

THE INTRODUCTION TO RESEARCH OF THE SUPPLY OF DIESEL ENGINES WITH THE EMULSION FUEL-WATER

Kazimierz Sowa

Politechnika Krakowska
Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych
Al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków
tel.: +48 12 628-36-78

Abstract

The necessity of the improvement of operational working indicators of combustion engines and first of all the decreasing of the toxicity of their exhaust gases constrains their producers to the search every now and again new ways to the success of this aim. One from them is the system analysis of the combustion of engines which allows through the optimization of designs including its setting systems (the injection's equipment, inlet air system) combustion chamber) and their controlling parameters influencing on combustion processes determined toxicity of exhaust gases. There are introduced two principle systems of supply of engines Diesel with the emulsion fuel-water including the two-stage injection and the usage of prepared emulsions which let on the usage of the single-stage injection. Both systems have connected defects mostly with the lack of the adaptation of the composition of the emulsion to working conditions. Moreover the usage of the addition of water to the fuel changes fundamentally conditions of spray preparation of emulsion from holes of the nozzle both in the range of the spray, and the quality. This influence is connected with a kind of the fuel, whereupon one adverted.

WPROWADZENIE DO BADAŃ ZASILANIA SILNIKÓW DIESLA EMULSJĄ PALIOWO -WODNĄ

Streszczenie

Konieczność poprawy eksploatacyjnych wskaźników pracy silników spalinowych a przede wszystkim zmniejszenie toksyczności ich spalin zmuszają ich producentów do poszukiwania coraz to nowych dróg do osiągnięcia tego celu. Jedną z nich jest analiza systemu spalania silników spalinowych, która pozwala poprzez optymalizację konstrukcji wchodzących w jego skład układów (aparatura wtryskowa, układ doprowadzenia powietrza, komora spalania) oraz ich parametrów regulacyjnych wpływających na proces spalania decydującego o toksyczności spalin. Przedstawiono dwa zasadnicze systemy zasilania silników diesla emulsją paliwowo-wodną obejmującą dwustopniowy wtrysk oraz stosowanie przygotowanych emulsji, które pozwalają na stosowanie jednostopniowego wtrysku. Oba systemy mają wady związane głównie z brakiem dostosowania składu emulsji do warunków pracy. Ponadto stosowanie dodatku wody do paliwa zmienia zasadniczo warunki rozpylenia strugi emulsji wypływającej z otworów rozpylacza, zarówno w zakresie zasięgu strugi, jak i charakteru. To oddziaływanie związane jest z rodzajem paliwa, na co zwrócono uwagę.

1. Wprowadzenie

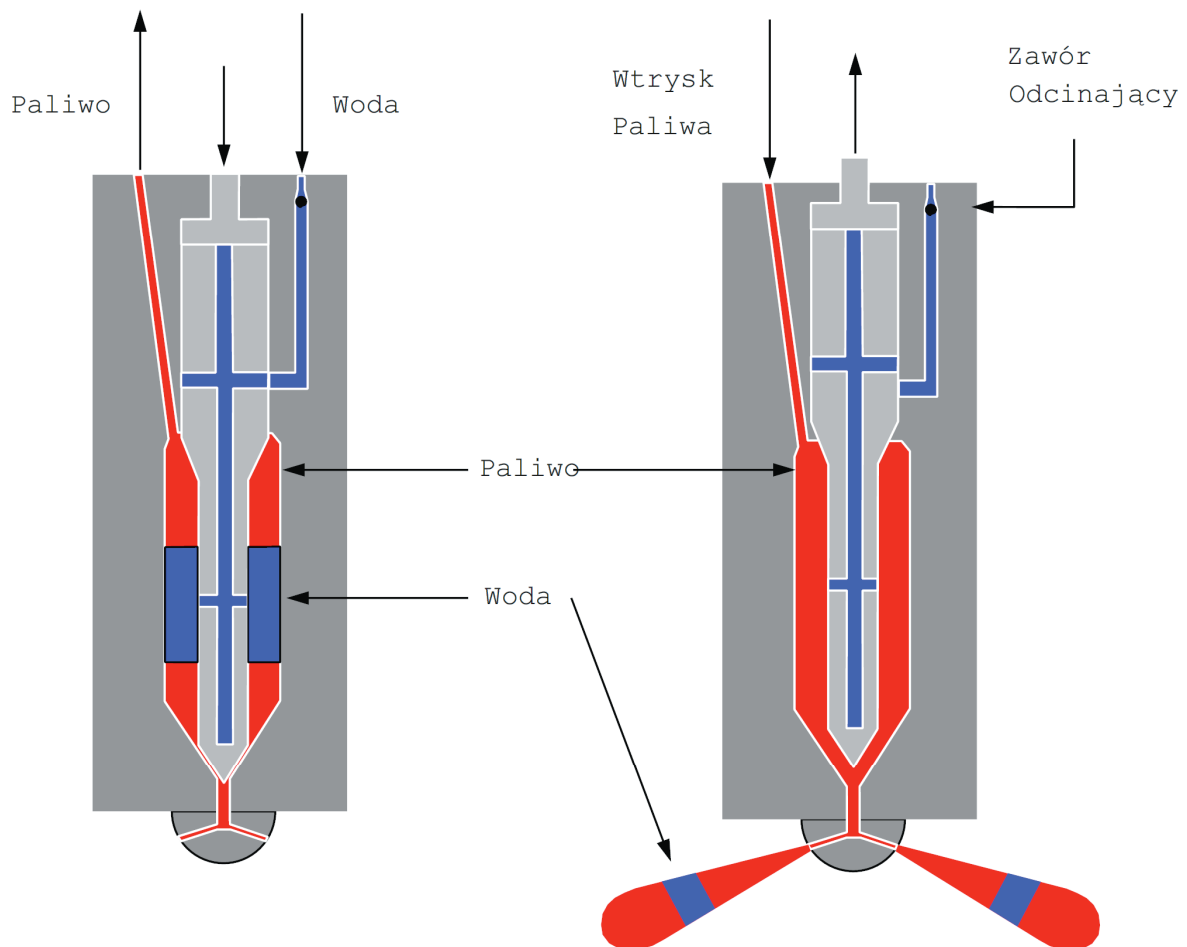
Konieczność poprawy eksploatacyjnych wskaźników pracy silników spalinowych a przede wszystkim zmniejszenie toksyczności ich spalin zmuszają ich producentów do poszukiwania coraz to nowych dróg do osiągnięcia tego celu. Jedną z nich jest analiza systemu spalania silników spalinowych, która pozwala poprzez optymalizację konstrukcji wchodzących w jego skład układów (aparatura wtryskowa, układ doprowadzenia powietrza, komora spalania) oraz ich parametrów regulacyjnych wpływających na proces spalania decydującego o toksyczności spalin.

Również przeprowadzona analiza opublikowanych materiałów doświadczalnych wskazuje że dużą rolę w procesie spalania w komorze spalania silnika spełnia rodzaj zastosowanego paliwa.

W celu poprawy ekologicznych i ekonomicznych wskaźników silnika diesla można zastosować jako paliwo paliwowo-wodną emulsję (PWE) [1]. Pozytywne efekty zastosowania PWE można uzyskać zarówno w odniesieniu do wolnobieźnych jak i szybkobieźnych silników diesla, w których polepsza się rozpylenie doprowadzanego paliwa wpływając na poprawę przebiegu procesu spalania.

2. Wpływ emulsji paliwowo-wodnej na charakterystyki silnika

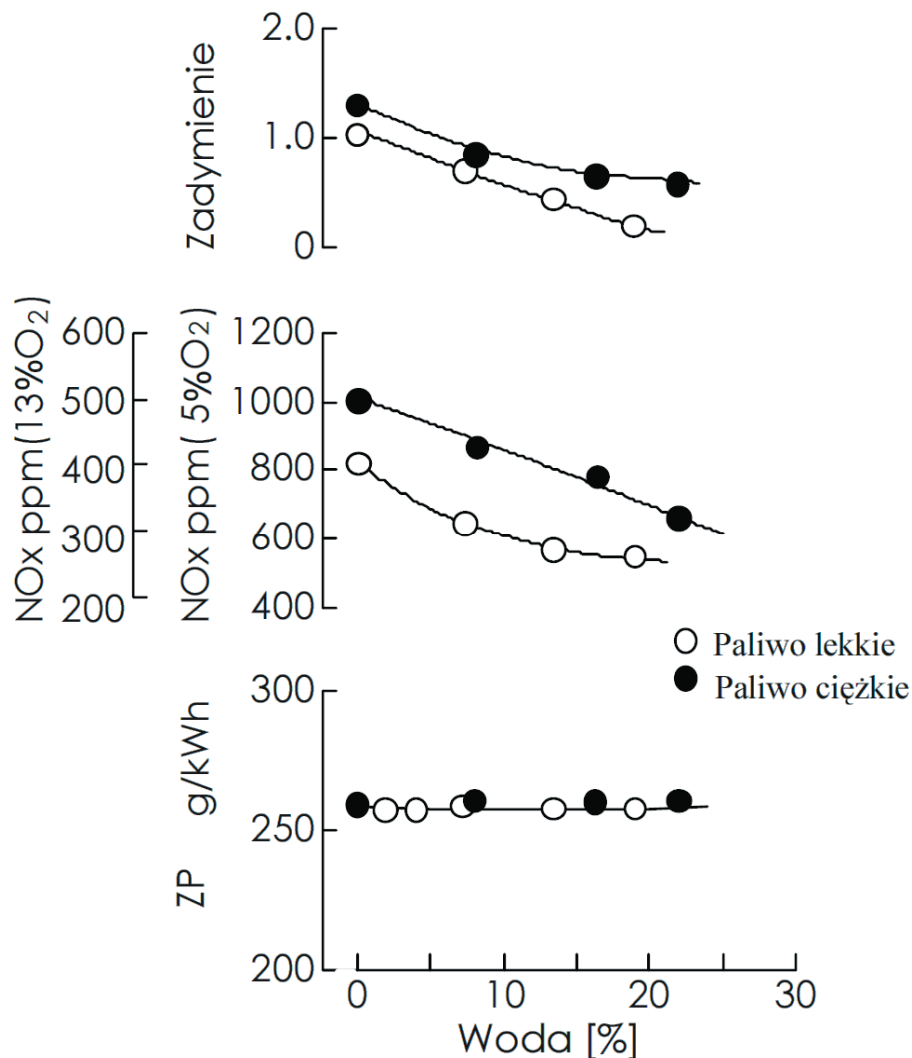
Stosowanie emulsji paliwowo-wodnej do zasilania silników diesla może korzystnie wpływać na parametry pracy. W szczególności można uzyskać zmniejszenie poziomu emisji tlenków azotu i cząstek stałych, bez pogorszenia sprawności silnika. Ponadto w odniesieniu do niektórych sytuacji może okazać się, że woda spełnia istotną rolę w bilansie paliwowym silnika. Przeprowadzone badania [6-13] wykazały, że zawartość wody w emulsji może dochodzić do 50%. Występują wprawdzie problemy z zimnym rozruchem silnika i przy większych zawartościach wody konieczne są modyfikacje układu zasilania. Z drugiej jednak strony stosowanie emulsji z zawartością wody do 15 - 20 % zasadniczo nie wymagają istotniejszych zmian w układzie zasilania silnika. Obok stosowania specjalnych emulsji możliwe jest bezpośrednie zasilanie silnika wodą przy dwustopniowym wtrysku. Schemat typowego układu zasilania silnika przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Schemat dwustopniowego zasilania silnika
Fig. 1. The schema of the two-stage power supply of the engine

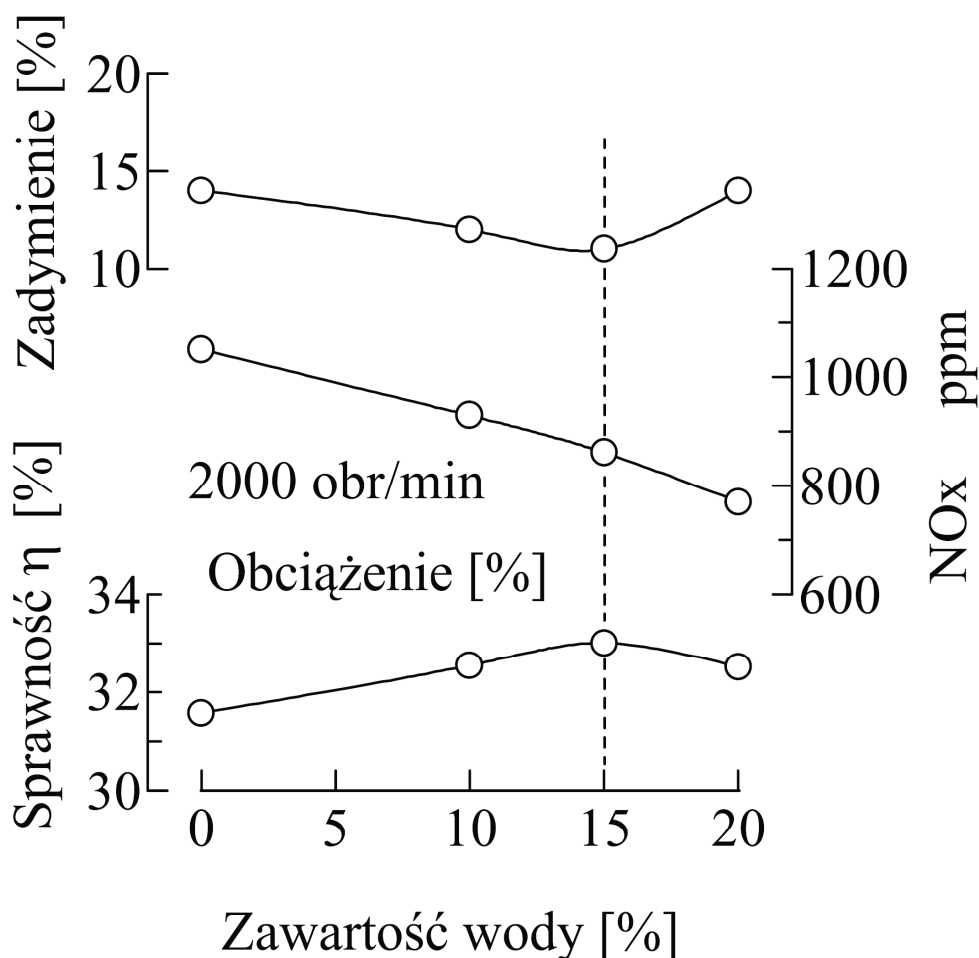
Udział wody w emulsji musi być dostosowany do warunków pracy i obciążenia silnika. Prezentowany system jest najbardziej prostym systemem, w którym nie ma możliwości dostosowania składu emulsji do tych warunków. System wtrysku obejmuje podwójną dyszę z odpowiednim systemem połączeń. Należy podkreślić, co jest istotne, że system wodny nie wymaga wysokiego ciśnienia, jak system wtrysku paliwa. Woda napełnia przewody przez zawór jednokierunkowy do pierścieniowego obszaru otaczającego iglicę. Paliwo przemieszczone przez wodę jest zwracane do układu przelewowego. Na początku wtrysku paliwa ciśnienie w przewodzie paliwowym jest zwiększane, przez co zamyka się zawór jednokierunkowy, tak że paliwo nie przedostaje się do układu wodnego. Mieszanina paliwa i wody jest kierowana do otworów rozpylacza pod wysokim ciśnieniem.

Na rys. 2. przedstawiono typową charakterystykę silnika zasilanego emulsją paliwowo-wodną o różnej zawartości wody w odniesieniu do dwu paliw: lekkiego (o gęstości około 800 kg/m^3) i ciężkiego (o gęstości około 1000 kg/m^3). W zakresie zawartości wody do 30 % następuje zmniejszenie zarówno poziomu emisji NO_x , jak i zadymienia spalin, bez pogorszenia zużycia paliwa.



Rys. 2. Wpływ zawartości wody w emulsji paliwowo-wodnej na parametry silnika
 Fig. 2. The influence of the content of water in the emulsion diesel fuel-water on engine parameters

Na rys. 3. przedstawiono wpływ zawartości wody na parametry pracy silnia w emulsji RME i wody.



Rys. 3. Wpływ zawartości wody w emulsji RME i wody na parametry pracy silnika
 Fig. 3. The influence of the content of water in the emulsion RME and waters on engine working parameters

Z danych zaprezentowanych na rys 3. wynika, że w zakresie zawartości wody w emulsji do 15 % ma miejsce poprawa parametrów zarówno ekologicznych, jak i zużycia paliwa.

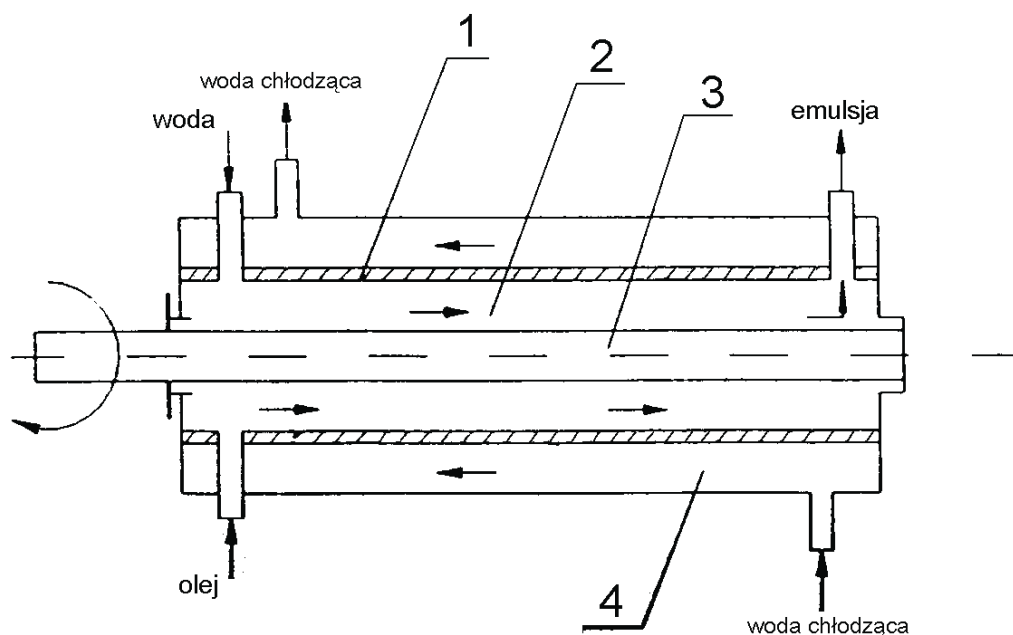
2. Emulsja paliwowo-wodna, jej otrzymywanie i cechy

PWE stanowi układ dwu nierozpuszczalnych płynów z których jeden w fazie dyspersyjnej występuje w postaci drobnych kropli równomiernie rozmieszczonych w drugim płynie dyspersyjnym [1, 2]. ponieważ emulsja jest układem niestabilnym to na wskutek wzrostu napięcia powierzchniowego występuje na powierzchni podziału faz, krople fazy dyspersyjnej dążą do wzajemnego zlewania się. Proces ten zdąża aż do pełnego rozwarstwienia układu i rozdzielenia na dwie niezależne fazy.

W celu zmniejszenia naprężenia powierzchniowego a tym samym zwiększenia trwałości emulsji konieczne jest dodanie do mieszaniny trzeciego czynnika tj. emulgatora którego obecność przedłuża zachowanie struktury zdyspergowanej.

Wytwarzanie emulsji odbywa się w urządzeniach dyspergujących, którego działanie jest oparte na różnych zasadach fizycznych. Stosuje się urządzenia mechaniczne, pneumatyczno-powietrzne, ultradźwiękowe i inne.

Do przeprowadzenia badań przygotowano [3] mieszalnik helikoidalny którego schemat przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Mieszalnik helikoidalny: 1-cylinder zewnętrzny, 2-cylindryczna szczelina mieszalnika, 3-cylinder wewnętrzny (wirnik), 4- płaszcz z płynem termostatycznym

Fig. 4. Rotatory stirring apparatus: 1 - external cylinder , 2-cylindrical crevice of the stirring apparatus, 3- internal (the rotor) cylinder , 4 - overcoat with thermostatic liquid

W mieszalniku tym helikoidalnym przepływ w pierścieniowej szczelinie otrzymuje się w wyniku nałożenia się przepływu osiowego na przepływ wirowy wywołany ruchem obrotowym cylindra wewnętrznego. Po przekroczeniu krytycznej prędkości obrotowej cylindra wewnętrznego pod wpływem działania sił bezwładności pojawia się ruch płynu w postaci komórkowych wirów Taylora. Pojawienie się wirów Taylora oraz ruchu helikoidalnego powoduje, że otrzymuje się bardzo korzystny ruch cieczy sprzyjający tworzeniu się emulsji. Jak wykazały badania strukturę emulsji składającej się z dwu nie mieszających się cieczy, otrzymuje się w zależności od wartości współczynnika lepkości gęstości obu faz oraz napięcia międzyfazowego.

Podstawowe wymiary konstrukcyjne mieszalnika helikoidalnego [3]:

- średnica wewnętrzna cylindra zewnętrznego 37 mm,
- wymienne cylindry wewnętrzne o średnicach umożliwiającym uzyskanie szczelin o wymiarach 1,5; 2,5 i 5,25 mm,
- długość 317 mm.

Zalecane parametry pracy mieszalnika:

- prędkość obrotowa cylindra wewnętrznego: 2800 obr/min,
- masowe natężenie przepływu emulsji: 10-100 kg/h,
- ilość wody w mieszalniku w stosunku do ilości emulsji $c_w = 10\%$,
- zawartość środka powierzchniowo-czynnego (rokafenol) w wodzie $c_r = 0,3-3,0\%$.

1. Fizyko-chemiczne właściwości paliwowo-wodnych emulsji i określenie ich wskaźników

Do ważnych fizyko-chemicznych wskaźników paliw [4] należą: gęstość, lepkość, napięcie powierzchniowe, temperatura zapłonu, temperatura krzepnięcia i – co jest ważne dla PWE - trwałość. Znajomość wymienionych powyżej wskaźników jest konieczne dla organizacji eksploatacji silników diesla, dla transportu paliwa, a także przy obliczeniach i analizie procesów rozpylania, tworzenia mieszaniny paliwowo-powietrznej i spalania paliwa.

Dla oceny PWE określa się również trzy jej charakterystyczne wskaźniki: masowa ilość wody w emulsji $c_w\%$, jakość rozpylenia wody (średnia średnica kropeł wody) d_{sr} i równomierność rozprószania fazy wodnej. Przy określaniu fizyko-chemicznych własności PWE wartość c_w jest wielkością niezależną.

Na osobną uwagę zasługuje wpływ jakości rozpylenia fazy wodnej. Jak wykazały pomiary przy $c_w = 15\%$ otrzymano prawie jednakowe wartości wskaźników lepkości i gęstości emulsji chociaż średnia kropeł wody zawierała się w zakresie (od 8 do 27) 10^{-3} mm.

Jedną z głównych cech PWE jest jej trwałość. W celu jej zwiększenia konieczne jest wprowadzenie emulgatora przedłużającemu zachowanie przez emulsję struktury dyspergowanej. Trwałość emulsji – podobnie jak i innych wskaźników fizyko-chemicznych zależy od rodzaju i ilości zastosowanego emulgatora. W naszym przypadku jako emulgator zastosuje się rokafeol a jego maksymalna ilość nie przekroczy 3% ilości wody.

Gęstość PWE zwykle określa się według zależności niżej podanej a otrzymuje się ją na zasadzie addytywności:

$$\rho_p = \rho_p \cdot \xi (\rho_p - \rho_w), \quad (1)$$

gdzie: ρ_e, ρ_p i ρ_w - odpowiednio gęstość emulsji, paliwa i wody przy określonej temperaturze,
 ξ - objętościowa ilość wody w PWE.

Lepkość cecha cieczy wykazująca występowanie oporu wewnętrznego przy przesuwaniu się jednej cząstki względem drugiej. Wskaźnik ten wpływa na prace aparatury wtryskowej silnika a także na jakość rozpylenia paliwa i tworzenie mieszanki paliwowo-powietrznej. Lepkość PWE jest określana zwykle z zależności ujmującej wpływ lepkości paliwa i procentowej zawartości wody w PWE.

$$v_e = f(v_p, c_w), \quad (2)$$

gdzie: v_e, v_p - kinematyczna lepkość PWE i paliwa czystego.

Na rys.5 przedstawiono krzywe zmiany lepkości kinematycznej w funkcji temperatury dla różnych ilości wody w PWE.

Po opracowaniu materiału doświadczalnego przeprowadzonego zgodnie z ogólną zależnością v_e otrzymano wzór:

$$v_e = v_p (1 + 2,36 c_w^{1,2}). \quad (3)$$

Średni błąd aproksymacji wynosił nie więcej niż 3%.

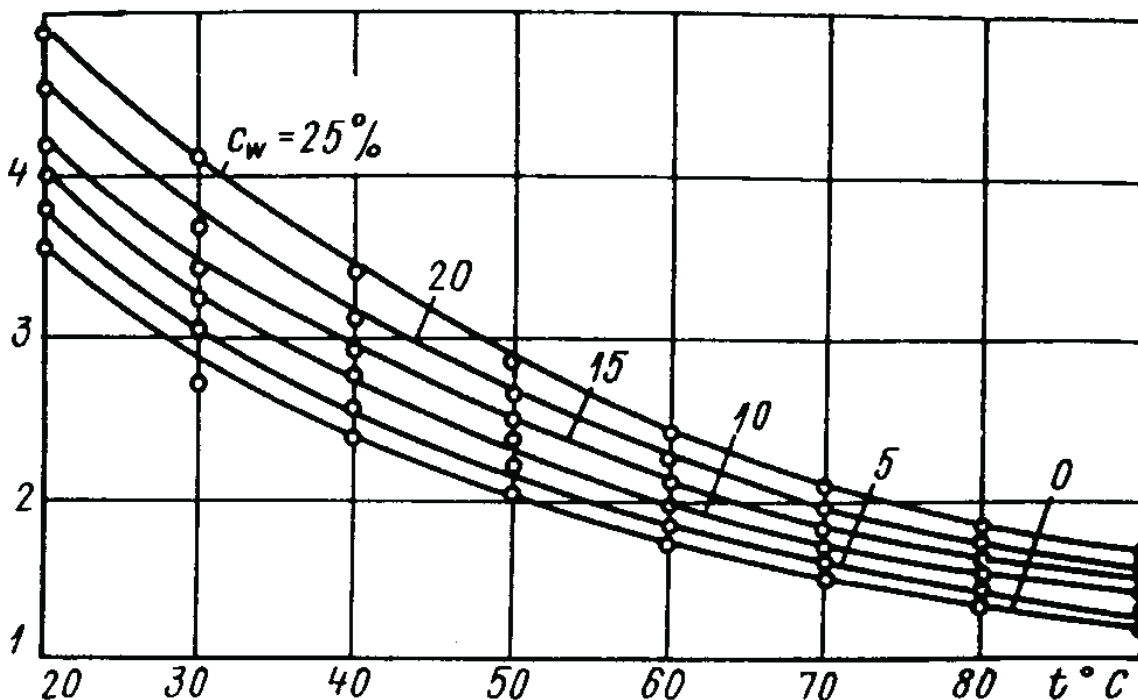
Napięcie powierzchniowe – jeden z parametrów określających proces rozpylenia paliwa i tworzenia mieszaniny paliwowo-powietrznej. Na podstawie materiałów doświadczalnych określono wzór empiryczny mający określić wartość napięcia powierzchniowego emulsji:

$$\sigma_e = \sigma_p [1 + (2,4 - 3 \cdot 10^{-2} t) c_w]. \quad (4)$$

gdzie: σ_e , σ_p – odpowiednio współczynniki napięcia powierzchniowego WPE i czystego paliwa.

Średni błąd aproksymacji był mniejszy niż 4%.

ν MM²/s



Rys. 5. Wpływ temperatury na kinematyczną lepkość PWE dla różnych ilości wody c_w
 Fig. 5. The influence of the temperature on the kinematic viscosity FWE for different water share c_w

Temperatura zapłonu – mająca duże eksploatacyjne znaczenie jako czynnik określający niebezpieczeństwo zapłonu paliwa.

Na podstawie materiału doświadczalnego otrzymano następującą zależność:

$$t_w = t_{wp}(1 + 1,63 c_w), \quad (5)$$

gdzie: t_w , t_{wp} - odpowiednio temperatura zapłonu PWE i czystego oleju napędowego.

Z wzoru tego wynika, że ze zwiększeniem c_w temperatura zapłonu wzrasta dlatego też emulsja jest pod względem zapłonu bezpieczniejsza.

Temperatura mętnienia jest ważnym wskaźnikiem charakteryzującym paliwo.

W rezultacie przeprowadzonych badań określono wzór temperatury mętnienia emulsji:

$$t_{ee} = t_{ep}(1 - 1,74 c_w), \quad (6)$$

gdzie: t_{ee} , t_{ep} - odpowiednio temperatury mętnienia PWE i czystego paliwa.

4. Podsumowanie

Wzrost zainteresowania wprowadzeniem do zasilania silników diesla emulsją paliwowo-wodną utworzoną z oleju napędowego i wody wynika z możliwości poprawienia przede wszystkim jego wskaźników ekologicznych. Zastosowanie emulsji umożliwia zmniejszenie temperatury spalania, co wpływa przede wszystkim na zmniejszenie ilości tlenków azotu NO_x .

Natomiast poprawa rozpylenia paliwa wpływa korzystnie na wytworzenie mieszaniny paliwowo-powietrznej co umożliwia uzyskanie mniejszej ilości cząstek stałych PM.

Dodatkowo zastosowanie w badaniach estru oleju rzepakowego oraz utworzonej na jego bazie emulsji paliwowo-wodnej umożliwi szersze jego zastosowanie w zasilaniu silników diesla.

Literatura

- [1] Jakubowski J., Silniki samochodowe zasilane paliwami zastępczymi. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1987
- [2] Encyklopedia Techniki - Chemia Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa 1966.
- [3] Dłuska E., Badania nad wytwarzaniem emulsji paliwowo-wodnych w mieszalniku helioidalnym cz.1 i 2. Sprawozdanie niepublikowane Politechniki Warszawskiej. Warszawa luty 2005
- [4] Лебедев О. Н., Сомов В. А., Сисин В. Д., ВОДОТОПЛИВНЫЕ ЭМУЛЬСИИ В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ., ЛЕНИНГРАД, 1988.
- [5] Baczewski K., Kałdoński J., Paliwa do silników z zapłonem samoczynnym. WKŁ, Warszawa 2004.
- [6] Curran H. J., Gaffure P., Pitz W. J., and Westbrook C. K., "A Comprehensive Modeling Study of N-Heptane Oxidation," Combustion and Flame, vol.114, pp.149-177, 1998.
- [7] Dittrich P., Wirbeleit F., Willand J. and Binder K., "Multi-Dimensional Modeling of the Effect of Injection Systems on DI Diesel Engine Combustion and NO-Formation", SAE 982585, 1998
- [8] Han Z., Uludogan A., Hampson G. J. and Reitz R. D., "Mechanism of Soot and NOx Emission Reduction Using Multiple-Injection in a Diesel Engine", SAE 960633, 1996.
- [9] Reitz R. D., "Modeling Atomization Processes in High-Pressure Vaporizing Sprays", Atomization and Spray Technology, 3, 1987.
- [10] Schwarz V., König G., Dittrich P. and Binder K., "Analysis of Mixture Formation, Combustion and Pollutant Formation in HD Diesel Engines using Modern Optical Diagnostics and Numerical Simulation", SAE 1999-01-3647, 1999
- [11] Wirbeleit F., Enderle CH., Lehner W., Raab A., Binder K., "Stratified Diesel Fuel-Water-Diesel Fuel Injection Combined with EGR - The Most Efficient In-Cylinder NOx and PM Reduction Technology", SAE 972962, 1997
- [12] Ishida M., Cho J. J. and Yasunaga T., "Combustion and Exhaust Emissions of a DI Diesel Engine Operated with Dual Fuel", Proc. of Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress, Paper No. F2000A030, pp.1-7 (2000).
- [13] Ishida M., Ueki H., Sakaguchi D. and Izumi S., "Significant NOx Reduction in Diesel Engine Based on Electronically Controlled Port Water Injection", Proc. of the 22nd CIMAC International Congress on Combustion Engines, Paper No.07.09, Vol.4, pp.879-893 (1998).

Artykuł ten opracowano w ramach projektu badawczego nr 5T 12D03325 o nazwie: *"Badania wpływu nowego sposobu wytwarzania emulsji paliwowo-wodnej na parametry ekologiczne i energetyczne silnika wysokoprężnego"*(umowa nr 1420/T12/2003/25).