

PROJECT OF ONE-CYLINDER SHIP DIESEL ENGINE RESEARCH STAND

Tomasz Lus

*Akademia Marynarki Wojennej
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Okrętów
81-103 Gdynia, ul. Smidowicza 69
tel. (058) 6262629, tlus@amw.gdynia.pl*

Summary

Initial project of one-cylinder ship diesel engine research stand based on WOLA 150 DM engine has been presented in this paper. Some changes connected with valvetrain and fuel injection systems are also presented.

PROJEKT STANOWISKA BADAWCZEGO JEDNOCYLINDROWEGO SILNIKA OKRĘTOWEGO

Streszczenie

W referacie został przedstawiony wstępny projekt stanowiska silnika 1-cylindrowego budowanego na bazie silnika WOLA 150 DM. Przedstawiono propozycję przebudowy układu napędu rozrządu zaworowego oraz wtrysku paliwa do cylindra.

1. Wstęp

Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni od lat prowadzi prace naukowo-badawcze z zakresu eksploatacji okrętowych tłokowych silników spalinowych. Dotyczą one procesów zachodzących w cylindrach silnika jak i procesów im towarzyszących. Główne tematy badawcze aktualnie prowadzone w Instytucie Konstrukcji i Eksploatacji Okrętów z obszaru silników tłokowych dotyczą: badania przebiegu ciśnienia spalania w cylindrze wraz z wielosymptomową analizą tego parametru do wykorzystania w diagnostyce oraz badania wpływu różnych czynników na toksyczność spalin.

Dotychczas prace naukowo-badawcze prowadzone są w oparciu o bazę, na którą składają się głównie stanowiska badawcze okrętowych średnio- i szybkoobrotowych silników SULZER typu 6AL20/24, WOLA-HENSCHHEL typu 57H6Aa oraz SW400 Leyland. Pomimo niewątpliwych zalet wyżej wymienionych stanowisk, do których zaliczyć można reprezentatywność obiektów (typowe silniki, powszechnie wykorzystywane w okrętownictwie i Marynarce Wojennej), stanowiska te posiadają wadę, która w dobie przeznaczania ograniczonych środków finansowych na realizację badań naukowo-badawczych wydaje się istotna. Wadą tą jest bez wątpienia wysoki koszt jednostkowy prowadzenia badań, związany przede wszystkim z wielkością obiektów. Ponadto w przypadku silników sześciocylindrowych (a z takimi mamy do czynienia) sygnał parametru wyjściowego pochodzący od jednego cylindra jest z reguły zakłócany oddziaływaniem pozostałych cylindrów. Stanowi to istotne utrudnienie na etapie identyfikacji badanego zjawiska, czy też weryfikacji opracowywanych modeli matematycznych tychże zjawisk na obiekcie rzeczywistym.

W związku z powyższym planuje się budowę stanowiska badawczego silnika jednocylindrowego, opartego o konstrukcję silnika typu WOLA 150 DM. Wybór silnika tego typu jako bazy do budowy stanowiska podyktowany jest przede wszystkim reprezentatywnością obiektu (silnik ten jest wykorzystywany w okrętownictwie), posiadaniem układu bezpośredniego wtrysku paliwa oraz otwartej komory spalania, podobnie jak większość silników o zastosowaniu morskim. Moc 6-cio cylindrowego silnika WOLA 150 DM wynosi 110 kW przy prędkości obrotowej 1500 obr/min. Średnica cylindra jest równa 150 mm a skok tłoka wynosi 180 mm. Istotnym jest również fakt posiadania pewnej ilości silników tego typu, części do nich oraz to, że taki silnik już raz był w Akademii Marynarki Wojennej zbudowany przez Pana doktora Stanisława Rutkowskiego[5]. Prace związane z cięciem, spawaniem oraz przebudową silnika 6-cio cylindrowego na silnik 1-dno cylindrowy są w toku.

Planowane stanowisko badawcze przewiduje się wyposażyć między innymi w:

- system doładowania silnika sprężarką napędzaną niezależnie;
- hamulec z układem automatycznego sterowania obciążeniem silnika;
- układ automatycznego sterowania procesem pomiaru, akwizycją i rejestracją danych oraz układem wizualizacji.

Silnik jednocylindrowy zbudowany w ramach projektu ma mieć charakter doświadczalno-dydaktyczny. Ma umożliwiać prowadzenie badań z zakresu doskonalenia metod diagnostycznych silników jak i prowadzenie innych badań w ramach realizacji prac dyplomowych słuchaczy. Silnik będzie również wykorzystywany w zajęciach dydaktycznych. Ambicją zespołu przebudowującego silnik jest wyposażenie go w układy będące już standardem w niektórych zastosowaniach trakcyjnych a dopiero wchodzące na jednostki napędowe okrętów. Przykładowo planuje się zastosowanie, obok tradycyjnego układu wtryskowego paliwa, możliwości zasilania silnika w systemie CR. W tym celu planuje się wykorzystać gotowe elementy układów zasilania paliwem typu CR z samochodowych silników trakcyjnych. Również układ rozrządu zaworowego silnika planuje się wykonać w dwóch wariantach. Układ konwencjonalny z dwoma wałami krzywkowymi nad głowicą i układ z hydraulicznym otwieraniem zaworów. W ramach referatu zostaną zaprezentowane do dyskusji wstępne koncepcje tych dwóch układów przebudowywanego silnika.

2. Koncepcja układu rozrządu zaworowego z napędem hydraulicznym zaworów

Istniejący układ zaworowy silnika WOLA 150 nie stwarza możliwości zmiany faz rozrządu w czasie pracy silnika. Jest to konwencjonalny układ górno zaworowy z dwoma wałami krzywkowymi nad głowicą. Prace rozwojowe współczesnych silników okrętowych zmierzają w kierunku swobodnego kształtowania faz rozrządu silnika a jednym z popularniejszych rozwiązań w tym względzie jest stosowanie układu z napędem hydraulicznym zaworów i sterowaniem elektronicznym[1]. Znane są różne koncepcje tego typu układów np. układy rozrządu zaworowego z możliwością zmiany faz w czasie pracy z napędem hydraulicznym i sterowaniem elektronicznym – firmy Lotus [4].

Napęd i regulacja faz rozrządu Lotusa – AVT (Active Valve Train) zapewnia możliwość ciągłej regulacji faz rozrządu oraz skoku zaworów. Rozwiązanie to charakteryzuje między innymi brak wałka rozrządu, krzywek i części przenoszących napęd na zawór. Nie posiada on sprężyn zamykających zawory. Zawory w eksperymentalnym 1-cylindrowym stacjonarnym benzynowym silniku Lotusa, są napędzane hydraulicznymi siłownikami, o obustronnym działaniu. Dzięki takiemu rozwiązaniu istnieje łatwość regulacji faz otwarcia i zamknięcia zaworów, oraz ich skoków. Siłownik hydrauliczny uruchamiający zawór, umieszczony jest nad trzonkiem zaworu, współosiowo z nim. Umieszczenie w ten sposób tych elementów, ułatwia sterowanie i kontrolę położenia zaworu. Chwilowe położenie zaworu

jest informacją niezbędną dla działania mikroprocesora sterującego rozrzędem silnika. Silnik badawczy Lotusa, w którym zastosowano hydrauliczny napęd rozrzędu, jest 1-cylindrowy, 4-zaworowy. Zbudowano go z części silnika 4-cylindrowego o pojemności 2200 cm³, wykorzystując dwa cylindry w celu zapewnienia częściowego wyrównoważenia. W drugim cylindrze, który nie pracuje, umieszczony jest tłok z korbowodem, ale bez pierścieni. W próbach okazało się, że oprogramowanie umożliwiło precyzyjne sterowanie rozrzędem. Można było zmieniać kąty otwarć i zamknięć zaworów co 1° obrotu wału korbowego. Skoki zaworów zmieniano w czasie prób w sposób ciągły od 0 do 11 mm. Możliwe też było rozdzielanie sterowania grupami zaworów, np. wlotowymi niezależnie od wylotowych. Zaobserwowano wpływ zmian wartości kątowych faz rozrzędu na osiągi silnika. Przy prędkości obrotowej 2000 obr/min błędy o wielkości $\pm 1^\circ$ zmieniały osiągi silnika. Około 4000 obr/min wielkość dopuszczalnego błędu faz rozrzędu wzrastała do $\pm 3^\circ$.

Podobne rozwiązanie napędu zaworów, do projektu firmy LOTUS, w silnikach dwusuwowych dużej mocy stosowane jest przez firmy MAN B&W w silnikach serii ME - C oraz Wärtsilä w silnikach serii RTA i RT - flex. Tu jednak zawory są otwierane hydraulicznie a zamykane pneumatycznie.

Alternatywą dla układów hydraulicznych są układy rozrzędu zaworowego z możliwością zmiany faz w czasie pracy z napędem elektromagnetycznym i sterowaniem elektronicznym, jednak takie rozwiązania dotyczą najczęściej małych silników szybkoobrotowych. Przykładem może być konstrukcja elektromagnetycznie sterowanego układu rozrzędu, pozbawionego wału rozrzędu, dźwigni, popychaczy itd. firmy Arura System Incorporation z USA oraz podobne rozwiązanie napędu zaworów, opracowane przez polskich naukowców - Kossowski Zbigniew, Łódź; Wajand Jan A., Bielsko-Biała; Zbierski Krzysztof, Łódź) [3]. Z wielu możliwych kombinacji napędu zaworów w silniku spalinowym, do badań przez polskich naukowców został wybrany napęd magnetoelektryczny.

Istnieje wiele rozwiązań układów zaworowych jak i stosowanych sposobów ich napędu. Obserwując tendencje rozwojowe sposobu napędu zaworów silników okrętowych można wnioskować, że coraz więcej nowych konstrukcji silników będzie posiadać napęd zaworów ze zmiennymi fazami rozrzędu w celu uzyskiwania przez te silniki jak najlepszych osiągnięć. Prowadzone badania jak i już istniejące rozwiązania potwierdzają słuszność stosowania zmiennych faz rozrzędu zaworowego w tłokowych silnikach spalinowych. Obecnie większość silników wysokoprężnych stosowanych w okrętownictwie nie posiada zmiennych faz rozrzędu, dlatego istotne wydaje się prowadzenie badań na silniku na którym w dowolny sposób można zmieniać fazy rozrzędu i badać hydrauliczny napęd zaworów w celu jego doskonalenia oraz wykrywania jego wad, by w efekcie zastosować go w konstrukcjach silników seryjnych.

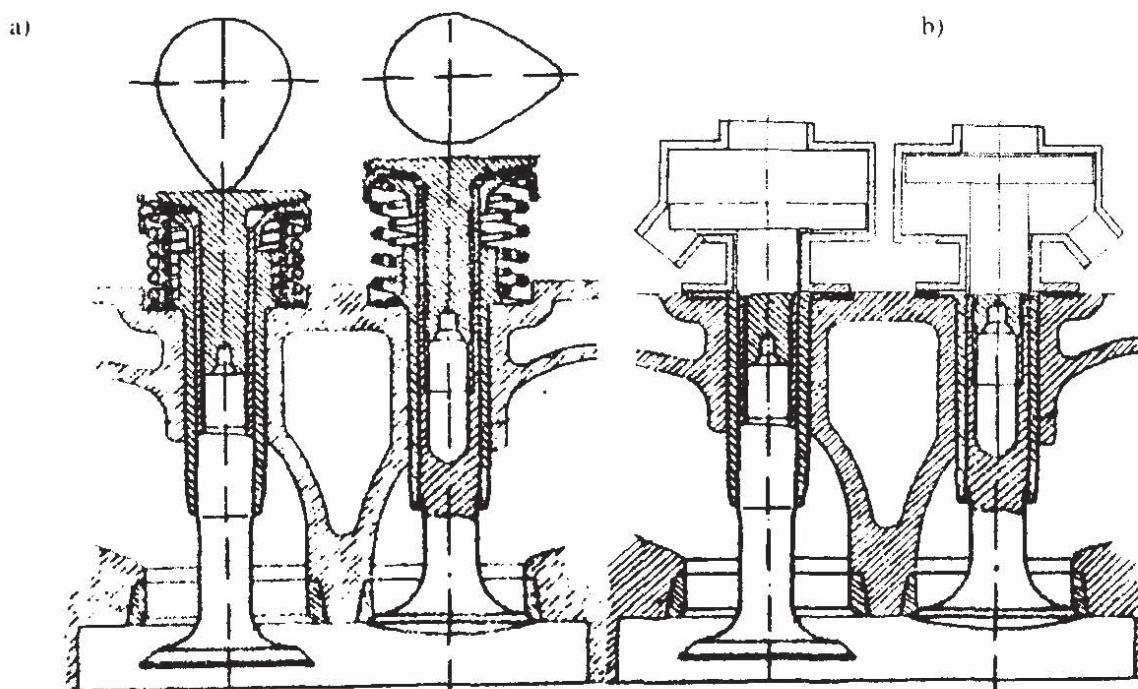
Do projektu przebudowy silnika WOLA 150 planuje się wybrać napęd hydrauliczny zaworów, gdyż posiada on następujące zalety ;

- możliwość uzyskania dużej gęstości strumienia przekazywanej mocy;
- elementy układu mają dużą zwartość konstrukcji;
- mała masa elementów ruchomych umożliwia rozwijanie dużych prędkości w krótkim czasie;
- naturalny sposób tłumienia drgań pojawiających się w układzie dzięki właściwościom czynnika hydraulicznego;
- bezpośrednio osiowe przekazywanie ruchu tłoczyska siłownika na trzon zaworu, a tym samym wyeliminowanie sił bocznych w prowadnicy zaworu;
- możliwość wykorzystania jako czynnika hydraulicznego oleju smarnego silnika;
- przy zastosowaniu pompy hydraulicznej z niezależnym napędem od silnika spalinowego możliwość dowolnego sterowania ciśnieniem i strumieniem objętości czynnika hydraulicznego.

Projektowany układ rozrzędu powinien umożliwiać:

- dowolne kształtowanie faz rozrządu w zależności od obciążenia i prędkości obrotowej silnika;
- pozostawienie układu zaworów i gniazd zaworowych oraz kanałów dolotowych i wylotowych w niezmiennym kształcie;
- przyjęcie do obliczeń możliwie dużej ilości elementów obecnego układu rozrządu i obecnie stosowanych faz rozrządu jako bazy wyjściowej.

Schemat poglądowy obecnego napędu zaworów silnika WOLA 150 DM i napędu za pomocą siłowników hydraulicznych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat poglądowy obecnego napędu zaworów silnika WOLA 150 i napędu za pomocą siłowników hydraulicznych; a – napęd konwencjonalny zaworów; b – napęd elektrohydrauliczny zaworów

Fig. 1. Actual and project of electrohydraulic valvetrain for WOLA 150 engine: a - conventional valvetrain, b - electrohydraulic valvetrain

Na dzień dzisiejszy nie zdecydowano jeszcze definitywnie o sposobie zamykania zaworów. Rozważana jest opcja z hydraulicznym otwieraniem i zamykaniem zaworów, z hydraulicznym otwieraniem i pneumatycznym zamykaniem oraz z hydraulicznym otwieraniem z zamykaniem za pomocą sprężyn.

3. Koncepcja układu wtrysku paliwa

W układach konwencjonalnych wtrysku paliwa z pompami rzędownymi i rozdzielaczowymi zwykle występuje wyłącznie wtrysk główny, nie ma wtrysku wstępnego oraz kontrolowanego dotrysku. Wyjątek stanowią np. układy z wtryskiwaczami o dwóch rzędach otworków.

W układach takich wytwarzanie ciśnienia oraz odmierzanie dawki paliwa do wtrysku za pomocą krzywki i tłoczka są sprzężone, czego konsekwencją jest to, że:

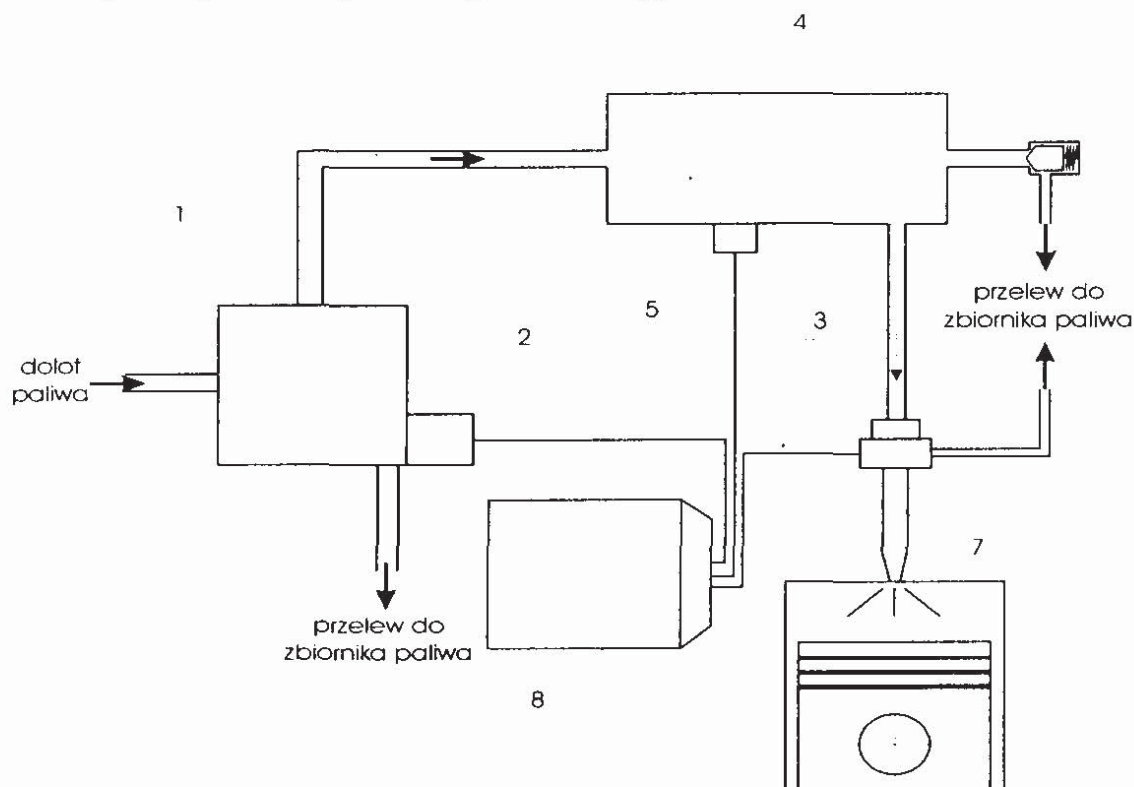
- ciśnienie wtrysku i dawka paliwa wzrasta wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika,
- w trakcie trwania wtrysku wzrasta jego ciśnienie, które maleje po zakończeniu wtrysku do wartości ciśnienia otwarcia wtryskiwacza.

Następstwem tego jest fakt, że małe dawki paliwa wtryskiwane są z mniejszym ciśnieniem a ciśnienie maksymalne wtrysku jest niższe niż podwójna wartość średniego ciśnienia wtrysku. Między innymi te niedostatki konwencjonalnych układów wtryskowych są szczególnie odczuwalne w silnikach szybkoobrotowych pracujących na małych obciążeniach i z małymi prędkościami obrotowymi. Taki charakter obciążeń jest typowy dla jednostek wyposażonych w silniki WOLA 150 i podobne. Szybkoobrotowe silniki 6 WOLA 150 DM stosowane są w Marynarce Wojennej jako silniki napędu głównego małych jednostek pływających oraz jako silniki pomocnicze. Sposobem na poprawę osiągnięć takich silników może być zastosowanie układu wtrysku paliwa typu Common Rail – CR.

Tak zwany idealny układ wtrysku paliwa, w porównaniu z konwencjonalnym, powinien spełniać między innymi następujące dodatkowe wymagania:

- ciśnienie i dawka wtrysku powinny być ustalone niezależnie dla każdego punktu pracy silnika określonego prędkością obrotową i obciążeniem.
- podczas zwłoki zapłonu, między początkiem wtrysku i początkiem spalania, dawka powinna być jak najmniejsza.

Wymagania te spełnia układ wtryskowy typu Common Rail. W układzie takim ciśnienie wtrysku wytwarzane jest niezależnie od prędkości obrotowej wału korbowego silnika oraz dawki wtryskiwanego paliwa. Cechą charakteryzującą układy wtryskowe typu Common Rail jest wspólny kolektor (gdzie magazynowane jest paliwo pod wysokim ciśnieniem) połączony przewodami paliwowymi z wtryskiwaczami, w których umieszczono elektromagnetyczne zawory. Projekt przebudowy silnika zmierza do zastąpienia dotychczasowego konwencjonalnego układu paliwowego układem typu CR.



Rys. 2. Koncepcja układu zasilania typu CR silnika WOLA 150

1 – pompa paliwa wysokiego ciśnienia, 2 – zawór regulacyjny ciśnienia, 3 – przewody paliwa wysokiego ciśnienia, 4 – zasobnik paliwa wysokiego ciśnienia, 5 – czujnik ciśnienia paliwa w zasobniku, 6 – zawór redukcyjny ciśnienia, 7 – wtryskiwacz, 8 – sterownik

Fig. 2. Project of CR fuel injection system for WOLA 150 engine

1 - HP pump, 2 - pressure control valve, 3 - HP lines, 4 - rail, 5 - pressure sensor, 6 - pressure reduction valve, 7 - injector, 8 - control unit

W skład dotychczasowego konwencjonalnego układu zasilania silnika WOLA 150 wchodzi:

- pompa zasilająca,
- dwa filtry paliwa podłączone równolegle,
- pompa wtryskowa typu Bosch z 6 sekcjami i z wielozakresowym regulatorem prędkości obrotowej,
- wtryskiwacze typu zamkniętego z rozpylaczem wielootworowym – po 7 otworów o średnicy 0,25 mm każdy, wyposażone w filtry szczelinowe,
- przewody niskiego i wysokiego ciśnienia.

Założenia do budowy układu zasilania paliwem typu CR silnika WOLA 150 bazują na dobraniu odpowiedniego wtryskiwacza sterowanego elektronicznie z silnika samochodu ciężarowego i dopasowaniu pozostałych elementów układu zasilania. Oprogramowanie i układ sterowania pracą wtryskiwacza i zaworów zostaną wykonane we własnym zakresie. Schemat ideowy projektowanego układu zasilania typu CR silnika WOLA 150 przedstawiono na rysunku nr 2. Rozważana jest możliwość wykorzystania niektórych elementów dotychczasowego układu paliwowego w nowo budowanym układzie.

4. Uwagi końcowe

Przedstawione w referacie założenia budowy stanowiska silnika 1-cylindrowego mają charakter wstępny i są przedstawiane pod dyskusję w celu zebrania możliwie największej ilości uwag i sugestii w celu dalszego doskonalenia projektu budowanego stanowiska. W referacie najwięcej uwagi poświęcono projektom zmian w układzie rozrządu zaworowego i w układzie zasilania paliwem. Bardzo istotne będą oczywiście inne problemy związane np. z wyrównowaniem silnika oraz jego posadowieniem, ale w tym względzie Instytut dysponuje już wcześniej zebranymi doświadczeniami. W związku z prowadzonymi od wielu lat w Instytucie badaniami przebiegu ciśnienia spalania w cylindrze oraz badaniami wpływu różnych czynników na toksyczność spalin emitowanych przez silniki okrętowe, budowane stanowisko zostanie również przystosowane do tego typu badań.

Literatura

- [1] Aaltonen J., Vilenius M.: Electrohydraulic valvetrain for extreme value diesel engine. Tampere University of Technology, Institute of Hydraulics and Automation, Tampere, Finland, Internet, 2003.
- [2] Elektroniczne sterowanie silników wysokoprężnych. Układ wtryskowy Common Rail. WKŁ, Warszawa 2000.
- [3] Kosowski Z., Wajand J.A., Zbierski K.: Analiza sposobów elektromagnetycznego napędzania zaworów rozrządu tłokowego silnika spalinowego. Journal of KONES Internal Combustion Engines, Warszawa - Gdynia 2001.
- [4] Sułek M.: Regulacja faz rozrządu. Auto Technika Motoryzacyjna. Lipiec 1994.
- [5] Wajand J.A.: Doświadczalne tłokowe silniki spalinowe. WN-T, Warszawa 2003.