

Recent developments in Wärtsilä gas engines

A power generation industry is evolving very fast nowadays. A lot of modern technologies have become available recently for a product development process. Also new types of fuels have appeared on the market. All these factors have caused significant changes in a power generation approach. New products enabling more environment-friendly technologies have been introduced by many key-players on the market.

This paper describes briefly needs and directions of gas engines development in modern power generation industry. It also presents shortly history of Wärtsilä gas engines together with present gas engine portfolio covering products like: spark ignited gas engine, conventional dual-fuel one and a dual-fuel engine equipped with high-pressure direct gas injection system.

The paper focuses on the most important aspects of the recent Wärtsilä gas engines development process explaining also achieved benefits. It covers main features and new fuels introduced during development of specific engine which are key factors for customers willing to use the most modern technology in this field.

Key words: direct gas injection, high-pressure gas injection, dual-fuel engine, lean-burn gas engine, spark-ignited gas engine, variable speed stationary engine

Ostatnio przeprowadzone prace rozwojowe silników gazowych Wärtsilä

Przemysł energetyczny zmienia się obecnie w szybkim tempie. Coraz więcej nowoczesnych technologii staje się powszechnie dostępnych wpływając na kierunki rozwoju. Również coraz więcej nowych paliw pojawia się w obrocie. Te wszystkie czynniki spowodowały wiele zmian w podejściu sektora energetycznego. Nowe, przyjazne dla środowiska technologie zostają wdrażane przez wielu kluczowych producentów urządzeń energetycznych.

Niniejszy artykuł omawia w skrócie potrzeby oraz kierunki rozwoju silników gazowych dla nowoczesnej energetyki. Przedstawia również historię rozwoju silników gazowych firmy Wärtsilä połączoną z krótkim omówieniem bieżącej palety produktów takich jak: silniki o zapłonie iskrowym, konwencjonalne silniki dwupaliwowe oraz silniki dwupaliwowe wyposażone w wysokociśnieniowy bezpośredni wtrysk gazu.

Artykuł skupia się na najważniejszych aspektach procesu rozwoju silników gazowych Wärtsilä w ostatnich latach wyjaśniając również najważniejsze korzyści osiągnięte dzięki wdrożonym rozwiązaniom. Omówione są też najważniejsze nowe funkcje oraz nowe paliwa wprowadzone dla poszczególnych silników, które są kluczowymi czynnikami dla klientów skupiających się na najnowocześniejszych rozwiązaniach w tej gałęzi przemysłu.

Słowa kluczowe: bezpośredni wtrysk gazu, wysokociśnieniowy wtrysk gazu, silnik dwupaliwowy, silnik gazowy o zapłonie iskrowym, silnik stacjonarny o zmiennej prędkości obrotowej

1. Introduction

Stricter regulations for power generation related environment pollutions forced more intensive seeks for new sources of energy and new technologies. Fuels that before were considered only as a waste product or useless by-products suddenly are in a focus. There are two general reasons: high penalties or high benefits. The penalties are usually connected with pollution caused by waste disposal without proper treatment – for instance methane based waste gases cannot be released to the atmosphere in many areas of the world. Other type of penalties comes from carbon dioxide emission which becomes very expensive if waste gas is burned without any power generation during the process, i.e. without any income generated. The flares at oil fields are now the most visible examples of burning gases without any reason or purpose. The third group of penalties is an utilisation fee which actually is a cost of providing proper waste gas utilisation process. Some of mentioned above problems are now possible to be solved due to technological development achieved in power generation. Moreover,

1. Wprowadzenie

Coraz bardziej wymagające przepisy dotyczące ochrony środowiska przy produkcji energii elektrycznej wymusiły intensywne poszukiwania nowych źródeł energii oraz nowych technologii. Paliwa, które wcześniej były uważane za odpady z różnych procesów technologicznych nagle znalazły się w centrum uwagi. Powodem są zarówno duże możliwe zyski jak i wysokie koszty. Wysokie koszty są zwykle związane z zanieczyszczaniem odpadami bez odpowiedniego procesu utylizacji – np. w wielu krajach gazy zawierające znaczące ilości metanu nie mogą być uwalniane do atmosfery. Kolejna grupa kosztów jest związana z emisją ditlenku węgla, co jest bardzo kosztowne, jeśli paliwo jest utylizowane poprzez spalanie a energia w nim zawarta nie jest wykorzystywana w żaden sposób tj. bez generowania dochodu. Spalanie gazów w pochodniach na polach naftowych jest najbardziej oczywistym przykładem spalania paliw bez żadnego celu bądź pożytku. Trzecia grupa kosztów, to po prostu koszty związane bezpośrednio z utylizacją, która zwykle jest kosztownym procesem. Część z tych

some fuels are not anymore treated as waste or by-product since they can be used in modern devices. Every year more and more fuels move from “dark side” to a beneficial area providing additional business opportunity instead of costs generated in a past.

Nowadays power generation industry is very much focused on cost reduction and efficiency. Too expensive fuels combined with poor efficiency have no space in the market and the goal is to have technology able to utilize cheap fuels together with high efficiency of power generation. Traditional fossil fuels may become too expensive ones very soon due to low efficiency of power generation and foreseen significant additional fees for environmental pollution. Very fast development of power generation technology that can be observed recently creates new possibilities for increasing efficiency, reducing power generation costs and using new types of fuels. And, what is the most important; it helps to use existing fuel resource in much wiser way.

The history of Wäertsilä gas engines starts in 1987 when the first gas-diesel (GD) engine was introduced, the Wäertsilä Vasa 32GD [11]. Soon after that portfolio of Wäertsilä gas engines gained other ones. The Wäertsilä gas engine development is carried out to follow changes on power generation market as well as the ones on fuel market. New environment friendly technologies are available and the approach for using fuels has also changed. Among fuels that are very promising to be widely used in near future quite often biogas, associated gas and wood gas are listed. After recent modification achieved during development process Wäertsilä gas engines are able to utilize most of these fuels.

2. A spark-ignited engine for high performance

In 1992 the development of the lean-burn spark-ignited gas engine has started. The first spark-ignited gas engine (SG) was released in 1993 and in 1995 Wäertsilä Vasa 34SG engine family was introduced in the market [13]. This engine was based on the frame of the Wäertsilä Vasa 32 engine type. The cylinder bore was increased from 320 to 340 mm to fully use the power potential of the engine block. The Wäertsilä Vasa 34SG combined high efficiency with low emissions. The engine was available in 12V and 18V configurations with a power of 375 kW per cylinder at 750 rpm and about 45% of efficiency and very effective heat recovery design. The Wäertsilä spark-ignited engine combines low pressure gas injection system and pre-chamber ignition system. A main gas admission valves are placed close to intake valves in cylinder head and electronically controlled while pre-chamber gas admission valve is mechanically controlled from camshaft. The engine offered very good performance and clean combustion (lean gas mixture) with self-learning and self-adjustable functions in control system. The per-cylinder combustion control and monitoring enabled an even load for each cylinder and high energy spark-ignition system with a pre-chamber provided stable combustion.

At the end of 20th century Wäertsilä introduced new platform for its medium size engine family dedicated to very efficient Wäertsilä power plants. The new engine has same as

problemów może być obecnie rozwiązana dzięki dostępności nowych technologii i urządzeń. Ponadto coraz więcej paliw nie jest już traktowanych, jako paliwa odpadowe i z każdym rokiem coraz więcej „niechcianych” paliw trafia do grupy pożądanых źródeł energii tworząc dodatkowe źródła dochodu zamiast generowania kosztów.

W obecnych czasach przemysł energetyczny koncentruje się głównie na redukcji kosztów oraz zwiększaniu sprawności. Zbyt wysokie ceny paliw w połączeniu z niską sprawnością nie znajdują miejsca na rynku energetyki a celem stało się zastosowanie technologii o wysokiej sprawności korzystając z tanich paliw. Tradycyjne paliwa kopalne mogą stać się zbyt kosztowne w niedalekiej przyszłości z powodu niskiej sprawności urządzeń, w których są te paliwa wykorzystywane oraz z przewidywanym wzrostem opłat za zanieczyszczenie środowiska naturalnego. Bardzo gwałtowny rozwój technologiczny przemysłu energetycznego obserwowany w ostatnich latach stworzył nowe możliwości dla zwiększania sprawności, obniżania kosztów oraz stosowania nowych paliw. A ponadto, co jest również bardzo istotne, nowe rozwiązania pozwalają lepiej zarządzać zasobami paliw.

Historia silników gazowych Wäertsilä zaczyna się w 1987 roku wraz z wprowadzeniem do sprzedaży pierwszego silnika dwupaliwowego Wäertsilä Vasa 32GD [11]. Wkrótce po tym paleta produktów firmy Wäertsilä została rozszerzona o kolejne silniki gazowe. Proces rozwoju silników gazowych Wäertsilä jest prowadzony zgodnie z ogólnym trendem rozwoju energetyki oraz rynku paliw. Nowe technologie przyjazne środowisku są szeroko dostępne a ponadto sposób podejścia do zasobów paliwowych również uległ zmianie. Pośród paliw, z którymi są związane największe nadzieje na szerokie zastosowania w niedalekiej przyszłości najczęściej są wymieniane biogaz, gaz stowarzyszony oraz gaz drzewny. Po ostatnio poczynionych modyfikacjach silniki gazowe Wäertsilä mogą być zasilane większością z tych paliw.

2. Silniki o zapłonie iskrowym – wysoka wydajność

W 1992 roku rozpoczęła się era silników gazowych o zapłonie iskrowym zasilanych mieszankami ubogimi. Pierwszy silnik trafił do sprzedaży w 1993 roku, a w 1995 została wprowadzona cała rodzina silników oparta na modelu Wäertsilä Vasa 34SG [13]. Silnik ten był skonstruowany w oparciu o blok silnikowy świetnie sprawdzającego się w energetyce silnikowej modelu Wäertsilä Vasa 32. Średnica cylindra została zwiększona z 320 do 340 mm, aby w pełni wykorzystać potencjał konstrukcji. Silnik Wäertsilä Vasa 34SG łączył wysoką sprawność z niską emisją zanieczyszczeń. Początkowo silnik był dostępny tylko w wersji 12- i 18-cylindrowej z cylindrami w układzie widlastym. Silnik o stałej prędkości obrotowej 750 obr/min generował moc 375 kW na cylinder i charakteryzował się sprawnością 45% oraz bardzo wysoką efektywnością wykorzystania odzyskiwania ciepła. Silniki Wäertsilä o zapłonie iskrowym są zasilane gazem o niskim ciśnieniu i są wyposażone w komorę wstępną. Główne wtryskiwacze gazu są umieszczone w kolektorach w pobliżu zaworów dolotowych i są sterowane elektronicznie,

before but stroke was increased to 400 mm. A combustion chamber and fuel feeding systems were also optimised. The pre-chamber chamber shape and size was changed providing higher ignition effectiveness, longer spark-plug lifetime and lower NO_x emission. All the modifications resulted also in higher efficiency of the engine and higher power.

After engine was tested in laboratory and validation power plants and it had proven its value a created space for further improvements was being used. The first step was to introduce the Wärtsilä 34SG engine for mechanical drive applications. The engine components are in general same as in standard one but some modifications were needed to be done, for instance compressed air by-pass was added (Fig. 1). The most of modifications were implemented in engine automation system to enable constant torque-variable speed operation.

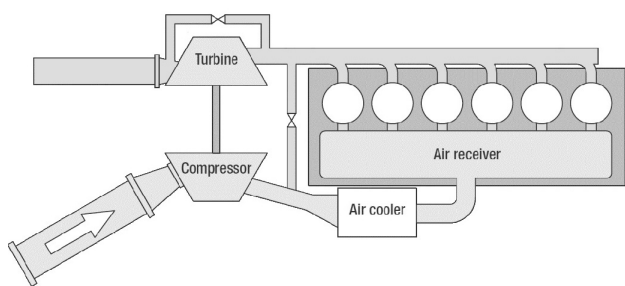


Fig. 1. Wärtsilä 34SG mechanical drive air and exhaust gas system [15]

Rys. 1. Układ dolotowy i wydechowy silnika Wärtsilä 34SG do napędu sprężarek i kompresorów [15]

The second modification of the Wärtsilä 34SG engine was adjusting it to methane based fuels with lower energy content. Coal mine gas and biogas are good examples of these fuels. New gas admission valves installed on the engine created an opportunity for utilizing this kind of fuels. As in previous example, most of the engine components remain unchanged. Modifications cover only readjustment of engine automation and fuel system outside the engine to provide higher gas pressure if needed. The engine has very significant benefit: gas is delivered to intake manifold very close to intake valves so there is no risk that dust, moisture or any other fuel components could cause any damage to charge air coolers. Gas fuel requirements for standard and modified versions of the engine are shown in Table 1.

The last but not least modification was introduced in 2009 higher engine power. It was possible again

podczas gdy zawory gazowe w komorze wstępnej są sterowane mechanicznie z wałka rozrządu. Silnik oferował bardzo dobre osiągi oraz zaawansowany system kontroli, który był miał wbudowane funkcje automatycznego dostrajania parametrów pracy oraz „uczenia” się na podstawie historii pracy silnika. Układ kontroli oraz monitoringu pozwalał kontrolować każdy z cylindrów niezależnie od pozostałych i optymalizować ich pracę, a specjalnie zaprojektowana świeca zapłonowa o wysokiej energii iskry zapewniała bardzo stabilny i powtarzalny zapłon.

Pod koniec XX wieku Wärtsilä opracowała nową platformę dla silników średniej wielkości. Nowe silniki miały tę samą średnicę cylindra, co wcześniejsza wersja, ale skok tłoka został zwiększony z 350 do 400 mm. Ponadto kształt komory spalania oraz system paliwowy zostały zoptymalizowane. Kształt i wielkość komory spalania zostały zmienione na potrzeby obniżenia emisji tlenków azotu oraz zwiększenia żywotności świec zapłonowych. Te wszystkie modyfikacje znalazły swoje odbicie w wyższej sprawności silnika oraz większej mocy.

Po badaniach w laboratorium silnikowym i testach w elektrowni badawczej, podczas których silnik potwierdził drżemiący w nim potencjał, został poddany dalszym pracom rozwojowym. Pierwszym krokiem było wdrożenie silnika Wärtsilä 34SG dedykowanego do napędu pomp i sprężarek. Komponenty są w zasadzie identyczne jak w zwykłym silniku 34SG, ale pewne drobne modyfikacje okazały się konieczne, np. dodanie upustu powietrza za sprężarką (rys. 1). Większość poczynionych modyfikacji obejmuje układ kontroli umożliwiając pracę silnika ze stałym momentem obrotowym i zmienną prędkością obrotową.

Kolejną modyfikacją silnika Wärtsilä 34SG było przystosowanie go do paliw opartych na metanie, ale posiadających

Table 1. Fuel requirements for the Wärtsilä 34SG

Tabela 1. Wymagania dla paliwa gazowego dla silnika Wärtsilä 34SG

		Standard engine/ silnik standardowy	Modified engine/ silnik zmodyfikowany
Lower heating value/wartość opałowa	Minimum	24 MJ/m ³	17 MJ/m ³
Methane contents/zawartość metanu, CH ₄	Minimum	70%	30%
Hydrocarbons (incl. CH ₄)/węglowodory (z CH ₄)	Minimum	–	40%
Hydrogen sulphide/siarkowodor, H ₂ S	Maximum	0.05%	0.05%
Total sulphur/zawartość siarki (łącznie)	Maximum	5 mg/kg	5 mg/kg
Hydrogen/wodór, H ₂	Maximum	3%	3%
Carbon dioxide/diutlenek węgla, CO ₂	Maximum	20%	20%
Condensates/składniki ciekłe		Not Allowed/ niezgodzone	Not Allowed/ niezgodzone
Ammonia/związki amoniaku	Maximum	25 mg/m ³	25 mg/m ³
Chlorine + Fluorine/chlorany i fluorany	Maximum	50 mg/m ³	50 mg/m ³
Particles or solids/cząstki stałe	Maximum content	50 mg/m ³	50 mg/m ³
	Maximum size	5 µm	5 µm
Gas inlet temperature/temperatura gazu	Range/zakres	0 – 50 °C	0 – 50 °C
Gas pressure/ciśnienie gazu	Minimum	5 bar	5 bar

Table 2. The Wärtsilä 34SG engine performance
Tabela 2. Podstawowe parametry silników Wärtsilä 34SG

	Wärtsilä Vaasa 34SG	Wärtsilä 34SG (1999)	Wärtsilä 34SG (mechanical drive)	Wärtsilä 34SG (2009)
Bore/śr. cyl., mm	340	340	340	340
Stroke/skok tł, mm	350	400	400	400
Power/moc, kW/cyl	375	450	450	500
Cylinder conf./układ cyl.	12V, 18V	9L, 16V, 20V	9L, 16V, 20V	9L, 16V, 20V
Comp. ratio/stopień sprężania	10, 11 or 12	11 or 12	11	11
Speed, rpm/pręd. obr., obr/min	750	750	525 – 750	750
Efficiency/sprawność	45%	46%	45%	46%

by changing engine automation but this time it also required turbocharger re-matching to provide higher charge air pressure. As a result of it some compression ratio options have had to be excluded but engine still provides very high efficiency. Performance comparison between engine versions is shown in Table 2.

3. A dual-fuel engine for fuel flexibility

The Wärtsilä lean-burn dual-fuel gas engine was introduced for the first time in 1996 and in 1997 Wärtsilä introduced 2nd one in its engine portfolio [10, 16]. The Wärtsilä dual-fuel engine combines low pressure gas injection system and fuel oil pilot ignition system. The dual-fuel engine can operate on diesel fuel oil (light fuel oil – LFO or heavy fuel oil – HFO) or on gas. In the gas mode, the engine operates according to the Otto-cycle and combines low pressure gas injection system and fuel oil pilot ignition system. An electronically controlled main gas admission valves are located like in spark-ignited engine i.e. close to intake valves in cylinder head. An engine automation system uses same principle as in spark-ignited engines so every cylinder can be controlled and optimised separately from others. In the gas mode engine is using about 1% of fuel energy as pilot fuel oil to initiate combustion process. The engine can be switched between gas mode and oil mode anytime during operation with any need to stop it. This solution provides very high operation flexibility combined with high engine performance.

In 2007 significant modification where introduced to fuel oil system and all Wärtsilä dual-fuel lean-burn engines gained new feature: they are able to utilize gas, light fuel oil or heavy fuel oil and switching between fuels doesn't require engine stop. Before this modification there was long procedure to prepare engine for light fuel oil operation or gas mode after it was running on heavy fuel oil. The new system (Fig. 2) provides very unique and very valuable fuel flexibility together with reliable operation. Scheme for mode switching is presented in figure 3. Time needed for switching between light fuel oil and heavy fuel oil is required only to fill whole fuel system with a new fuel. During switching from light fuel oil operation to gas mode a load reduction to

niską wartość opałową. Typowymi przykładami takich paliw jest gaz kopalniany oraz biogaz. Silnik został wyposażony w nowe główne wtryskiwacze gazu, które pozwoliły na stosownie powyższych paliw. Pozostałe komponenty pozostały w zasadzie bez zmian i jedynie drobne ustawienia w układzie kontroli zostały zmodyfikowane, aby umożliwić w razie potrzeby stosowanie wyższych ciśnień dla paliw gazowych. Silnik ten posiada dodatkowo jedną bardzo ważną zaletę: paliwo gazowe jest wtryskiwane w pobliżu zaworów dolotowych, więc uniknięto ryzyka, że pył, ciekłe lub inne składniki paliwa uszkodzą chłodnicę powietrza doładowującego. Wymagany skład paliwa dla standardowego oraz zmodyfikowanego silnika zostały przedstawione w tabeli 1.

Ostatnią jednak nie mniej istotną modyfikacją wprowadzoną dotychczas na silniku Wärtsilä 34SG było podniesienie mocy silnika. Było to możliwe poprzez zmianę układu kontroli oraz dobrania innej turbosprężarki umożliwiającej podniesienie ciśnienia doładowania. W efekcie część z wariantów stopnia sprężania zostały wyeliminowane, ale silnik nadal charakteryzuje się bardzo wysoką sprawnością. Tabela 2 przedstawia podstawowe parametry wszystkich omówionych wersji silnika.

3. Silnik dwupaliwowy – swoboda doboru paliwa

W 1996 Wärtsilä wprowadziła do sprzedaży pierwszy silnik dwupaliwowy spalający mieszanki ubogie, a w 1997 w palecie produktów pojawił się drugi silnik tego typu [10, 16]. Silniki dwupaliwowe Wärtsilä są zasilane gazem o niskim ciśnieniu a zapłon jest inicjowany poprzez wtrysk pilotującej dawki oleju napędowego. Silniki te mogą być zasilane tradycyjnymi olejami napędowymi (lekkimi lub ciężkimi) lub gazem. W trybie gazowym obiegiem porównawczym dla pracy silnika jest obieg Otto. Gaz jest podawany przez elektronicznie kontrolowane wtryskiwacze gazowe umieszczone w pobliżu zaworów dolotowych. Układ kontroli silnika kontroluje każdy z cylindrów niezależnie od pozostałych. Około 1% energii paliwa stanowi dawka pilotująca oleju napędowego inicjująca zapłon. Silnik może być w dowolnej chwili przełączony z trybu gazowego na tryb olejowy bez konieczności zatrzymania bądź zmniejszenia obciążenia silnika. To rozwiązanie zapewnia bardzo dużą swobodę doboru paliwa oraz wysoką sprawność niezależnie od wybranego trybu pracy.

W 2007 istotne modyfikacje zostały wprowadzone do systemu paliwa olejowego silników dwupaliwowych Wärtsilä, dzięki którym silniki zyskały dodatkową cechę: silnik może być zasilany gazem, lekkim olejem napędowym bądź ciężkim olejem napędowym i przełączanie między tymi paliwami nie wymaga zatrzymania silnika. Przed tą modyfikacją zajmowało to dużo czasu, żeby przystosować silnik do pracy na lekkim oleju bądź gazie po wcześniejszym zasilaniu ciężkim olejem napędowym. Nowy system paliwowy zapewnia dużą i unikalną swobodę doboru paliwa, którym będzie silnik zasilany w danej chwili oraz wysokiej pewności działania i niezawodność (rys. 2). Schemat przełączania między różnymi trybami zasilania został przedstawiony na rys. 3. Czas potrzebny do przełączania między trybem za-

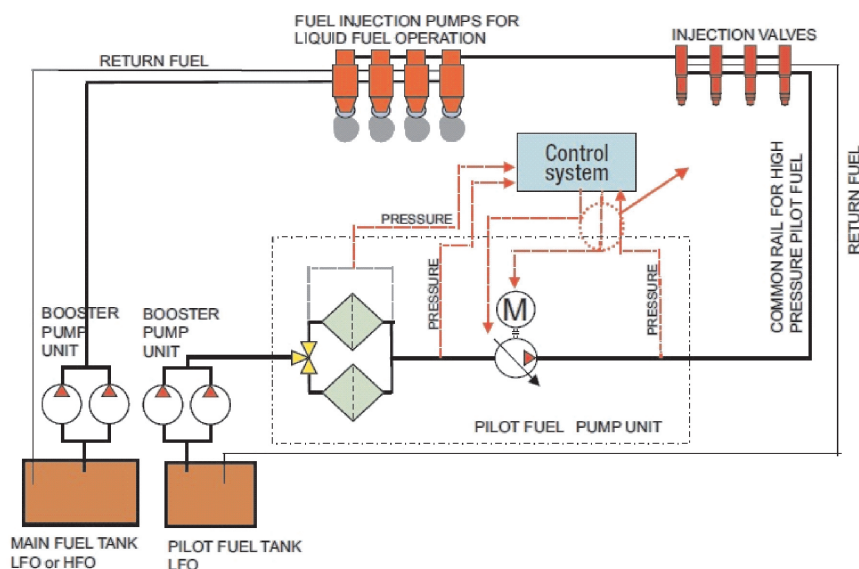


Fig. 2. Wärtsilä 34DF and 50DF fuel oil system [12, 16]

Rys. 2. System paliwa olejowego silników Wärtsilä 34DF i 50DF [12, 16]

silania lekkim olejem napędowym a ciężkim olejem napędowym wynika tylko i wyłącznie z potrzeby wypełnienia całego systemu paliwowego nowym rodzajem paliwa. Podczas przełączania z trybu zasilania olejem napędowym na tryb zasilania gazem konieczne jest obniżenie mocy silnika do 80% mocy nominalnej. Jest to podyktowane koniecznością wypalenia wszelkich osadów w komorze spalania, które mogłyby być źródłem przedwczesnego zapłonu podczas zasilania gazem.

W 2008 roku Wärtsilä wprowadziła do swojej oferty silnik Wärtsilä 34DF, który bazuje na tej samej platformie, co najnowszy silnik Wärtsilä 34SG. Moc silnika oraz sprawność zostały podniesione oraz zwiększona żywotność komponentów silnika.

80% of maximum load is necessary. The load reduction required to burn out all the deposits that could be collected in combustion chamber and could be a source of gas-air mixture pre-ignition during gas mode operation.

In 2008 the Wärtsilä 34DF engine was introduced. The engine uses

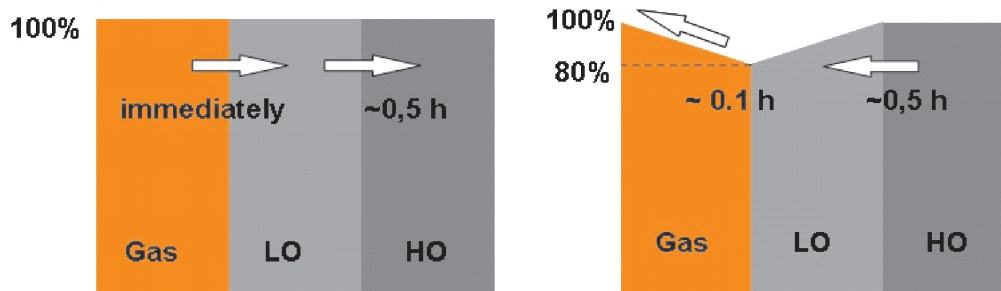


Fig. 3. Wärtsilä 34DF and 50DF operation mode changing scheme [2]

Rys. 3. Schemat przełączania między trybami zasilania dla silników Wärtsilä 34DF i 50DF [2]

Table 3. The Wärtsilä dual-fuel engines performance

Tabela 3. Podstawowe dane techniczne silników dwupaliwowych Wärtsilä

	Wärtsilä Vaasa 32DF	Wärtsilä 50DF	Wärtsilä 34DF
Bore/śr. cyl., mm	320	500	340
Stroke/skok tł., mm	350	580	400
Power/moc, kW/cyl	375	950	450
Cylinder conf./układ cyl.	18V	18V	9L, 16V, 20V
Comp. ratio/stopień sprężania	12	11.5 or 12	12
Speed, rpm/pręđ. obr., obr/min	750	500	750
Efficiency/sprawność	44%	47%	44%

same new and modern platform as recent 34SG engine and provides same benefits. The engine power and efficiency were increased and components lifetime was increased. Performance comparison between engine versions is shown in Table 3.

Podstawowe dane techniczne silników dwupaliwowych Wärtsilä zostały przedstawione w tabeli 3.

4. Silnik gazowy ZS – wymagające paliwa

Silnik gazowy ZS był pierwszym silnikiem gazowym w ofercie firmy Wärtsilä. Technologia ta była głównie przeznaczona dla platform wiertniczych, ale może z powodzeniem być wykorzystana również w energetyce. W silniku zastosowano technologię wysokociśnieniowego bezpośredniego wtrysku gazu a zapłon jest inicjowany samozapłonem wtrysniętej strugi oleju napędowego. Silnik nie jest wrażliwy nawet na znaczące zmiany składu paliwa i jest idealnym rozwiązaniem dla pól naftowych, gdzie zwykle występują znaczne złoża gazu stowarzyszonego z ropa naftowa. Unikatowa konstrukcja wtryskiwacza pozwala ponadto na dodatkowy tryb pracy silnika, współspalanie oleju i gazu, kiedy to proporcje między paliwem gazowym i olejowym mogą być zmieniane w szerokim zakresie. W trybie gazowym udział energii paliwa olejowego to ok. 5%. Silnik oczywiście może pracować też w trybie olejowym używając tylko olej napędowy.

4. The gas-diesel engine for difficult fuels

The Wärtsilä gas-diesel engine was the first gas engine introduced by Wärtsilä. This technology was mainly dedicated to offshore applications, although it also could be used for power generation. The engine combines high-pressure direct gas fuel injection with fuel oil pilot ignition system. This engine can tolerate significant variations in gas composition and is very suitable for fuels like associated gas in oil fields. A unique design of injector provides additional features such as so-called fuel sharing mode when ratio between gas fuel and fuel oil can be changed in very wide range. In typical gas mode engine is run with approximately 5% of fuel input energy used as fuel oil pilot dose. The engine can be also operated in oil mode when only fuel oil is used.

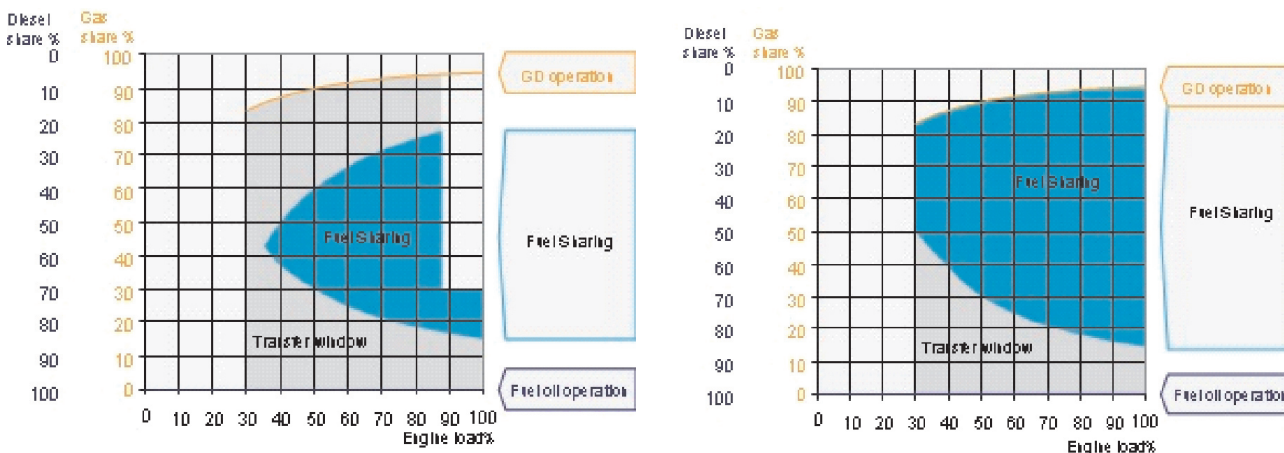


Fig. 4. Wärtsilä 32GD operation modes (old one – left, new one – right) [6, 7]

Rys. 4. Diagram trybów pracy silnika Wärtsilä 32GD (poprzednia wersja – lewa strona, nowa wersja – prawa strona) [6, 7]

In 2008 new version of Wärtsilä 32GD engine was introduced. New engine design bases on modified platform of medium bore Wärtsilä engine. Unlike in the Wärtsilä 34SG and the Wärtsilä 34DF engines, a cylinder bore was kept unchanged i.e. equal to 32 cm. Compression ratio and piston stroke in the Wärtsilä 32GD are exactly same as in the Wärtsilä 32 diesel engine. At first release engine power was increased from 375 kW per cylinder to 420 kW per cylinder providing also very high efficiency.

During 2009 very intensive tests and development projects were carried out to improve new Wärtsilä 32GD even more. Changes in automation system made fuel sharing window much wider (Fig. 4) while new modern gas system allowed to accept much higher variations in gas fuel composition. These changes created good starting point for further development and in the beginning of 2010 engine power was increased to 460 kW per cylinder. Moreover, new fuels are also accepted for this engine which practically means that the Wärtsilä 32GD can be operated on almost any gas or oil fuel available nowadays. Performance comparison between engine versions is shown in Table 4.

W 2008 roku nowa wersja silnika Wärtsilä 32GD została wprowadzona do sprzedaży. Nowa wersja również bazuje na nowej platformie średniej wielkości silników Wärtsilä. W przeciwieństwie do silników Wärtsilä 34SG i Wärtsilä 34DF, w tym przypadku średnica cylindra pozostała niezmienną i wynosi 32 cm. Stopień sprężania i skok tłoka silnika Wärtsilä 32GD są identyczne jak dla silnika Wärtsilä 32. W początkowej serii produkcyjnej moc silnika była podniesiona z 375 kW do 420 kW na cylinder zapewniając również bardzo wysoka sprawność.

W czasie 2009 roku były prowadzone bardzo intensywne testy oraz prace rozwojowe silnika Wärtsilä 32GD. Zmiany w układzie kontroli pozwoliły rozszerzyć obszar współspalania paliwa olejowego i gazowego (rys. 4), a modyfikacje

układu paliwowego pozwoliły na zasilanie silnika paliwami gazowymi o jeszcze większych zmianach składu niż to było wcześniej. Udoskonalenia te były bardzo dogodnym punktem startowym do dalszych prac rozwojowych, które były prowadzone na początku 2010 i pozwoliły zwiększyć moc silnika do 460 kW na cylinder. Ponadto nowe paliwa zostały zaakceptowane, co w praktyce oznacza, że silnik Wärtsilä 32GD może być zasilany dowolnym paliwem gazowym bądź olejowym dostępnym obecnie do celów energetycznych. Podstawowe dane techniczne silnika zostały przedstawione w tabeli 4.

Table 4. The Wärtsilä gas-diesel engines performance

Tabela 4. Podstawowe dane techniczne silnika gazowego ZS Wärtsilä

	Wärtsilä Vaasa 32GD	Wärtsilä 32GD (2009)	Wärtsilä 32GD (2010)
Bore/śr. cyl., mm	320	320	320
Stroke/skok tł., mm	350	400	400
Power/moc, kW/cyl	375	420	460
Cylinder conf./układ cyl.	6R, 8R, 9R, 12V, 16V, 18V	6L, 9L, 12V, 16V, 20V	6L, 9L, 12V, 16V, 20V
Comp. ratio/stop. spręż.	13.5	16	16
Speed, rpm/pręđ. obr., obr/min	750	750	750
Efficiency/sprawność	43%	45%	45%

However there are still some fuels that are not recommended for this engine. The main reason is very low heating value of such fuels like wood gas, coke gas or hydrogen. The engine requires high gas pressure for its high-pressure direct gas injection system so compressing these gases to pressure of 350 bar will probably be not feasible. Energy consumption during compression process may be so high, that overall process efficiency of gas compression and engine operation will be too low to make investment payback time short enough. Nevertheless continuous changes in the fuel market situation may one day lead to the situation that usage of these fuels is feasible and then new tests of that engine will be necessary to check its performance and components lifetime.

5. Power generation applications

All the engines belonging to the same medium size family can be converted from one to another which provides additional freedom of choice to the clients. Also auxiliary equipment is standardised so there is no need to replace it when engine is converted [3]. Wärtsilä modules designed for very effective operation with long maintenance free periods are also standardised so most of them can be used with every type of gas engines from same family.

Wärtsilä gas power plants can be delivered to any place in the world. Modular design of all components makes on-site installation fast, easy and cheap, while providing the same good quality all the time. The power plant can be easily expanded with new engines anytime a customer decides to do it. A typical Wärtsilä gas power plant includes generating sets, auxiliary systems (including fuel, lubricating, cooling and exhaust processing systems), electrical systems, automation, structures and heat recovery (for combined heat and power plants). The multi-unit generation approach provides excellent availability with optimum efficiency even at part load of the power plant. The net electrical efficiency of the power plant exceeds 44% and start-up takes is below 10 minutes. Installing heat recovery with a steam turbine may increase power generation by about 10% which further reduces the heat rate of the plant. In combined heat and power plants, the overall efficiency higher than 85% can be reached, which helps to make local electricity production economically feasible. The engine cooling system uses closed-circuit radiator cooling and reduces the water consumption of the power plant to a near-zero level thus decreasing demand on local water resources. Buildings and halls designs help the plants to blend easily with surroundings, so that they can be operated in highly urbanized areas thanks to a very effective sound-proofing system. Advanced engine technology enables Wärtsilä gas power plants operation with full output power at high altitudes and with hot and dry ambient conditions [1].

The recent product in Wärtsilä's gas power plants portfolio is the GasCube available since January 2007. This type of power plant consists of one Wärtsilä 20V34SG engine and it is a complete solution including all auxiliaries and components necessary for power plant operation. The GasCube produces up to 9730 kW of electrical power; this optimum solution renders a very high fuel efficiency since

Pomimo tego nadal są pewne paliwa, które nie są zalecane dla tego silnika. Głównym powodem jest niska wartość opałowa takich paliw jak gaz drzewny, gaz koksowniczy czy wodór. Silnik wymaga wysokiego ciśnienia gazu więc sprężanie tych paliw do ciśnienia rzędu 350 bar jest często nieopłacalne. Energia potrzebna na sprężenie gazu może być tak duża, że sprawność ogólna obiektu energetycznego będzie zbyt niska, aby zapewnić odpowiednio krótki czas zwrotu inwestycji. Jednak ciągle zmiany na rynku paliw mogą zmienić sytuację i może się okazać, że używanie tych paliw jest opłacalne i wtedy dodatkowe testy będą potrzebne, żeby zmierzyć sprawność silnika oraz żywotność komponentów.

5. Zastosowania w energetyce

Wszystkie silniki należące do grupy silników średniej wielkości mogą być przekonwertowane z jednej wersji na inną, co zapewnia klientom dodatkową swobodę wyboru. Układy pomocnicze są również standaryzowane, więc w większości przypadków nie zachodzi konieczność ich wymiany przy konwersji silnika [3]. Moduły Wärtsilä stosowane w energetyce zapewniają efektywną pracę z długimi przerwami między przeglądami i mogą być one używane z wieloma silnikami z tej samej.

Elektrownie gazowe firmy Wärtsilä mogą być wybudowane praktycznie w każdym miejscu na ziemi. Budowa modułowa zapewnia szybką, taną i prostą instalację komponentów na miejscu przeznaczenia zapewniając zawsze taką samą jakość. Istniejące obiekty mogą być w prosty sposób rozbudowane o kolejne jednostki, nowe urządzenia pomocnicze, systemy elektryczne, nowa automatykę czy układy odzysku ciepła. Elektrownie wielosilnikowe zapewniają wysoką dostępność obiektu oraz optymalną sprawność w szerokim zakresie mocy. Sprawność elektryczna obiektu wynosi ponad 44% (netto) a start zajmuje poniżej 10 minut. Układy z turbiną parową pozwalają dodatkowo zwiększyć moc obiektu o 10%, co podnosi również sprawność ogólną obiektu. Elektrociepłownie Wärtsilä zapewniają sprawność łączną obiektu ponad 85%, co pozwala na stworzenie lokalnych elektrociepłowni ekonomicznie opłacalnych. Układ chłodzenia silnika pracuje w układzie zamkniętym i zmniejsza praktycznie do zera zużycie wody. Budynki są tak zaprojektowane, żeby łatwo dały się wtopić w otoczenie, więc mogą być z powodzeniem budowane w silnie zurbanizowanych obszarach a ponadto mają wysokiej jakości systemy tłumienia hałasu. Zaawansowana technologia pozwala silnikom gazowym Wärtsilä na pracę z pełną mocą i wysoką sprawnością na znaczących wysokościach oraz w gorących i suchych strefach klimatycznych [1].

Ostatnio opracowany produkt w palecie elektrowni gazowych Wärtsilä to wprowadzona w 2007 roku do sprzedaży kompaktowa elektrownia. Elektrownia tego typu opiera się na jednym silniku Wärtsilä 20V34SG i jest kompletnym rozwiązaniem zawierającym wszystkie niezbędne urządzenia pomocnicze. Jedna elektrownia typu GasCube może mieć moc elektryczną do 9730 kW zapewniając wysoką sprawność dzięki zredukowaniu do minimum zapotrzebowania własnego na energię elektryczną. Elektrownia typu GasCube

the own consumption of the power plant has been minimized. The GasCube is a pre-fabricated and totally pre-designed power plant, which gives high quality and fast delivery. All solutions used in the GasCube are as simple as possible but already proven to be reliable. Design is very compact, which gives a possibility to install a power plant at very small sites. The most of the auxiliary systems in the GasCube are installed in power skid. Fuel gas system includes main shut off valves (manual and automatic) located outside of house and compact gas ramp installed in the power skid with fuel gas control system and flow metering. For the engine maintenances cooling system includes maintenance water tank with connections for water supply and cooling water filling/emptying system. Engine combustion air is delivered from outside through dry filters and silencer. The building ventilation system provides efficient venting and low electricity consumption. Lubricating oil system includes engine mounted lube-oil cooler, filtration and pressure control. For lower emission crank case ventilation is equipped with oil mist separator. Lube-oil tanks are outside of GasCube. There are many possibilities for optional solutions outside the plant. This gas power plant design is perfect for deliveries even in areas lacking the proper infrastructure [5].

The Wärtsilä 34DF engine is very reliable source of power providing also low emission. It is a very good solution for independent power generation when power supply is a key factor. In 2003 Wärtsilä has won contract to supply power for Barajas airport in Madrid. The trigeneration plant based on six Wärtsilä dual-fuel engines delivers 33.6 MW of electric power, 24 MW of heat power and 18 MW of cooling power to the airport and its terminals. Overall plant efficiency is about 75%. In 2005 Dutch AMC hospital ordered three Wärtsilä dual-fuel engines to secure power supply for the biggest hospital in Amsterdam. This base load power plant can operate in island mode (without connection to the grid) or parallel with the public grid. The power plant delivers 12 MW of electric power, 12 MW of heat power and about 3 MW of cooling power. The Wärtsilä 50DF is ideal solution for big power plants with fuel flexibility. Client have freedom to choose what fuel he will be using for power generation in his power plant and selection can be made between fuels like natural gas, biogas, light fuel oil, heavy fuel oil, bio-diesel or vegetable oil. The biggest so far power plant based on Wärtsilä gas engines is located in Azerbaijan and includes eighteen Wärtsilä 18V50DF engines providing together more than 300 MW.

The Wärtsilä 32GD is very suitable not only when fuel quality is challenging. The engine is very good solution also for pumping stations. An Algerian town Tamanrasset located deep in the Sahara in the Ahaggar Mountains at an altitude of 1320 metres, almost a thousand metres higher than the source of water at In Salah. The contract requires Wärtsilä to supply 18 engine-driven pump sets and ancillary equipment to six pumping stations along the 740 kilometre of water pipeline route. The site conditions are quite extreme at Africa's largest desert with very high daytime temperatures and bitter cold at night. The two pipelines, each of them 800 mm in

składa się z gotowych standardowych elementów odpowiednio zaprojektowanych, co zapewnia wysoką jakość i krótki czas dostawy i budowy. Wszystkie zastosowane rozwiązania są tak proste jak to tylko możliwe, ale sprawdzone pod kątem niezawodności. Elektrownia jest bardzo kompaktowa, co pozwala na wybudowanie jej nawet w miejscach o ograniczonej powierzchni. Większość urządzeń pomocniczych jest zainstalowana na specjalnie przygotowanych modułach. System paliwowy zawiera zawory bezpieczeństwa i regulacyjne umieszczone na zewnątrz budynku oraz układ kontroli przepływu gazu zainstalowany w pobliżu silnika. Na potrzeby przeglądów i napraw układ chłodzenia zawiera dodatkowy zbiornik z układem napełniania i opróżniania. Powietrze trafia do silnika poprzez specjalne filtry i tłumiki. Układ wentylacji zapewnia wydajną wentylację budynku przy zachowaniu niskiego zużycia energii. Układ oleju smarowego zawiera filtr oleju, chłodnicę oleju oraz układ kontroli ciśnienia oleju. Aby obniżyć emisję zanieczyszczeń układ wentylacji skrzyni korbowej został wyposażony w separator mgły olejowej, a zbiorniki olejowe są umieszczone na zewnątrz budynku. Dodatkowe rozwiązania są możliwe do zastosowania. Tego typu elektrownia jest idealnym rozwiązaniem dla obszarów o niezbyt rozwiniętej infrastrukturze drogowej i sieci energetycznych [5].

Silnik Wärtsilä 34DF jest bardzo niezawodnym źródłem energii zapewniając jednocześnie bardzo niską emisję zanieczyszczeń. Jest to bardzo dobre rozwiązanie dla niezależnych źródeł energii, gdy dostawy energii są kluczowe. W 2003 r. Wärtsilä dostarczyła swoje silniki do portu lotniczego Barajas w Madrycie. Ta elektrownia trójgeneracyjna zawiera sześć silników dwupaliwowych Wärtsilä, które generują łącznie 33,6 MW energii elektrycznej, 24 MW ciepła oraz 18 MW chłodu na potrzeby lotniska oraz terminalu. Łączna sprawność obiektu wynosi około 75%. W 2005 roku szpital akademickiego centrum medycznego AMC w Amsterdamie zamówił trzy silniki dwupaliwowe Wärtsilä, aby zapewnić na własne potrzeby niezbędne dostawy energii. Ta elektrownia może pracować w trybie wyspowym (bez połączenia z siecią miejską) lub w połączeniu z siecią miejską. Elektrownia dostarcza 12 MW energii elektrycznej, 12 MW ciepła oraz około 3 MW chłodu. Silnik Wärtsilä 50DF jest idealnym rozwiązaniem dla dużych elektrowni, gdy wymagana jest duża elastyczność, co do stosowanego paliwa. Klient ma swobodę wyboru, jakie paliwo będzie używał, a wyboru może dokonać między paliwami takimi jak gaz ziemny, lekki olej napędowy, ciężki olej napędowy, bio-diesel czy nawet nierafinowane oleje roślinne. Największa jak dotąd elektrownia tego typu znajduje się w Azerbejdżanie i zawiera 18 silników Wärtsilä 18V50DF o łącznej mocy elektrycznej ponad 300 MW.

Silnik Wärtsilä 32GD jest bardzo dobrym rozwiązaniem nie tylko w przypadkach, gdy paliwo stanowi główne wyzwanie. Silnik jest również bardzo dobrym źródłem energii na stacjach pomp i kompresorów. Miasto Tamanrasset w Algierii znajduje się na Saharze wśród gór Ahaggar na wysokości 1320 m n.p.m., co jest prawie tysiąc metrów wyżej niż źródło wody w In Salah. Wärtsilä dostarczy 18

diameter, will eventually be able to supply 100 thousands cubic meters of water each day. Water flow is about 4000 m³ (four million litres) per hour. Each pumping station will have three Wärtsilä 6L32GD engines powering centrifugal pumps via a speed increasing gearbox. The Wärtsilä 32GD engines were specified for two main reasons – their ability to use both diesel and gas as fuel and their variable speed capability. For the first few years, the engines will run on diesel fuel oil [4].

6. Summary

Wärtsilä gas power plants offer a net electrical efficiency of over 44%. A combined cycle solution can reach 48% of net electrical efficiency and in combined heat and power generation can reach nearly 90% of total efficiency. A maintenance schedule is based on operating hours and is independent from the number of start and stops. Wärtsilä gas power plants can operate on various gas fuels and if high gas pressure is required additional compressor unit will be included. Wärtsilä power plants operate at minimal water consumption. The multi-unit design enables high part-load plant efficiency, excellent plant availability and reduced need for back-up capacity. It provides also stepwise investment with smaller risk and optimized profit generation. Start-up of engines takes below 10 minutes and several starts and stops per day are possible. Wärtsilä gas power plants provide full integration, excellent flexibility and outstanding efficiency in all ambient conditions, which is a valuable characteristic for modern, decentralized power generation.

Paper reviewed/Artykuł recenzowany

Bibliography/Literatura

- [1] Gas power plants, Wärtsilä Corporation brochure.
- [2] Hägglund T.: The ultimate in fuel flexibility, InDetail Wärtsilä Technical Journal 02.2007, pp. 16-20, 2007.
- [3] Pagni J.: Gas conversions get the green light, Twentyfour7 Wärtsilä Stakeholder Magazine 02.2008, pp. 60-62, 2008.
- [4] Pagni J.: Water brings life to the desert, Twentyfour7 Wärtsilä Stakeholder Magazine 04.2008, pp. 62-63, 2008.
- [5] Power Cubes, Wärtsilä Corporation brochure.
- [6] Power Plants Product Programme 2009, Wärtsilä Corporation brochure.
- [7] Power Plants Product Programme 2010, Wärtsilä Corporation brochure.
- [8] Sutkowski M.: The combustion systems in the high-power stationary internal combustion engines, XX International Symposium on Combustion Process proceedings, 2007.
- [9] Sutkowski M., Latvasalo T.: The 20V34SG – a High-Efficiency Lean-Burn Gas Engine for Highly Efficient Wärtsilä Gas Power Plants, Combustion Engines, Bielsko-Biala, 2007, No.2007-SC1, pp.27-38, PL ISSN 0138-0346.
- [10] Wärtsilä 32DF – Technology review, Wärtsilä Corporation brochure.
- [11] Wärtsilä 32GD – Engine technology, Wärtsilä Corporation brochure.

silników razem z pompami oraz sprzętem pomocniczym do sześciu stacji pomp pompujących wodę rurociągiem o długości 740 km od źródła do Tamarraset. Warunki panujące na największej pustyni świata są bardzo ekstremalne wliczając w to duże zmiany temperatury otoczenia w ciągu dnia. Dwie nitki rurociągu o średnicy 800 mm każda będą w stanie dostarczyć 100 tysięcy metrów sześciennych wody dziennie przy zapewnieniu wydatku rzędu 4000 m³ (4 milionów litrów) na godzinę. W każdej ze stacji pomp będą 3 silniki Wärtsilä 6L32GD napędzające pompy odśrodkowe poprzez przekładnie zwiększające prędkość obrotową. Silniki Wärtsilä 32GD były wybrane z dwóch powodów: ze względu na możliwość stosowania paliwa olejowego i gazowego oraz możliwość pracy ze zmienną prędkością obrotową. Podczas pierwszych paru lat silniki będą zasilane tylko olejem napędowym [4].

6. Podsumowanie

Elektrownie gazowe Wärtsilä oferują sprawność elektryczną netto ponad 44%. Układy gazowo-parowe pozwalają podnieść sprawność elektryczną netto do 48%, a w układach kogeneracyjnych nawet 90% sprawności ogólnej obiektu może być osiągnięte. Program przeglądów jest oparty na rzeczywistym czasie pracy silników i jest niezależny od liczby startów i zatrzymań. Elektrownie gazowe Wärtsilä mogą być zasilane wieloma paliwami a w przypadku, gdy jest wymagane wysokie ciśnienie gazu, dodatkowe kompresory mogą być zainstalowane. Elektrownie Wärtsilä pracują przy minimalnym zużyciu wody, a wykorzystanie wielu jednostek prądowców zapewnia wysoką sprawność na mocach częściowych, wysoką dostępność obiektu oraz obniża zapotrzebowanie na moc rezerwową w systemie. Obiekty umożliwiają ponadto możliwość rozbudowy obniżając ryzyko finansowe oraz optymalizując zyski. Możliwy jest startu obiektu w czasie poniżej 10 minut oraz kilka startów i zatrzymań w ciągu dnia. Elektrownie Wärtsilä zapewniają dużą elastyczność i wysoką sprawność w wymagających warunkach otoczenia, co jest cechą charakterystyczną nowoczesnych obiektów energetyki zdecentralizowanej.

- [12] Wärtsilä 34DF – Technology review, Wärtsilä Corporation brochure.
- [13] Wärtsilä 34SG – Engine technology 12 and 18V34SG, Wärtsilä Corporation brochure.
- [14] Wärtsilä 34SG – Engine technology 16 and 20V34SG, Wärtsilä Corporation brochure.
- [15] Wärtsilä 34SG – Engine technology for compressor drive, Wärtsilä Corporation brochure.
- [16] Wärtsilä 50DF – Technology review, Wärtsilä Corporation brochure.

Mr. Marek Sutkowski, DSc., DEng. – Application Manager in Gas Plants at Wärtsilä Finland.

Dr inż. Marek Sutkowski – Application Manager w dziale elektrowni gazowych, Wärtsilä Finlandia.

e-mail: marek.sutkowski@wartsila.com

