

Zbigniew Kiernicki*

WPLYW NIEKTÓRYCH DODATKÓW DO PALIWA NA PARAMETRY ROBOCZE WYSOKOPRĘŻNEGO SILNIKA Z WTRYSIEM BEZPOŚREDNIM

Streszczenie. W referacie przedstawiono wyniki badań silnika wysokoprężnego z wtryskiem bezpośrednim S-4003 zasilanego olejem napędowym z dodatkami specjalnymi Skydd i Elf Diecyl. Badano wpływ dodatku na właściwości reologiczne paliwa, parametry robocze silnika i zadymienie spalin. W badaniach wykorzystano prędkościowe charakterystyki dynamiczne uzyskiwane podczas rozpędzania silnika na biegu luzem. Stwierdzono korzystny, choć niewielki wpływ badanych dodatków na parametry robocze silnika oraz zadymienie spalin.

Słowa kluczowe: dodatki do paliwa, silnik wysokoprężny, metoda inercyjna, warunki nieustalone, charakterystyki dynamiczne

WSTĘP

Na rynku istnieje wiele dodatków do paliw silnikowych, które mają za zadanie poprawę właściwości eksploatacyjnych paliwa. Często są to właściwości istotne z punktu widzenia wybranych aspektów pracy silnika, np. rozruch w niskich temperaturach [5] czy czystość elementów aparatury paliwowej [8]. Istotne są także właściwości myjące, przeciwpienne, przeciwmgielne, stabilność oksydacyjna czy właściwości korozyjne paliwa [1]. Jednak ważny jest też wpływ stosowania dodatków w paliwie na energetyczny efekt działania silnika, który charakteryzowany jest za pomocą parametrów roboczych.

Badanie wpływu dodatków na działanie silnika spalinowego obejmuje szereg testów zalecanych przez europejską organizację do spraw badań olejów i paliw, zwanych w skrócie testami CEC [2]. Stosuje się także porównawcze badania wpływu dodatków na parametry efektywne i toksyczność spalin silnika [2, 4, 8], wykonując np. charakterystyki prędkościowe.

W badaniach prezentowanych w referacie podjęto próbę eksperymentalnego ustalenia, czy w przypadku stosowania badanych dodatków do paliwa standardowego nastąpi znacząca zmiana roboczych parametrów i zadymienia spalin silnika.

* Dr inż. Zbigniew Kiernicki, Politechnika Lubelska, Katedra Pojazdów Samochodowych

OBIEKT I METODYKA BADAŃ

Badaniom poddane były dwa dodatki do paliwa – Elf Diecyl i Skydd – dodawane do paliw typu: Ekodiesel Plus 50F PKN Orlen oraz Eurodiesel Rafinerii Gdańskiej. Próbkę do badań zakupiono w ogólnie dostępnej sieci sprzedaży. Właściwości badanych paliw przedstawiono w tabeli 1. Dodatki dodawano do paliwa w następujących proporcjach objętościowych:

- Elf Diecyl – 1:500,
- Skydd – 1:1000.

Przygotowano paliwa badawcze oznaczone w sposób następujący:

- a) Czysty olej napędowy Ekodiesel Plus 50F PKN Orlen – ON2,
- b) Olej napędowy ON2 z dodatkiem do paliw Elf Diecyl – ON2D,
- c) Olej napędowy ON2 z dodatkiem do paliw Skydd – ON2S,
- d) Czysty olej napędowy Eurodiesel Rafinerii Gdańskiej – ON3,
- e) Olej napędowy ON3 z dodatkiem do paliw Elf Diecyl – ON3D,
- f) Olej napędowy ON3 z dodatkiem do paliw Skydd – ON3S,

Tabela 1. Właściwości badanych paliw (na podstawie specyfikacji handlowej).

Table 1. Properties of tested fuels (on the base of distributor specifications)

Lp.	Oznaczone wielkości	Jednostka miary	ON2 – Ekodiesel PKN Orlen	ON3 – Eurodiesel Raf. Gdańska
1.	Liczba cetanowa	min.	53,8	58
2.	Indeks cetanowy	min.	52,5	62
3.	Skład frakcyjny			
	- do 250°C destyluje	%V/V	35,6	9
	- do 350°C destyluje,	%V/V	96,2	89
	- do 370°C destyluje,			98
	- 95% (V/V) destyluje do temp.	°C	345,3	
4.	Lepkość kinematyczna w temp. 40°C,	mm ² /s	2,74	4,33
5.	Temperatura mętnienia	°C	-12	-2
6.	Temperatura zablokowania zimnego filtra	°C	-26	-3
7.	Temperatura zapłonu	°C	63	101
10.	Zawartość siarki	mg/kg	20,5	%(m/m)0,005
11.	Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych	%(m/m)	1,81	
16.	Gęstość w temperaturze 15°C	kg/m ³	837	836,7

Podstawowe właściwości reologiczne paliw badawczych określano metodą masową (gęstość) oraz lepkościerzem Englera (lepkość).

Badania wpływu stosowania dodatków do oleju napędowego oparto na metodzie porównawczej. Mierzono parametry tego samego silnika, w tych samych warunkach

otoczenia, przy zasilaniu paliwami z różnymi dodatkami. Porównywano wartości odpowiadających sobie parametrów.

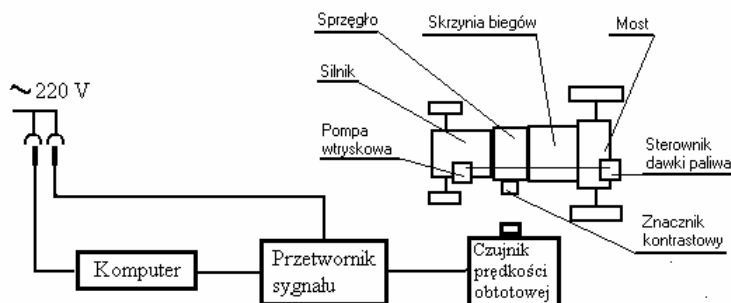
Pomiar parametrów roboczych silnika zasilanego zarówno olejem napędowym jak i opałowym wykonano metodą inercyjną [3]. Przygotowany obiekt badań (uzupełniony płyn w układzie chłodzenia, wypełniony paliwem przeznaczonym do badania i odpowiedźny układ paliwowy, wyregulowany silnik, podłączona aparatura pomiarowa) uruchamiano i nagrzewano do odpowiedniej temperatury. Następnie odczytywano ciśnienie atmosferyczne i temperaturę powietrza przy wlocie do filtra powietrza. Pomiar osiągow silnika na poszczególnych paliwach obejmował dwadzieścia powtórzeń cyklu rozpędzanie-wybieg [3], który polegał on na rozpędzeniu silnika od prędkości obrotowej równej 600 obr/min do prędkości maksymalnej, a następnie wyłączeniu dawkowania paliwa i swobodnym wytracaniu prędkości obrotowej silnika. W tym czasie system pomiarowy rejestrował prędkość obrotową i czas trwania pomiaru. Temperaturę powietrza sprawdzano co pięć powtórzeń. Uzyskane dane zredukowano do warunków normalnych oraz następnie analizowano przyspieszenia kątowne wału silnika w zależności od prędkości obrotowej (tzw. charakterystyki dynamiczne). Od piątego pomiaru do dziesiątego każdej serii pomiarów przeprowadzano pomiar zadymienia spalin.

Podczas wymiany paliwa przepłukiwano układ zasilania i wymieniano filtr paliwa.

STANOWISKO BADAWCZE

Pomiary przeprowadzone zostały na bezhamulcowym stanowisku badawczym Katedry Pojazdów Samochodowych Politechniki Lubelskiej. Ogólny schemat stanowiska przedstawiony jest na rys. 1. Badania wykonano na silniku wysokoprężnym S-4003 zamontowanym w ciągniku Ursus C-360. Układ zasilania silnika zawiera rzędową pompę wtryskową P24T8-3a i wtryskiwacze WJ1S78.7A z pięciootworkowymi rozpylaczami DSL150.A2. Badany silnik posiada system spalania z bezpośrednim wtryskiem paliwa do toroidalnej komory w tłoku. Badania prowadzono przy nominalnych nastawach regulacyjnych silnika, zgodnych z zaleceniami producenta.

Półautomatyczny system pomiarowy [3] sterowany był notebookiem 486/33. Czujnik prędkości obrotowej odbierał impulsy pochodzące od znacznika kontrastowego, naklejonego na kole zamachowym silnika. Powstały sygnał był przesyłany poprzez przetwornik sygnału do komputera. Komputer rejestrował sygnały wraz z czasem trwania pomiaru. Dawkowanie paliwa była zmieniane za pomocą sterownika dźwigniowego umieszczonego na moście ciągnika, połączonego z dźwignią pompy wtryskowej za pomocą linki.



Rys. 1. Schemat ogólny stanowiska badawczego

Fig. 1. General scheme of test set-up

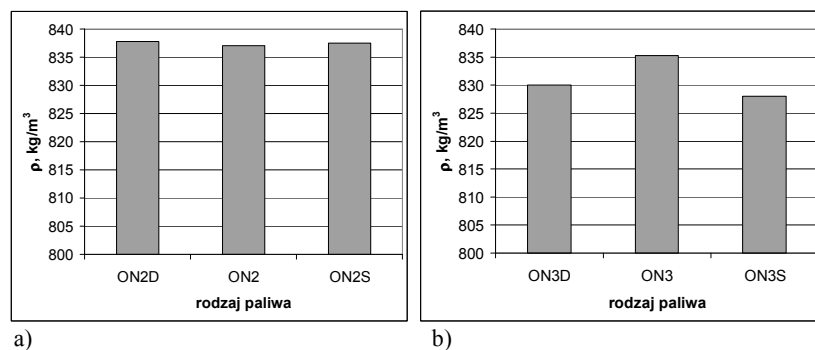
Do określania pozostałych wielkości (np. temperatura i ciśnienie otoczenia) wykorzystywano standardowy zestaw urządzeń pomiarowych znajdujących się na wyposażeniu hamowni silnikowej.

WYNIKI BADAŃ

Wpływ dodatku na właściwości reologiczne paliwa

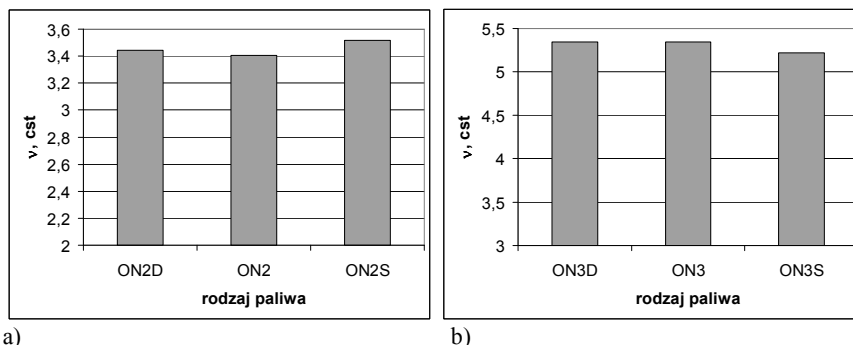
Gęstość badanych paliw jest zgodna z parametrami podawanymi przez producenta. Wpływ dodatków na paliwo Ekodiesel jest nieznaczny, natomiast stwierdzono zmniejszenie gęstości paliwa Eurodiesel po dodaniu obu dodatków. Może to być związane z innym składem chemicznym paliw, sugerowanym także przez różne charakterystyki destylacji (tab. 1).

Pomiary lepkości kinematycznej wykazały, że badane oleje napędowe posiadają większą lepkość niż podaje producent. Lepkość oleju napędowego Eurodiesel z Rafinerii Gdańskiej przekracza zakres dopuszczalny lepkości, określony normą PN-81/C-04011 (2,00 – 4,50 mm²/s dla oleju napędowego o temperaturze 40°C) [9]. Wyniki pomiarów gęstości i lepkości są porównywalne z wynikami uzyskiwanymi przez innych badaczy, podanymi np. w publikacji [7].



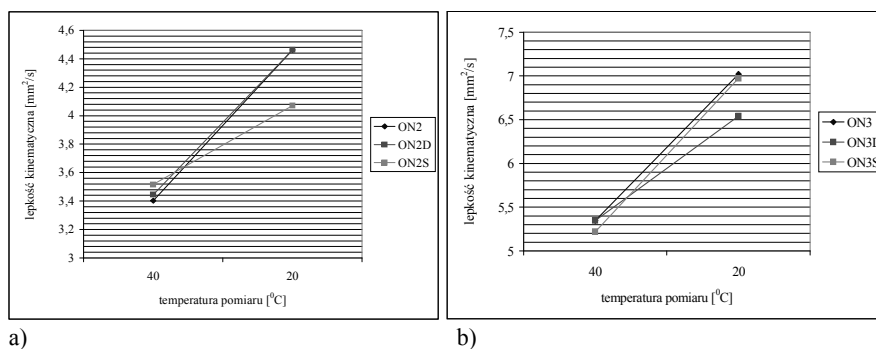
Rys. 2. Gęstość paliwa ON2 (a) i ON3 (b) w zależności od zastosowanego dodatku

Fig. 2. Density of ON2 fuel (a) and ON3 fuel (b) in the dependency of used addition type



Rys. 3. Lepkość kinematyczna paliwa ON2 (a) i ON3 (b) w zależności od zastosowanego dodatku

Fig. 3. Viscosity of ON2 fuel (a) and ON3 fuel (b) in the dependency of used addition type



Rys. 4. Zmiany lepkości kinematycznej paliwa ON2 (a) i ON3 (b) w zależności od temperatury i dodatku

Fig. 4. Kinematic viscosity changes of ON2 fuel (a) and ON3 fuel (b) in the dependency of temperature and addition

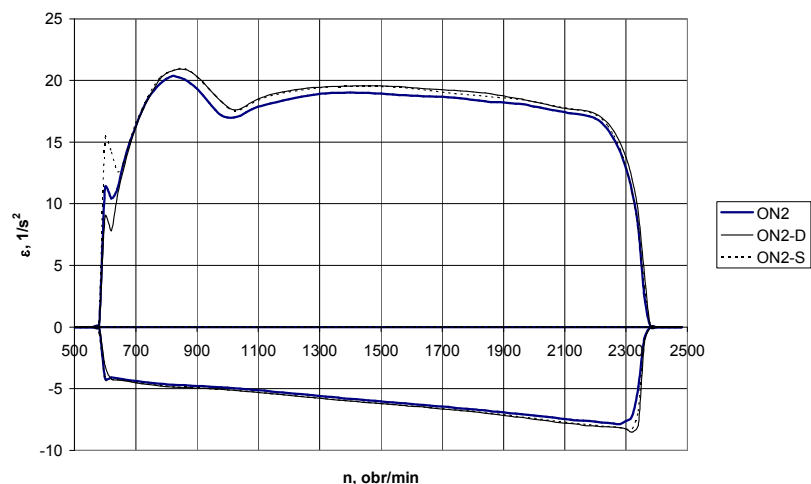
Zmiany lepkości badanych paliw w zakresie temperatur $20 \div 40$ °C zachodzą jednako dla paliwa Eurodiesel. Natomiast lepkość paliwa Ekodiesel z dodatkiem Skydd zmienia się w mniejszym stopniu, jednakże dodatek ten obniżył bardziej lepkość paliwa w temperaturze otoczenia.

Wpływ dodatku na parametry robocze i zadymienie spalin silnika

W wyniku przeprowadzonych pomiarów uzyskano charakterystyki dynamiczne $\varepsilon = f(n)$ silnika S4003 przy zasilaniu paliwami badawczymi. Na rys. 5 przedstawiono uśredniony przebieg przyspieszeń kątowych wału korbowego przy zasilaniu paliwem Ekodiesel, zaś na rys. 6 – przy zasilaniu paliwem Eurodiesel. Uzyskane charakterystyki dynamiczne mają typowy kształt [3, 6] (pomijając zaburzenie w początku rozpędzania). Pokrywanie się dolnych części wykresów świadczy o utrzymywaniu porównywalnych warunków cieplnych podczas pomiarów.

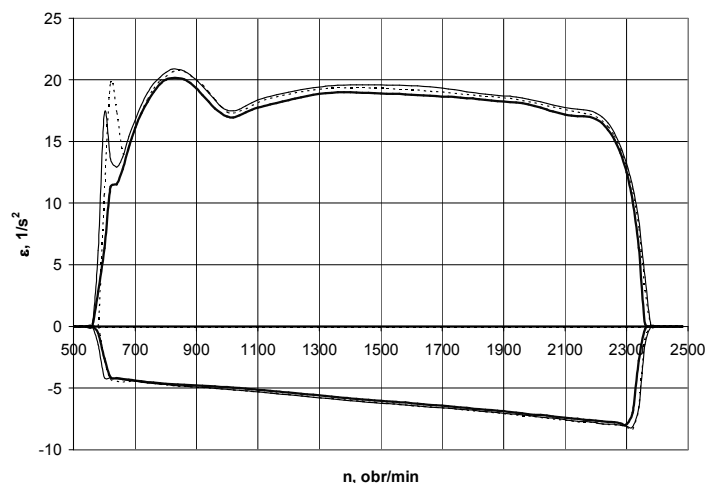
Analizując uzyskane charakterystyki można zauważyć, że badane dodatki powodują wzrost, aczkolwiek niewielki, wartości przyspieszeń w całym zakresie prędkości obro-

towej silnika. Różnice procentowe między przyspieszeniami kątowymi badanych paliw przedstawione są odpowiednio na rysunkach 7 i 8. Dodatki paliwowe w każdym przypadku spowodowały 2 – 3 % wzrost przyspieszeń w porównaniu do paliw bazowych. Odpowiada to wzrostowi momentu obrotowego silnika, określanego w warunkach nieustalonych.



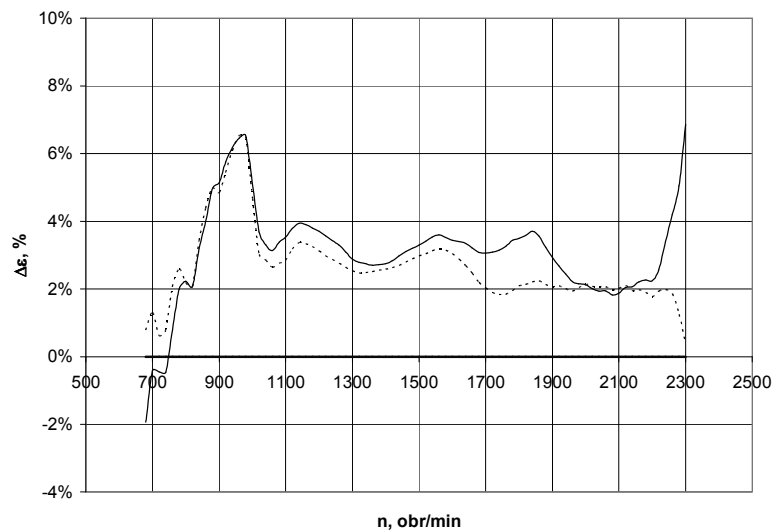
Rys. 5. Charakterystyki dynamiczne $\varepsilon=f(n)$ silnika S4003 przy zasilaniu paliwem ON2 w zależności od zastosowanego dodatku

Fig. 5. Dynamic characteristics $\varepsilon=f(n)$ of S4003 engine fuelled with ON2 fuel in the dependency of used addition type



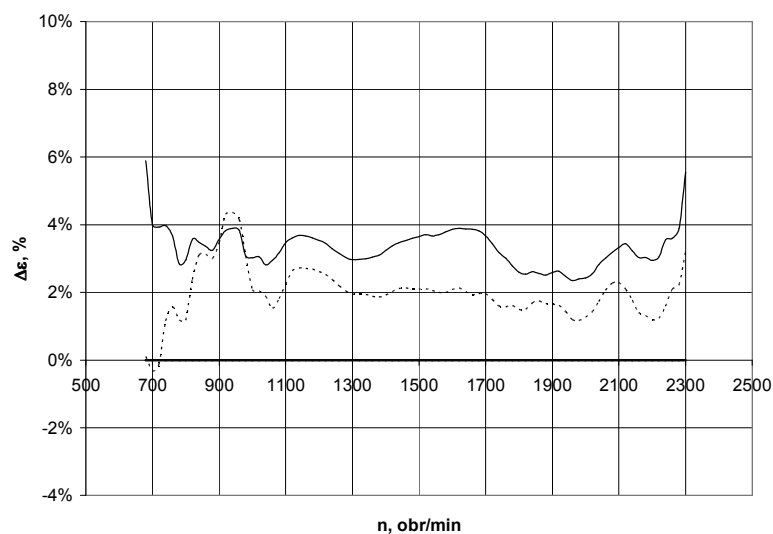
Rys. 6. Charakterystyki dynamiczne $\varepsilon=f(n)$ silnika S4003 przy zasilaniu paliwem ON3 w zależności od zastosowanego dodatku

Fig. 6. Dynamic characteristics $\varepsilon=f(n)$ of S4003 engine fuelled with ON3 fuel in the dependency of used addition type



Rys. 7. Różnice procentowe między przyspieszeniami kątowymi wału silnika S4003 przy zasilaniu paliwem ON2 w zależności od zastosowanego dodatku

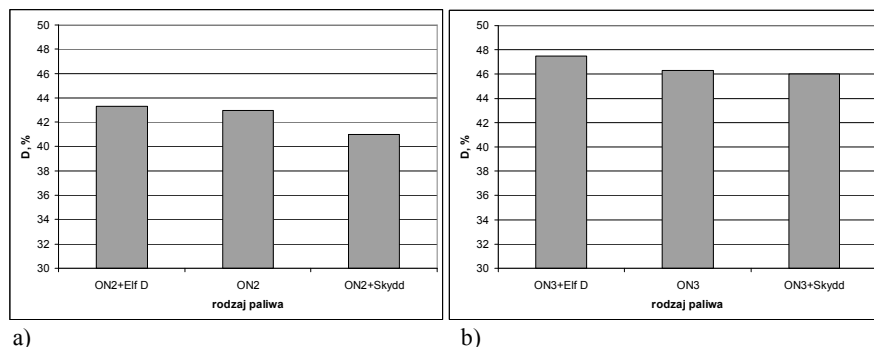
Fig. 7. Percentage differences between crankshaft angular accelerations of S4003 engine fuelled with ON2 fuel in the dependency of used addition type



Rys. 8. Różnice procentowe między przyspieszeniami kątowymi wału silnika S4003 przy zasilaniu paliwem ON3 w zależności od zastosowanego dodatku

Fig. 8. Percentage differences between crankshaft angular accelerations of S4003 engine fuelled with ON3 fuel in the dependency of used addition type

Wpływ badanych dodatków na paliwo Ekodiesel jest praktycznie taki sam – wzrost 3%, natomiast w przypadku paliwa Eurodiesel dodatek Elf Diecyl powoduje wzrost 3-3,5%, zaś dodatek Skydd – wzrost 2%. W zakresie odpowiadającym warunkom znamionowym pracy silnika, 2000-2200 obr/min, daje się zauważyć zmniejszenie wpływu dodatków.



Rys.9. Zadymienie spalin D silnika S-4003 w zależności od rodzaju paliwa i stosowanego dodatku (wartość maksymalna w próbie swobodnego rozpędzania)

Fig. 9. Exhaust gas smokiness of S4003 engine in the dependency of used fuel and addition type (maximum value during free acceleration test)

Na rysunku 9 przedstawione są wartości zadymienia spalin silnika przy zasilaniu analizowanymi paliwami i dodatkami. Zadymienie spalin w przypadku oleju napędowego Ekodiesel Plus 50F wynosi średnio 43 %, natomiast w przypadku oleju napędowego Eurodiesel z Gdańska – ok. 46–47 %. Dodatek Elf Diecyl powoduje wzrost zadymienia o około 1% w przypadku obu paliw. Dodatek Skydd powoduje zmniejszenie zadymienia w przypadku obu paliw, większy spadek – 2 % – występuje w przypadku oleju napędowego Ekodiesel Plus 50F.

Podkreślić jednakże należy, że stwierdzone zmiany są bardzo małe, do 2% - zadymienie, do 4% - parametry robocze. Upoważnia to do stwierdzenia, że wpływ badanych dodatków paliwowych na analizowane parametry silnika jest nieznaczny.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz można stwierdzić, że:

1. Badania wykonane przy użyciu silnika S – 4003 stosowanego w ciągniku rolniczym C-360 wykazały, że badane dodatki mają bardzo mały (2 –3 %), ale dodatni wpływ na osiągi silnika w warunkach nieustalonych.
2. Gęstość badanych olejów napędowych jest podobna i zgodna z wartością deklarowaną przez wytwórców.
3. Lepkość paliwa Ekodiesel w temperaturze 40 °C utrzymuje się w zalecanym zakresie. Olej napędowy Eurodiesel z Rafinerii Gdańskiej ma zdecydowanie większą (1,5 – 2 mm²/s) lepkość kinematyczną od pozostałych paliw.
4. Zmiany lepkości powodowane przez dodatki do paliwa nie przekraczają 0,1 mm²/s. dodatki powodują generalnie wzrost lepkości paliwa.

5. Zadymienie spalin w przypadku badanych olejów napędowych znajduje się na podobnym poziomie (43-47 %), jednakże zasilanie silnika olejem napędowym Eurodiesel powodują wyższe zadymienie spalin o 3-4 %.
6. Dodatek paliwowy Elf Diecyl zwiększa zadymienie spalin w niewielkim stopniu, a dodatek Skydd zmniejsza poziom zadymienia.

PIŚMIENNICTWO

1. **Biernat K.:** Oleje napędowe. PALIWA, OLEJE i SMARY w eksploatacji nr 63
2. **Chłopek Z., Danilczyk W., Kruczyński S., Kozakowski G.,** 1996: Ocena wybranych właściwości benzyny z dodatkiem TBE. Paliwa, Oleje i Smary w eksploatacji Nr 25.
3. **Kiernicki Z.,** 2001: Engine transient test for fuel comparison. 3rd International Colloquium Fuels 2001, January 17-18, Esslingen – Stuttgart.
4. **Lotko W.,** 1997: Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami węglowodorowymi i roślinnymi. WNT, Warszawa.
5. **Mysłowski J.,** 1996: Rozruch silników samochodowych z zapłonem samoczynnym. WNT, Warszawa.
6. **Piętak A.,** 1990: Charakterystyka dynamiczna tłokowego silnika spalinowego. Biuletyn WAT, nr 12.
7. **Stoeck T.,** 2003: Wpływ właściwości reologicznych paliwa na zadymienie spalin silnika o zapłonie samoczynnym. Eksploatacja Silników Spalinowych, Zeszyt Nr 9, Doładowanie silników. Politechnika Szczecińska.
8. **Wajand J.,** 1980: Silniki o zapłonie samoczynnym. WNT, Warszawa.
9. PN – 81/C – 04011 Przetwory naftowe – Oleje napędowe

EFFECT OF SOME FUEL ADDITIONS ON DI DIESEL OPERATIONAL PARAMETERS

Summary. The results of tests of DI diesel S-4003 fuelled with diesel fuel and special additives Skydd and Elf Diecyl have been presented in the paper. Additives influence on fuel rheological properties, engine operational parameters and exhaust gas smokiness has been investigated. Speed dynamic characteristics obtained by engine acceleration have been used in the researches. The positive but little effect of tested additives on engine operational parameters and exhaust gas smokiness has been stated.

Keywords: fuel additions, diesel, inertial method, transient conditions, dynamic characteristics