

## CONCEPTION AND INITIAL RESEARCHES OF ELECTROHYDRAULIC VALVE TIMING FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Krzysztof Zbierski

Politechnika Łódzka

Instytut Pojazdów, ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź, Poland

tel.: +48 42 6312390, e-mail: zbierski@p.lodz.pl

### Abstract

The principle of camless electrohydraulic valve timing relies on it, that valves of timing are introduced to movement by hydraulic actuators controled electronically, but behind assistance of mechanical drive not in the form of timing camshaft. The author concept of electrohydraulic valve timing of combustion engine has been presented in the article. It is characteristic for the concept, the use of the assemblies and elements of diesel engine injections systems and also procedures and elements of control system the valves applied in researches of magnetoelctrical valve timing, for electrohydraulic timing bilding. The project of the head of experimental engine with hydraulic drives of valves and experimental combustion engine for researches of electrohydraulic timing have been presented. The method of valve controlling and without engine researching stand for researching of hydraulically driven valve movement have been described. On the basis of registered cousres of valve displacement some of problems for hydraulic valve timing have been discussed.

**Key words:** camless valve timing of combustion engine, electrohydraulic valve timing, hydraulic drive the valves of combustion engine, variable valve timing phase

## KONCEPCJA I WSTĘPNE BADANIA ELEKTROHYDRAULICZNEGO ROZRZĄDU TŁOKOWEGO SILNIKA SPALINOWEGO

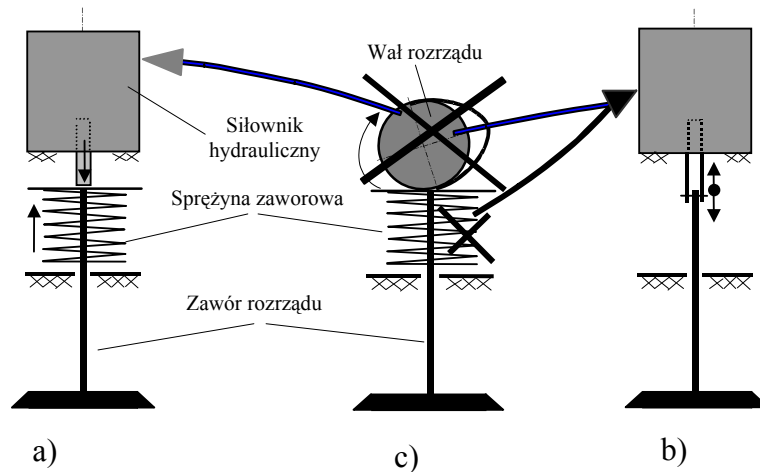
### Streszczenie

Istota bezkrzywkowego elektrohydraulicznego rozrządu polega na tym, że zawory rozrządu są wprawiane w ruch za pomocą napędów hydraulicznych sterowanych elektronicznie, a nie za pomocą napędu mechanicznego w postaci krzywkowego wału rozrządu. W artykule przedstawiono autorską koncepcję elektrohydraulicznego rozrządu tłokowego silnika spalinowego. Charakterystyczne dla tej koncepcji jest wykorzystanie do budowy elektrohydraulicznego rozrządu zespołów i elementów układów wtryskowych silników o zapłonie samoczynnym, a także procedur i elementów układu sterowania zaworami, zastosowanymi w badniach rozrządu magnetoelektrycznego. Zaprezentowano projekt głowicy doświadczalnego silnika z hydraulicznymi napędami zaworów oraz doświadczalny silnik spalinowy do badań rozrządu elektrohydraulicznego. Opisano sposób sterowania zaworami oraz bezsilnikowe stanowisko do badania ruchu zaworu napędzanego hydraulicznie. Na przykładzie zarejestrowanych przebiegów wzniosu zaworu, omówiono niektóre problemy hydraulicznego rozrządu.

**Słowa kluczowe:** bezkrzywkowy rozrząd silnika spalinowego, rozrząd elektrohydrauliczny, hydrauliczny napęd zaworów rozrządu, zmienne fazy rozrządu

### 1. Wprowadzenie

Istota elektrohydraulicznego rozrządu polega na wprawianiu w ruch zaworów rozrządu za pomocą hydraulicznych napędów (siłowników) sterowanych elektronicznie. W stosunku do klasycznego mechanicznego rozrządu zastępują one wał rozrządu lub ten wał i sprężyny zaworowe. Napęd hydrauliczny może być napędem jednostronnego działania ze sprężyną powodującą powrotny ruch zaworu rozrządu, jak i dwustronnego działania bez sprężyny. Istotę hydraulicznego napędu zaworu na tle mechanicznego napędu krzywkowego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Istota hydraulicznego napędu zaworu rozrządu na tle napędu mechanicznego.  
 a – napęd hydrauliczny jednostronnego działania, b – napęd hydrauliczny dwustronnego działania, c – napęd mechaniczny (krzywkowy)

Fig. 1. The principle of hydraulic drive of valve against a background of mechanical drive  
 a – single-sided hydraulic drive, b – double-sided hydraulic drive, c – mechanical drive (drive by cam)

Idea hydraulicznego napędzania zaworów rozrządu jest znana od dawna, ale nie produkuje się jeszcze silników z takimi napędami zaworów za wyjątkiem nielicznych silników okrętowych wielkich mocy, w których hydraulicznie napędzane są zawory wylotowe [6, 8]. Aktualnie prowadzone są szeroko zakrojone badania elektrohydraulicznych rozrządów przez różne ośrodki uniwersyteckie i przemysłowe takie, jak: University of California, University of South Carolina, Tampere University of Finland, Lotus, Bosch, AVL i inne [2, 3, 1, 9, 4]. Badania te prowadzone są głównie na silnikach małej i średniej mocy, a stopień ich zaawansowania jest różny. Różne są też rozwiązania konstrukcyjne badanych rozrządów. W rozrządach tych stosowane są napędy hydrauliczne (siłowniki) jednostronnego i dwustronnego działania. Wprowadzenie takich rozrządów do masowej produkcji przewiduje się w niedalekiej przyszłości [5].

Opierając się na wymienionych publikacjach oraz na wynikach dotychczasowych własnych badań bezkrzywkowych rozrządów magnetoelektrycznego i elektrohydraulicznego [7, 13, 14, 15, 12], można stwierdzić, że zastosowanie w silniku spalinowym elektrohydraulicznego rozrządu umożliwiłoby :

- realizację różnych sposobów wymiany ładunku polegających na wcześniejszym lub późniejszym zamykaniu bądź otwieraniu zaworów,
- poprawę momentu obrotowego silnika,
- zmniejszenie zużycia paliwa,
- wewnętrzną recyrkulację spalin,
- zmniejszenie ilości szkodliwych składników spalin,
- dobór napełnienia do spalania alternatywnych paliw,
- wyeliminowanie przepustnicy z kanału dolotowego silnika o zapłonie iskrowym,
- niezależne sterowanie poszczególnymi zaworami,
- wyłączanie z pracy dowolnych cylindrów,
- szybszy rozruch silnika,
- swobodne hamowanie silnikiem,
- realizację nawrotności silnika, a także innych procesów.

Wymienione możliwości elektrohydraulicznego rozrządu są analogiczne do możliwości bezkrzywkowych elektrycznych rozrządów opisanych między innymi w pracach [10, 14]. Ma on

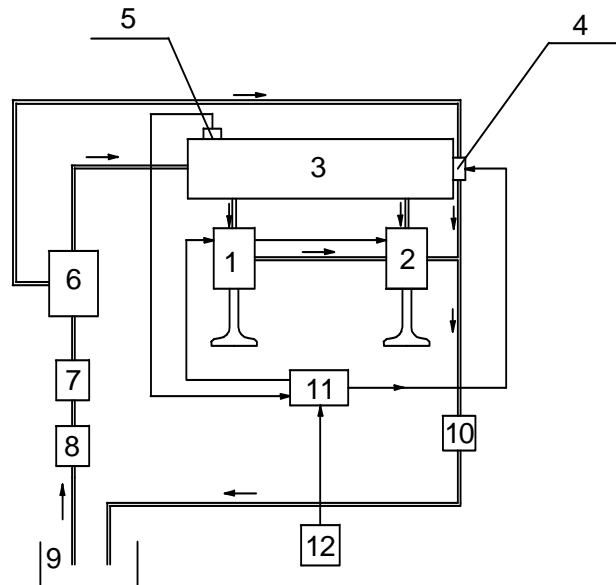
jednak istotną przewagę nad każdą formą rozrządu elektrycznego (elektromechanicznego i magnetoelektrycznego), gdyż w porównaniu z nim może wygenerować znacznie większą siłę napędzającą, przede wszystkim zawór wylotowy. Ta właściwość napędu hydraulicznego (mimo jego stosunkowo dużego skomplikowania) powoduje, że nadaje się on do zastosowania, w przeciwieństwie do napędu elektrycznego, w dużych silnikach - nawet okrętowych wielkiej mocy.

Dalej przedstawiono autorską koncepcję elektrohydraulicznego rozrządu tłokowego silnika spalinowego, studyjny projekt głowicy z hydraulicznymi napędami zaworów, doświadczalny silnik spalinowy do badań elektrohydraulicznego rozrządu oraz bezsilnikowe rozpoznawcze badania ruchu zaworu napędzanego hydraulicznie

## 2. Koncepcja elektrohydraulicznego rozrządu

Autorska koncepcja elektrohydraulicznego rozrządu polega na zastosowaniu w takim rozrządzie zespołów i elementów układów wtryskowych silników o zapłonie samoczynnym, a także elementów układu sterowania i procedur zweryfikowanych w badaniach własnych rozrządu magnetoelektrycznego [13, 15]. Założono, że sterowanie ruchem zaworów rozrządu musi zapewnić płynną zmianę skoków, początków i końców otwarcia zaworów, a zatem i płynną regulację faz rozrządu oraz bezuderzeniowe osiadanie zaworu rozrządu w jego gnieździe. Elementy przesuwne siłowników muszą umożliwiać wywieranie określonej siły na zawór również po zaprzestaniu jego ruchu aby uzyskać określony przestój zaworu w stanie jego otwarcia w celu powiększenia czasoprzekroju zaworu. Założono ponad to, że w pierwszym etapie prac zawór rozrządu będzie napędzany za pomocą siłownika hydraulicznego jednostronnego działania.

Schemat elektrohydraulicznego rozrządu dla pary zaworów wylotowego i dolotowego, według przyjętej koncepcji, przedstawiono na rysunku 2. Ze zbiornika 9 olej jest zasysany przez pompę zasilającą 8 i transportowany dalej do wysokociśnieniowej pompy oleju 6 przez filtr 7. Z pompy 6 olej jest kierowany do kolektora oleju 3 oraz zaworu regulacji ciśnienia 4, a z kolektora do siłowników hydraulicznych 1 i 2. Olej powraca z siłowników hydraulicznych i zaworu regulacji ciśnienia 4 do zbiornika 9 przez chłodnicę 10.

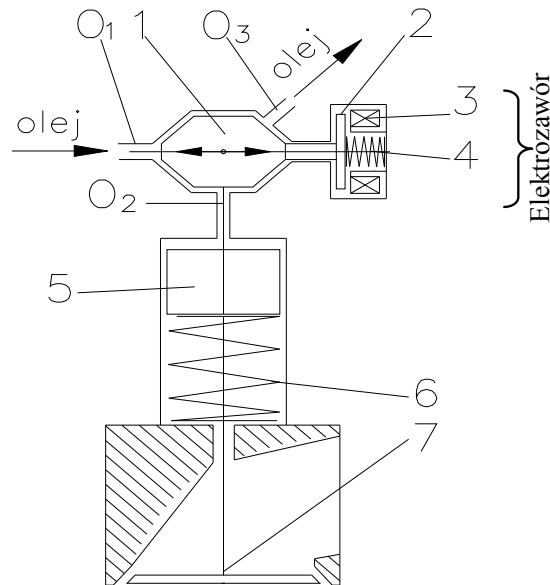


Rys. 2. Schemat elektrohydraulicznego rozrządu silnika spalinowego

1, 2 – siłowniki hydrauliczne, 3 – kolektor oleju, 4 – zawór regulacji ciśnienia, 5 – czujnik ciśnienia, 6 – wysokociśnieniowa pompa oleju, 7 – filtr oleju, 8 – olejowa pompa zasilająca, 9 – zbiornik oleju, 10 – chłodnica oleju, 11 – układ sterujący, 12 – czujnik położenia wału korbowego

Fig. 2. The scheme of electrohydraulic valve timing for combustion engine

1, 2 – hydraulic actuators, 3 – oil collector chamber, 4 – pressure regulation valve, 5 – pressure sensor, 6 – high pressure oil pump, 7 – oil filter, 8 – electrical supplying pump, 9 – oil reservoir, 10 – oil cooler, 11 – control system of hydraulic actuators, 12 – crankshaft position sensor



Rys. 3. Schemat hydraulicznego siłownika jednostronnego działania

1 – suwak elektrozaworu, 2 – zwora elektromagnesu 3 – cewka elektromagnesu,  
4 – sprężyna elektromagnesu, 5 – tłok siłownika, 6 – sprężyna tłoka siłownika (zaworu  
rozrządu), 7 – zawór rozrządu,  $O_1$ ,  $O_2$ ,  $O_3$  – kanały olejowe

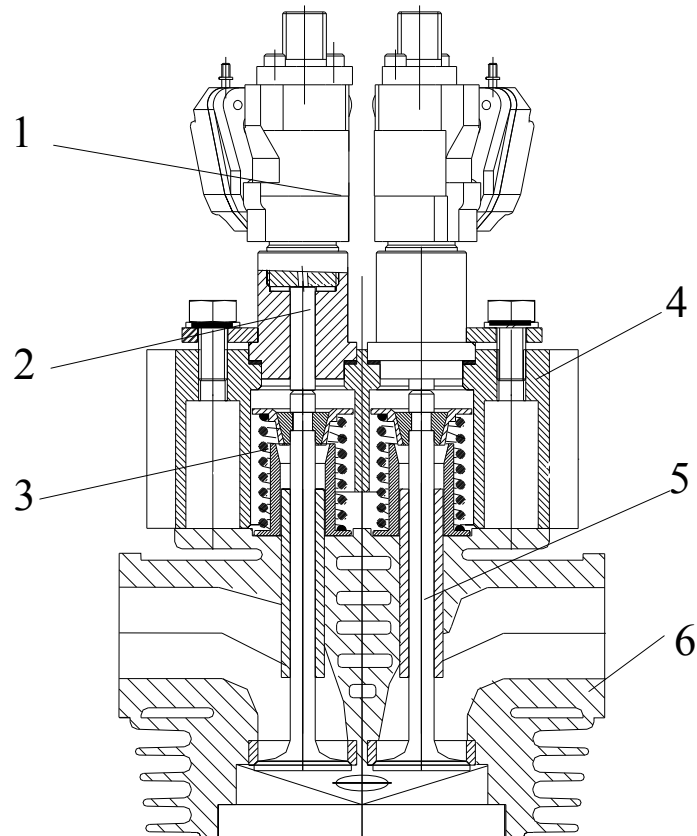
Fig. 3. The scheme of single-sided hydraulic actuator

1 – electrovalve slider, 2 – electromagnet anchor 3 – electromagnet coil,  
4 – electromagnet spring, 5 – actuator piston, 6 – actuator piston spring, 7 – valve the timing gear,  
 $O_1$ ,  $O_2$ ,  $O_3$  – oil canals

Schemat hydraulicznego napędu (siłownika) zaworu rozrządu według autorskiej koncepcji przedstawiono na rysunku 3. Między zaworem rozrządu 7, a tłokiem 5 znajduje się sprężyna 6, która utrzymuje zawór w pozycji zamkniętej, zapewniając wymaganą szczelność gniazda zaworu. Wówczas tłok siłownika 5 znajduje się w górnym położeniu, jak na omawianym rysunku. Czynnikiem wywołującym przemieszczenie tłoka do dołu, a zatem i zaworu rozrządu jest olej silnikowy. Dopływa on do przestrzeni nad tłokiem kanałem olejowym  $O_2$ , z zasilającego kanału olejowego  $O_1$  po włączeniu dopływu prądu do cewki elektromagnesu 3. Wówczas zwora 2, połączona z suwakiem 1, przyciągnięta zostaje do cewki elektromagnesu. Z chwilą przerwania dopływu prądu do cewki 3, suwak 1 przesuwają się w lewo do położenia początkowego powodując zamknięcie kanału  $O_1$  i otwarcie kanału  $O_3$ , do którego odpływa teraz olej z przestrzeni nad tłokiem 5, powodując w niej nagły spadek ciśnienia i przesunięcie tłoka do góry, a zatem i zamknięcie zaworu rozrządu 7. Olej silnikowy dostarczany jest do kanału  $O_1$  z kolektora 3 (rys. 2). W przypadku seryjnego silnika zbiornikiem 9 byłaby miska olejowa silnika spalinowego. Ciśnienie oleju jest elektronicznie sterowane w kolektorze 3 i może osiągać wartość rzędu 20 MPa. W przedstawionym siłowniku nie uwzględniono zaworu dławiącego po stronie wypływu oleju z kanału  $O_3$ , hamującego tzw. dobieg tłoka w celu zapewnienia bezuderzeniowego osiadania zaworu w swoim gnieździe. Zrobiono to celowe na tym etapie badań, aby można było łatwiej ustalić wartości parametrów ruchu takiego zaworu. Zastosowanie zaworu dławiącego przewidziano w następnych etapach badań elektrohydraulicznego rozrządu.

### 3. Głowica z hydraulicznymi napędami zaworów

Uwzględniając założenia do elektrohydraulicznego rozrządu tłokowego silnika spalinowego zaprojektowano hydrauliczne napędy zaworów na głowicy doświadczalnego jednocylinowego silnika badanego wcześniej z rozrzędem magnetoelektrycznym [13, 15].



Rys. 4. Głowica doświadczalnego jednocylindrowego silnika spalinowego z hydraulicznymi napędami (siłownikami) zaworów rozrządu

1 – elektrozawór, 2 – tłok siłownika, 3 – sprężyna tłoka siłownika (zaworowa), 4 – płyta do mocowania siłowników, 5 – zawór rozrządu, 6 – głowica silnika

Fig. 4. The head of experimental combustion engine with single cylinder and with hydraulic drives (actuators) of valves the timing gear

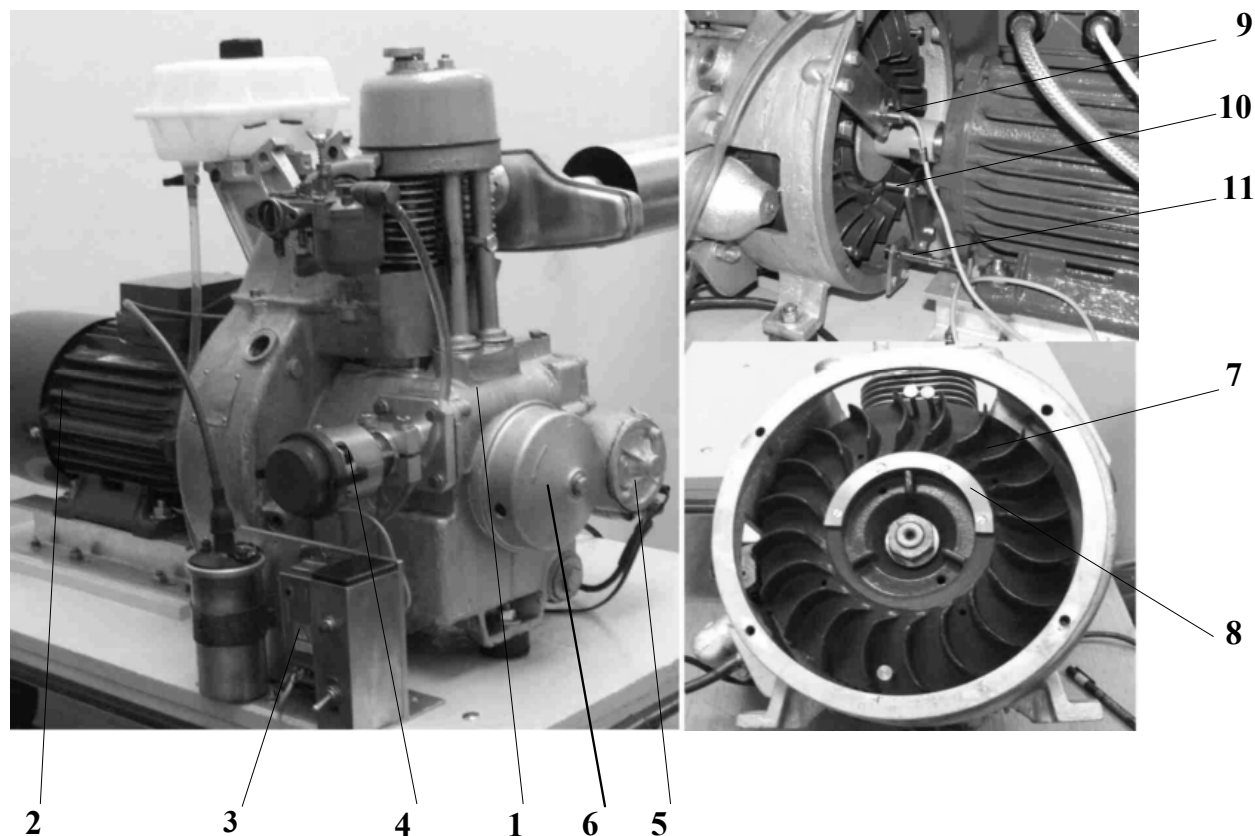
1 – electrovalve, 2 – actuator piston, 3 – actuator piston spring (valve spring), 4 – plate for fixing of actuators, 5 – valve the timing gear, 6 – the head of engine

Założono, że ewentualne zmiany w głowicy tego silnika, konieczne do umieszczenia napędów hydraulicznych, muszą być tak zaprojektowane i wykonane, aby nie utrudniały montażu na doświadczalnym silniku głowicy z rozrządem magnetoelektrycznym lub krzywkowym. Projekt omawianej głowicy z hydraulicznymi napędami zaworów przedstawiono na rysunku 4.

#### 4. Doświadczalny silnik spalinowy do badań elektrohydraulicznego rozrządu

Doświadczalny jednocylindrowy silnik spalinowy, widoczny na rysunku 5, wykonano we własnym zakresie wykorzystując do tego główne zespoły produkowanego w minionych latach czterosuwowego, chłodzonego powietrzem, gaźnikowego silnika S 101M. Podstawowe dane doświadczalnego silnika to:

- średnica cylindra x skok tłoka .....70 x 60 mm,
- pojemność skokowa silnika .....0,23 dm<sup>3</sup>,
- stopień sprężania .....7,
- moc nominalna/prędkość obrotowa .....2,8 kW / 2800 obr/min,
- max. moment obrotowy/prędkość obrotowa.....11 Nm / 1400 obr/min.



Rys. 5. Widok silnika doświadczalnego na stanowisku badawczym

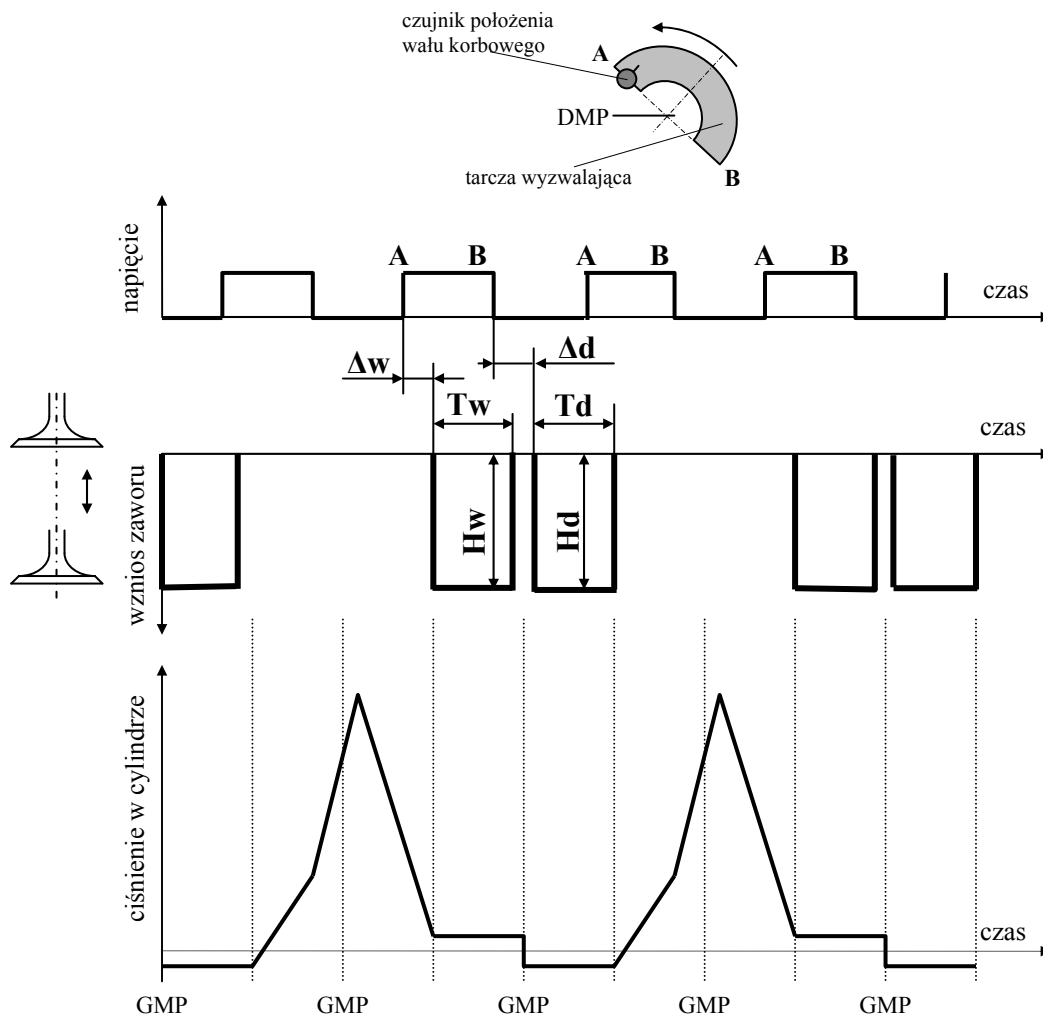
1 – silnik doświadczalny, 2 – silnik elektryczny z falownikowym zespołem sterującym, 3 – elektroniczny moduł zapłonowy, 4 – aparat zapłonowy, 5 – rozrusznik elektryczny, 6 – rozrusznik ręczny, 7 – koło zamachowe, 8 – tarcza wyzwalająca, 9 – czujnik położenia wału korbowego, 10 – czujnik alternatywnego układu zapłonowego, 11 – czujnik górnego i dolnego martwego położenia tłoka

Fig. 5. View of experimental engine on researching stand

1 – experimental engine, 2 – electric motor with converter control system, 3 – electronic ignition module, 4 – ignition apparatus, 5 – electric selfstarter, 6 – hand starter, 7 – flywheel, 8 – initiating disc, 9 – crankshaft position sensor, 10 – alternative ignition system sensor, 11 – sensor of upper and bottom dead point of piston

Silnik może pracować z rozrzadami różnego typu, a mianowicie krzywkowym, elektrohydraulicznym, magnetoelektrycznym, a nawet elektropneumatycznym po zamianie głowic z odpowiednimi napędami i wykonaniu pewnych czynności demontażowo-montażowych. Silnik doświadczalny połączony jest z silnikiem elektrycznym wyposażonym w falownikowy zespół sterujący, umożliwiający hamowanie, a nawet napędzanie silnika doświadczalnego. Rozruch silnika doświadczalnego możliwy jest zatem za pomocą tego silnika elektrycznego, rozrusznika elektrycznego, a także rozrusznika ręcznego. Silnik doświadczalny wyposażono w elektroniczny układ zapłonowy, niezbędne czujniki do pomiarów ciśnień w cylindrze i przyspieszeń zaworów oraz sondę do poboru spalin.

Sterowanie zaworami rozrządu polegające na zadawaniu czasów otwarcia i zamknięcia zaworów odbywa się następująco. Gdy obracająca się w lewo tarcza wyzwalająca 8 (rys.5) znajdzie się w położeniu widocznym na rysunku 6, wówczas początek tarczy (punkt A) rozpoczyna generowanie w czujniku położenia wału korbowego prostokątnego sygnału napięciowego, który przesyłany jest do układu sterującego. Odpowiedzią układu sterującego na ten sygnał jest przesłanie, po upływie czasu  $\Delta w$  odmierzzonego od punktu A, określonego



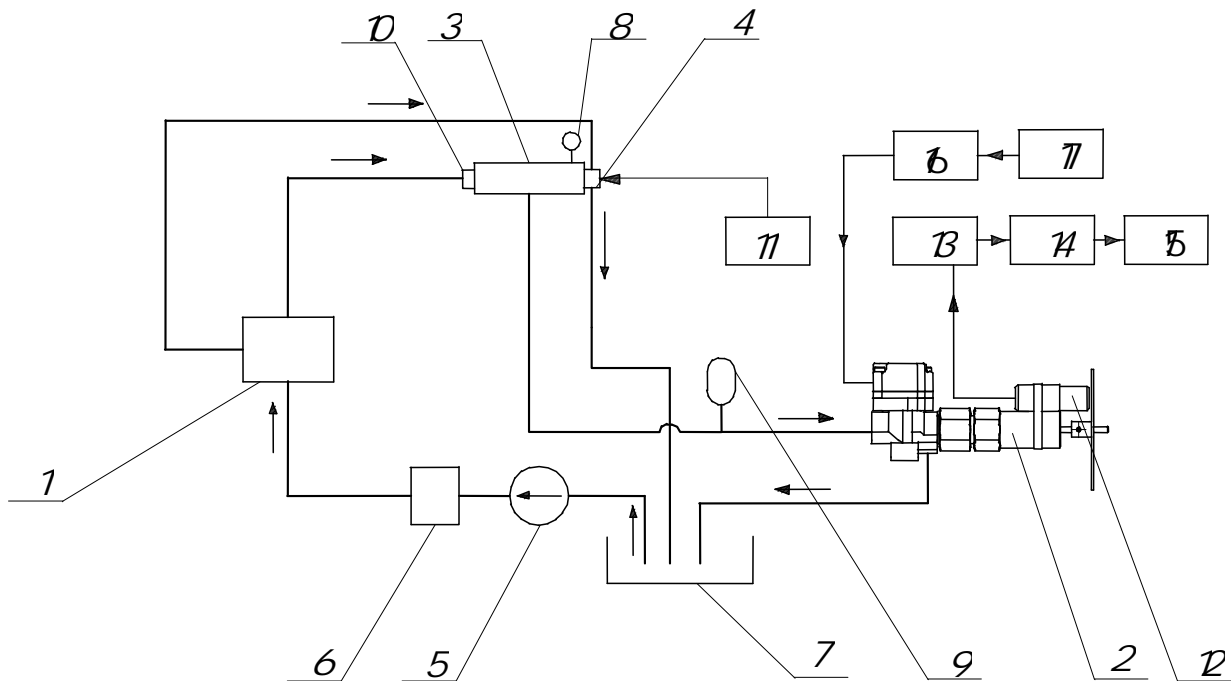
Rys. 6. Sposób sterowania zaworami rozrządu napędzanymi hydraulicznie  
 Fig. 6. The method of control of hydraulically driven valves the timing gear

napięcia zasilającego do cewki elektromagnesu 3 (rys. 3). Wówczas zwora 2, połączona z suwakiem 1 przyciągnięta zostaje do cewki elektromagnesu 3 i następuje przepływ oleju kanałem  $O_2$  do przestrzeni nad tłokiem siłownika 5 i otwarcie zaworu wylotowego. Należy tu zwrócić uwagę, że czujnik położenia wału korbowego i tarcza wyzwajająca są tak ustawione na wale korbowym silnika, że punkt A tej tarczy znajduje się w pewnej odległości kątowej przed dolnym martwym położeniem tłoka - DMP. Zamknięcie zaworu wylotowego następuje po przerwaniu zasilania cewki 3, tak aby otrzymać zadany czas otwarcia zaworu wylotowego  $T_w$ . Gdy tarcza wyzwajająca obróci się o 180 stopni, wówczas jej punkt B rozpoczyna generowanie w czujniku położenia wału korbowego prostokątnego sygnału napięciowego, który przesyłany jest do układu sterującego. Odpowiedzią układu sterującego na ten sygnał jest przesłanie, po upływie czasu  $\Delta d$  odmierzonego od punktu B, sygnału napięciowego do cewki 3 elektromagnesu zaworu dolotowego, a zatem otwarcie zaworu dolotowego. Czas trwania otwarcia zaworu dolotowego określa zadany czas  $T_d$ . Kolejny obrót tarczy wyzwajającej o 360 stopni, nie powoduje otwarcia żadnego zaworu, gdyż sygnał napięciowy generowany przez czujnik nie jest wykorzystywany przez procesor do otwierania zaworów, zgodnie z programem sterującym. Dopiero po tym kącie obrotu znowu otwierają się zawory, ale już podczas następnego cyklu pracy silnika. Zaznaczenie na omawianym rysunku czasów otwarcia zaworów  $T_w$  i  $T_d$ , krótszych od czasów trwania suwów

silnika, wyniknęło z konieczności uzyskania dobrej czytelności rysunku. W rzeczywistości czasy te oraz czasy  $\Delta w$  i  $\Delta d$ , mogą mieć dowolne wartości dzięki czemu można zmieniać fazy rozrządu.

## 5. Bezsilnikowe badania ruchu zaworu napędzanego hydraulicznie

Badania ruchu zaworu napędzanego hydraulicznie przeprowadzono na stanowisku bezsilnikowym przedstawionym na rysunku 7. Do budowy stanowiska wykorzystano zespoły



Rys. 7. Schemat bezsilnikowego stanowiska do badania ruchu zaworu napędzanego hydraulicznie

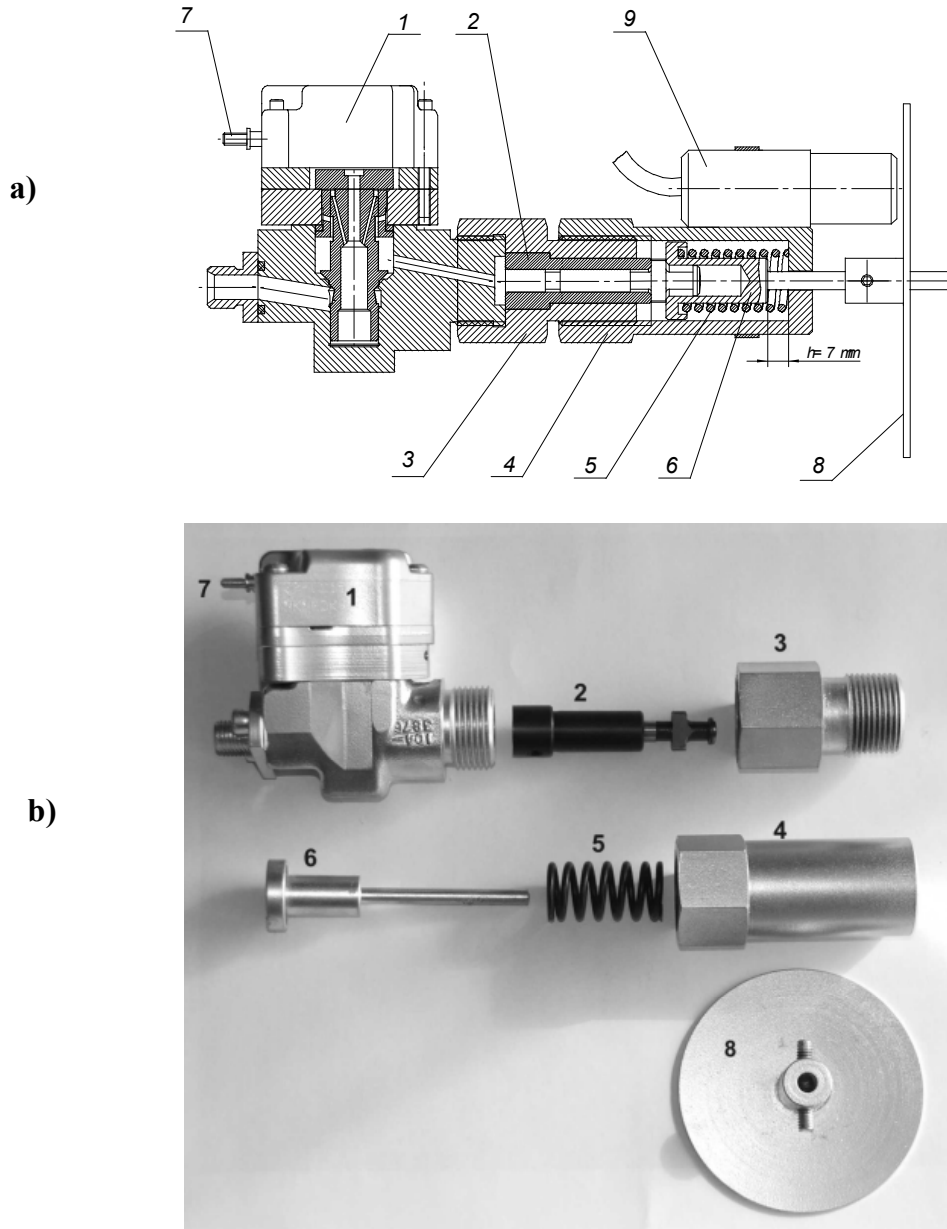
1 – wysokociśnieniowa pompa oleju, 2 – hydrauliczny napęd zaworu, 3 – kolektor oleju, 4 – zawór regulacji ciśnienia, 5 – elektryczna pompa podająca olej, 6 – filtr oleju, 7 - zbiornik oleju, 8 – manometr, 9 – akumulator pneumatyczno – hydrauliczny, 10 – czujnik ciśnienia oleju w kolektorze oleju, 11 – układ sterowania zaworem regulacji ciśnienia, 12 – czujnik przemieszczeń, 13 - zasilacz czujnika przemieszczeń, 14 – interfejs, 15 - komputer, 16 - układ zadawania czasu otwarcia zaworu rozrządu, 17 – zasilacz sieciowy

Fig. 7. The scheme of without engine researching stand for researching of hydraulically driven valve motion

1 – high pressure oil pump, 2 – hydraulic drive of valve, 3 – oil collector, 4 – pressure regulation valve, 5 – electric supplying oil pump, 6 –oil filter, 7 – oil reservoir, 8 – manometer, 9 – pneumatic – hydraulic accumulator, 10 – sensor of oil pressure in oil collector, 11 – control system of pressure regulation valve, 12 – displacement sensor, 13 –supplier of displacement sensor, 14 – interface, 15 - computer, 16 – the system of time applying for opening valve the timing gear, 17 – power supplier

wtryskowe takie, jak pompa wysokociśnieniowa, pompa zasilająca, kolektor oleju i zawory regulacyjne z układu wtryskowego common rail. Do budowy hydraulicznego siłownika wykorzystano elementy tłoczące rzędowych pomp wtryskowych oraz szybki elektrozawór wysokociśnieniowego pompowtryskiwacza hydraulicznego (rys. 8).





Rys. 8. Hydrauliczny napęd (siłownik) zaworu rozrządu z czujnikiem przemieszczeń i tarczą pomiarową  
a – przekrój, b – widok elementów

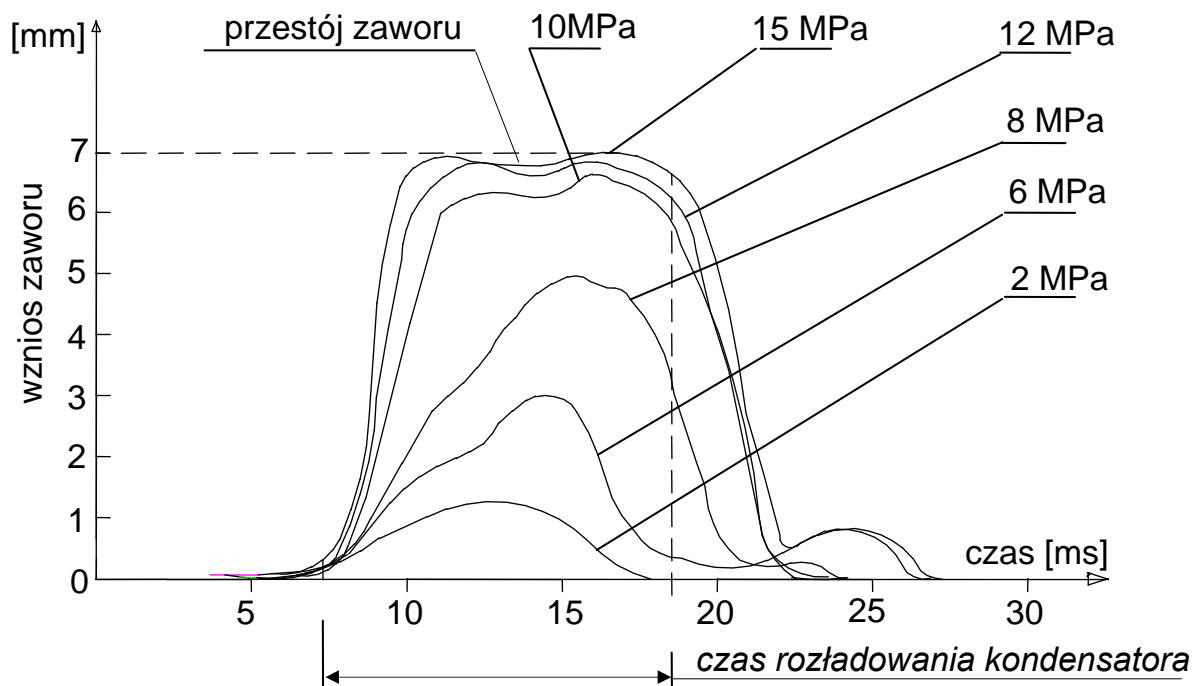
1 - elektrozawór Caterpillar, 2 – sekcja tłocząca, 3 – oprawa sekcji tłoczącej, 4 – nakrętka regulacyjna,  
5 – sprężyna, 6 – trzpień pomiarowy, 7 – przyłącze prądowe, 8 – tarcza pomiarowa, 9 – czujnik przemieszczeń  
a – przekrój, b – widok elementów

Fig. 8. Hydraulic drive (actuator) of valve the timing gear with disc the displacement measurement

1 - electrovalve Caterpillar, 2 – pressuring section, 3 – pressuring section frame, 4 – regulation screw,  
5 – spring, 6 – measurement pine, 7 – current cable, 8 – measurement disc, 9 – displacement sensor

Na rysunku 9 pokazano kilka przykładowych przebiegów wzniosu zaworu zarejestrowanych na przedstawionym stanowisku. Odpowiadają one różnym wartościom ciśnienia oleju działającego na tłok siłownika hydraulicznego, przy niezmiennym czasie rozładowania kondensatora doprowadzającego prąd do cewki elektromagnesu 3 (rys. 3). Na przykład, przy pojemności kondensatora 530  $\mu\text{F}$ , czas ten wynosi 18 ms. Oczywiście przy zastosowaniu kondensatorów o innych pojemnościach otrzymywano różne czasy rozładowania. Czas otwarcia zaworu rozrządu przy ciśnieniu oleju równym 12 MPa wynosi tu 22 ms. Jeśli założyć, że tyle wynosiłby czas

otwarcia zaworu w rzeczywistym silniku, wówczas przy odpowiadającym temu czasowi kącie obrotu wału korbowego wynoszącym np. 240 stopni, silnik osiągnąłby prędkość obrotową około 1800 obr/min. Zwiększenie prędkości obrotowej silnika, przy niezmienniej masie ruchomych elementów siłownika i zaworu rozrządu, wymagałoby zwiększenia ciśnienia oleju działającego na tłok siłownika, albo skrócenia czasu przestoju zaworu lub jednego i drugiego.



Rys. 9. Zależność wzniosu zaworu od wartości ciśnienia oleju działającego na tłok siłownika hydraulicznego  
Fig. 9. The dependency of valve displacement on pressure value of oil acting on piston the hydraulic actuator

Na wszystkich przebiegach wzniosu zaworu przedstawionych na rysunku 9 widoczne są ponowne otwarcia zaworu o większych lub mniejszych okresach i amplitudach. Spowodowane one zostały niedostatecznym wyhamowaniem zaworu w chwili jego osiadania w gnieździe na skutek braku zaworu dławiącego za kanałem odpływowym  $O_3$  zapewniającego hamowanie tzw. dobiegu tłoka siłownika 5 (rys. 3). Zastosowanie zaworu dławiącego przewidziano w innych etapach badań rozrządu elektrohydraulicznego. Hamowanie dobiegu tłoka siłownika, a tym samym hamowanie zaworu jest bodaj najtrudniejszym problemem do rozwiązania w elektrohydraulicznym rozrządzie. Potwierdzają to na przykład przebiegi wzniosu zaworu przedstawione w pracy [4], na których widoczne jest osiadanie zaworu w swoim gnieździe z różnymi prędkościami od 0,05 do 0,5 m/s. Podobnie, problem hamowania zaworu występuje w bezkrzywkowym elektromechanicznym napędzie zaworu [10, 11], zaś znacznie mniejszy jest on w napędzie magnetoelektrycznym [13, 14, 15].

## 6. Podsumowanie

Przedstawiony rozrząd elektrohydrauliczny tłokowego silnika spalinowego, wykonany został według autorskiej koncepcji polegającej na zastosowaniu w takim rozrządzie zespołów i elementów układów wtryskowych silników o zapłonie samoczynnym, a także elementów układu

sterowania i procedur zweryfikowanych w badaniach własnych rozrządu magnetoelektrycznego. Wstępne bezsilnikowe badania ruchu zaworu wymuszanego za pomocą siłownika hydraulicznego jednostronnego działania wykazały, że możliwa jest płynna zmiana wartości wzniosów, początków, końców i czasów otwarcia zaworów rozrządu elektrohydraulicznego, a zatem i płynna regulacja faz rozrządu. Rozwiązania wymaga problem bezuderzeniowego osiadania zaworu rozrządu w jego gnieździe. W tym zakresie prowadzone są aktualnie prace, które dotyczą również siłowników dwustronnego działania. Uzyskane wyniki wstępnych badań oraz prac projektowych, a także prac związanych z przygotowaniem jednocylindrowego silnika do badań elektrohydraulicznego rozrządu, stanowią cenny materiał do opracowania modeli matematycznych rozrządu elektrohydraulicznego, hydraulicznych napędów jednostronnego i dwustronnego działania, a następnie przeprowadzenia dla nich symulacji procesów dynamicznych.

Zastosowanie w rozrządzie elektrohydraulicznym elementów układów wtrysku oleju napędowego, mogłoby mieć istotne znaczenie aplikacyjne, szczególnie w odniesieniu do silników o zapłonie samoczynnym, wyposażonych w bezkrzywkowe hydrauliczne układy wtryskowe.

## Literatura

- [1] Aaltonen J., Vilenius M.: Electrohydraulic Valvetrain for Extreme Value Diesel Engine. Tampere University of Technology/Institute of Hydraulics and Automation, Tampere, Finland. 2002. [www.IHA\\_TUKEVA-article\\_2002](http://www.IHA_TUKEVA-article_2002).
- [2] Barros da Cunha S., Hedrick K., Pisano A.: Variable Valve Timing By Means of a Hydraulic Actuation. Society of Automotive Engineers 2000. SP-1523.
- [3] Brader J.S.: development of a Piezoelectric Controlled Hydraulic Actuator for a Camless Engine. Department of Mechanical Engineering University of South Carolina 2001.
- [4] Denger D., Mischker K.: Die elektrohydraulische Ventilsteuerung. Motortechnische Zeitschrift, 12/2004.
- [5] Friedl H., Kapus P.: Trends in Gasoline Engines Technology. Silniki Spalinowe, nr 2/2005.
- [6] Groene O.: The Electronically Controlled ME Engine. MAN B&W Diesel, Denmark. Sympozjum Silników Spalinowych. H. Cegielski Poznań S.A., 2. 06.2003.
- [7] Kossowski Z., Wajand J., Zbierski K.: Bekrzywkowe układy rozrządu tłokowych silników spalinowych. Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego Nr 9T12D02018, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała 2002.
- [8] Mańczak J.: Silnik okrętowy Sulzer RT-flex 60 C dla statków średniej wielkości. Sympozjum Silników Spalinowych. H. Cegielski Poznań S.A., 2. 06.2003.
- [9] Milovanovic N., Tuner J.: Requirements for the Valve train and Technologies for Enaqling HCCI Over the Entire Operating Range. Powertrain Research Department, Lotus Engineering, UK. 20.09.2005. [www.automotive.eaton.com](http://www.automotive.eaton.com)
- [10] Pischinger M., Hagen J., Salber W., Esch T.: Möglichkeit der ottomotorischen Prozeßführung bei Verwendung des elektromechanischen Ventiltriebs. 7. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motortechnik 1998. FEV Motortechnik GmbH & Co. KG, Aachen 1998.
- [11] Salber W., Kemper H., Staay F., Esch T.: Der elektromechanische Ventiltrieb – Systembaustein für zukünftige Antriebskonzepte. Teil 1, 2. Motortechnische Zeitschrift 12/2000, 1/2001.
- [12] Zbierski K.: Badania bezkrzywkowego, magnetoelektrycznego rozrządu silnika spalinowego. Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego Nr 4T12D01826, Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Polmatex – Cenaro w Łodzi, Łódź 2006.
- [13] Zbierski K.: Regulacja napełniania silnika o zapłonie iskrowym za pomocą rozrządu magnetoelektrycznego. Journal of Internal Combustion Engines. Kones 2003. Warszawa - Wisła, 2003.

- [14] Zbierski K.: Theoretical basis of electromagnetic valve timing of combustion engine. Journal of Internal Combustion Engines. Kones 2004. Zakopane 2004.
- [15] Zbierski K.: Wstępne badania studialnego silnika z rozrządem elektromagnetycznym. Journal of Internal Combustion Engines. Kones 2005. Polanica 2005.