

## Układy Common Rail w silnikach spalinowych oraz wybrane zjawiska zachodzące w przewodach paliwowych wysokiego ciśnienia w czasie wtrysku paliwa

### Common Rail systems in the combustion engines and selected phenomena occurring in the fuel pipes of high pressure during the fuel injection

Mariusz Gołębiowski<sup>1</sup>, Mirosław Walkowski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Punkt Bazowania Hel, Sekcja Szkolenia, 84-150 Hel, ul. Sikorskiego 20, email: golab1982@wp.pl

<sup>2</sup> Akademia Marynarki Wojennej, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Okrętów  
81-103 Gdynia, ul. Śmidowicza 69, e-mail: mwal@interia.eu

**Słowa kluczowe:** układy zasobnikowe, pompy rozdzielaczowe, zjawiska falowe

#### Abstrakt

W pracy opisano układ Common Rail, którego działanie przedstawiono na przykładzie silnika typu RT-flex 60C. W układzie tym wydzielono trzy podstawowe obwody, mianowicie: obwód niskiego ciśnienia, wysokiego ciśnienia i elektroniczny układ sterowania, przy czym omówiono tylko obwody niskiego i wysokiego ciśnienia. Jako przykład złożoności procesów zachodzących w aparaturze paliwowej wysokiego ciśnienia przedstawiono zjawiska falowe i straty przepływu w przewodzie paliwowym. Do opisu rozchodzenia się fal uderzeniowych w przewodach rozpatrzono przepływ fali w ośrodku, który wypełnia długą rurę ze zmiennym przekrojem. Do opisu takiego przepływu zostały wykorzystane równania Eulera, adiabatyczności i ciągłości. W podsumowaniu przedstawiono wady i zalety układów zasobnikowych i z pompowtryskiwaczem.

**Key words:** storage systems, distributor pumps, wave phenomena

#### Abstract

In the paper has been described the Common Rail system, which operation is presented on the example of engine RT-flex 60C type. Three basic circuits have been dispersed in this system: low pressure circuit, high pressure circuit and electronically controlled system, but only low pressure circuit and high pressure circuit were discussed. Wave phenomena and fuel loss in the fuel pipe have been presented as an example of complex processes, which occur in the fuel apparatus of high pressure. For the description of shock waves disperse there has been considered the wave flow in the centre, which fills the long pipe with variable section. The Euler's equation, adiabatic equation and continuity equation were used to describe such flow. Advantages and disadvantages of the storage systems with fuel injection unit have been discussed in the resume.

#### Wstęp

W rzędowych i w rozdzielaczowych pompach wtryskowych oraz w pompowtryskiwaczach powiązanie procesu tłoczenia i dawkowania paliwa z obrotami wału lub pierścienia krzywkowego wprowadza niepożądane zmiany przebiegu parametrów wtrysku paliwa przy zmianie prędkości obrotowej wału pompy. Poszerzenie zakresu optymalnej pracy silnika spalinowego stało się możliwe na

skutek zastosowania elektronicznego układu sterującego, który umożliwia sterowanie przebiegiem podstawowych parametrów dawkowania i wtrysku paliwa w całym zakresie pracy silnika, w różni-cowanych warunkach otoczenia, również przy uwzględnieniu właściwości paliwa.

W niniejszej pracy przedstawiono wybrane zjawiska zachodzące w przewodach paliwowych wysokiego ciśnienia w czasie wtrysku paliwa.

## Istota działania Common Rail

Cechą charakterystyczną, która wyróżnia układ Common Rail (CR) od poprzednich generacji jest wspólny zasobnik dla wszystkich wtryskiwaczy, w którym gromadzone jest paliwo pod ciśnieniem. Zaletą tego układu jest możliwość zmiany i dostosowania ciśnienia oraz chwili wtrysku. Common Rail składa się z trzech układów:

- obwodu niskiego ciśnienia,
- obwodu wysokiego ciśnienia,
- elektronicznego układu sterowania.

Wtryskiwacze wyposażone są w zawory elektromagnetyczne lub siłowniki piezoelektryczne, które otwierają lub zamykają wypływ paliwa z rozpylacza. Taki układ pozwala regulować proces wtrysku paliwa dla każdego cylindra oddzielnie. Wtryskiwacze są połączone z zasobnikiem paliwa.

Ciśnienie w zasobniku paliwa jest wytwarzane i utrzymywane przez napędzaną asynchronicznym silnikiem elektrycznym pompę wysokiego ciśnienia. Zapewnia ona ciśnienie niezależnie od dawki wtrysku i prędkości obrotowej silnika. Moment obrotowy niezbędny do napędu pompy jest znacznie mniejszy niż przy pompach konwencjonalnych układów, co wynika z w miarę równomiernego tłoczenia.

Ciśnienie w instalacji regulowane jest zależnie od rodzaju układu. Regulacja w obwodzie wysokiego ciśnienia w zasobniku paliwa odbywa się przy pomocy zaworu regulacyjnego. Niewykorzystane paliwo do wtrysku jest kierowane do obwodu niskiego ciśnienia. To rozwiązanie umożliwia dostosowanie ciśnienia w zasobniku do danego punktu

tu pracy silnika. Ciśnienie w zasobniku paliwa można regulować za pomocą zaworu umieszczonego na pompie wysokiego ciśnienia, bądź na zasobniku. Na pompie wysokiego ciśnienia umieszczany jest dozownik, który umożliwia dokładne dozowanie dawek paliwa do zasobnika. Do kontroli wartości ciśnienia w zasobniku służy zawór redukcyjny.

## Obwód niskiego ciśnienia układu CR

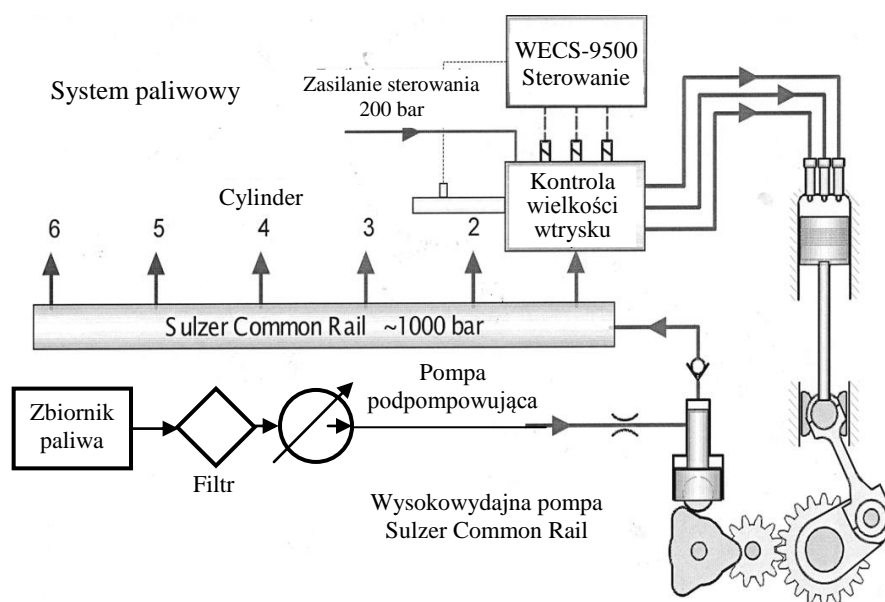
Funkcją obwodu niskiego ciśnienia w układach Common Rail jest przechowywanie i filtrowanie paliwa oraz zasilanie obwodów wtryskowych w paliwo o odpowiednim ciśnieniu [1].

Obwód niskiego ciśnienia CR składa się z następujących elementów:

- zbiornika paliwa,
- filtru wstępnego oczyszczania paliwa,
- chłodnicy sterowników,
- dodatkowej pompy zasilającej,
- filtru dokładnego oczyszczania paliwa,
- pompy zasilającej,
- zaworu regulacyjnego ciśnienia,
- chłodnicy paliwa,
- przewodów paliwa niskiego ciśnienia.

Zbiornik paliwa musi spełniać kryterium odporności na korozję i zachowywać szczelność pod wpływem wymaganego ciśnienia. Nadcisnienie jest wyrównywane poprzez zawory bezpieczeństwa. Konstrukcja zbiornika musi zapewniać bezpieczeństwo w czasie zderzeń lub przechyłów, aby podczas wypadków nie zaistniało zagrożenie pożarowe.

Pompa zasilająca zasysa paliwo ze zbiornika i tłoczy je do pompy wysokiego ciśnienia. Zada-



Rys. 1. Sulzer RT-flex 60C system Common Rail [2]  
 Fig. 1. Sulzer RT-flex 60C of Common Rail system [2]

niem pompy zasilającej w obwodzie niskiego ciśnienia jest dostarczenie paliwa we wszystkich warunkach pracy przy niskim poziomie hałasu, pod wymaganym ciśnieniem.

Bardzo ważną częścią obwodu niskiego ciśnienia jest filtr paliwa, gdyż aparatura wtryskowa silnika wysokoprężnego jest szczególnie wrażliwa na zanieczyszczenia.

### Obwód wysokiego ciśnienia CR

W obwodzie wysokiego ciśnienia CR wyróżnia się trzy bloki funkcjonalne:

- wytwarzania ciśnienia,
- przechowywania ciśnienia,
- dawkowania paliwa.

Pompa wysokiego ciśnienia tłoczy paliwo do zasobnika pod ciśnieniem większym niż wymagane. Zasobnik paliwa wyposażony jest w czujnik ciśnienia paliwa oraz zawór przelewowy lub redukcyjny ciśnienia. Dawka i kąt wyprzedzenia wtrysku regulowane są elektronicznie za pośrednictwem zaworu sterującego, umieszczonego często we wtryskiwaczach.

Charakterystyczne dla tego układu jest to, że pompę wysokiego ciśnienia napędza silnik elektryczny asynchroniczny – a więc ciśnienie wtrysku jest niezależne od prędkości obrotowej silnika.

Zasobnik paliwa przeznaczony jest do gromadzenia odpowiedniej dla danego silnika objętości paliwa pod ciśnieniem około 200 MPa. Objętość zasobnika jest tak dobrana, aby z jednej strony maksymalnie tłumić fale ciśnienia powstające podczas wtrysku paliwa do poszczególnych cylindrów, z drugiej strony zapewnić szybki wzrost ciśnienia podczas rozruchu. Ciśnienie w zasobniku regulowane jest przez zawór przelewowy.

### Układ CR w wolnoobrotowych silnikach okrętowych

Przykładem układu CR odnoszącym się do wolnoobrotowych silników okrętowych jest system flex w silniku typu RT-flex 60C (rys. 1). Jest to konstrukcja firmy New Diesel Sulzer. Oferuje ona wysoką niezawodność, niskie zużycie oleju cylindrowego, niskie straty oleju obiegowego, niską toksyczność i zdolność do pracy przy małych prędkościach obrotowych.

Nowym rozwiązaniem było zastosowanie układu wtryskowego typu Common Rail sterowanego elektronicznie. Zastosowanie tego układu w okrętowym silniku dwusuwowym wymagało jednak rozwiązania szeregu problemów związanych z rodzajem używanego paliwa. Paliwo to posiada duże różnicowanie lepkości, aż do 700 cSt przy 50°C,

zachodzi więc konieczność podgrzewania i utrzymania jego wysokiej temperatury. Obok układu Common Rail zastosowano sterowanie elektroniczne zaworów wydechowych i zaworów rozruchowych, które umożliwiło uproszczenie układu mechanicznego przez rezygnację z wału rozrządu i mechanicznego sprzęgnięcia napędu pomp wtryskowych z wałem korbowym silnika. Ułatwiło to mechaniczną regulację i obsługę silnika. Zastosowano zasadę nadmiarowości, aby uzyskać wymagane bezpieczeństwo pracy, tzn. zdublowano podstawowe elementy systemu, takie jak pompy, przewody zasilające, układy elektroniczne itp.

Główne cechy układu RT-Flex to:

- wspólna szyna paliwowa CR zasilana paliwem pod ciśnieniem przez dwie niezależne sekcje pompy wysokiego ciśnienia;
- wspólna szyna olejowa zasilana paliwem pod ciśnieniem przez dwie niezależne sekcje pompy wysokiego ciśnienia;
- precyzyjna kontrola dawki wtryskiwanego paliwa;
- oddzielenie paliwa od zaworów sterujących;
- zmienna wartość dawki wtryskiwanego paliwa z możliwością swobodnego kształtowania wtrysku;
- stały poziom ciśnienia w szynie paliwowej;
- zmniejszone zużycie paliwa przy niepełnych obciążeniach;
- zmniejszone koszty eksploatacji;
- niska emisja toksycznych składników spalin;
- niezawodność osiągnięta przez zdublowanie podstawowych elementów systemu.

Elektroniczny układ kontrolny zwany Wärtsilä Electronic Control System steruje pracą systemu, zbiera informacje o pracy silnika i realizuje komendy wydawane przez obsługę.

Wtrysk paliwa w każdym z cylindrów jest kształtowany przez niezależne moduły elektroniczne zgodnie z poleceniem wypracowanym przez główny blok sterujący.

Sercem układu jest zespół zaworów sterujących i wykonawczych mocowanych bezpośrednio na szynie paliwowej i szynie olejowej.

Możliwa jest praca pojedynczych wtryskiwaczy, co jest przydatne przy małych prędkościach obrotowych silnika przy manewrach w basenie portowym. Polega to na tym, że paliwo przy kolejnych suwach jest wtryskiwane kolejno na zmianę przez każdy z trzech wtryskiwaczy danego cylindra. Zapewnia to rozpylenie minimalnej niezbędnej dawki paliwa koniecznej do pracy silnika przy niewielkim obciążeniu. Przy małych prędkościach występuje niedobór powietrza w cylindrze, gdyż sama turbo-

sprężarka nie wystarcza, jej wydajność jest optymalna dla znamionowych warunków pracy. Konieczne są dodatkowe dmuchawy doładowujące.

W rezultacie silnik ma znacznie mniejszą skłonność do dymienia przy rozruchu i przy obciążeniach częściowych [2].

### Rozchodzenie się fal uderzeniowych w przewodach paliwowych

Przykładem złożoności procesów w układach zasilania paliwem jest zjawisko rozchodzenia się fal w przewodach wysokiego ciśnienia. Elementem, który zasadniczo odróżnia układ Common Rail od układów paliwowych innych typów jest możliwość dzielenia dawki paliwa w czasie wtrysku do cylindra. Efektem niekorzystnym są zjawiska falowe m.in. w przewodach paliwowych.

Do opisu rozchodzenia się fal uderzeniowych w przewodach rozpatruje się przepływ fali w ośrodku, który wypełnia długą rurę ze zmiennym przekrojem. Celem jest wyjaśnienie wpływu, jaki na prędkość fali uderzeniowej ma zmiana powierzchni fali.

Przyjęto założenie, że powierzchnia  $A(x)$  przekroju przewodu tak powoli zmienia się wzdłuż jego długości (oś  $x$ ), że zmiana jest niezauważalna ( $\partial A/\partial x \neq 0$ ). Przewód taki nazywa się hydraulicznym. Stwarza to możliwość zastosowania przybliżenia, że w strumieniu wszystkie wielkości są stałe wzdłuż każdego przekroju poprzecznego przewodu, a wektor prędkości skierowany jest wzdłuż jej osi; innymi słowy, przepływ traktowany jest jako quasi jednowymiarowy. Taki przepływ opisuje się równaniami [3]:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + v \frac{\partial p}{\partial x} - c^2 \left( \frac{\partial \rho}{\partial t} + v \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) = 0 \quad (2)$$

$$A \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho v A) = 0 \quad (3)$$

gdzie:

- $A$  – pole poprzecznego przekroju przewodu,
- $\rho$  – gęstość paliwa,
- $t$  – czas.

Pierwsze z nich jest równaniem Eulera, drugie – równaniem adiabatyczności, a trzecie – równaniem ciągłości.

W celu wyjaśnienia problemu wystarczy przeanalizować przewód, w którym zmiana powierzchni poprzecznego przekroju  $A(x)$  jest nieskończenie mała, a zatem wartość bezwzględna zmiany jest

nieznaczna na całej długości przewodu. Wówczas związane ze zmiennym przekrojem zaburzenia strumienia będą także małe i równania (1–3) mogą być linearyzowane. Powinny być wreszcie postawione warunki początkowe eliminujące powstawanie jakichkolwiek obcych zaburzeń, które mogłyby wpłynąć na ruch fali uderzeniowej; rozpatrywane są tylko zaburzenia związane ze zmianą  $A(x)$ . Cel ten zostanie osiągnięty, jeśli przyjmie się, że fala uderzeniowa początkowo porusza się ze stałą prędkością w przewodzie o stałym przekroju, a powierzchnia przekroju zmienia się dopiero po przekroczeniu punktu (który przyjęto jako  $x = 0$ ).

Linearyzowane równania (1–3) mają postać:

$$\frac{\partial \delta v}{\partial t} + v \frac{\partial \delta v}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \delta p}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial \delta p}{\partial t} + v \frac{\partial \delta p}{\partial x} - c^2 \left( \frac{\partial \delta \rho}{\partial t} + v \frac{\partial \delta \rho}{\partial x} \right) = 0$$

$$\frac{\partial \delta \rho}{\partial t} + v \frac{\partial \delta \rho}{\partial x} + \rho \frac{\partial \delta v}{\partial x} + \frac{\rho v}{A} \frac{\partial \delta A}{\partial x} = 0$$

gdzie symbole bez wskaźników oznaczają stałe wartości wielkości w jednorodnym strumieniu w jednorodnej części przewodu, a symbol  $\delta$  oznacza zmianę tych wielkości w przewodzie o zmiennym przekroju. Mnożąc pierwsze i trzecie z tych równań odpowiednio przez  $\rho a$  i  $a^2$  oraz dodając wszystkie trzy równania, możemy napisać:

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} + (v + a) \frac{\partial}{\partial x} \right) (\delta p + \rho a \delta v) = - \frac{\rho v a^2}{A} \frac{\partial \delta A}{\partial x} \quad (4)$$

Rozwiązanie tego równania jest sumą ogólnego rozwiązania równania jednorodnego oraz rozwiązania szczególnego równania mającego niezerową prawą stronę. Pierwszym tym rozwiązaniem jest  $F(x - vt - at)$ , gdzie  $F$  jest dowolną funkcją; opisuje ono nadchodzące z lewej strony zaburzenie dźwiękowe,  $a$  – prędkość dźwięku. Jednakże w obszarze jednorodnym, dla  $x < 0$ , zaburzeń nie ma, dlatego należy przyjąć  $F \equiv 0$ . Rozwiązywanie sprowadza się więc do całki równania niejednorodnego:

$$\delta p + \rho a \delta v = - \frac{\rho v a^2}{v + a} \frac{\partial A}{A} \quad (5)$$

Fala uderzeniowa porusza się z lewej strony na prawą z prędkością  $v_1 > a_1$  w ośrodku nieruchomym z zadanymi wartościami  $p_1$ ,  $\rho_1$ . Natomiast ruch ośrodka z tyłu fali uderzeniowej określony jest rozwiązaniem (5) w całym obszarze przewodu z lewej strony od punktu, jaki osiągnęła nieciągłość w danym momencie. Po przejściu fali wszystkie

wielkości w każdym przekroju przewodu pozostają stałe w czasie, tzn. równe tym wartościom, jakie uzyskały w momencie przejścia nieciągłości: ciśnienie  $p_2$ , gęstość  $\rho_2$  i prędkość  $v_1 - v_2$  (zgodnie z przyjętymi w tym rozdziale oznaczeniami  $v_2$  oznacza prędkość paliwa względem poruszającej się fali uderzeniowej; jego prędkość względem ścianek przewodu jest wtedy równa  $v_1 - v_2$ ). W oznaczeniach tych (po wydzieleniu zmiennych części tych wielkości) równość (5) można zapisać w postaci:

$$\frac{\partial A}{A} = - \frac{v_1 - v_2 + a_2}{\rho_2 (v_1 - v_2) a_2^2} (\delta p_2 + \rho_2 a_2 (\delta v_1 - \delta v_2)) \quad (6)$$

Wszystkie wielkości  $\delta v_1$ ,  $\delta v_2$ ,  $\delta p_2$  można wyrazić za pomocą jednej z nich, na przykład  $\delta v_1$ . W tym celu zapiszemy zależności wariacyjne  $\rho_1 v_1 = \rho_2 v_2$  i  $p_1 + \rho_1 v_1^2 = p_2 + \rho_2 v_2^2$  na nieciągłości (przy zadanych  $p_1$  i  $\rho_1$ ) w postaci:

$$\rho_1 \delta v_1 = v_2 \delta \rho_2 + \rho_2 \delta v_2, \quad 2j(\delta v_1 - \delta v_2) = \delta p_2 + v_2^2 \delta \rho_2,$$

gdzie  $j = \rho_1 v_1 = \rho_2 v_2$  jest niezaburzoną wartością strumienia. Należy do nich dołączyć jeszcze zależność:

$$\delta p_2 = \frac{dp_2}{d\rho_2} \delta \rho_2$$

gdzie pochodna liczona jest wzdłuż adiabaty Hugoniot. Obliczenia prowadzą do zależności wiążącej zmianę  $\delta v_1$  prędkości fali uderzeniowej względem nieruchomego gazu przed nią ze zmianą  $\delta A$  pola przekroju przewodu, czyli:

$$-\frac{1}{A} \frac{\delta A}{\delta v_1} = \frac{v_1 - v_2 + a_2}{v_1 a_2} \left( \frac{1 + 2v_2 a_2^{-1} - h}{1 + h} \right) \quad (7)$$

gdzie ponownie wprowadzono oznaczenie

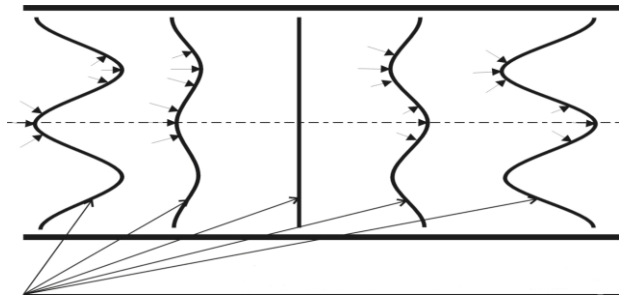
$$h = \frac{j^2}{\rho_2^2} \frac{d\rho_2}{dp_2} = j^2 \frac{dV_2}{dp_2} \quad (8)$$

Stojący przed nawiasem (7) współczynnik jest dodatni. Tak więc znak ilorazu  $\delta v_1 / \delta A$  zależy od znaku wyrażenia w tym nawiasie; dla wszystkich stabilnych fal uderzeniowych jest dodatni i wówczas  $\delta v_1 / \delta A < 0$ . Jeśli jednak spełniony jest jakikolwiek z warunków:

$$j^2 \frac{dV_2}{dp_2} < -1 \quad \text{i} \quad j^2 \frac{dV_2}{dp_2} < 1 + 2 \frac{v_2}{a_2}$$

niestabilności spowodowanej sfałdowaniem, to wyrażenie w nawiasie staje się ujemne i wtedy  $\delta v_1 / \delta A > 0$ .

Wynik ten stwarza możliwość pogładowego wytłumaczenia pochodzenia niestabilności. Na rysunku 2 przedstawiono „sfałdowaną” powierzchnię fali uderzeniowej poruszającej się w prawą stronę. Strzałkami schematycznie zaznaczono kierunki linii prądu. Podczas przemieszczania się fali uderzeniowej, na wystających odcinkach powierzchni, pole  $\delta A$  rośnie, a na odcinkach pozostających z tyłu – maleje. W przypadku, kiedy  $\delta v_1 / \delta A < 0$  prowadzi to do opóźnienia części wystających i przyspieszenia części pozostających z tyłu i w związku z tym powierzchnia dąży do wygładzenia. Przeciwnie, w przypadku, gdy  $\delta v_1 / \delta A > 0$ , zaburzenie kształtu powierzchni będzie następujące: części wystające będą wystawały jeszcze bardziej, a części pozostające z tyłu – pozostawały odwrotnie proporcjonalnie do części czołowej.



Rys. 2. Przykładowe kształty fal uderzeniowych przemieszczających się wzdłuż przewodu  
Fig. 2. Hypothetical shapes of the impact waves, moving along the pipe

## Podsumowanie

Układ Common Rail oferuje całkowicie sterowalny proces przebiegu wtrysku, precyzyjną kontrolę dawki wtryskiwanego paliwa, zmniejszone zużycie paliwa przy niepełnych obciążeniach. Co za tym idzie, maleją koszty eksploatacji silnika.

Obliczenia symulacyjne zostały przeprowadzone w oparciu o zależności teoretyczne i empiryczne bez weryfikacji i badań na rzeczywistym modelu zaworu, dlatego należy traktować je, jako wyniki wstępne. W celu weryfikacji przyjętego modelu należałoby wykonać badania doświadczalne na rzeczywistym obiekcie i uzyskane wyniki wykorzystać do skorygowania przyjętego modelu obliczeniowego.

Zdecydowanie słabym punktem układu CR są przewody wysokiego ciśnienia. Maksymalne ciśnienie, które można wytworzyć w układzie to 180 MPa. Przy wyższych ciśnieniach przewody mają tendencję do pęknięcia, zwłaszcza w miejscach ich połączeń. Ponadto niekorzystne jest utrzymywanie przez dłuższy czas wysokiego ciśnienia w kolektorze, przewodach i wtryskiwaczach, co jest

powodem relaksacji naprężeń i powstawania nieuszczelności. W obu przypadkach układ CR nie dorównuje pompowtryskiwaczom, które są w stanie wytworzyć ciśnienie rzędu 205 MPa. Co do szkodliwego oddziaływania wysokiego ciśnienia na elementy pompowtryskiwaczy, to nie jest to efekt tak niekorzystny, jak w przypadku CR, ponieważ paliwo w pompowtryskiwaczach płynie przez kanały o zmiennych przekrojach i kierunkach, a ciśnienie wytwarzane jest cyklicznie na zaledwie kilka milisekund. Problem przewodów wysokiego ciśnienia może być rozwiązany poprzez zastosowanie przewodów o podwyższonej wytrzymałości, mogących pracować przy 200 MPa. Głównym ogranicznikiem wzrostu ciśnienia w CR będzie jednak wytrzymałość i trwałość rozpylaczy. 200 MPa wydaje się być górną granicą, jeśli chodzi o trwałość. Aby wytrzymać tak wysokie ciśnienie, do budowy rozpylaczy muszą być zastosowane specjalne materiały o bardzo wysokiej wytrzymałości, na przykład stal 70S3A lub NCMV. Niestety materiały te, przy swojej wysokiej wytrzymałości są bardzo kruche, co eliminuje ich zastosowanie w produkcji rozpylaczy. Jednak jest to już problem natury technologicznej.

Układy zasobnikowe dają sposobność sterowania dawką paliwa w zależności od warunków pracy silnika – obciążenia lub częstości obrotowej. Konstrukcja zaworu sterującego umożliwia podzielenie dawki paliwa nawet na pięć części [4, 5, 6]. Możliwość praktycznie dowolnego sterowania zarówno dawką paliwa, jak i kątem wyprzedzenia wtrysku, pozwala zoptymalizować zużycie paliwa, zwiększyć moc silnika, zmniejszyć emisję związków toksycznych do atmosfery. Takich możliwości nie mają układy z pompowtryskiwaczami.

Konstrukcja układów CR stwarza warunki wprowadzenia unifikacji i miniaturyzacji, co pozwala na połączenie produkcji silników o zapłonie samoczynnym i iskrowym. Takich parametrów wtrysku nie są w stanie zaoferować układy z pompowtryskiwaczami lub z pompami wtryskowymi

z powodu konstrukcji oraz napędu krzywkowego. Rozwojowość układu CR najlepiej oddaje fakt, że można w nim dowolnie regulować ciśnienie wtrysku, niezależnie od częstości obrotowej i obciążenia silnika, ponieważ brak tu krzywki tłoczącej paliwo do wtryskiwaczy. Dzięki temu łatwiej będzie konstruować silnik z bezkrzywkowo napędzanymi zaworami w głowicy. To z kolei otwiera widoki na konstruowanie silników z kolektorami paliwa montowanymi w głowicach, co wykluczy potrzebę stosowania przewodów wysokiego ciśnienia. Porównując układy CR z układami klasycznymi zasilania paliwem, to CR znacznie je przewyższają. Poprzez niemalże o 30% mniejsze zużycie paliwa wzrasta sprawność silnika, a co najważniejsze – silnik jest o wiele bardziej ekonomiczny w eksploatacji.

Silniki z CR są pozbawione wału rozrządu, co zwiększa ich niezawodność.

## Bibliografia

1. Bosch. Zasobnikowe układy wtryskowe Common Rail.
2. Silniki spalinowe. Polskie Towarzystwo Naukowe Silników Spalinowych, 2004, 1(118).
3. LANDAU L.D., LIFSZYC E.M.: Hydromechanika. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1994.
4. WALKOWSKI M.: Modelowanie działania zaworu sterującego dawką paliwa w układzie wtrysku typu Common Rail. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Silniki gazowe” 2006. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 162. Mechanika 26. Częstochowa 2006, 550–560.
5. WALKOWSKI M.: Selected problems of modelling the working of container injection systems of Common Rail type. Explo-Diesel & Gas Turbine '07. V International Scientific-Technical Conference. Journal of Polish CIMAC. Gdańsk–Stockholm–Tumba Poland–Sweden 11–15 May 2007, 477–485.
6. WALKOWSKI M.: Determining the characteristics of control valve in a Common Rail injection system of a combustion engine. Silniki Spalinowe, 2007, SC2, 94–100.

*Recenzent:  
prof. dr hab. inż. Oleh Klyus  
Akademia Morska w Szczecinie*