśnienia ok. 25 MPa. Ciśnienia tego rzędu wytwarza wysokociśnieniowa tłoczkowa pompa oleju, a stała wartość ciśnienia w kolektorze jest utrzymywana przez zawór RPCV. Obwód paliwowy służy do dostarczania oleju napędowego do rozpylaczy pompowtryskiwaczy. Ciśnienie w obwodzie wynosi ok. 0,2 MPa i jest kontrolowane przez zawór sterujący.

Najnowsze układy wtryskowe z pompowtryskiwaczami napędzanymi hydraulicznie pozwalają na realizację ciśnień wtrysku w granicach 160-170 MPa. Ważnym jest to, że ciśnienia wtrysku nie zależą od prędkości obrotowej i obciążenia silnika (wielkość dawki). Zaletą pozostaje również brak wałka krzywkowego w głowicy, który dodatkowo obciąża i komplikuje układ rozrządu silnika, szczególnie w systemach wielozaworowych.

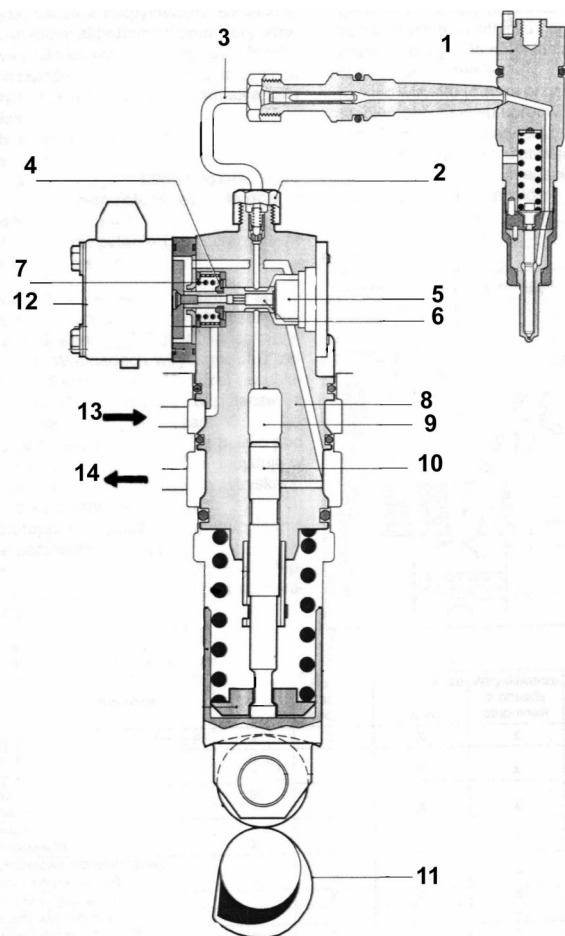
Elektroniczne sterowanie zaworem elektromagnetycznym w obu typach pompowtryskiwaczy umożliwia realizację wtrysku sekwencyjnego, zazwyczaj dwufazowego (dawka pilotowa i zasadnicza), dla całego zakresu obciążeń i prędkości obrotowych silnika.

Indywidualny zespół wtryskowy w postaci jednocylindrowej pompy wtryskowej różni się od pompowtryskiwacza konstrukcyjnym oddzieleniem wtryskiwacza od pompy, która generuje wysokie ciśnienia w granicach 180-200 MPa. Oba zespoły są połączone między sobą krótkim przewodem wysokociśnieniowym [1]. Sterowanie dawką paliwa oraz czasem trwania wtrysku odbywa się za pomocą zaworu elektromagnetycznego usytuowanego na wylocie z układu tłoczącego pompy. Budowę zespołu wtryskowego w systemie z jednocylindrową pompą wtryskową przedstawia rysunek 6.

Napełnianie pompy paliwem odbywa się wówczas, gdy tłok pompy porusza się w dół (zawór elektromagnetyczny jest otwarty). Obrót krzywki powoduje wzrost ciśnienia w przestrzeni tłoczenia nad tłokiem, a jednocześnie dopływ prądu do cewki elektromagnesu zamyka zawór elektromagnetyczny. Pod wpływem gwałtownie narastającego ciśnienia następuje, po przekroczeniu ciśnienia otwarcia, wznios iglicy rozpylacza i wtrysk paliwa. Realizacja dwufazowości wtrysku jest możliwa przez zastosowanie wtryskiwacza z dwoma sprężynami.

Najnowszej generacji rozwiązania tego systemu polegają na umieszczeniu jednocylindrowych pomp każdego cylindra we wspólnej obudowie. Znajduje się tutaj również wałek krzywkowy napędzający poszczególne tłoczki, który z uwagi na generowane w pompach wysokie ciśnienia, jest sprzęgnięty przekładnią zębatą z napędem od wału korbowego silnika.

Układy zasobnikowe charakteryzują się, w odróżnieniu od pozostałych systemów, rozdzieleniem funkcji wytwarzania ciśnienia i przebiegu wtrysku. Paliwo nie jest tutaj tłoczone do wtryskiwaczy ale do zasobnika, w którym jest kumulowane pod wysokim ciśnieniem. Wielkość wytwarzanego ciśnienia wtrysku nie zależy tutaj od chwilowej prędkości



Rys. 6. Zespół wtryskowy z jednocylindrową pompą wtryskową: 1 – wtryskiwacz, 2 – złącze gwintowe, 3 – przewód wysokiego ciśnienia, 4 – talerzyk sprężyny, 5 – zderzak, 6 – igła zaworu elektromagnetycznego, 7 – sprężyna zaworu elektromagnetycznego, 8 – korpus pompy, 9 – przestrzeń wysokiego ciśnienia, 10 – tłoczek pompy, 11 – krzywka, 12 – korpus zaworu elektromagnetycznego, 13 – obwód niskiego ciśnienia, 14 – odpływ paliwa

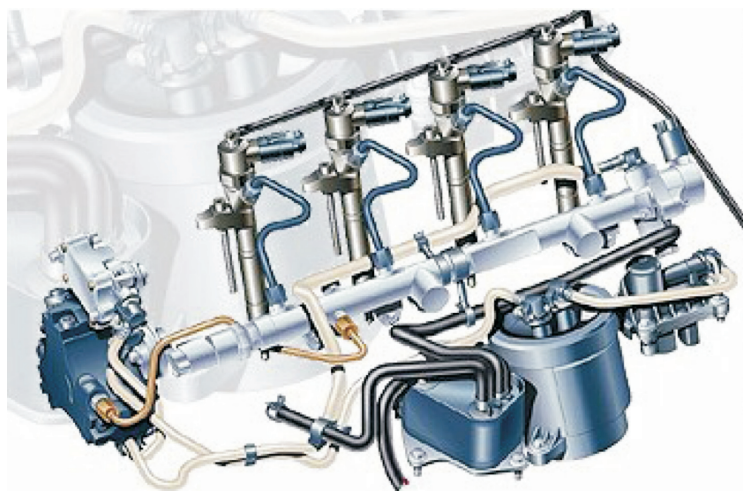
Fig. 6. Unit Pump System (UPS): 1 – injector, 2 – screwed joint, 3 – high pressure pipe, 4 – washer of spring, 5 – buffer, 6 – electromagnetic valve needle, 7 – electromagnetic valve spring, 8 – pump barrel, 9 – high pressure volume, 10 – pump plunger, 11 – cam, 12 – electromagnetic valve barrel, 13 – low pressure circuit, 14 – fuel outlet

The fuel dose and injection timing are controlled by means of the electromagnetic valve situated at the outlet from the pumping system. The structure of the injection unit in the system with a single-cylinder injection pump is presented in Fig. 6.

The pump is filled with fuel when the piston of the pump travels downwards (the electromagnetic valve is open). The cam's turn causes the growth of pressure in the space above the piston, simultaneously the current flow to the electromagnet closes the electromagnetic valve. Under the growing pressure, upon exceeding the opening pressure, the sprayer needle rises and the fuel is injected. The two-phase injection performance is possible by using a two-spring injector.

The state-of-the-art solution of the system consist in placing the single-cylinder pumps of each cylinder in a com-





Rys. 7. Układ wtryskowy typu zasobnikowego  
Fig. 7. Accumulative type injection system (Common Rail)

kości obrotowej oraz obciążenia silnika i jest utrzymywana na stałym poziomie dla wszystkich wtryskiwaczy. Układ wtryskowy typu zasobnikowego pokazano na rys. 7.

Wysokie ciśnienie w układzie jest wytwarzane przez pompę wysokociśnieniową, która przetłacza paliwo do zasobnika. Stąd poprzez krótkie przewody paliwo jest doprowadzane do wtryskiwaczy. Pracą wtryskiwaczy sterują zawory elektromagnetyczne pod wpływem impulsów z urządzenia sterującego. Ciśnienie paliwa w zasobniku jest regulowane przez tensometryczny czujnik i zawór regulacyjny poprzez sygnały wysyłane z elektronicznej jednostki sterującej.

Systemy zasobnikowe zapewniają pożądaną dla danego silnika zmienność przebiegu wtrysku oraz wielkość dawki wtryskiwanego paliwa. Umożliwiają realizację wielofazowego wtrysku, co powoduje cichszą pracę silnika i obniżenie składników toksycznych w spalinach. W układach zasobnikowych uzyskujemy ciśnienia przekraczające 160 MPa.

#### 4. Prognozy rozwoju systemów wtryskowych

Wszystko wskazuje na to, że rozwój szybkoobrotowych silników wysokoprężnych w najbliższej przyszłości będzie determinowany nadal sukcesywnym obniżaniem składników toksycznych w spalinach i redukcją hałasu, wraz z jednoczesnym zmniejszaniem zużycia paliwa. Tendencje zmian odnośnie redukcji toksyn od chwili wprowadzenia pierwszej normy Euro 1 pokazano w tabeli 1 [10]. Analiza danych dowodzi, jak radykalne zmiany w stosunkowo krótkich przedziałach czasowych są limitowane legislacyjnie.

Uzyskanie rozsądnego kompromisu pomiędzy oszczędnością paliwa a emisją składników toksycznych, szczególnie w zakresie wydzielania tlenków azotu  $\text{NO}_x$  i cząstek stałych PM, jest w chwili obecnej najtrudniejszym wyzwaniem. Ograniczenie zużycia paliwa jest związane ze zmniejszeniem emisji do otoczenia dwutlenku węgla  $\text{CO}_2$ , który potęguje efekt cieplarniany ze wszystkimi konsekwencjami wynikającymi z tego tytułu. Dalsze jednoczesne zmniejszanie zużycia paliwa i składników toksycznych w spalinach może być osiągnięte tylko poprzez wprowadzanie systemów zasi-

mon housing. There is a cam shaft here driven by the particular small pistons, the cam shaft, due to the high pressures generated in the pumps is coupled with the drive from the engine crankshaft by a gear.

**The accumulation systems** are characterized, contrary to the other systems, with the separation of the pressure generation function and the course of injection. The fuel is not pumped in the injectors here, but in the accumulator where it is stored under high pressure. The amount of the injection pressure in this case does not depend on the momentary engine speed or load of the engine and is maintained on a constant level for all the injectors. The accumulation type injection system is shown in Fig. 7.

High pressure in the system is generated by the high-pressure pump that pumps the fuel over into the accumulator. Further the fuel is conducted through the short high-pressure pipe to the injectors. The injectors' operation is controlled by electromagnetic valves under the impulses from the controlling device. The fuel pressure in the accumulator is regulated by a tensometric sensor and regulating valve through the signals transmitted from the electronic control unit.

The accumulation systems provide a variable course of injection demanded for a particular engine and the amount of injected fuel dose. They allow the performance of a multiple injection, which causes the lower noise level of the engine and reduction of the emissions in the exhaust gases. The pressures obtained in the accumulation systems exceed 160 MPa.

#### 4. Injection systems development forecasts

Everything indicates that the development of high-speed diesel engines in the nearest future shall still be determined by the gradual reduction of the exhaust emissions and reduction of noise, together with a simultaneous increase in fuel economy. The trends concerning the exhaust emissions reduction since the introduction of Euro 1 standard are shown in Table 1 [10]. The data analysis proves that the dramatic changes within relatively short time intervals are limited by the legislation.

Obtaining a reasonable compromise between fuel economy and exhaust emissions, particularly in the scope of  $\text{NO}_x$ , PM emissions is the most difficult challenge at present. Fuel consumption restriction is related to the reduction of  $\text{CO}_2$  emission, the latter increasing the greenhouse effect with all the consequences related thereto. The further simultaneous fuel consumption and the reduction of the pollutant content in the exhaust gases may only be achieved through the introduction of state-of-the-art supply systems combined with the change of the course of the combustion process [3].

The leading automotive concerns carry out intensive work on reduction of power losses and achievement of general efficiency of diesel engines approaching 50%. Reducing of friction and thermal losses is very important for the reduction of fuel consumption and the level of exhaust emissions,



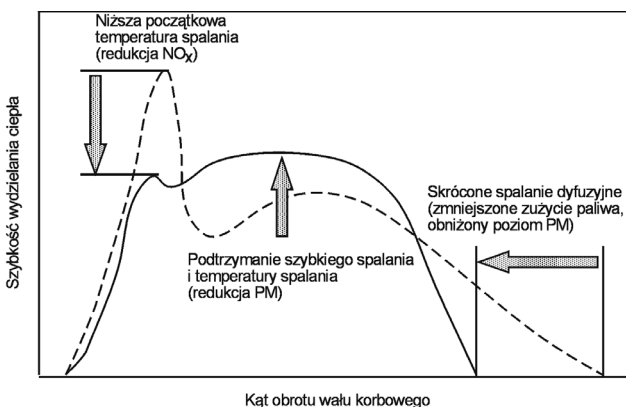
Tabela 1. Normy emisji UE dla samochodów osobowych i użytkowych do 3,5 tony  
 Table 1. EU emission standards for passenger cars and light vehicles under 3,500 kg

Samochody osobowe i użytkowe do 3,5 tony	PM [mg/km]		NO <sub>x</sub> [g/km]		HC [g/km]		HC + NO <sub>x</sub> [g/km]	
	ZS	ZI	ZS	ZI	ZS	ZI	ZS	ZI
Euro 1 (1992-93)	140	-	-	-	-	-	0,97	0,97
Euro 2 (1996)	80/100 <sup>1)</sup>	-	-	-	-	-	0,7/0,9 <sup>1)</sup>	0,5
Euro 3 (2000)	50	-	0,50	0,15	-	0,20	0,56	-
Euro 4 (2005)	25	-	0,25	0,08	-	0,10	0,30	-
Euro 5 propozycja (2008)	2,5	2,5	0,08	0,08	0,05	0,05	-	-

<sup>1)</sup>Odpowiednio wtrysk pośredni i wtrysk bezpośredni

lania nowej generacji w połączeniu ze zmianą przebiegu procesu spalania [3].

W czołowych koncernach prowadzone są intensywne prace dotyczące obniżania strat mechanicznych i osiągnięcia sprawności ogólnej silników wysokoprężnych zbliżonej do 50%. Redukowanie tarcia i strat ciepła jest bardzo ważne dla obniżenia zużycia paliwa i emisji toksyn, niemniej optymalny przebieg procesu spalania pozostanie zawsze decydującym dla uzyskania pożądaných rezultatów. Stąd też obecne prace koncentrują się głównie na zagadnieniach poznania jak największej ilości zjawisk fizykochemicznych warunkujących prawidłowe spalanie. Analiza teoretyczna oraz badania eksperymentalne wskazują, że charakter przebiegu procesu spalania winien być wyraźnie zmodyfikowany. Przebieg pożądaný dla tego procesu, z zaznaczeniem oczekiwanych efektów, wyjaśnia rysunek 8.



Legend: Heat discharge rate; lower initial combustion temperature (NO<sub>x</sub> reduction); Sustaining fast combustion and combustion temperature (PM reduction); reduced diffusion combustion (reduced fuel consumption, reduced PM level)

Rys. 8. Przebieg procesu spalania: - - - - - dotychczasowy przebieg przy użyciu obecnych układów wtryskowych, ——— wymagany przebieg kontrolowany w sposób ciągły

Fig. 8. Combustion process run: - - - - - present course with current injection system, ——— desired course

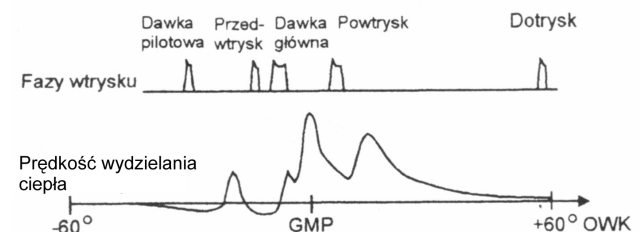
nevertheless the optimum course of the combustion process shall always remain decisive for obtaining the demanded results. Therefore, the present work concentrates mainly on the issues related to examine as many physical-chemical phenomena conditioning the proper combustion as it is possible. The theoretical analysis and experimental research indicate that the nature of the course of the combustion process should be conspicuously modified. The course demanded for such process, the expected effects marked, are explained in Fig. 8.

Providing the desired course of heat emission is principally conditioned by the course of the injection process, per-

formed by the injection systems. The application of a multiple injection is important for the course of the combustion process. At present in the case of new generation of accumulator injection systems, a five-phase fuel injection is already applied (Fig. 9). Each phase performs a specific function before and after the dose. The pilot dose affects the noise reduction due to the reduction of the combustion pressure increase  $dp/d\alpha$ . The pre-injection intensified the combustion of PM particles in the filters, whereas the secondary injection impacts the increase of NO<sub>x</sub> conversion in the DENOX catalytic reactor.

Particularly the pilot injection and its time interval between the dose and the beginning of the main dose injection is significant for the combustion process. Due to the limited pressure growth rate and heat discharge during the initial combustion phase, particularly with partial loads, it assures the noise emission reduction, NO<sub>x</sub> and smoke reduction. The impact of the pilot injection on the combustion process parameters is illustrated in Fig. 10 [3], whereas Fig. 11 presents the pilot dose amount effect on smoke and noise emission [11].

The multiple fuel injection requires the application of new generation injectors. At the present stage of the development of these units, the injectors should be piezoelectric. They are characterized with shorter time of response to volt-



Legend: injection phases: pilot dose, pre-injection, main dose, post-injection, secondary injection.

Rys. 9. Możliwości realizacji faz wielostopniowego wtrysku w systemach zasobnikowych

Fig. 9. Possibilities for realization of multiple injection phases in accumulative systems, continuously controlled

Zapewnienie pożądanego przebiegu wydzielania ciepła warunkowane jest w zasadniczym stopniu przez przebieg procesu wtrysku, realizowany przez systemy wtryskowe. Ważną sprawą dla jakości przebiegu procesu spalania jest powszechne stosowanie wtrysku wielostopniowego. Już obecnie, w przypadku nowych generacji zasobnikowych układów wtryskowych, spotyka się pięciofazowy wtrysk paliwa (rys. 9). Każda faza przed i za dawką główną spełnia określoną funkcję. Dawka pilotowa wpływa na obniżenie hałasu z uwagi na zmniejszenie przyrostu ciśnienia spalania  $dp/d\alpha$ . Przedwtrysk powoduje zmniejszenie ilości paliwa dostarczonego w okresie opóźnienia samozapłonu, co skutkuje dodatkowo obniżeniem emisji  $NO_x$ . Powtrysk intensyfikuje spalanie cząstek stałych PM w filtrach, natomiast dotrysk wpływa na zwiększenie konwersji  $NO_x$  w reaktorze katalitycznym DENOX.

Szczególnie wtrysk pilotujący i jego odstęp czasowy między dawką a początkiem wtrysku dawki głównej jest istotny dla procesu spalania. Z powodu ograniczonej szybkości przyrostu ciśnienia oraz wywiązania się ciepła w początkowej fazie spalania, zwłaszcza przy częściowych obciążeniach, zapewnia on redukcję emisji akustycznej, obniżenie  $NO_x$  i zadymienia. Wpływ wtrysku pilotującego na parametry procesu spalania ilustruje rys. 10 [3], natomiast na rys. 11 przedstawiono wpływ wielkości dawki pilotującej na zadymienie i emisję hałasu [11].

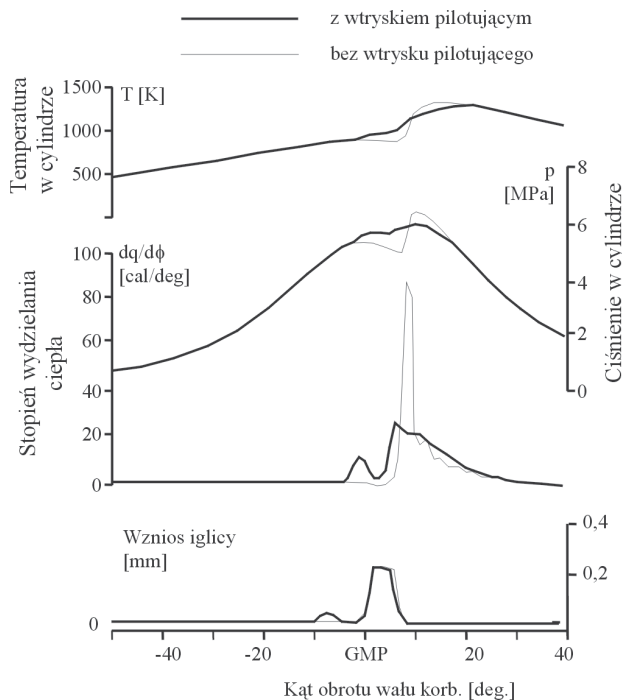
Wielofazowy wtrysk paliwa wymaga zastosowania nowej generacji wtryskiwaczy. Na obecnym etapie rozwoju tych zespołów powinny to być wtryskiwacze piezoelektryczne. Charakteryzują się one krótszym czasem reakcji na impuls napięcia niż wtryskiwacze z zaworem elektromagnetycznym. Krótkie czasy reakcji umożliwiają realizację wtrysku wielofazowego o bardzo małym rozrzucie dawek i w dokładniejszym czasie. Ponadto wtryskiwacz piezoelektryczny charakteryzuje się znacznie mniejszymi wymiarami. Główne części składowe tego wtryskiwacza oraz porównanie ich wielkości ilustruje rys. 12 [11].

Dalszy rozwój wtryskiwaczy piezoelektrycznych (oznaczonych wtryskiwaczami IV generacji) przewiduje możliwość zastosowania zmiennej geometrii wtrysku oraz ciśnienia wtryskiwania paliwa rzędu 250 MPa [11]. Opracowanie takiego wtryskiwacza sygnalizuje firma Bosch (tzw. system HADI – *Hydraulically Amplified Diesel Injector*).

Biorąc pod uwagę zasygnalizowane uwarunkowania kształtowania procesu spalania, przyszłe systemy wtryskowe muszą optymalnie realizować wtrysk paliwa w sposób wielofazowy. Dlatego też układy wtryskowe, zdolne do całkowitego i ciąglego kontrolowania charakterystyk wtrysku w zależności od zmieniających się dynamicznie warunków pracy silnika, muszą być oparte o rozbudowane algorytmy sterowania elektronicznego. Występują tutaj jednak istotne problemy związane z wysokimi ciśnieniami i prędkościami przepływającego paliwa, co stawia bardzo duże wymagania współczesnej elektronice.

## 5. Podsumowanie

Rynek motoryzacyjny na przestrzeni ostatnich kilku lat ulega wyraźnym zmianom w zakresie upodobań klientów.



Rys. 10. Wpływ wtrysku pilotującego na parametry procesu spalania  
Fig. 10. Influence of pilot injection on the combustion process parameters

age impulse than the injectors with electromagnetic valves. The short response times enable the multiple injection performance with very low level of dose dispersion and in a more accurate time. Another characteristic of a piezoelectric injector is its much smaller size. The main components of this injector and comparison of their sizes are illustrated in Fig. 12 [11].

The further development of piezoelectric injectors (labeled as generation IV injectors) provides the possibility of application of variable injection geometry and fuel injection pressure around 250 MPa [11]. The development of such injector is signaled by Bosch (so-called HADI system – *Hydraulically Amplified Diesel Injector*).

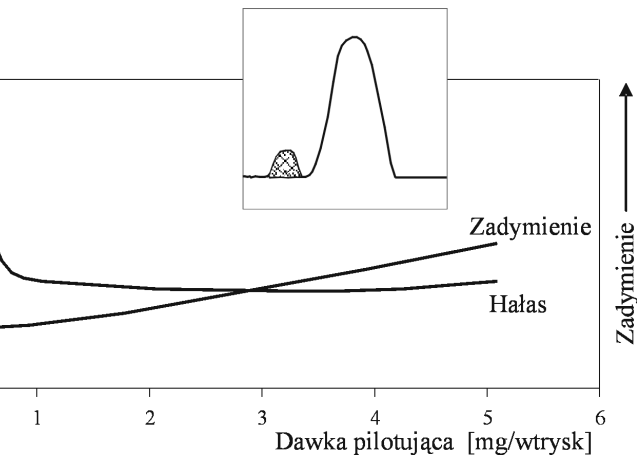
Considering the conditions of the combustion process signaled above. Therefore the injection systems capable of entire and continuous injection characteristics control must be based on the extended electronic control algorithms. However, there are significant problems related to high pressures and fuel flow rates, which makes the requirements towards the modern electronics really high.

## 5. Summary

The automotive market, throughout the last few years, is subject to conspicuous changes in the scope of clients' preferences. The sales of diesel engine cars gradually grow. Compared to the engine with spark-ignition, the diesel engine has a higher efficiency, lower fuel consumption and longer life. A diesel engine is much more easily adaptable to supercharging, which enables the obtainment of significant power gains without changing the stroke volume or engine speed. In a diesel engine that works with a large air surplus,

Sukcesywnie wzrasta sprzedaż samochodów osobowych wyposażonych w silniki o zapłonie samoczynnym. W porównaniu z silnikiem o zapłonie iskrowym silnik wysokoprężny charakteryzuje się wyższą sprawnością, mniejszym zużyciem paliwa i większą żywotnością. Znacznie łatwiej jest go przystosować do doładowania, co umożliwi uzyskiwanie znacznych przyrostów mocy bez zmiany objętości skokowej lub prędkości obrotowej. W silniku wysokoprężnym, który pracuje ze znacznym nadmiarem powietrza, uzyskuje się korzystniejsze spalanie, czego efektem jest mniejsza zawartość w spalinach tlenku węgla i węglowodorów. Z punktu widzenia użytkownika najbardziej istotnym jest efekt ekonomiczny kosztów eksploatacji, ponieważ silniki wysokoprężne zużywają nie tylko mniej paliwa, ale jest ono zwykle tańsze od benzyny.

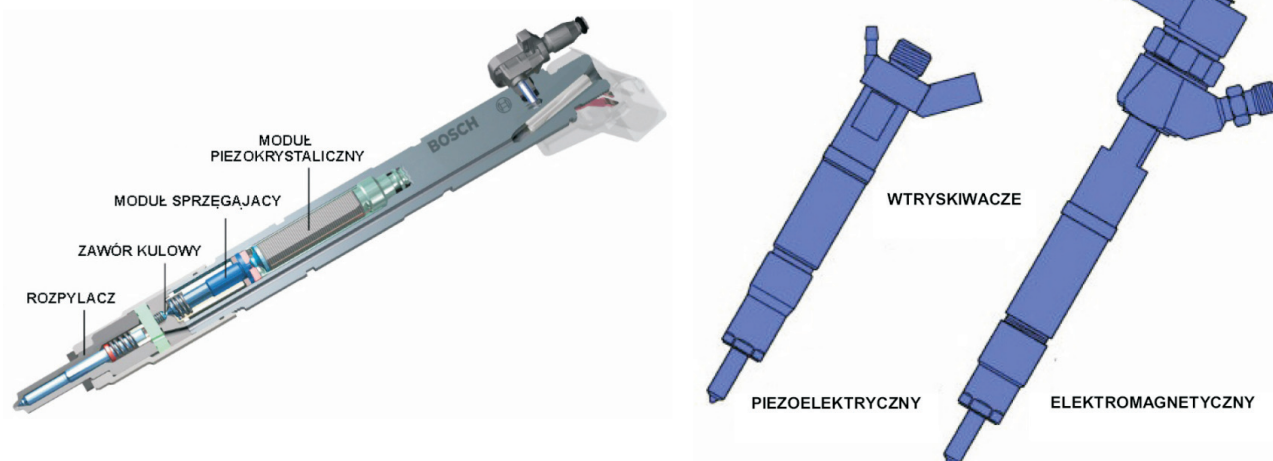
Zalety i wzrost popularności silników wysokoprężnych powodują, że uważa się je za przyszłościowe źródło napędu w samochodach osobowych. Przewiduje się, że w 2008 roku udział aut z silnikiem Diesla w ogólnej liczbie sprzedanych nowych samochodów osiągnie w Europie prawie 60%. Koncerny samochodowe zaawansowane w



Rys. 11. Wpływ dawki pilotującej na zadymienie spalin i hałaśliwość pracy silnika

Fig. 11. Influence of pilot dose on the smokiness and noisiness of engine work

the combustion is more beneficial, the effect being the lower carbon and hydrocarbons content in the exhaust gases. From the end user's point of view, the most important effect is the operation cost economy as the diesel engines not only consume less fuel, but the fuel itself is cheaper than gasoline.



Rys. 12. Wtryskiwacz piezoelektryczny oraz porównanie jego wielkości z wtryskiwaczem elektromagnetycznym

Fig. 12. Piezoelectric injector and comparison its size with electromagnetic injector

pracach nad nowymi konstrukcjami i technologiami w silnikach wysokoprężnych oraz oferujące szeroką paletę modeli wyposażonych w takie jednostki napędowe z pewnością odnotują w najbliższych latach znaczny wzrost sprzedaży [7].

Rozwój szybkoobrotowych silników wysokoprężnych jest ukierunkowany wyraźnie na wtrysk bezpośredni i wzrost ciśnienia wtryskiwanego paliwa, przekraczających wartość 150 MPa. Tendencja ta wymusiła intensywne prace badawcze i rozwojowe nad nowymi generacjami systemów wtryskowych. Muszą one zapewnić takie parametry mieszanki i przebieg procesu spalania, aby spełnić przyszłe wymagania dotyczące emisji toksyn w spalinach oraz obniżenie CO<sub>2</sub> (ze względu na efekt cieplarniany). Są to podstawowe kryteria

The advantages and popularity growth of diesel engines cause that it is considered the future source of drive in passenger cars. It is anticipated that in 2008 the share of diesel engine cars in the total number of cars sold will reach almost 60% in Europe. The automotive manufacturers advanced at work over new structures and technologies in diesel engines and offering a wide range of models fitted with such drive units shall certainly note a significant growth of sales [7].

The development of high-speed diesel engines is expressly targets at the direct injection and growth of the injected fuel pressures, exceeding 150 MPa. Such tendency forced intensive research and development works over new generations of injection systems. They must provide such param-



wyznaczające kierunki rozwoju oraz doskonalenia szybkoobrotowych silników wysokoprężnych i ich systemów wtryskowych.

Przedstawione w niniejszym artykule wybrane zagadnienia dotyczące rozwoju w najbliższej przyszłości systemów wtryskowych do silników wysokoprężnych sygnalizują skalę problemów przed jakimi stoją konstruktorzy i producenci tych urządzeń. Klasyczne systemy wtryskowe nie są w stanie zapewnić właściwego przebiegu procesu wtrysku. Spełnienie przyszłych wymogów dotyczących poziomu zanieczyszczeń w spalinach i redukcji hałasu, w powiązaniu z obniżeniem zużycia paliwa, wymaga zastosowania elektronicznych systemów sterujących. To z kolei jest warunkowane wprowadzeniem rozbudowanych algorytmów przebiegu wtrysku, które można opisać tylko skomplikowanymi trójwymiarowymi powierzchniami. Algorytmy muszą uwzględniać również dodatkowe parametry kontrolne i funkcje sterujące, a wszystko wymaga bezwzględnego zastosowania sprzężeń zwrotnych wielkości regulowanych.

Elektronizacja klasycznych układów paliwowych może spełnić wymagane kryteria w najbliższym okresie. W dalszej perspektywie tylko układy nowej generacji będą w stanie sprostać wymogom homologacyjnym narzuconym barierami ekologicznymi. Niewątpliwie będą to systemy o charakterze zasobnikowym, które zapewniają większą precyzję sterowania przebiegiem wtrysku. Ponieważ analitycy rozwoju motoryzacji przewidują, że silnik spalinowy będzie przez najbliższe 30-40 lat podstawowym źródłem napędu w transporcie samochodowym, problem ustawicznego doskonalenia wtryskowych systemów zasilania pozostaje ciągle sprawą otwartą.

eters of mixture and the course of the combustion process to meet the future requirements related to pollutant emissions in the exhaust gases and reduction of CO<sub>2</sub> (due to the greenhouse effect). These are the basic criteria determining the trends in the development and improvement of high-speed diesel engines and their injection systems.

The selected questions presented in this paper concerning the development of the injection systems for diesel engines in the nearest future, signalize the scale of issues the construction engineers and manufacturers of such devices must face. The classic injection systems cannot provide the proper course of the injection process. Fulfilling the future requirements related to exhaust emissions and noise reduction combined with the fuel economy increase, required the absolute application of electronic control systems. This, in turn, is conditioned by the introduction of extended injection course algorithms that may only be described by complicated 3D surfaces. The algorithms must also take account of the additional control parameters and functions and everything requires the strict application of adjusted values feedbacks.

The incorporation of electronics into classic fuel systems may meet the criteria required in the period to come. In the further perspective only new generation systems shall be able to cope with the homologation requirements imposed by the environmental barriers. Undoubtedly, the systems shall be of an accumulative nature, providing greater precision of the control of the course of injection. As the automotive development analysts anticipate that the combustion engine shall be the basic drive source in the 30-40 years to come, the issue of improving the injection supply systems remains an open question.

*Artykuł recenzowany*

## Literatura/Bibliography

- [1] Dutko R., Lejda K.: Systemy wtrysku UIS i UPS w szybkoobrotowych silnikach wysokoprężnych. Materiały XII Międzynarodowej Konferencji Naukowej SAKON'01, Rzeszów 2001.
- [2] Falkowski H., Hauser G., Janiszewski T., Jaskuła A.: Układy wtryskowe silników wysokoprężnych. WKŁ, Warszawa 1989.
- [3] Hikosaka N.: A View of the Future of Automotive Diesel Engines. SAE 972682.
- [4] Janiszewski T., Mavrantzas S.: Elektroniczne układy wtryskowe silników wysokoprężnych. WKŁ, Warszawa 2001.
- [5] Lejda K.: Koncepcje rozwoju i przyszłość szybkoobrotowych silników wysokoprężnych. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów PW, Nr 1/36/2000.
- [6] Lejda K.: Wybrane aspekty rozwoju systemów zasilania silników wysokoprężnych. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów PW, Nr 2/41/2001.
- [7] Lejda K.: Ekologiczne aspekty bezpieczeństwa w rozwoju pojazdów samochodowych. Mat. II Międzynarodowej Konf. Naukowej nt. „Prawno-ekonomiczne i techniczne aspekty bezpieczeństwa w ruchu drogowym”, Rzeszów 2004.
- [8] Sobieszczański M.: Modelowanie procesów zasilania w silnikach spalinowych. WKŁ, Warszawa 2000.
- [9] Zabłocki M.: Wtrysk i spalanie paliwa w silnikach wysokoprężnych. WKŁ, Warszawa 1976.
- [10] Emission Standards for Light and Heavy Road Vehicles. ACID News, N° 3/2004.
- [11] Katalogi, biuletyny i materiały informacyjne firm z lat 2002-2005: Bosch, AVL, Lucas-CAV, SIGMA, FEV, Nippondenso.

\* Prof. dr hab. inż. Kazimierz Lejda – Zakład Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych, Politechnika Rzeszowska, Polska.

*Prof. Kazimierz Lejda, DSc, MEng – Department of Automotive Vehicles and Internal Combustion Engines, Rzeszow University of Technology, Poland.*

