

Jacek MAŃCZAK*

Silnik okrętowy RT-flex 60C

Artykuł¹⁾ omawia zasadnicze założenia konstrukcyjne nowego silnika Sulzer RTA60C wprowadzanego aktualnie na rynek przez koncern Wärtzila. Przedstawia także rozwój koncepcji elektronicznego sterowania wtryskiem paliwa i pracą zaworów wylotowych oraz sekwencją rozruchu dwusuwowego silnika okrętowego – sterowania RT-flex zastosowanego w tym silniku.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, napęd okrętowy, sterowanie, układy wtryskowe

RT-flex 60C Marine Diesel Engine

Fundamental design issues for the new Sulzer RTA60C engine currently introduced by Wärtzila to the ship newbuilding market, the concept of electronic control – the RT-flex control applied on the mentioned engine – for fuel injection and exhaust valve actuation as well as the sequence of starting the two-stroke engine are covered in the present article¹⁾.

Key words: combustion engine, propulsion, control, injection units

Wstęp

Ostra konkurencja w sektorze silnikowym przemysłu okrętowego na świecie i coraz wyraźniejsza dominacja rozwiązań firmy MAN B&W w zakresie silników dwusuwowych napędu głównego statków (aktualnie tylko około 30% rynku to konstrukcje firmy Sulzer) zmusiła konstruktorów z Winterthur do szukania nowych rozwiązań pozwalających na odbudowę swojej poprzedniej pozycji.

Firma New Sulzer Diesel, poprzednio Sulzer Bruders, została w połowie lat 90-tych wykupiona przez fiński koncern Wärtzila. Okres w rozwoju szwajcarskiej firmy, który nastąpił po przejściu przez Finów nie można zaliczyć do czasu sukcesu. Niejasno sformułowana polityka marketingowa – wytwórnie fińskie konkurowały swymi wyrobami (silniki czterosuwowe dużej mocy) z silnikami dwusuwowymi oferowanymi przez Szwajcarów – pozwoliła koncernowi MAN B&W osiągnąć przewagę na rynku. Sytuację pogarszała jeszcze polityka oszczędności i cięć kadrowych, którą Finowie wprowadzili w siedzibie dawnej firmy Sulzer w Winterthur.

Próbie wyjścia z zaistniałej sytuacji rynkowej podjęto w Szwajcarii pod koniec lat 90-tych – rozpoczęto prace nad wykreowaniem nowego produktu, silnika okrętowego nowej generacji, który mógłby skutecznie konkurować na rynku światowym z rozwiązaniami firmy MAN B&W – szczególnie z silnikami S50MC-C i S60MC-C, które w tym okresie przebojem zaczęły zdobywać odbiorców.

Nowy projekt roboczo nazwano Fox i był utrzymywany w tajemnicy. Fox, czyli lis, miał przez zaskoczenie konkurentów zaistnieć na rynku. Dla nowej rodziny silników przyjęto nie stosowany do tej pory w rozwiązaniach firmy Sulzer typoszereg średnic RT_0 (nowy silnik miał średnicę cylindra 700 mm). W tym czasie oferowane były silniki RTA_2U i U_B (RTA52U i U-B, RTA62U i U-B, RTA72U i U-B, RTA84C oraz RTA96C) oraz nowsze rozwiązania RTA_8T i T-B (RTA48T i T-B, RTA58T i T-B, RTA68T i T-B, RTA84T D). Nowy silnik swoim polem mocy wpisywał się między te dwie grupy (rozkład pól mocy silników firmy Sulzer przedstawia rys. 1) i wchodził w zakres

Introduction

Brisk competition on the engine sector of shipbuilding market all over the world and the pronounced leading tendency of the solutions offered by MAN B&W in the range of two-stroke engines (now, Sulzer's constructions constitute only about 30% of products on the market) forced the design engineers from Winterthur to find new solutions allowing to regain Wärtzila its previous market position.

The New Sulzer Diesel Company, previously Sulzer Bruders, in the mid 1990's was purchased by Finn Concern Wärtzila. The period of development of the Swiss company just after its merger with Finn Corporation cannot be considered a successful time. Unclear marketing policy – products (large four-stroke engines) offered by Finn concerns competed with the two-stroke engines offered by Swiss companies allowed MAN B&W to achieve supremacy in the market. The situation was still worsened by economy policy and employment cuts introduced by Finn in the former Sulzer seat in Winterthur.

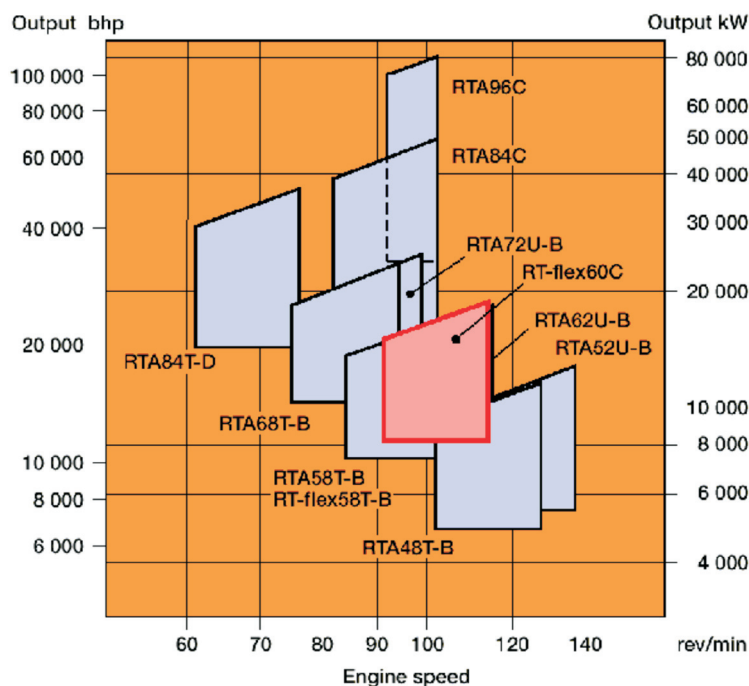
An attempt to deal with the market situation was made in Switzerland by the end of 1990's – works over the development of the new product were started. The works aimed at the production of the new generation marine engine which could efficiently compete in the world market with the solutions offered by MAN B&W – particularly with engines of S50MC-C and S60MC-C types which were successfully winning the customers.

New project received a working-name Fox and it was kept secret. Fox – following the behaviour of the animal after which the project took its name – was to enter the market by surprise. New series of types of RT_0 diameters, not employed previously in Sulzer engines, were used in the new engine family (new engine had the bore size of 600 mm). In that time the following engines were offered: RTA_2U; U_B (RTA52U; U-B, RTA62U; U-B, RTA72U; U-B, RTA84C and RTA96C); and more recent designs: RTA_8T; T-B (RTA48T; T-B, RTA58T; T-B, RTA68T; T-B, RTA84T D). New engine with its layout fields

¹⁾ Artykuł zawiera główne tezy referatu „Silnik okrętowy Sulzer RT-flex 60C dla statków średniej wielkości” ogłoszonego przez Autora na sympozjum zorganizowanym w czerwcu 2003 roku w Zakładach H.Cegielski przez Polskie Towarzystwo Naukowe Silników Spalinowych i Stowarzyszenie Inżynierów i Mechaników Polskich, Oddział w Poznaniu.

¹⁾ The article presents main theses of the paper „The Sulzer RT-flex 60C marine diesel engine for medium size vessels” presented by the Author during the symposium conducted by Polish Scientific Society of Combustion Engines and Polish Society SIMP, section Poznań, and held at the premises of H. Cegielski-Poznań S.A. in June 2003.

średnic do tej pory niejako zarezerwowanych dla rozwiązań konkurenta – silniki MAN B&W L, K, S-50, -60, -70, -80, -90 MC i MC-C.



Rys. 1. Program produkcji – pola mocy silników firmy Wärtsilä

Fig. 1. Production program – engine layout fields of Wärtsilä

Również w tym czasie, w roku 1998, w laboratoriach w Ober – Winterthur kończono pomyślnie próby z nowym rozwiązaniem sterowania pracą silnika okrętowego – pracowano nad wyeliminowaniem z konstrukcji silnika wału rozrządu. Silnik próbny wyposażony był w elektroniczny rozrząd, elektroniczne sterowanie wtryskiem paliwa (paliwo ciężkie), elektroniczne sterowanie pracą zaworów wydechowych (silnik dwusuwowy o przepłukaniu wzdłużnym) i elektroniczne sterowanie funkcją rozruchu. Przeszedł on pomyślnie wszystkie wymagane próby ruchowe i przepracował wystarczającą liczbę godzin, aby rozwiązanie można było wdrożyć do eksploatacji. Dopracowywano elektronikę i oprogramowanie, przygotowano projekt do zastosowania w silniku produkcyjnym.

Nowe rozwiązanie o nazwie RT-flex postanowiono zastosować jako standardowe w przygotowywanym silniku. Silnik otrzymał nazwę RT-flex 60C. Próbę typu – obowiązkowy test z udziałem przedstawicieli towarzystw klasyfikacyjnych zrzeszonych w IACS – przeprowadzono po wdrożeniu do produkcji na drugim silniku 7RT-flex 60C na hamowni w Triest we Włoszech 20 grudnia 2002 r.

Silnik RTA60C

Silnik RTA jest pierwszym z nowej rodziny silników, w której średnice cylindrów liczone są w pełnych dziesiątkach centymetrów. Aby sprostać konkurencji, nowa rodzina silników miała charakteryzować się bardzo dobrym dopasowaniem jednostki napędowej do potrzeb statków średniej wielkości i statków specjalistycznych. Wspomnieć tutaj trzeba, że światowy rynek produkcji statków podzielił się na stocznie daleko-wschodnie, gdzie produkowane są głównie duże statki, których jednostki napędowe to silniki 12 i 16RTA84C czy 96C – w

could be placed between the two engine groups mentioned above (Sulzer engine layout fields in Fig. 1) and it covered the diameter range until now somehow reserved for MAN B&W solutions – engines L, K, S-50, -60, -70, -80; -90 MC; MC-C.

Simultaneously, in 1998 in Ober laboratory – Winterthur – the successful attempt to introduce new solution to engine operation control was made – the works were concentrated over the elimination of the crankshaft from engine design. Full-scale research engine was equipped with an electronic timing gear – electronic control of fuel injection (heavy fuel oil), exhaust valves (two-stroke engine with uniflow scavenging) and electronic control of starting the engine. It successfully completed all required starting tests and operated satisfactorily enough to be practically applied in operation. Electronics and engine software were improved – the engine was prepared to be fully industrialised product.

New design solution called RT-flex was to be applied as standard on the engine prepared. The engine received the name T-flex60C. The mandatory shop trial of the new engine type was witnessed by the representatives of classification societies united in IACS. The trial was completed in the Trieste factory in Italy on 20 December 2002 after the second RT-flex design solution had been applied on engine 7RT-flex60C.

RTA60C Engine

The RTA engine is the first one of the new engine series which cylinder diameters are measured in full groups of ten centimetres. To face the competition the new engine series was to be characterized by very good matching of the propulsion systems with the needs of the middle-size vessels and special purpose vessels. It must be mentioned here that the marine world market has been divided into Far-East shipyards producing mainly large propulsion systems like 12 and 16 RTA84C; 96C engines – Wärtsilä still occupies a good position in the supply of these engines – and European shipyards producing smaller special purpose vessels, which are much more complicated and which need middle-size engines like RTA60C. The new engine parameters are presented in Tab. 1.

Tab. 1. Parametry techniczne silnika RTA60C

Table 1. Engine parameters of RTA60C

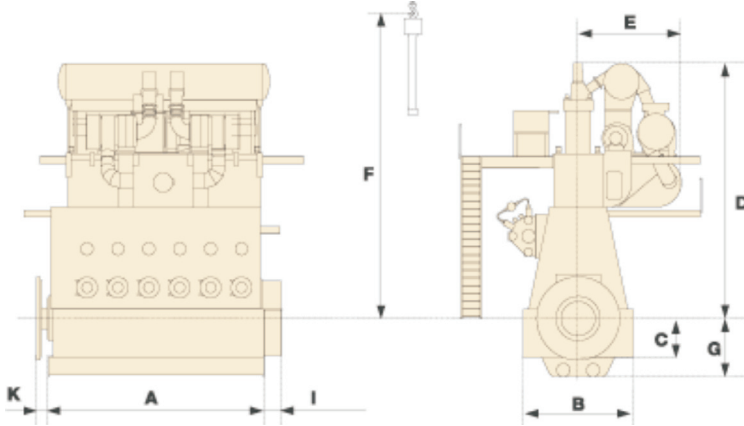
Wielkość	V6 2,5 TDI	V6 3,0 TDI
Objętość skokowa [cm ³]	2496	2967
Średnica cylindra x Skok tłoka [mm]	78,3 x 86,4	83,0 x 91,4
Stopień sprężania	18,5	17,0
Moc maksymalna [kW] przy prędkości obrotowej [obr/min]	132/4000	171/4000
Maks. moment obrotowy [N*m] przy prędkości obrotowej [obr/min]	370/1500-2500	450/1400-3250
Objętościowy wskaźnik mocy [kW/dm ³]	52,9	57,6
System zasilania	Pompa rozdzielczowa Bosch VP44	Common Rail Bosch CRIP II+
Maksymalne ciśnienie wtrysku [MPa]	145	160

dostawach tych silników Wärtsilä wciąż ma dobrą pozycję – oraz stocznie europejskie, gdzie produkowane są statki mniejsze, specjalistyczne, znacznie bardziej skomplikowane, które potrzebują silników średniej wielkości, takich jak silnik RTA60C. Parametry techniczne nowego silnika przedstawia tabela 1.

W trakcie studiów projektowych nad rozwiązaniami konstrukcyjnymi prowadzono bardzo wnikliwą analizę kosztów wytwarzania dotychczasowych modeli. Prace te w Wintenthur prowadziła grupa specjalistów pod kierunkiem inż. Bizanga. Zakłady HCP włączył się w te działania przygotowując analizy porównawcze kosztów produkcji silników 6RTA62 i 6RTA58T. Przekazał również do Wintenthur szereg uwag będących wynikiem własnych doświadczeń z produkcji dotyczących poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych tych silników.

Podstawowe wymiary i masy silnika podano na rys. 2 i w tab. 2. Wymiar F to wymagana wysokość siłowni – do haka suwnicy konieczna do demontażu tłoka.

W tabeli 3 podano moce dla poszczególnych wersji cylindrowych w zależności od prędkości obrotowej w charakterystycznych punktach pola pracy silnika.



Rys. 2. Podstawowe wymiary silnika RT-flex60C
Fig. 2. Principal engine dimensions RT-flex60C

W fazie projektowania nowego silnika przyjęto daleko idące uproszczenia konstrukcyjne rezygnując z wielu kosztownych operacji technologicznych przy produkcji poszczególnych elementów. Klient miał otrzymać konkurencyjny cenowo produkt, który jednocześnie cechuje:

- wysoka niezawodność,
- okres między przeglądami wydłużony do trzech lat,
- niskie zużycie oleju cylindrowego,
- niskie straty oleju obiegowego,
- niska emisja szkodliwych związków w spalinach, w szczególności tlenków azotu,
- zdolność do pracy przy małych prędkościach obrotowych.

Konstrukcję nowego silnika oparto na sprawdzonych rozwiązaniach stosowanych w konstrukcjach silników Sulzera. Zastosowano tradycyjne rozwiązania konstrukcyjne:

- konstrukcję skrzynkową dla elementów spawanych – podstawa i skrzynia korbową silnika zoptymalizowane poprzez obliczenia wykonane metodą elementów skończonych,

- napęd zespołu zasilania i tłumiki drgań II-go rzędu przenoszony przez koła zębate,

During the project studies conducted over the design solution, a very detailed analysis of execution costs of previous engine models was made. Works were conducted in Wintenthur by a group of specialists working under eng. Bizang guidance. H. Cegielski made their contribution to these project by preparing the comparative analysis of production costs of engines 6RTA62 and 6RTA58T. We also submitted to Wintenthur several remarks resulting from our own experiences based on technological production aspects of particular design solutions applied on those engines.

Principal engine dimensions and weights are presented in Table 2 and Fig. 2. The „F” dimension stands for the required engine room height measured to the overhead crane hook necessary for the piston disassembling.

Table 3 presents engine rated power for particular cylinder versions depending on the engine revolution and corresponding power and engine layout fields.

Still during the design stage of the new engine far-reaching design simplifications were made – numerous expensive technological operations for the execution of particular elements were relinquished. The customer was to receive a new product of competitive cost characterized by:

- high reliability,
- three years’ time between overhauls,
- low cylinder oil consumption,
- low losses of system oil,
- low exhaust emission, especially of NO_x,
- ability to work at very low running speeds.

The construction of the new engine was based on proven solutions already used on Sulzer designs. Traditional design solutions are applied:

- box design of welded elements – the bedplate and engine,
- crankcase optimised by Finite Elements Calculations,

Tab. 2. Podstawowe wymiary i masy silnika dla wersji od 5-cio do 9-cio cylindrowej

Tab. 2. Principal engine parameters: 5 and 9 cylinder engines

Principal engine dimensions (mm) and weights (tonnes)										
Cyl.	A	B	C	D	E	F*	G	I	K	Weight
5	6 213	3 700	1 300	8 520	3 960	10 400	1 955	400-650	405	290
6	7 253	3 700	1 300	8 520	3 960	10 400	1 955	400-650	405	330
7	8 293	3 700	1 300	8 520	3 960	10 400	1 955	400-650	405	375
8	9 333	3 700	1 300	8 520	3 960	10 400	1 955	400-650	405	415
9	10 373	3 700	1 300	8 570	3 660	10 350	1 955	588	425	455

Tab. 3. Moc rozwijana przez wersje silnika

Tab. 3. Engine rated power

Rated power: Propulsion Engines								
Cyl.	Output in kW/bhp at							
	114 rpm				91 rpm			
	R1		R2		R3		R4	
	kW	bhp	kW	bhp	kW	bhp	kW	bhp
5	11 800	16 050	8 250	11 200	9 400	12 800	8 250	11 200
6	14 160	19 260	9 900	13 440	11 280	15 360	9 900	13 440
7	16 520	22 470	11 550	15 680	13 160	17 920	11 550	15 680
8	18 880	25 680	13 200	17 920	15 040	20 480	13 200	17 920
9	21 240	28 890	14 850	20 160	16 920	23 040	14 850	20 160

- zmodernizowane klocki łożyska oporowego – nie wymagające przeglądu,
- wiercenia chłodzące w elementach komory spalania – głowica cylindrowa, wstawka zaworowa, kołnierz tulei cylindrowej,
- łożyska główne wylwane białym metalem,
- smarowanie wodzików olejem pod wysokim ciśnieniem wymuszające podniesienie czopa wodzika.

Z nowych rozwiązań konstrukcyjnych zastosowanych przez konstruktorów wymienić należy:

- system flex – elektronicznie sterowany system wtrysku paliwa typu common rail i napędu zaworów wylotowych,
- gniazda łożysk głównych w podstawie silnika obrabiane wspólnie z pokrywami,
- sztywna poprzecznicza łożyska oporowego z odlaną częścią pośrednią – połączenia spawane w miejscu małych obciążeń,
- łożyska korbowe – dwie cienkościennie panewki wylane stopem na osnowie cyny,
- gniazdo łożyska korbowodowego – otwór wytaczany wspólnie, korbowód + pokrywa,
- łyżwa wodzika – jednoczęściowa, wylwana stopem na osnowie cyny,
- konstrukcja dławnicy drąga tłokowego udoskonalona pod kątem niskiego zużycia oleju,
- Tribo Pack – pakiet rozwiązań zapewniających minimalne zużycie elementów układu tłok, tuleja, pierścienie tłokowe – zapewnia 3-letni okres między przeglądami,
- podstawa turbosprężarki sztywna, zintegrowana z zasobnikiem powietrza,
- układ chłodzenia powietrza doładowania – podwieszony pakiet rurek chłodzących, chłodzenie wodą słodką, ułatwiona obsługa i mycie chłodnicy,
- doskonalona konstrukcja separatora wody w układzie chłodzenia powietrza doładowania – rozwiązanie szczególnie istotne dla eksploatacji silnika w warunkach tropikalnych.

Przykładem optymalizacji pod kątem kosztów wykonania jest rozwiązanie skrzyni korbowej. Przekonstruowano ją rezygnując z obróbki skośnych powierzchni – mocowania elementów zewnętrznych przeniesiono na prostopadłe powierzchnie wsporników i kołnierzy.

Podobnie zoptymalizowano konstrukcję głowicy rezygnując z toczenia powierzchni zewnętrznej. Kwadratowy kształt ze ściętymi narożami umożliwia również zmniejszenie odległości pomiędzy cylindrami. Do mocowania zastosowano 8 szpilek rozmieszczonych parami w narożnikach głowicy. Na rys. 3 przedstawiono głowicę cylindrową z zabudowanymi elementami wyposażenia – zaworem wydechowym wraz z napędem, trzema zaworami wtryskowymi i zaworem rozruchowym.

Dużo uwagi poświęcono komorze spalania. Odpowiedni dobór przepływu ciepła uzyskano przez wprowadzenie wkładek izolacyjnych w wierceniach chłodzących w głowicy i kołnierzu tulei cylindrowej, zastosowanie bandaża izolującego w górnej części tulei a w konsekwencji zoptymalizowano rozkład temperatur. Zmierzone temperatury gorących części w komorze spalania dla punktu pracy przy średnim ciśnieniu efektywnym 19,5 bara i 114 obr/min są następujące:

- głowica cylindrowa $T < 410^{\circ}\text{C}$, co pozwala na uniknięcie pęknięć cieplnych,
- tłok $T < 400^{\circ}\text{C}$, dla uniknięcia korozji i zapewnienia tempera-

- gear wheel drive for RT-flex supply unit and second order balancers,
- adaptable thrust bearing pads – no overhauls needed,
- bore-cooling in combustion chamber elements – cylinder head, valve seat, cylinder liner upper parts,
- thick running layer of white metal on main bearings,
- crosshead lubrication at high pressure forcing the crankpin lift off.

As far as the new design solutions are concerned the following must be mentioned:

- flex system – electronic control system for fuel injection of common rail type and exhaust valve drive,
- main bearings co-machined with covers,
- rigid thrust bearing girder cast together with the intermediate piece – welding at low stress area,
- crank bearings – two thin bearing shells of white metal,
- con-rod big end bearings – bore for rod and cover co-machined,
- guide shoe – single-piece with white metal lining,
- improved stuffing box design – for low system oil consumption,
- Tribo Pack – provides minimal wear of piston, cylinder liner, piston rods – three years' time between overhauls,
- stiff support of the turbocharger, integrated with air receiver,
- air cooler arrangement – hanging tube stacks, fresh water cooling, simplified maintenance and cooler washing,
- improved design of water separator in charging air cooling system – essential for engine operating in tropical weather conditions.

An example of the optimisation from the viewpoint of execution costs is crankcase design. Machining of oblique surfaces is abandoned – fixing of external elements is applied on perpendicular surfaces of supports and flanges.

Similarly, the design of the cylinder head is optimised. Turning of the external surface is abandoned. Square shape of the cylinder head helps to achieve reduction in the distance between cylinders. Eight elastic holding-down studs arranged pair-wise in the head sides are used for fixing. Fig. 3 pictures the cylinder head with build-in outfit elements – exhaust valve with its drive, three injection valves and starting valve.

Much attention is paid to the combustion chamber. Careful selection of heat flow is achieved by the introduction of insulation tubes in the cooling bores of the cylinder head and cylinder liner flange as well as by the application of the insulation band in the cylinder liner upper part. As the result of the above the temperatures profile is optimised. Measured temperatures of hot elements in the combustion chamber at maximum engine output – mean effective pressure of 19,5 bar and at maximum engine speed 114 rpm are the following:

- cylinder head $T < 410^{\circ}\text{C}$ to avoid heat cracks,
- piston surface $T < 400^{\circ}\text{C}$ to avoid corrosion and provide temperature in oil cooling space,
- piston inside $T < 200^{\circ}\text{C}$ to avoid deposits in cooling bores,
- cylinder liner $T < 300^{\circ}\text{C}$ to avoid heat cracks,
- top ring $T < 260^{\circ}\text{C}$,
- exhaust valve sea $T < 320^{\circ}\text{C}$,
- exhaust valve disc $T < 400^{\circ}\text{C}$.

Measured temperatures on combustion chamber are presented in Fig. 4. All measured temperatures are extrapolated to

tury w przestrzeni chłodzonej olejem wewnątrz tłoka $T < 200^{\circ}\text{C}$, co pozwala na uniknięcie tworzenia się osadów w wierceniach omywanych przez olej chodzący,

- tuleja cylindrowa $T < 300^{\circ}\text{C}$ dla uniknięcia pęknięć cieplnych,
- górny pierścień $T < 260^{\circ}\text{C}$,
- gniazdo zaworu wylotowego $T < 320^{\circ}\text{C}$,
- grzybek zaworu wylotowego $T < 400^{\circ}\text{C}$.

Rozkład temperatur w komorze spalania przedstawia rys. 4. Wszystkie temperatury ekstrapolowano na powierzchnie wewnętrzne komory spalania.

Podobnie dokładnej analizie poddano rozkład temperatur na powierzchni tulei cylindrowej. Zastosowany w górnej części tulei izolacyjny bandaż teflonowy pozwala utrzymać właściwą temperaturę ścianek wewnętrznych, co zapobiega korozji siarkowej.

Do smarowania tulei cylindrowych zastosowano praski smarne według nowego rozwiązania. Są one napędzane elektrycznie a wielkość dawki oleju jest zależna od sygnału z systemu sterowania silnika i liniowo zmienna nie tylko od prędkości obrotowej silnika, ale także od jego obciążenia. W układzie smarowania zastosowano króćce smarne z akumulatorami ciśnienia.

Mała kondensacja kwasu siarkowego wymaga mniejszej ilości oleju smarnego dla neutralizacji. Dawka oleju smarnego dla silników wyposażonych w pakiet TriboPack – Sulzer RTA i RT-flex wynosi poniżej $1 \text{ g/kW}\cdot\text{h}$. Zużycie tulei cylindrowych w tej generacji silników wynosi $< 0,02 \text{ mm}$ na średnicy, na 1000 godzin pracy silnika.

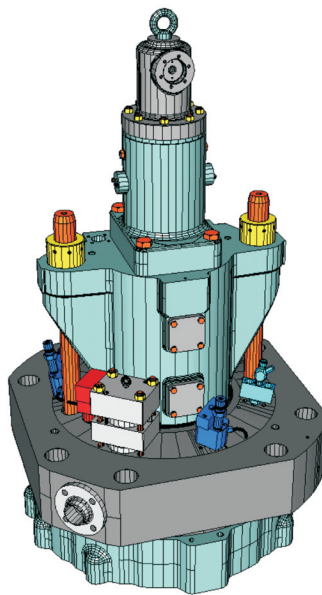
Przedstawione powyżej rozwiązania wprowadzone do nowego silnika RTA60C pozwoliły na wykreowanie nowego produktu, który spełnia oczekiwania klientów. Potwierdzono to w trakcie prób fabrycznych i w eksploatacji pierwszych silników. Aktualnie Wärtsilä może się pochwalić dalszymi zamówieniami na ten typ silnika. Niebagatelną rolę w tym sukcesie odegrał system elektronicznego sterowania wtryskiem paliwa i pracą zaworów wylotowych RT-flex.

System Common Rail RT-flex

Sterowanie elektroniczne wtryskiem paliwa nie jest niczym nowym w konstrukcji silników spalinowych, jest szeroko stosowane w czterosuwowych wysokoprężnych silnikach trakcyjnych i zestawów prądowców w pojazdach wszelkiego typu.

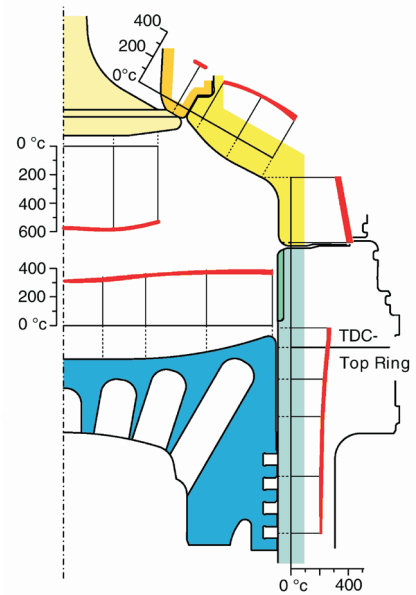
Zastosowanie tego rozwiązania w dwusuwowym silniku okrętowym napędu głównego wymagało jednak rozwiązania szeregu dodatkowych problemów związanych z rodzajem stosowanego paliwa – o dużym zróżnicowaniu lepkości aż do 700 cSt przy 50°C wraz z koniecznością podgrzewania i utrzymywania wysokiej temperatury wtryskiwanego paliwa (w granicach do 160°C), ilością przetłaczanego paliwa i wymaganą wysoką niezawodnością systemu. Dodatkową trudnością była konieczność spełnienia przez system rygorystycznych wymagań towarzystw klasyfikacyjnych, co warunkowało możliwość zastosowania rozwiązania jako napęd główny jednostek pływających.

Prace nad systemem elektronicznego sterowania trwały w firmie Sulzer od początku lat 80-tych. Do roku 1990 koncentro-



Rys. 3. Głowica cylindrowa z zaworem wylotowym, zaworami wtryskowymi i zaworem rozruchowym

Fig. 3. Cylinder head with exhaust, injection and starting valves



Rys. 4. Rozkład temperatur na ściankach elementów komory spalania

Fig. 4. Measured temperatures on the walls of combustion chamber elements

the inside surface of combustion chamber elements.

Temperatures on the cylinder liner surface also undergo such detailed analysis. Insulation of teflon band applied in the cylinder liner upper part allows to maintain constant high temperature on inside walls to avoid sulphur corrosion.

For cylinder liner lubrication new design in the lubrication pump is applied. Pumps are electronically driven and the oil feed rate is regulated by the engine control system and is proportional to both engine speed and load. Cylinder oil distributors of the accumulator type are applied in the lubricating system.

Low condensation of sulphuric acid requires less lubricating oil for neutralization. Oil feed rate of Tribo Pack equipped Sulzer RTA and RT-flex engines is equal or below 1 g/kWh . The cylinder liner wear in this engine generation amounts to $0,02 \text{ mm}$ on the cylinder liner diameter during the period of 1000 running hours.

The above presented design solutions applied on the new engine allowed to create a new good product which meets customers' expectations. This was confirmed during the shop trials and operation of the very first engines. Currently, Wärtsilä may boast about further orders placed for that engine type. A considerable part of the success is attributed to the full electronic control of fuel injection and exhaust valve operation.

RT-flex Common Rail System

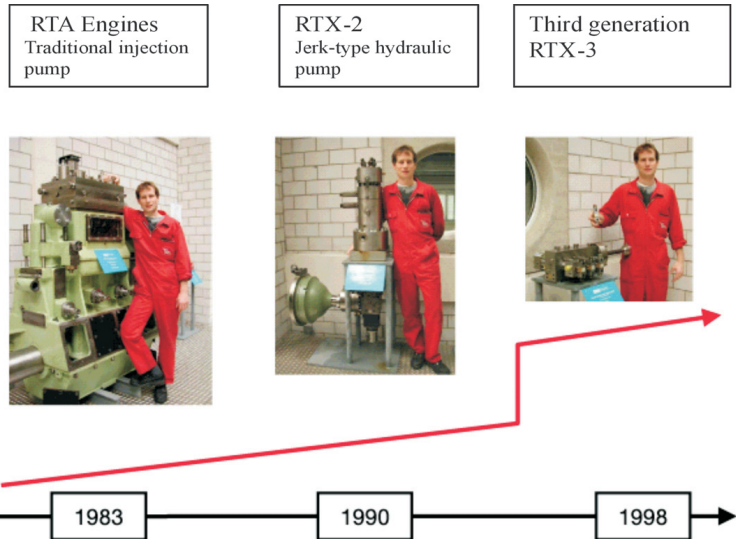
Fuel injection electronic control is, of course, not a new idea applied in the design of combustion engines – it is widely used in high-pressure four-stroke engines, traction engines and gensets.

However, the application of that solution on the two-stroke marine engine for main propulsion required solving additional

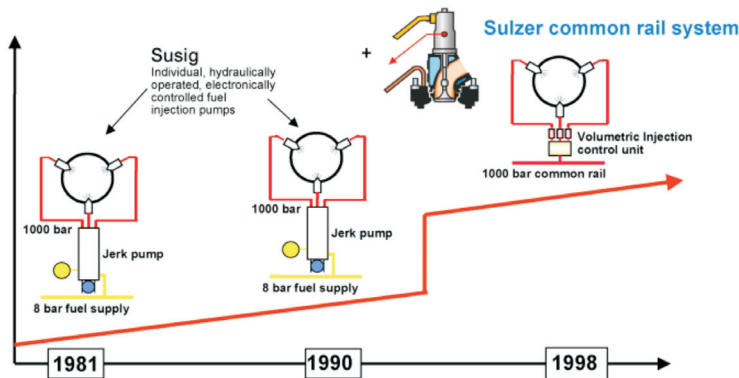
wano się na dostosowaniu istniejących konstrukcji pomp wtryskowych do sterowania elektronicznego. Czynnikiem roboczym w tym rozwiązaniu był olej z obiegu smarnego silnika – rozwiązania I i II generacji RTX-1 i RTX-2.

Na początku lat 90-tych Sulzer zrezygnował z dalszych prac nad tą koncepcją, głównie z uwagi na konieczność stosowania skomplikowanego układu akumulatorów minimalizujących skutki spadków ciśnienia czynnika roboczego przy wykonywaniu pracy przetłaczania paliwa przez pompę wtryskową. Przyjęto nową koncepcję szyny stałego ciśnienia *common rail*, powstała trzecia generacja systemu RTX-3. Do tego rozwiązania włączono również sterowanie pracą zaworów wdechowych i zaworów rozruchowych. Kolejne fazy ewolucji systemu elektronicznego sterowania przedstawiono na rys. 5 i 6.

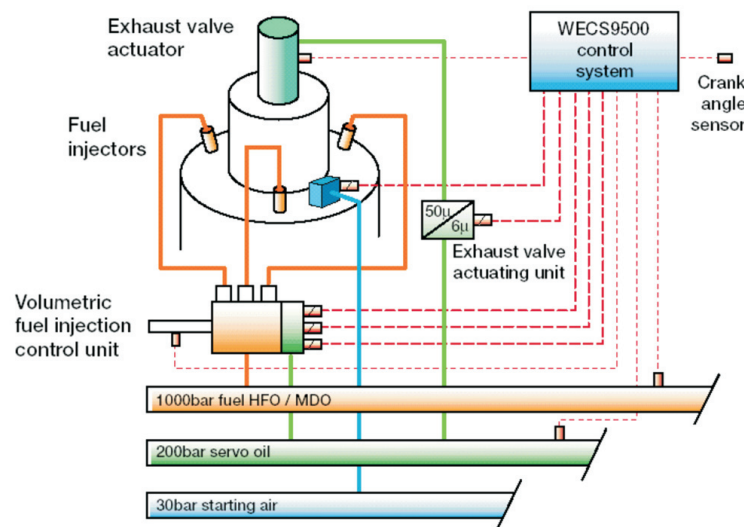
Zastosowanie na silniku elektronicznego sterowania umożliwiło uproszczenie układu mecha-



Rys. 5. Rozwój systemu elektronicznego sterowania wtryskiem paliwa
Fig. 5. Development of fuel injection electronic control system



Rys. 6. Rozwój systemu elektronicznego sterowania wtryskiem paliwa
Fig. 6. Development of fuel injection electronic control system



Rys. 7. Schemat funkcjonalny układu elektronicznego sterowania pracą silnika

Fig. 7. Schematic of the common rail system for fuel injection and exhaust valve actuation

problems with same grades of used fuel oil characterised by varied viscosity up to 700 cSt at 50°C as well as with the necessity of injected fuel heating and maintaining high temperature of injected fuel (up to 160°C), volume of injected fuel and required high reliability. Additional difficulty was that the engine had to comply with the rigorous requirements imposed by classification societies. This conditioned incorporating this solution as the main propulsion system for vessels.

The works over the electronic control system have been conducted in Sulzer from the beginning of the 1980's. Till 1990 works were concentrated on adapting the already used fuel injection pumps to electronic control. The working factor there was the servo oil – solutions I and II of RTX-1 and RTX-2 generations.

At the beginning of the 1990's further works over that idea were given up by Sulzer, mainly because it was necessary to employ a complicated system of accumulators which were minimizing the results of drops in the working factor when forcing the fuel through the injection pump. A new concept of stable pressure rail – Common Rail – and the third generation of RTX-3 system was the next step in the development. Control of exhaust valves and starting valves actuation were also incorporated in that solution. Stages of the development of fuel injection electronic system are presented in Fig. 5 and 6.

Application of engine operation electronic control allowed for the simplification in the engine mechanical system – installation of camshaft and fuel injection pumps mechanical drive have been given up, mechanical timing and engine maintenance have been simplified.

Required safety has been achieved by redundancy principle – important system elements have been duplicated – pumps, supply pipes, electronic systems, etc. Flexible control of fuel injection, exhaust valve operation and engine actuation have been achieved. System of high pressure generation has been separat-

nicznego przez rezygnację z wału rozrządu i mechanicznego napędu pomp wtryskowych oraz mechanicznego napędu aktuatorów sterujących pracą zaworów wydechowych. Umożliwiło to uproszczenie mechanicznej regulacji i obsługi silnika.

Wymagane bezpieczeństwo pracy uzyskano poprzez przyjęcie zasady nadmiarowości – zdublowanie podstawowych elementów systemu: pompy i przewodów zasilających, układów elektronicznych itd. Uzyskano elastyczne sterowanie wtryskiem paliwa i pracą zaworów wydechowych oraz rozruchem silnika. Rozdzielono układ wytwarzania wysokiego ciśnienia paliwa od układu kontroli funkcji systemu. Rys. 7 przedstawia schemat systemu flex.

Główne cechy układu elektronicznego sterowania RT-flex to:

- wspólna szyna paliwowa common rail zasilana paliwem pod ciśnieniem 1000 bar przez dwa przewody z dwóch niezależnych sekcji pompy wysokiego ciśnienia,
- wspólna szyna olejowa zasilana olejem pod ciśnieniem 200 bar przez dwa przewody z dwóch niezależnych sekcji pompy wysokiego ciśnienia,
- wykorzystanie oleju pod ciśnieniem 200 bar jako czynnika roboczego do sterowania zaworów wykonawczych w układzie wtrysku paliwa oraz do sterowania pracą zaworów wydechowych,
- precyzyjna kontrola dawki wtryskiwanego paliwa,
- oddzielenie paliwa od zaworów sterujących – bardzo istotne przy stosowaniu paliwa ciężkiego,
- pompa paliwowa wysokiego ciśnienia zaadaptowana z silnika czterosurowowego Sulzer ZA40S,
- zmienna wartość dawki wtryskiwanego paliwa z możliwością swobodnego kształtowania ciśnienia wtrysku,
- stały poziom ciśnienia w szynie paliwowej i przewodach zasilających,
- brak dymienia przy wszystkich prędkościach eksploatacyjnych,
- stabilne obroty minimalne w zakresie 10 do 12% obrotów odniesione do punktu maksymalnej mocy ciągłej,
- zmniejszone zużycie paliwa przy niepełnych obciążeniach,
- zmniejszenie wymogów odnośnie kwalifikacji obsługi dzięki uproszczonej regulacji silnika,
- redukcja kosztów eksploatacji dzięki precyzyjnej kontroli ilości podawanego paliwa i wydłużeniu okresów między przeglądami,
- większa dyspozycyjność i niezawodność dzięki zastosowaniu nadmiarowości: zdublowaniu pomp, przewodów zasilających, systemów elektronicznych,
- niska emisja tlenków azotu w całym zakresie obciążeń eksploatacyjnych spełniająca wymogi MARPOL 1973/78 Aneks VI.

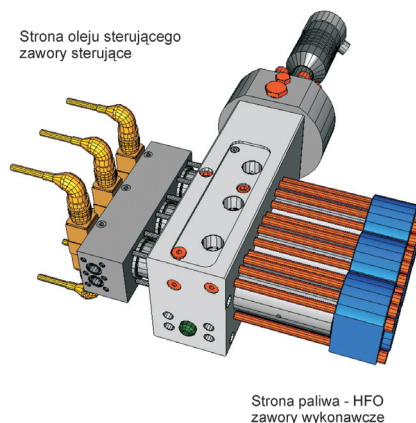
Pracą systemu steruje elektroniczny układ kontrolny – Wärtsilä Electronic Control System. Układ zbiera informacje o pracy silnika i realizuje komendy zadane przez obsługę. Współpracuje z Systemem Sterowania i Zabezpieczeń Silnika DENIS – 9, elektronicznym systemem pomiaru prędkości obrotowej i systemem alarmowym silowni. Niezależne moduły elektroniczne de-

ed from the system control functions. Fig. 7 presents the schematic of the flex system.

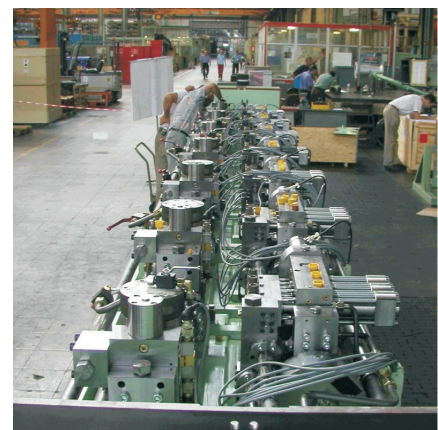
Main features of the RT-flex electronic control are the following:

- common fuel rail fed with fuel oil at the pressure of 1000 bar supplied by two independent sections of high pressure pump,
- common oil rail fed with oil at the pressure of 200 bar supplied by two independent sections of high pressure pump,
- servo oil at the pressure of 200 bar used as a working factor in the fuel injection unit, actuating valves control and exhaust valves control,
- precise control of injected fuel,
- fuel oil is separated from the control valve – essential for heavy fuel oil,
- high pressure fuel pump adapted from well-proven four-stroke Sulzer engine ZA40S,
- variable injection rate shaping and free selection of injection pressure,
- stable pressure levels in common rail and supply pipes,
- smokeless operation at all operation speeds,
- low, stable running speeds down to 10-12% of nominal speed for maximum continuous engine rating,
- reduced fuel consumption at part-loads,
- reduced maintenance requirements achieved by simplified engine settings,
- reduced running costs through precise volumetric fuel injection control leading to extendable times between overhauls,
- higher availability and reliability given by the build-in redundancy – duplicated pumps, feeding pipe and electronic systems,
- low emission of NO_x at all operation loads complying with MARPOL 1973/76 Convention, Annex VI.

The system is electronically controlled by Wärtsilä Electronic Control System. The system collects information about engine operation and realises the commands input by the servicing staff. It co-operates with Remote Control and Alarm System – DENIS-9, an electronic system to measure engine

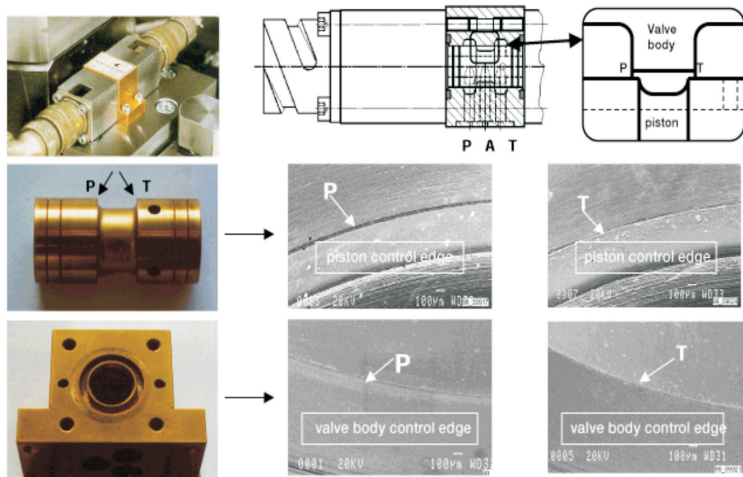


Rys. 8. Rysunek zespołu zaworów
Fig. 8. A section of control valves



Rys. 9. Zdjęcie zespołu szyny stałego ciśnienia z zabudowanymi zespołami zaworów sterujących – zespół przygotowany do montażu na silniku

Fig. 9. View on the oil common rail with build-in section of control valves – unit ready to be installed on the engine



Rys. 10. Zdjęcia elementów zaworu sterującego po 300 000 000 cykli pracy przy ciśnieniu $0 < p < 200$ bar

Fig. 10. Control valve components after 300 000 000 operation cycles at the pressure of $0 < p < 200$ bar

cydują o pracy każdego z cylindrów i kształtują wtrysk paliwa zgodnie z poleceniem wypracowanym przez główny blok sterowania.

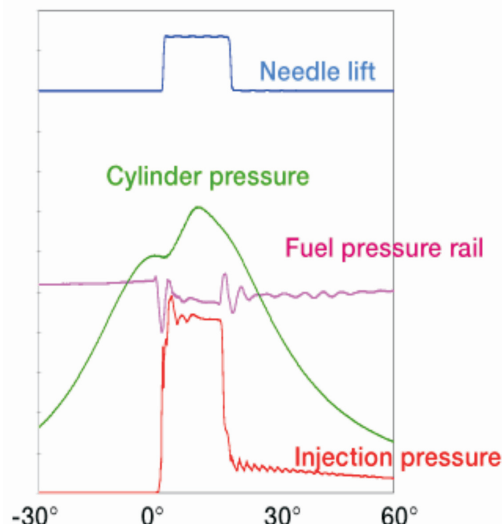
Sercem układu jest zespół zaworów sterujących i wykonawczych mocowany bezpośrednio na wspólnej szynie paliwowej i szynie olejowej. Technologia ich produkcji stanowi tajemnicę firmy. Pracują one w ekstremalnych warunkach, przy ciśnieniu paliwa ciężkiego 1000 bar i wysokiej temperaturze. Zespół zaworów sterujących pokazano na rys. 8 i rys. 9.

Doświadczenia eksploatacyjne wykazały, że konstrukcja zaworów i przyjęta technologia ich wykonania w pełni potwierdziła założenia projektantów. Przeprowadzony przegląd elementów zaworu sterującego po wykonaniu 300 milionów cykli pracy przy ciśnieniu od 0 do 200 bar wykazał zużycia dalekie od granicznych. Na wykonanych zdjęciach makroskopowych wyraźnie widać ostre, niezuzycie krawędzie sterujące korpusu zaworu tłoczka rozdzielacza. Stan elementów zaworu stwierdzony w trakcie przeglądu przedstawia rys. 10.

Na rys. 11 przedstawiono wykres ciśnienia paliwa, ciśnienia spalania i skoku iglicy zaworu wtryskowego. Ilustruje on normalny cykl pracy, w którym wszystkie wtryskiwacze uruchamiane są jednocześnie. Z wykresu przebiegów ciśnień widać wyraźnie zalety systemu:

- szybkie zakończenie momentu wtrysku co gwarantuje wysoką wydajność – oszczędności w zużyciu paliwa,
- brak znacznego spadku ciśnienia w szynie paliwowej podczas wtrysku paliwa,
- małe wahania ciśnienia w szynie paliwowej podczas całego cyklu pracy.

Niezależne sterowanie każdego z wtryskiwaczy pozwala swobodnie kształtować wtrysk paliwa i optymalnie dopasować go do warunków pracy silnika. Jest to szczególnie ważne przy obciążeniach częściowych i minimalnych obrotach silnika. Możliwy jest wtrysk wstępny przed wtrysnięciem zasadniczej dawki paliwa, podział wtrysku na trzy etapy oraz wtrysk sekwencyjny. Przebieg zmian ciśnienia i skoku iglicy wtryskiwacza przy różnych kombinacjach w kształtowaniu wtrysku paliwa pokazano na rys. 12.



Rys. 11. Rozkład ciśnień i skok iglicy zaworu wtryskowego w trakcie wtrysku paliwa

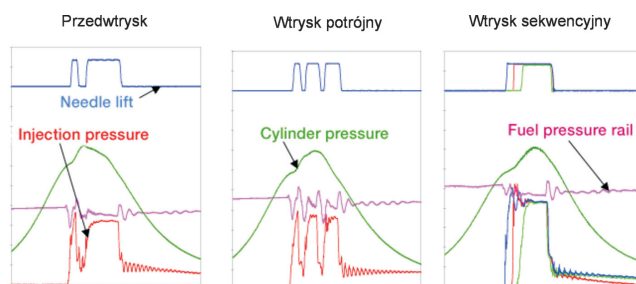
Fig.11. Pressure profile and injection valve needle lift during fuel injection

revolution and engine room alarm system. Independent electronic modules control the operation of each cylinder and shape the injected fuel pattern according to commands given by the main control block.

The heart of the system is a section of control and actuating valves fixed directly on the common fuel rail and common oil rail. Production technology of these is Waertsilae's official secret. The valves operate in extreme conditions, at 1000 bar pressure of heavy fuel oil and very high temperature. The section of control valves is presented in Fig. 8 and 9.

Experiences gained during the engine operation has shown that the valve design and technology employed to their execution fully confirmed the assumptions made by design engineers. The inspection of control valve components made after 300 000 000 operation cycles at the pressure of 0 – 200 bar showed that the wear rate was far from the set limits. Macroscopic pictures clearly show sharp not worn valve body control edges on the distributor plunger. The condition of valve components estimated during the inspection is presented in Fig. 10.

Fig. 11 presents the diagram of fuel pressure, combustion pressure and injection valve needle lift. It pictures a normal operation cycle when all injectors act in unison. The pressure



Rys. 12. Możliwości kształtowania wtrysku paliwa w poszczególnych cylindrach

Fig. 12. Variety of fuel injection pattern in each cylinder

Przy małych prędkościach obrotowych silnika, np. w czasie manewrów w basenie portowym, możliwa jest praca pojedynczych wtryskiwaczy. W tym przypadku paliwo przy kolejnych suwach pracy wtryskiwane jest na zmianę kolejno

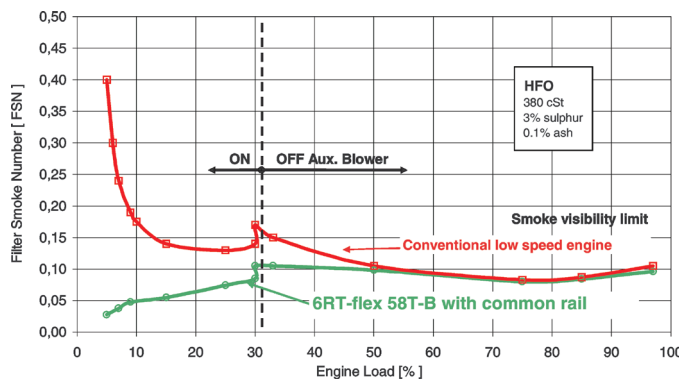
przez każdy z trzech wtryskiwaczy danego cylindra. Umożliwia to optymalne rozpylenie niewielkiej dawki paliwa koniecznej do pracy przy niewielkim obciążeniu. Jest to bardzo istotne dla jego właściwego wykorzystania w procesie spalania przy niewielkiej ilości powietrza jaka jest dostarczana do cylindra przy niskim obciążeniu. Wydajność turbosprężarki optymalizowana jest zazwyczaj dla znamionowych warunków pracy i przy małych obciążeniach występuje niedobór powietrza, co powoduje konieczność stosowania dodatkowych dmuchaw doładowujących.

W rezultacie silnik ze sterowaniem elektronicznym typu flex ma znacznie mniejszą skłonność do dymienia przy rozruchu i obciążeniach częściowych. Bardzo dobrze pokazuje to wykres na rys. 13. Porównano tutaj skłonność do dymienia silnika konwencjonalnego i silnika RTA58T-B wyposażonego w sterowanie elektroniczne typu flex.

Bardzo istotną cechą silnika wyposażonego w elektroniczne sterowanie typu flex jest zdecydowana poprawa elastyczności pracy i manewrowości. W tradycyjnym układzie napędowym, gdzie silnik bezpośrednio napędza śrubę, decyduje to w dużej mierze o pełnej kontroli nad manewrowością statku przy wejściu do portu i w basenie portowym oraz w sytuacjach awaryjnych, przy konieczności szybkiego zatrzymania statku. System flex zapewnia:

- zoptymalizowanie procesu spalania przy niskich obciążeniach – praktycznie uzyskane stabilne prędkości obrotowe minimalne na poziomie 10 do 12 obr/min, gdy w silniku konwencjonalnym minimalne prędkości obrotowe wynosiły około 30 do 35 obr/min,
- usprawnienie procesu rozruchu silnika – początek otwarcia zaworu rozruchowego i czas podawania powietrza rozruchowego, niskie prędkości obrotowe zapłonowe, właściwe spalanie od początku pracy silnika.

Te dwa czynniki są szczególnie ważne przy najbardziej ekstremalnym dla silnika „manewrze awaryjnym” – przy pełnej prędkości statku (silnik pracuje z mocą i przy obrotach odpowiadających znamionowemu punktowi pracy) należy w możliwie najkrótszym czasie zatrzymać statek. Realizowane to jest przez podanie powietrza hamującego, uruchomienie go w kierunku przeciwnym i rozpędzenie do znamionowych obrotów w kierunku na wstecz. Poprawne wykonanie tego manewru decyduje o bezpieczeństwie jednostki pływającej. Można więc powiedzieć, że system flex jest optymalnym rozwiązaniem kon-



Rys. 13. Porównanie wielkość dymienia silnika konwencjonalnego i silnika ze sterowaniem elektronicznym typu flex

Fig. 13. Smoke measurements of conventional low speed engine compared with flex electronic control equipped engine

diagram clearly indicated the benefits given by the system:

- quick injection process providing high efficiency and fuel economy,
- no considerable pressure drop in the fuel rail during fuel injection moment,
- small pressure damping waves in the fuel rail during full operation cycle.

Separate control of each injector allows to freely shape fuel injection pattern and optimally match it with the engine operating conditions. This feature is essential for part-loads and minimal engine speeds. Pre-injection, triple injection and sequential injection are possible. The diagram of pressure changes and injection needle lift at the variety of fuel injection patterns are demonstrated in Fig. 12.

At slow running speeds of the engine while wet dock manoeuvring, the actuation of separate injectors is possible. In this case at subsequent strokes the fuel is interchangeably injected through each one of the three injectors of particular cylinder. This enables the optimal injection of small fuel volume needed for engine operating at low load. This is essential for appropriate fuel use during the combustion process with small amount of air delivered to the cylinder at low engine load. The turbocharger efficiency is usually optimised to the nominal operating conditions and at low loads there occurs air deficiency which forces the application of additional charging blowers.

As a result flex electronic control equipped engine is characterized by lower smoke emissions at actuation moment and at part-loads. This is very well presented in Fig. 13. Here the smoke measurements of conventional low speed engine are compared with engine RTA58T-B with the flex electronic control system.

A very crucial feature of the flex electronically controlled engine is that it allows for a considerable improvement of operation flexibility and manoeuvring abilities of the vessel. In conventional propulsion system where the propeller is directly driven by the engine itself the flexibility feature has a substantial meaning for full control over manoeuvring during port approaches, in wet dock as well as in emergency situations when the engine must be quickly stopped. Flex system provides the following:

- optimal combustion process at low loads – stable minimal engine speeds at the level of 10 – 12 rpm.; while the minimal engine speeds fro conventional engine amount to 30 – 35 rpm,
- improved engine actuation process – fuller control over the starting air supply, low ignition speed, complete combustion process from the very beginning of engine operation.

These two features are remarkably significant engine most extreme ‘emergency manoeuvring’ at full vessel speed (engine operates at speed and power corresponding to the nominal operation point) when the vessel must be stopped in shortest time possible. This is achieved by supplying the stopping air to the engine, starting the engine in the opposite direction, and run up the engine to the nominal speed astern. correct manoeuvring process decides in that case about the safety of

strukcyjnym dla dwusuwowego silnika okrętowego dużej mocy zastosowanego do napędu bezpośredniego statku wyposażonego w śrubę stałą.

Zakończenie

Przedstawione powyżej nowatorskie rozwiązania i wynikające z tego cechy silników RT-flex60C skłaniają do stwierdzenia, że silnik pozwala na istotne oszczędności finansowe podczas jego eksploatacji; poprzez redukcję wielu elementów mechanicznych, zwłaszcza sterujących, jest prostszy w obsłudze i niezawodny. Poprawie uległa manewrowość jednostki pływającej ze względu na większą elastyczność pracy silnika, którą do tej pory zapewniały tylko napędy ze śrubą nastawną.

Pierwszy raz system flex do eksploatacji wszedł wraz silnikiem RT-flex58T-B na masowcu 47.950 tdW „Gypsum Centennial”. Przegląd silnika i sterowania flex po pierwszym roku eksploatacji (5295 godzin pracy), wykonany w ubiegłym roku w Tampie na Florydzie wykazał bardzo dobry stan elementów silnika i sterowania.

Silniki RT-flex60C powoli zdobywają zaufanie armatorów, zwiększa się ilość zawartych kontraktów. Silniki budowane są w Korei i w Chinach. Na początku roku, 29 stycznia 2004, podpisano kontrakt na budowę kolejnych 8 silników 7RT-flex60C w firmie Hudong Heavy Machinery w Chinach z przeznaczeniem na kontenerowiec 1574 TEU.

Firma H. Cegielski – Poznań S.A. jest również przygotowana do produkcji tego typu silnika.

Artykuł recenzowany

the vessel. Thus, it may be stated that the flex system is most optimal design solution for large two-stroke marine diesel engine applied for the direct drive of the vessel equipped with the fixed pitch propeller.

Conclusion

The innovative solutions presented above and the features of the RT-flex60C engines incline to state that that engine type provide considerable savings during engine operation by the reduction of numerous mechanical components, especially those control ones – the engine is easy to be operated and reliable. Engine manoeuvrability has been considerably improved as regards the higher engine flexibility, which has only been possible with engines driven by the adjustable pitch propeller.

The RT-flex system first entered service in the bulk carrier ‘Gypsum Centennial’ of 47 950 tdW with engine RT-flex58T-B. Inspection of the engine and the flex control system after the first year of operation – 5295 operating hours – was made last year in Tampa, Florida and it confirmed good condition of engine components and control system.

The RT-flex 60C engine are slowly winning the trust of shipowners, the number of contracts signed is increasing. Engines are mainly build in Korea and China. At the beginning of 2004, on 29 January 2004, a contract for the next 8 engines of 7RT-flex60C type for container vessels of 1574 TEU was signed in Hudong Heavy Machinery in China.

H. Cegielski – Poznań S.A. Company is also prepared to start the production of that engine type.

Literatura/Bibliography

- [1] Mańczak J.: Silnik Okrętowy Sulzer RT-flex60 C dla statków średniej wielkości. Referat z Sympozjum Silników Spalinowych, H.Cegielski-Poznań, czerwiec 2003.
- [2] Huber K., Güttinger B.: First year of service successful for first Sulzer RT-flex, Wartsila, Switzerland.
- [3] Demmerle R.: The first Sulzer RT-flex60C, Wartsila, Switzerland.
- [4] Aeberli K.: Expanded Sulzer RT-flex engine range, Wartsila Switzerland.
- [5] Aeberli K., McMillan J.: Common Rail At Sea: The Sulzer RT-flex Engine, Wartsila, Switzerland.
- [6] Sulzer RT-flex60C – Technology Review – Wartsila Corporation.
- [7] Sulzer RT-flex low-speed engines – Wartsila Corporation.
- [8] Diesel engines Program 2003 – H.Cegielski – Poznań S.A.
- [9] Marine Power Systems 2003 – Wartsila Corporation.
- [10] Engine Selection and Project Manual – Sulzer RT-flex60C, Wartsila Corporation.

Strony internetowe:
www.hcp.com.pl
www.wartsila.com
www.simp.poznan.pl

Skróty i oznaczenia/Nomenclature

Aux. Blower – dodatkowa dmuchawa
Conventional low speed engine – typowa niska predkość obrotowa silnika
Crank angle sensor – czujnik kąta obrotu wału korbowego
Cylinder pressure – ciśnienie w cylindrze
Exhaust valve actuator – element wykonawczy zaworu wylotowego
Fuel injection – wtrysk paliwa
Fuel pressure rail – ciśnienie paliwa w akumulatorze
Individual, hydraulically operated, electronically controlled fuel injection pumps – indywidualne, hydrauliczne, sterowane elektronicznie pompy wtryskowe paliwa
Injection pressure – ciśnienie wtrysku
Needle lift – wznios iglicy wtryskiwacza
Smoke visibility limit – granica dymienia
Starting air – powietrze rozruchowe

Volumetric fuel injection control unit – jednostka objętościowego sterowania wtryskiem paliwa
TDC – Top Dead Center – górne martwe położenie tłoka
Top Ring – górny pierścień tłoka

* Mgr inż. Jacek Mańczak – Kierownik Fabryki Silników Okrętowych H. Cegielski – Poznań S.A., pracuje w HCP S.A. od roku 1974, w latach 1996 do 2000 Główny Inżynier Fabryki, w latach 2000 do 2003 Szef Kontroli Jakości. Absolwent Politechniki Poznańskiej, Wydziału MRiP.

Jacek Mańczak, Master of Science, Engineer, Head of the Marine Engine Factory at H. Cegielski – Poznań S.A., works at HCP S.A. since 1974; in the years 1996-2000 - the Factory's Chief Engineer; in the years 2000-2003 - Chief of Quality Control Department. He graduated from the Poznań University of Technology, Faculty of Working Machines and Vehicles.

