

Leszek PIASECZNY*
Ryszard ZADRAĞ

Badania wpływu dostarczania wody do cylindra na wskaźniki procesu spalania i toksyczności silnika ZS

Dostarczanie wody do cylindrów jest jednym ze sposobów ograniczania powstawania tlenków azotu w procesie spalania w silniku o ZS i znajduje uzasadnienie w publikowanych wynikach badań. W następstwie zasilania silnika emulsją paliwowo-wodną jednocześnie ze zmniejszeniem stężenia tlenków azotu występują zmiany stężenia tlenku węgla, węglowodorów, cząstek stałych, a także zmiany podstawowych wskaźników pracy silnika determinujących jego osiągi i obciążenie elementów układu tłokowo-korbowego.

W pracy przedstawiono wyniki własnych badań dotyczących wpływu dostarczania wody w postaci emulsji paliwowo-wodnej do cylindrów na zmianę toksycznych składników spalin wylotowych. Rozważaniom poddano również zachodzące w tym czasie zmiany podstawowych wskaźników procesu spalania.

Słowa kluczowe: silniki o ZS, emisja związków toksycznych, emulsja paliwowo-wodna

Research on the influence of water delivery to cylinder on parameters of the combustion process and toxicity of CI engines

Water delivery to the cylinders is one of the ways to reduce the nitrogen oxide formation in a combustion process in CI engine and is justified in published research results. In the aftermath of the admission of the fuel-water emulsion into the engine, along with the reduction of nitrogen oxides, the change in concentration of carbon oxides and particulates, basic engine parameters determining its performance and load of crank-piston assembly can be observed.

It the paper, the results of own research of fuel-water emulsion delivery influence on changes of toxic compounds in exhaust gas were introduced. The changes of basic combustion process parameters were also considered.

Key words: CI engines, emission of toxic compounds, fuel-water emulsion

1. Wstęp

Jednym z czynników determinujących dalszy rozwój silników spalinowych, w tym również okrętowych, są wciąż zaostrzane kryteria emisji toksycznych składników spalin. Jedną z dróg zapewniających spełnienie coraz ostrzejszych w tym zakresie wymagań stawianych przed silnikiem jest stałe doskonalenie procesu spalania w całym zakresie pracy silnika, nie wyłączając stanów nieustalonych i związanych z nimi procesów przejściowych. Poziom emisji pochodzący ze wspomnianych stanów nabiera szczególnego znaczenia w sytuacji, kiedy proces użytkowania silnika charakteryzuje się dużą częstością zmian obciążenia. Właśnie w takich szczególnych warunkach pracuje większość silników napędu głównego okrętów Marynarki Wojennej.

Jednym ze sposobów czynnego oddziaływania na proces spalania w cylindrze jest doprowadzenie wody do cylindrów; ma ono na celu zmniejszenie szczytowych wartości temperatury występujących podczas procesu spalania w silniku o ZS i może być zrealizowane przez [1]:

- wtrysk wody do kolektora dolotowego powietrza;
- wtrysk wody bezpośrednio do komory spalania przez oddzielny wtryskiwacz lub specjalnej konstrukcji wtryskiwacz paliwa z dodatkowym rozpylaczem;
- wtrysk przygotowanej w układzie paliwowym emulsji paliwowo-wodnej przez standardowy wtryskiwacz, ale o zwiększonej wydajności.

1. Introduction

One of the factors determining further development of combustion engines, including marine engines, are the ever tightening regulations for toxic compound emissions. One of the ways ensuring the fulfillment of the tightening requirements is permanent improvement of the combustion process, including the unstable states and related transient processes. The emission level, being the result of the said states has a special meaning in the situation when the use of engine characterizes a frequent load changes. The majority of engines applied in the navy operate in such special conditions.

One way to actively influence the combustion in a cylinder is supplying water to the cylinder in the aim of reducing the peak temperature during the combustion process in CI engines. This can be done by [1]:

- the water injection to the intake manifold;
- injection of water directly into the combustion chamber through a separate injector, or a special design fuel injector with an additional nozzle;
- injection of fuel-water emulsion prepared in the fuel system by standard design injector with enhanced efficiency.

According to the published data, the level of influence of the said processes on the combustion process is varied and different interpretations can occur [6]. In the authors' opinion, one way of an active and fully controlled influence

Według publikowanych danych efekt oddziaływania na proces spalania w zależności od zastosowanych sposobów jest zróżnicowany, przy tym występują również różne oceny tych sposobów [6]. Zdaniem autorów, jednym ze sposobów czynnego i w pełni kontrolowanego oddziaływania na proces spalania w cylindrze, przy jednoczesnym występowaniu efektu największego obniżenia emisji NO_x , jest stosowanie emulsji paliwo-wodnej. Dzieje się tak dlatego ponieważ dzięki wtryskowi emulsji paliwowo-wodnej woda (pochodząca z emulsji) dostarczana jest do strefy płomienia w cylindrze, czyli do obszaru, w którym bezpośrednio tworzą się tlenki azotu [4].

W literaturze występują ograniczone i niejednoznaczne informacje dotyczące wpływu emulsji na zmiany emisji innych związków toksycznych, sprawności, czy też obciążenia podstawowych elementów silnika. Na przykład, istnieje ogólny pogląd wynikający z podstaw teoretycznych, że w wyniku zastosowania emulsji może nastąpić spadek sprawności silnika. W porównaniu z czystym paliwem, przy zasilaniu silnika emulsją paliwowo-wodną następuje obniżenie energii odniesionej do jednostki objętości mieszaniny wtryskiwanej do cylindra, w związku z czym przy określonym stanie obciążenia rośnie dawka paliwa. Zwiększają się przez to straty mechaniczne związane z tłoczeniem emulsji do cylindrów silnika. W efekcie, wzrost strat mechanicznych oraz cieplnych związanych z odparowaniem wody może wpłynąć na zmniejszenie sprawności ogólnej silnika (zarówno sprawności wewnętrznej, jak i mechanicznej). Jednocześnie jednak publikowane są wyniki badań [4], podczas których stwierdzono, że przy 20% zawartości wody w emulsji jednostkowe zużycie paliwa zmalało o 2%.

Powyższe uwagi były inspiracją do przeprowadzenia badań określających w miarę możliwości szeroki wpływ zastosowania emulsji na toksyczność i podstawowe wskaźniki pracy silnika. W pracy autorzy dają odpowiedź, w jakim stopniu zasilanie silnika emulsją paliwowo-wodną wpływa na zmiany stężenia toksycznych składników spalin wylotowych oraz w jaki sposób zmienia podstawowe wskaźniki procesu spalania.

2. Badania własne

Badania przeprowadzono na stanowisku hamownianym silnika Sulzer typu 6AL20/24.

Pomiaru stężenia związków toksycznych spalin dokonano przy wykorzystaniu analizatora MEXA-9000 firmy Horiba [8]. Oprócz zmian stężenia związków toksycznych w spalinach rejestrowano również zmiany parametrów energetycznych silnika, z których szczególną uwagę zwrócono na zmiany ciśnienia wewnątrz cylindra. Wiadomo bowiem, że są one jednym z ważniejszych parametrów opisujących jakość procesów zachodzących wewnątrz cylindra.

Do zasilania silnika użyto emulsji paliwowo-wodnej o stężeniu wagowym 20%. Emulsję wytwarzano w urządzeniu własnej konstrukcji [9, 10, 11].

W trakcie badań obserwowano niekorzystne zjawisko polegające na wzroście dawki przy określonym stanie obciążenia. Przyrost dawki przy dużych obciążeniach był tak

na proces spalania w cylindrze, mając przy tym ten sam efekt co najwyższe zmniejszenie emisji NO_x , jest to zastosowanie emulsji paliwowo-wodnej. Jest to prawdziwe, ponieważ woda z emulsji dostarczona jest do strefy płomienia w cylindrze, czyli do obszaru, w którym bezpośrednio tworzą się tlenki azotu [4].

W literaturze występują ograniczone i niejednoznaczne informacje dotyczące wpływu emulsji na zmiany emisji innych związków toksycznych, sprawności, czy też obciążenia podstawowych elementów silnika. Na przykład, istnieje ogólny pogląd wynikający z podstaw teoretycznych, że w wyniku zastosowania emulsji może nastąpić spadek sprawności silnika. W porównaniu z czystym paliwem, przy zasilaniu silnika emulsją paliwowo-wodną następuje obniżenie energii odniesionej do jednostki objętości mieszaniny wtryskiwanej do cylindra, w związku z czym przy określonym stanie obciążenia rośnie dawka paliwa. Zwiększają się przez to straty mechaniczne związane z tłoczeniem emulsji do cylindrów silnika. W efekcie, wzrost strat mechanicznych oraz cieplnych związanych z odparowaniem wody może wpłynąć na zmniejszenie sprawności ogólnej silnika (zarówno sprawności wewnętrznej, jak i mechanicznej). Jednocześnie jednak publikowane są wyniki badań [4], podczas których stwierdzono, że przy 20% zawartości wody w emulsji jednostkowe zużycie paliwa zmalało o 2%.

Powyższe uwagi były inspiracją do przeprowadzenia badań określających w miarę możliwości szeroki wpływ zastosowania emulsji na toksyczność i podstawowe wskaźniki pracy silnika. W pracy autorzy dają odpowiedź, w jakim stopniu zasilanie silnika emulsją paliwowo-wodną wpływa na zmiany stężenia toksycznych składników spalin wylotowych oraz w jaki sposób zmienia podstawowe wskaźniki procesu spalania.

2. Own research

The tests were conducted on a test bed for Sulzer 6AL20/24 engine.

The concentration of toxic compounds in the exhaust was measured using the Horiba MEXA-9000 analyzer [8]. Beside the toxic compounds concentration, the changes of the engine energy parameters were recorded. Special attention was paid to the pressure changes inside the cylinders. It is well known, that they are one of the more important parameters describing the quality of the processes inside the cylinder.

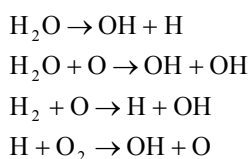
The fuel-water emulsion with volume weight concentration of 20% was used for the fueling of the engine. The emulsion was produced by a device of own design [9, 10, 11].

During the tests an unfavorable phenomenon of fuel dose growth at a defined load was observed. The dose increase was so high that it exceeded the efficiency of a standard fuel system. As a result, the engine power losses were observed. This fact, during the tests, made the authors assume the maximum engine load of $0,75T_{tq}$ (T_{tq} – nominal torque). Such situation could have been avoided using enhanced efficiency injectors.

The influence of water in the fuel-water emulsion on the combustion process in the cylinder is based on its reductive effect on the concentration of toxic compounds in the ex-

duży, że przekraczał wydajność stosowanej w badaniach standardowej aparatury paliwowej. W wyniku tego obserwowano realny spadek mocy silnika. Fakt ten spowodował, że w badaniach jako maksymalne obciążenie silnika przyjęto obciążenie odpowiadające $0,75 T_{iq}$ (T_{iq} – znamionowy moment obrotowy silnika). Sytuacji takiej można by uniknąć w przypadku zastosowania wtryskiwaczy o większej wydajności.

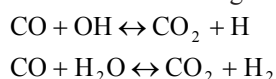
Wpływ wody zawartej w emulsji paliwowo-wodnej na proces spalania w cylindrze polega na redukcyjnym jej oddziaływaniu na stężenia związków toksycznych w spalinach. Do wyjaśnienia tego oddziaływania niezbędna jest analiza przebiegu procesu spalania, szczególnie w jego pierwszym, kinetycznym etapie. W tym bowiem okresie dochodzi w pierwszej kolejności do odwodornienia paliwa i towarzyszących mu procesów pirolizy, których efektem jest tworzenie się przede wszystkim cząstek stałych [12]. Procesy te są intensywnie hamowane poprzez powstające w strefie spalania rodniki OH oraz tlen, który odgrywa podstawową rolę, powodując jednocześnie wzrost temperatury oraz intensyfikację powstawania rodników OH. Oprócz tlenu na intensywność zachodzących procesów ma wpływ temperatura i ciśnienie. Wiadomo bowiem, że woda powyżej parametrów krytycznych (powyżej temperatury 374°C i ciśnienia 221 bar) posiada zwielokrotnione zdolności katalityczne. Reakcje opisujące tworzenie się rodników OH można przedstawić następująco:



Tak więc można założyć, że ilość rodników OH zależy od obecności wody w obszarze spalania. Jednym z efektywniejszych sposobów jej dostarczenia do stref płomienia w cylindrze, czyli stref tworzenia się tlenków azotu, jest dostarczenie jej w postaci emulsji paliwowo-wodnej.

Proces powstawania tlenków azotu opisują trzy modele: model termiczny, szybkiego NO (Fenimora) i paliwowy [3], który określa ilość NO powstałego z azotu zawartego w paliwie. W wypadku silnika ZS pracującego na mieszaninach ubogich, podstawowe znaczenie ma model termiczny, zwany modelem Zeldowicza. Tak więc, oddziaływanie wody w postaci emulsji paliwowo-wodnej na proces powstawania NO_x sprowadza się do zmniejszenia temperatur maksymalnych spalania, co w efekcie prowadzi do zmniejszenia emisji tlenków azotu. Zmiany stężenia NO_x zarejestrowane podczas eksperymentu przedstawia rysunek 1.

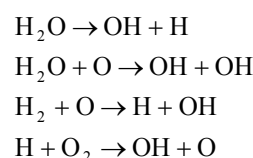
W przypadku tlenku węgla oddziaływanie redukcyjne wody polega na utlenianiu CO według reakcji:



Należy zauważyć, że pierwsza reakcja zachodzi przede wszystkim przy wysokich temperaturach, natomiast druga przy temperaturach niskich i jest procesem długotrwałym, mającym mniejsze znaczenie.

Przebieg zmian stężenia sadzy czy też CO można zinterpretować również wykorzystując teorię Meurer'a [3]. Zgod-

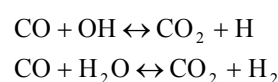
nie z teoretycznymi wyliczeniami, w rzeczywistości w gazach wyciekających z cylindra dochodzi do powstania sadzy. W celu wyjaśnienia tego zjawiska konieczna jest analiza procesu spalania, szczególnie w jego pierwszym, kinetycznym etapie. W tym bowiem okresie dochodzi do odwodornienia paliwa i towarzyszących mu procesów pirolizy, których efektem jest tworzenie się przede wszystkim cząstek stałych [12]. Procesy te są intensywnie hamowane poprzez powstające w strefie spalania rodniki OH oraz tlen, który odgrywa podstawową rolę, powodując jednocześnie wzrost temperatury oraz intensyfikację powstawania rodników OH. Oprócz tlenu na intensywność zachodzących procesów ma wpływ temperatura i ciśnienie. Wiadomo bowiem, że woda powyżej parametrów krytycznych (powyżej temperatury 374°C i ciśnienia 221 bar) posiada zwielokrotnione zdolności katalityczne. Reakcje opisujące tworzenie się rodników OH można przedstawić następująco:



Tak więc można założyć, że ilość rodników OH zależy od obecności wody w obszarze spalania. Jednym z efektywniejszych sposobów jej dostarczenia do stref płomienia w cylindrze, i.e. do stref tworzenia się tlenków azotu, jest dostarczenie jej w postaci emulsji paliwowo-wodnej.

Proces powstawania tlenków azotu opisują trzy modele: model termiczny, szybkiego NO (Fenimora) i paliwowy [3], gdzie, w przypadku silników ZS pracujących na mieszaninach ubogich, podstawowe znaczenie ma model termiczny, zwany modelem Zeldowicza. Tak więc, oddziaływanie wody w postaci emulsji paliwowo-wodnej na proces powstawania NO_x sprowadza się do zmniejszenia temperatur maksymalnych spalania, co w efekcie prowadzi do zmniejszenia emisji tlenków azotu. Zmiany stężenia NO_x zarejestrowane podczas eksperymentu przedstawia rysunek 1.

W przypadku tlenku węgla oddziaływanie redukcyjne wody zależy od utlenienia CO według reakcji:



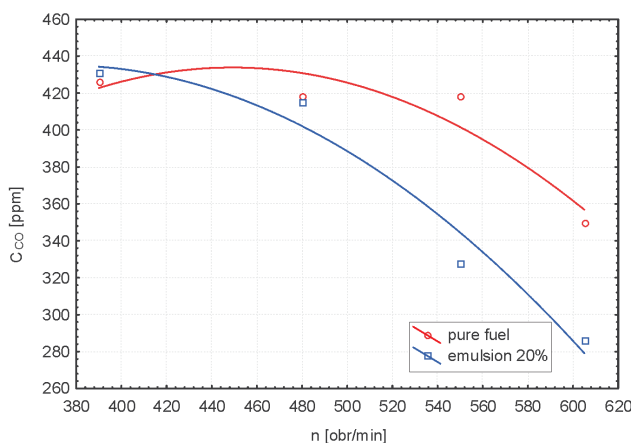
Należy zauważyć, że pierwsza reakcja zachodzi przede wszystkim przy wysokich temperaturach, natomiast druga przy temperaturach niskich i jest procesem długotrwałym, mającym mniejsze znaczenie.

Przebieg zmian stężenia sadzy czy też CO można zinterpretować również wykorzystując teorię Meurer'a [3]. Zgod-

nie z tą teorią jakoś wymieszania paliwa z powietrzem w cylindrach silnika (jednorodność mieszanki) nie eliminuje całkowicie możliwości powstawania zakłóceń w spalaniu, które są związane ze zjawiskami chemicznymi, oddziałującymi na przebieg spalania. W silniku o ZS podczas mieszania się stosunkowo chłodnego paliwa z gorącym powietrzem następuje rozluźnienie wiązań C-C i C-H wskutek działania wysokiej temperatury. Wywołuje to rozpad cząsteczek, który ułatwia samozapłon oraz powoduje powstawanie reszt bogatych w węgiel i innych składników trudno ulegających utlenieniu. Szybkie przereagowanie tych reszt jest możliwe tylko za pomocą (w obecności) katalizatora, jakim jest para wodna. To działanie katalityczne zachodzi tylko wówczas, gdy para wodna znajduje się w bliskim sąsiedztwie cząsteczek węgla. Dostarczanie wody razem z paliwem powoduje przyspieszenie spalania węgla. W normalnych warunkach zasilania czystym olejem napędowym spalanie w silniku o ZS przebiega przy bardzo szybkim spalaniu wodoru i powolniejszym spalaniu węgla pociągającym za sobą straty związane z dopalaniem i niezupełnym spaleniem paliwa w procesie rozprężania. Zmiany stężenia CO jakie zarejestrowano podczas eksperymentu przedstawia rysunek 2.

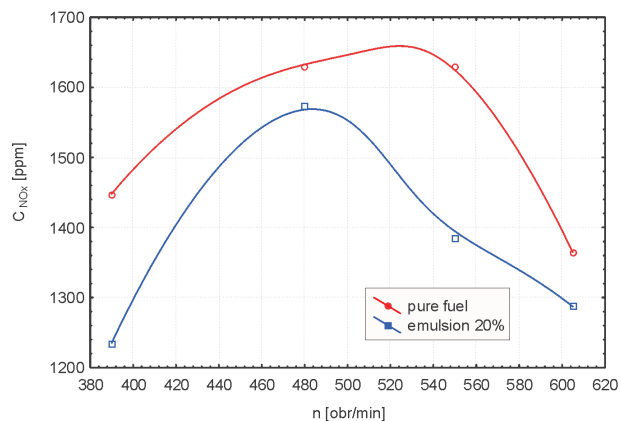
Oprócz wspomnianego obniżenia emisji tlenków azotu i tlenku węgla zastosowanie emulsji paliwowo-wodnej powoduje szereg oddziaływań na przebieg procesu spalania w cylindrze. Między innymi obecność wody w obszarze spalania jest przyczyną obniżenia temperatury produktów spalania, lecz jednocześnie następuje wzrost objętości właściwej spalin. Mała masa cząsteczkowa pary wodnej w stosunku do spalin powoduje znaczny wzrost ciśnienia w komorze spalania. Prowadzi to do wzrostu średniego ciśnienia efektywnego, a tym samym mocy efektywnej silnika.

W przeprowadzonych badaniach z wykorzystaniem 20% emulsji paliwowo-wodnej zaobserwowano niewielki wzrost średniego ciśnienia indykowanego (rys. 3), przy praktycznie nie zmienionym ciśnieniu maksymalnym spalania. Spowodowało to w efekcie wzrost mocy indykowanej.



Rys. 2. Zależność stężenia tlenku węgla w spalinach silnika Sulzer typu 6AL20/24 zasilanego emulsją paliwowo-wodną od prędkości obrotowej

Fig. 2. Dependency of carbon monoxide concentration in exhaust gas of the Sulzer 6AL20 / 24 engine fuelled with a fuel-water emulsion on engine speed

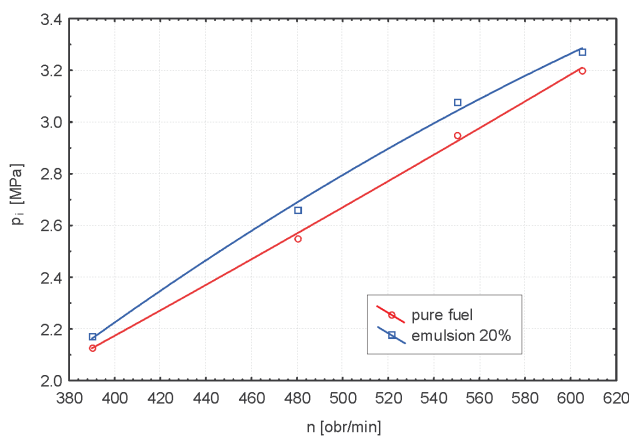


Rys. 1. Zależność stężenia tlenków azotu w spalinach silnika Sulzer typu 6AL20/24 zasilanego emulsją paliwowo-wodną od prędkości obrotowej

Fig. 1. Dependency of NO_x concentration in exhaust gas of Sulzer 6AL20 / 24 engine fuelled with a fuel-water emulsion on engine speed

of water with fuel causes acceleration of the combustion of carbon. In normal conditions of fuelling with pure fuel, the combustion in SI engines continues with a very quick hydrogen combustion and a slower carbon combustion, which causes the losses connected with the afterburning and incomplete fuel burning in the process of expansion. The changes of the CO concentration that were registered during the experiment are shown in Fig. 2.

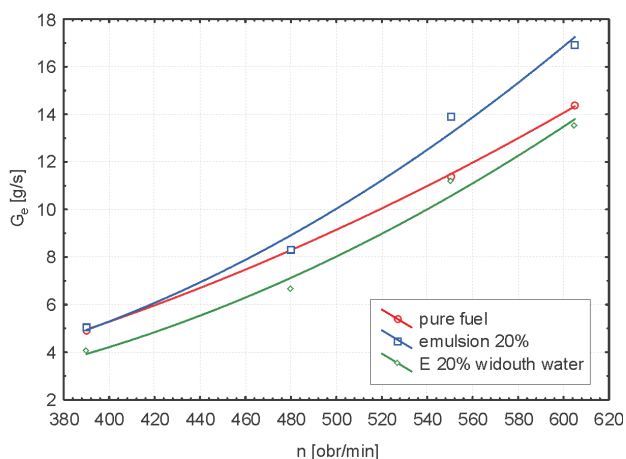
Apart from the above mentioned decrease in nitrogen oxides and carbon monoxide emission the use of fuel-water emulsion causes a variety of influences on the course of the combustion process in the cylinder. Among others, the presence of water in the combustion zone is a reason for temperature lowering of the combustion products, but at the same time for the growth of the exhaust gas specific volume. The low molecular mass of water vapor, in relation to the exhaust gases, causes a high temperature growth in the combustion chamber. It leads to the growth of the mean effective pressure and to the growth of the effective power of the engine.



Rys. 3. Zmiany średniego ciśnienia indykowanego przy zasilaniu silnika Sulzer typu 6AL20/24 emulsją paliwowo-wodną

Fig. 3. Changes of mean indicated pressure in the Sulzer 6AL20 / 24 engine fuelled with a fuel-water emulsion

Dawka paliwa na obieg emulsji wzrosła ze względu na obniżenie energii odniesionej do jednostki objętości wtryskiwanej do cylindra w porównaniu z analogiczną dawką czystego paliwa. Nie mniej jednak, po odliczeniu masy wody zawartej w emulsji, konsekwentnie do zmiany średniego ciśnienia indykowanego, zużycie paliwa zmalało (rys. 4). Dało to w efekcie wzrost sprawności ogólnej silnika o około 2%.



Rys. 4. Zmiany sekundowego zużycia paliwa przy zasilaniu silnika Sulzer typu 6AL20/24 emulsją paliwowo-wodną

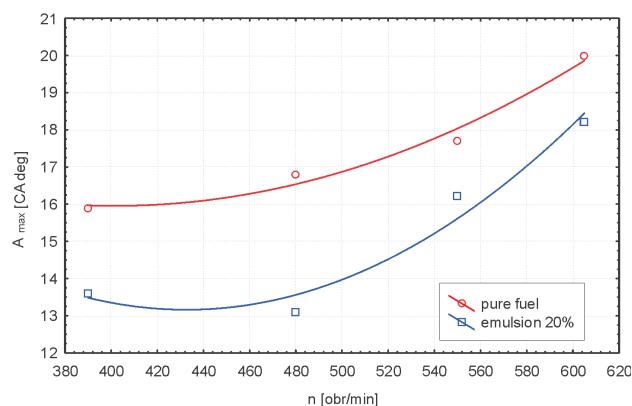
Fig. 4. Changes of the fuel consumption (by second) of the Sulzer 6AL20 / 24 engine fuelled with a fuel-water emulsion

Dalszy wzrost sprawności ogólnej silnika możliwy jest poprzez optymalizację doboru składu emulsji, jak również parametrów wtrysku, bądź też, jak podaje literatura [2], przez zastosowanie wtrysku pary wodnej do cylindra. Spodziewany efekt, to wzrost sprawności ogólnej silnika powyżej 50%.

Wyraźnie natomiast, w porównaniu do zmian wyżej prezentowanych wskaźników procesu spalania, zmienił się kąt

In the conducted tests using a 20% fuel-water emulsion, the small growth of indicated mean pressure was observed (Fig. 3) and at the same time, there were practically no changes in the maximum combustion pressure. This caused the growth of the indicated power.

The dose of fuel for the emulsion circulation grows because of the decrease in the energy related to the volume injected to the cylinder in comparison to an analogous dose

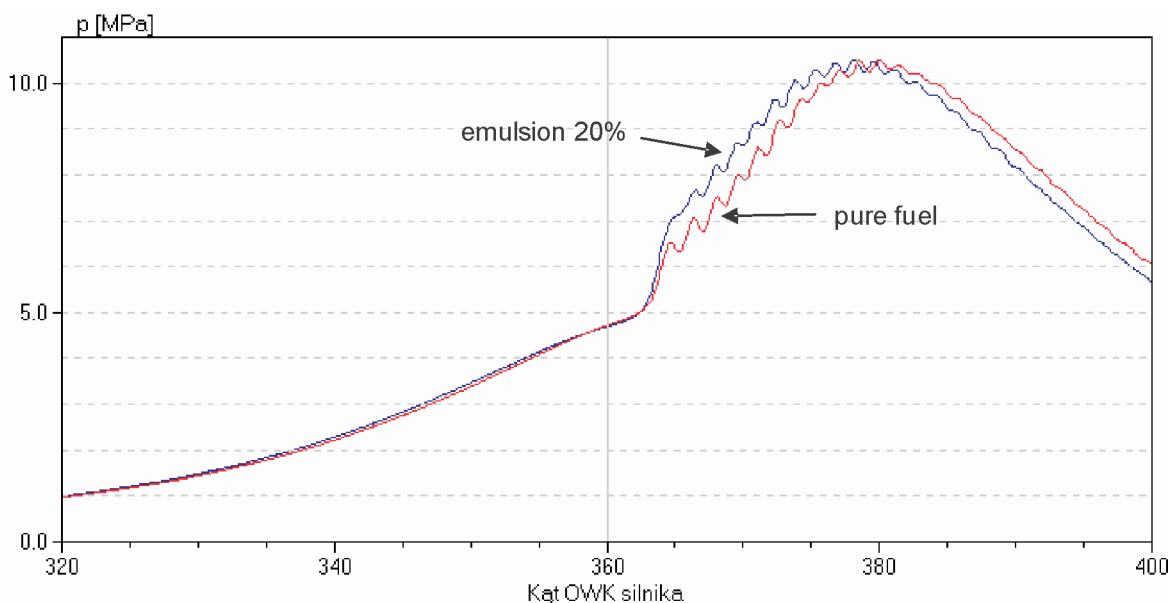


Rys. 5. Zmiany kąta występowania maksymalnego ciśnienia spalania A_{max} [°OWK] przy zasilaniu silnika Sulzer 6AL20/24 emulsją paliwowo-wodną

Fig. 5. Changes of the angle of a maximum combustion pressure A_{max} [CA deg] of the Sulzer 6AL20 / 24 engine fuelled with a fuel-water emulsion

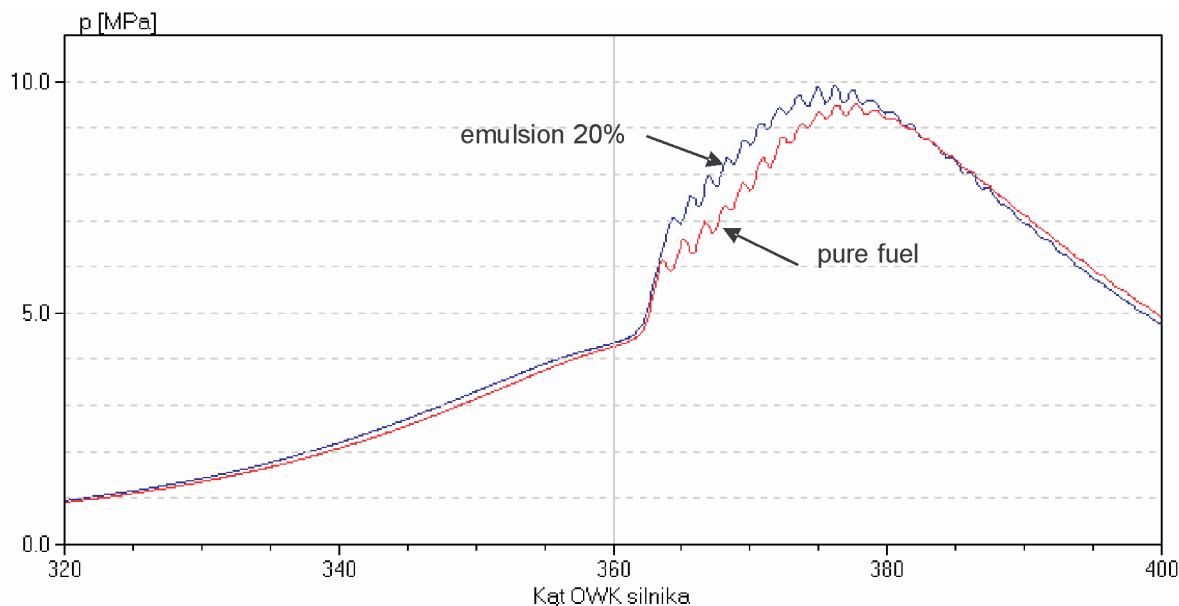
of pure fuel. However, after the deduction of water mass in the emulsion, relative to the change of the mean indicated pressure, the fuel consumption decreased (Fig. 4). It increased the overall efficiency of the engine by approximately 2%.

The further growth of the efficiency is possible through the optimization of the emulsion composition and also through the injection parameters or as is found in the litera-



Rys. 6. Zmiany ciśnienia spalania w punkcie pomiarowym 4 ($n = 605$ obr/min, $T_{iq} = 3,34$ kN·m) przy zasilaniu silnika Sulzer 6AL20/24 emulsją paliwowo-wodną

Fig. 6. Changes of the combustion pressure in measuring point 4 ($n = 605$ rpm, $T_{iq} = 3,34$ kN·m) of Sulzer 6AL20 / 24 engine fuelled with a fuel-water emulsion



Rys. 7. Zmiany ciśnienia spalania w punkcie pomiarowym 4 ($n = 550$ obr/min, $T_{iq} = 2,67$ kN·m) przy zasilaniu silnika Sulzer 6AL20/24 emulsją paliwowo-wodną

Fig. 7. Changes of combustion pressure in measuring point 4 ($n = 550$ rpm, $T_{iq} = 2,67$ kN·m) of the Sulzer 6AL20 / 24 engine fuelled with a fuel-water emulsion

wystąpienia maksymalnego ciśnienia spalania A_{max} , przesuwając się w stronę GMP dla przypadku zasilania silnika emulsją (rys. 5).

Świadczy to wyraźnie o roli, jaką odgrywa woda w procesie spalania. Zmiany wywołane jej aktywnym uczestnictwem w procesie spalania można zaobserwować na przebiegach ciśnienia spalania w punktach pomiarowych 3 i 4 (rys. 6 i 7).

3. Podsumowanie

Wyniki badań świadczą o tym, jak silnym reagentem jest woda w procesie spalania paliw węglowodorowych. W obszarze pracy silnika objętej eksperymentem uzyskano wzrost sprawności ogólnej rzędu 2%, przy znacznym zmniejszeniu emisji NO_x i CO.

Ogólnie można stwierdzić, że ze względu na osiągi i obciążenie podstawowych elementów konstrukcyjnych, doprowadzenie wody do cylindrów w postaci emulsji paliwowo-wodnej należy do najkorzystniejszych sposobów redukcji związków toksycznych zawartych w spalinach wylotowych silnika o ZS.

Dalsze plany badawcze autorów zmierzają będą w kierunku optymalizacji zarówno samego procesu wytwarzania emulsji, jak również sterowania jej składem z uwagi na dwa istotne, jak się wydaje, parametry, to jest na zmniejszenie emisji NO_x przy możliwie najlepszej sprawności ogólnej silnika.

Artykuł recenzowany

ture [2], through the use of an injection of water vapor to the cylinder. The expected effect is the growth of overall efficiency of the engine by over 50%.

It is clear however, that in comparison to the changes in the combustion process parameters presented above, the angle of maximum combustion pressure changed A_{max} . It moved in the direction of top dead centre (TDC) in the case of emulsion fuelling (Fig. 5).

This confirms the role that water plays in the combustion process. The changes caused by its active participation in the combustion process can be observed on combustion pressure curves in the measuring points 3 and 4 (Fig. 6 and 7).

3. Summary

The results of the tests confirm how strong a reacting substance water is in the process of hydrocarbon fuel combustion. In the engine area under investigation the growth of overall efficiency by approximately 2% was obtained, while the emission of NO_x and CO was considerably decreased.

In general, it can be stated that looking on the efficiency and load of the basic engine elements the introduction of water into the cylinders in the form of fuel-water emulsion is one of the most advantageous ways of toxic compounds reduction in the exhaust gases of SI engines.

The authors' further research steps will aim at the optimization of both the process of emulsion production and the control of its composition taking account of the two essential parameters: the decrease of NO_x emission reduction and maintaining the best possible efficiency of the engine.

Literatura/Bibliography

- [1] Bergier T., Piaseczny L.: Zakres i warunki badań emisji związków toksycznych w spalinach silników tłokowych napędu głównego okrętów. Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej nr 1(136), Gdynia 1998.
- [2] Chomiak J., Liljenfeldt Wartsila: Performance analysis of a Steam injected Diesel (STID) Engine. Marine Science and Technology for Sustainability – ENSUS 2000, CQD Journal, Newcastle 2000.
- [3] Kowalewicz A.: Podstawy procesów spalania. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000
- [4] Velji A., Remmels W., Schmidt R. M.: Water to reduce NO_x emissions in diesel engines – a basic study. CIMAC, Interlaken 1995.
- [5] Masłow W. W.: Sowremiennyje metody snizenija sodierżanija wriednych wieszczestw w otrabotannyh gazach sudowych dizelej. Sudostrojenije nr 8-9 1995.
- [6] Paro D.: The Smokeless Engines. Marine News nr 1 – 2000, Wartsila NSD Corporation.
- [7] Piaseczny L., Zdraąg R.: Stanowisko do realizacji kompleksowych pomiarów cieplnych i do badania emisji związków toksycznych w spalinach wylotowych. Międzynarodowa Konferencja, Silniki w zastosowaniach wojskowych, SILWOJ'99, WAT – AMW, Jurata 1999.
- [8] Piaseczny L., Kniaziewicz T., Zdraąg R.: System pomiaru emisji związków toksycznych w spalinach wylotowych okrętowych silników spalinowych. XXIII Sympozjum Siłowni Okrętowych, Akademia Morska, Gdynia 2002.
- [9] Piaseczny L., Zdraąg R.: Wpływ zasilania emulsją paliwową na dymienie okrętowego silnika spalinowego. Journal of KONES – Internal Combustion Engines, Warszawa – Biel-sko-Biała 2003.
- [10] Piaseczny L., Zdraąg R.: Badania emisji związków toksycznych w nieustalonych stanach pracy okrętowego silnika spalinowego zasilanego emulsją paliwowo-wodną. Międzynarodowa Konferencja KONMOT-AUTOPROGRES'04, Kraków-Zakopane 2004.
- [11] Piaseczny L., Zdraąg R.: Wpływ zasilania emulsją paliwowo-wodną na toksyczność okrętowego silnika spalinowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej 598 Budownictwo Okrętowe Nr 65, Gdańsk 2004.
- [12] Bocheński C.I.: Wieloskładnikowy model procesu tworzenia sadzy w silniku z zapłonem samoczynnym. Archiwum Motoryzacji 3, 2000, PWN, Warszawa 2000.

Prof. dr hab. inż. Leszek Piaseczny – Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Mechaniczno-Elektryczny, Gdynia.

Prof. Leszek Piaseczny D.Sc., Ph.D., M.E. – Naval University of Gdynia, Mechanical-Electric Faculty, Poland.



Dr inż. Zdzisław Zdraąg – Akademia Marynarki Wojennej, Wydział Mechaniczno-Elektryczny, Gdynia.

Mr Zdzisław Zdraąg Ph.D., M.E. – Naval University of Gdynia, Mechanical-Electric Faculty, Poland.

**Sylwetka znanego silnikowca****Prof. Jerzy Bohdan Dowkontt****(1906 – 1978)**

Profesor Jerzy Dowkontt urodził się 26 czerwca 1906 r. w Warszawie. Jego rodzicami byli Andrzej Dowkontt i Helena z Rekoszów.

Po ukończeniu w 1925 r. gimnazjum im. K. Kulwiecia w Warszawie uzupełniał wiedzę na matematyczno-fizycznym kursie przygotowawczym dla inżynierów przy Uniwersytecie w Rzymie. Następnie w 1927 r. został przyjęty na Wydział Mechaniczny Politechniki Warszawskiej. Studia na Oddziale Konstrukcyjnym będącym częścią tego Wydziału ukończył w 1935 r. i podjął pracę na stanowisku konstruktora w kierowanym przez inż. Zdzisława Rytla dziale silnikowym Biura Studiów Państwowych Zakładów Inżynierii (PZInż). We współpracy z inż. Jerzym Wernerem (od 1958 r. profesorem zwyczajnym Politechniki Łódzkiej) i inż. Wacławem Cywińskim (po II Wojnie światowej osiadł w Brazylii i był związany z firmą Volkswagen) skonstruował 8-cylindrowy silnik widlasty o zapłonie iskrowym i mocy 95 KM do luksusowego samochodu osobowego o roboczej nazwie Lux-Sport, a także 6 cylindrowy silnik o zapłonie samoczynnym o mocy 70 KM i 6-cylindrowy silnik rzędowy o zapłonie iskrowym o mocy 85 KM do samochodu cięż-

zarowego oraz 6-cylindrowy silnik rzędowy o mocy 120 KM. Wspomniane silniki do samochodu osobowego i ciężarowego miały być produkowane w Polsce, lecz prace nad ich prototypami przerwały działania II wojny światowej. W tym samym czasie Jerzy Dowkontt był asystentem w Katedrze Termodynamiki kierowanej przez prof. Bohdana Stefanowskiego. Dnia 13 maja 1939 r. obronił pracę doktorską pt.: „O obiegach silników wybuchowych: zdławionym i zmiennosuwowym”, której promotorem był prof. Bohdan Stefanowski.

Z poślubioną Stefanią Pachowską miał dwoje dzieci: córkę Annę Ewę i syna Andrzeja Gerarda.

Po wybuchu wojny w 1939 r. został ewakuowany wraz z Państwowymi Zakładami Inżynierii w okolice Pińska, w miejsce przewidziane planem operacyjnym Wojska Polskiego. Po zajęciu tych terenów przez Armię Czerwoną przedostał się do Wilna, gdzie mieszkała Jego bliska rodzina. W Wilnie podjął pracę jako wykładowca w Szkole Technicznej na Antokolu, w której pracował do 1941 r. W tymże roku przebił się do Warszawy i rozpoczął pracę jako konstruktor w znanej fabryce „PERKUN” na Gocławiu i tu wraz z inż. Janem Wernerem skonstruował rodzinę trzech silników o za-