

Miłostaw KOZAK*
 Jerzy MERKISZ**
 Piotr BIELACZYC**

Wpływ właściwości paliwa na emisję szkodliwych składników spalin przez samochód osobowy napędzany silnikiem o zapłonie samoczynnym

W referacie przedstawiono wyniki badań wpływu zawartości siarki i liczby cetanowej oleju napędowego na emisję szkodliwych składników spalin przez samochód osobowy napędzany silnikiem o zapłonie samoczynnym klasy Euro III. Stwierdzono znaczny wpływ obniżenia zawartości siarki na emisję, szczególnie cząstek stałych. Przy zastosowaniu paliw o wyższej liczbie cetanowej uzyskano wyraźną redukcję emisji CO i HC, a w mniejszym stopniu także emisji NO_x.

Słowa kluczowe: silnik ZS, emisja szkodliwych składników spalin, olej napędowy, siarka, liczba cetanowa

The effect of fuel properties on exhaust emissions from diesel passenger car

The effect of diesel fuel sulphur content and cetane number on regulated emissions was investigated in a Euro III diesel passenger car. Experimental results indicated that fuel sulphur level had a significant impact on all regulated emission, especially on PM. Testing fuels of different ignition qualities showed that HC and CO emissions of high cetane number fuels were significantly lower than emissions of a low cetane number fuel. We also observed a little decrease in NO_x emissions with an increase in the cetane number.

Key words: diesel engine, exhaust emissions, diesel fuel, sulphur, cetane number

1. Wprowadzenie

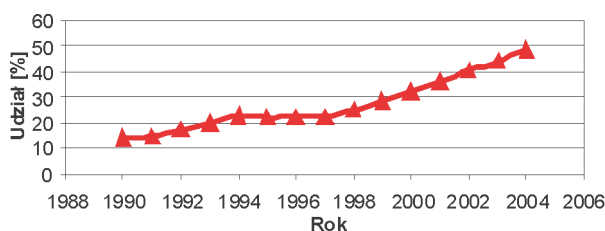
Silniki spalinowe zasilane paliwami ropopochodnymi są podstawowym źródłem napędu pojazdów lądowych, jednostek morskich oraz lekkich samolotów. Z uwagi na niższy koszt paliwa, coraz szerzej do napędu środków transportu stosowane są silniki o zapłonie samoczynnym (ZS). Z kolei wśród silników ZS dominują silniki o wtrysku bezpośrednim (DI), jako najsprawniejsze spośród tłokowych silników spalinowych. Rozpowszechnienie silników ZS DI sprzyja ograniczeniu efektu cieplarnianego, bowiem niższe zużycie paliwa prowadzi do mniejszej emisji CO₂. Silniki ZS spotykane są współcześnie praktycznie we wszystkich segmentach samochodów osobowych, choć nasilenie tego zjawiska wykazuje duże geograficzne zróżnicowanie. W USA rozpowszechnienie silników ZS w samochodach osobowych jest wciąż niewielkie, podczas gdy w Unii Europejskiej udział silników ZS w nowych samochodach osobowych, który w roku 1990 wynosił jeszcze poniżej 14%, w roku 2004 był na poziomie około 48,3% (rys. 1). Przewiduje się, że w latach 2005 – 2010 udział ten przekroczy 50%. Jednak obok licznych zalet silników ZS DI występują również cechy negatywne, przede wszystkim trudności w ograniczeniu emisji PM i NO_x.

Spełnienie nowych, bardzo niskich limitów emisji, np. EURO IV i V, US Tier 2, LEV II, ULEV II oraz japońskich „2005 long-

1. Introduction

Internal combustion engines, operating primarily on petroleum-based fuels, prevail as propulsion units in land transportation. They also play a major role in marine and light aircraft propulsion. Due to the lower fuel costs associated with diesel engines, these engines are used extensively in transportation systems. It is well known that the direct-injection (DI) diesel engine is the most effective among internal combustion engines because of its excellent thermal efficiency and durability. Direct injection diesel engines minimise the green house effect because its low fuel consumption leads to low CO₂ emissions. The use of diesel engines is continually increasing even in high speed passenger cars. For passenger cars, however, its application differs geographically. As Figure 1 shows, the diesel car had a market share of 48,3 percent in 2004, up from 32 percent in 2000 and below 14 percent in 1990 and is expected to exceed 50 percent in 2005 – 2010 in Europe, while in the USA its penetration into the market rising rather slowly. On the other hand, a further significant reduction of particulate matter (PM) and nitrogen oxides (NO_x) to meet stringent environment regulations remains to be addressed.

To meet new, unusually severe worldwide emission limits: Euro IV and V, US Tier 2, Californian LEV II and ULEV II and 2005 Japanese long term regulations as well



Rys. 1. Procentowy udział silników ZS w nowych samochodach osobowych w Unii Europejskiej [8, 11]

Fig. 1. Percentage share of diesels in new passenger cars in European Union [8, 11]

term” (rys. 2), nie jest możliwe za pomocą prostych środków i wymaga rozwiązań kompleksowych obejmujących m.in.: optymalizację procesu spalania przez doskonalenie konstrukcji silnika, aparatury wtryskowej i elektronicznego sterowania, stosowanie systemów ograniczających tworzenie substancji szkodliwych w procesie roboczym silnika (np. recyrkulacja spalin), stosowanie skutecznych katalitycznych układów oczyszczania spalin i niemniej ważne odpowiednie komponowanie paliw [23, 37].

Skład paliwa, jak również jego właściwości chemiczne i fizyczne mają obok typu silnika i jego stanu technicznego decydujący wpływ na jakościowy i ilościowy charakter emisji. Parametry paliwa mogą wpływać na emisję na trzy główne sposoby [2]:

- przez wpływ na przebieg procesu wtrysku i formowanie mieszanki palnej,
- przez wpływ na formowanie substancji toksycznych w procesie roboczym silnika,
- przez wpływ na skuteczność układów oczyszczania spalin.

Emisja toksycznych składników spalin zależy ogólnie od jakości przetwarzania paliwa na pracę użyteczną w procesie roboczym silnika. Jednakże jeśli poziom emisji silnika zostaje obniżony, wzrasta wrażliwość emisji na właściwości paliwa. Wiele prac wskazuje (np. [10, 16, 26]), że właściwości paliwa mogą mieć znaczny wpływ na emisję. W przypadku paliw do silników ZS za wpływające w największym stopniu parametry uznaje się najczęściej: liczbę cetanową oraz zawartość siarki (zwłaszcza dla nowoczesnych silników) [17, 21, 25, 31] i wpływ tych parametrów zostanie tutaj przeanalizowany.

Większość prac poświęconych badaniom wpływu liczby cetanowej [16, 18, 20, 26, 27, 30, 32] wskazuje, że parametr ten jest powiązany z emisją wszystkich limitowanych toksycznych składników spalin. Z kolei zakres tego wpływu jest w znacznym stopniu zależny od konstrukcji i warunków pracy silnika oraz innych parametrów paliwa. Ogólnie, paliwa o wyższej liczbie cetanowej charakteryzują się krótszą zwłoką samozapłonu i w rezultacie krótszym okresem spalania kinetycznego i mniej gwałtownym przebiegiem wydzielania ciepła w tej fazie spalania. Przy zwiększeniu LC ilość paliwa spalana w fazie kinetycznej się zmniejsza, zwiększa natomiast ilość spalana w fazie dyfuzyjnej. Tworzenie NO_x determinowane jest przez ilość paliwa spalana w fazie kinetycznej, dlatego zwiększając LC można oczekiwać zmniejszenia emisji NO_x . Znajduje to potwierdzenie w wielu wcześniejszych pracach badawczych [7, 10, 15, 19, 20, 26, 30, 31, 32]. Obserwowana redukcja emisji NO_x jest jednak zazwyczaj niewielka – mniej niż 5% na każde 10 jednostek liczby cetanowej, w zakresie $\text{LC} = 40 - 65$. Wydłużony okres spalania dyfuzyjnego, występujący przy wyższych liczbach cetanowych sprzyja

(Fig. 2), single solutions will no longer be sufficient. Complex activities including: optimisation of the process of fuel combustion in the engine by improvement of engine and fuel injection system design, introducing systems (e.g. EGR) restraining the formation of pollutants, use of effective catalytic after treatment systems for emission control, more and more precise controlling by the ECU and finally appropriate blending of fuels are necessary [23, 37].

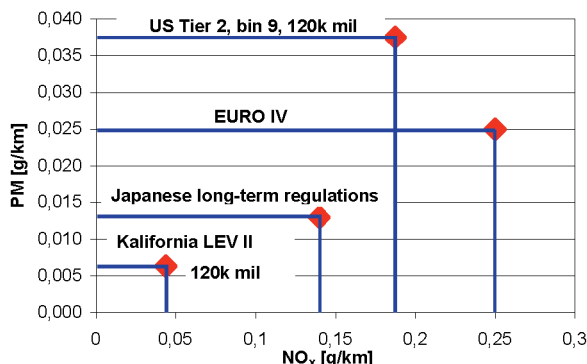
Fuel composition as well as physical and chemical parameters have, apart from the type of engine and its condition, a decisive influence on the quantity and constitution of emissions. Each parameter of engine fuel affects emis-

sions, in three key areas [2]:

- by influence on injection parameters,
- by connection with formation of pollutant matter in engine,
- by influence on efficiency of emission control systems.

It has been demonstrated repeatedly that engine exhaust emissions are largely dependent on the characteristics of the engine and its ability to utilize the fuel over the operating cycle. However when engine emissions are reduced to lower levels the effect of fuel properties on engine emissions becomes significant. Many extensive studies have shown (e.g. [10, 16, 26]), that fuel properties have serious impact on engine exhaust emissions. Among various fuel properties the ones that are frequently shown to have significant effect on Diesel engine emissions are: sulphur content (especially for modern engines) and cetane number [17, 21, 25, 31] and these fuel parameters are the main topic of this paper.

In most studies [16, 18, 20, 26, 27, 30, 32] cetane number has been found to affect all engine emissions. The effect of cetane number on engine emissions is also found to be both fuel and engine dependent. In general, it can be expected that a fuel with a higher cetane number will characterize a shorter ignition delay, therefore a shorter premixed burning period and reduced peak of the heat release in the premixing burning period. This leads to a smaller amount of fuel being consumed in the premixed burning and a larger quantity being involved in the mixing controlled burning. The formation of NO_x is affected by the amount of fuel being oxidized in the premixed burning, therefore, we should observe decrease in NO_x when cetane number is increased. In most of previous studies [7, 10, 15, 19, 20, 26, 30, 31, 32] this NO_x emissions behaviours were confirmed. The observed reductions in NO_x emissions are generally small, less than about 5% for every 10 cetane units in the cetane number range of 40 to 65. A longer mixing controlled burning, resulting from higher cet-



Rys. 2. Przewidziane dla roku 2005 limity emisji dla samochodów osobowych z silnikami ZS; uwaga: przedstawione limity nie są ze sobą porównywalne z uwagi na odmienne cykle pomiarowe

Fig. 2. Exhaust emissions regulations for diesel passenger cars in the year 2005; note: the regulations are not comparable because of various test cycles

formowaniu sadzy, co może mieć odbicie w większej emisji PM. Ogólnie wpływ liczby cetanowej na emisję PM zmienia się znacznie dla różnych typów silnika. Dla niektórych silników uzyskuje się ze wzrostem LC zmniejszenie emisji PM [9, 10, 24, 30], dla innych natomiast wzrost tej emisji [7, 19, 20, 26]. Opisane w literaturze badania wpływu LC na emisję CO i HC najczęściej pokazują znaczne zmniejszenie emisji tych substancji wobec wzrostu zdolności paliwa do samozapłonu [10, 19, 20, 26, 33, 34]. Zjawisko to wytłumaczyć można zmniejszoną intensywnością procesów przedpłomiennych prowadzących do tworzenia produktów niepełnego spalania. Ponadto, współczesne silniki nie są regulowane pod kątem najniższej emisji CO i HC i stąd również należy się spodziewać znacznych zmian w emisji tych substancji przy zmianach liczby cetanowej paliwa.

Siarka jest naturalnym składnikiem ropy naftowej, gdzie występuje w związkach z węglowodorami. W procesie spalania w silniku, siarka zawarta w paliwie jest utleniana głównie do SO_2 i w znacznie mniejszym stopniu do SO_3 . SO_2 i SO_3 są emitowane w spalinach. Wprowadzenie katalitycznych układów oczyszczania spalin silnikowych wywołało szereg niekorzystnych następstw, związanych z obecną w paliwie siarką. Utlenienie w reaktorze katalitycznym SO_2 do SO_3 powoduje wzrost emisji cząstek stałych (siarczanów). Chemisorpcja SO_2 w centrach aktywnych katalizatora powoduje obniżenie jego aktywności. Ponadto obecność katalizatora sprzyja reakcjom SO_2 z innymi składnikami spalin, co prowadzi do powstania niekorzystnej emisji wtórnej [13, 16].

Opisane w literaturze badania dotyczące wpływu zawartości siarki na emisję [1, 3, 4, 5, 13, 14, 22, 28, 35, 38, 39] potwierdzają jej znaczący wpływ, przy czym charakterystyczne jest, że wpływ siarki na emisję cząstek stałych silnie zależy od innych parametrów paliwa i typu silnika.

Dotychczas nie wykonywano w warunkach krajowych szerszych badań wpływu poszczególnych parametrów oleju napędowego na emisję z wykorzystaniem nowoczesnych silników ZS typu *light-duty*. Co więcej, w odniesieniu do tego typu silników, zagraniczne wyniki badań są nierzadko sprzeczne. W tej sytuacji trudno oszacować korzyści ekologiczne związane ze znaczną poprawą jakości polskich olejów napędowych. Proces doskonalenia paliw silnikowych jest zresztą obserwowany na całym świecie – tabela 1.

Wiele wcześniejszych prac dotyczących wpływu paliwa na emisję nie traktowało zawartości siarki jako niezależnego parametru i wpływ siarki był zniekształcany przez inne parametry. W opisywanych w niniejszej pracy badaniach wpływu siarki, zastosowano paliwa różniące się tylko zawartością siarki w zakresie od poniżej 5 ppm do 2000 ppm. W badaniach wpływu liczby cetanowej na emisję stosowano paliwa nie zawierające dodatków przyspieszających samozapłon. Jako że naturalna liczba cetanowa paliwa powiązana jest również z innymi parametrami paliwa, bardzo trudne lub wręcz niemożliwe jest całkowite wyizolowanie wpływu liczby cetanowej od wpływu pozostałych parametrów. We wszystkich badaniach stosowano wyłącznie paliwa z krajowych rafinerii.

Badania opisane w niniejszej pracy zostały wykonane w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Samochodów Małolitra-

ne number, means also a longer soot formation period. This can lead to higher particulate emissions. However, the effect of cetane number on PM emissions is not as consistent, and seems to be more engine dependent. When the cetane number is increased, reduction in PM emissions is observed in some engines [9, 10, 24, 30] and increases in PM in some other engines [7, 19, 20, 26]. For CO and HC emissions, studies reported typically substantial reduction on both of them when the cetane number is increased [10, 19, 20, 26, 33, 34]. This phenomenon results from the reduction of low-temperature combustion for fuels with good ignition quality. Moreover, since the engines are seldom fine-tuned for these emissions, the change of the CO and HC emissions with change of ignition quality should be expected.

Sulphur is a natural component of oil and is present in hydrocarbon compounds. In the internal combustion process, the sulphur in the fuel oxidizes mainly to SO_2 and, to a lesser extent, to SO_3 . SO_2 and SO_3 are emitted with the engine exhaust. With the introduction of catalytic converters for the aftertreatment of exhaust gases, a whole series of undesirable side effects have been caused by sulphur. Catalysts oxidize SO_2 to SO_3 , thereby causing the amount of particulate matter (sulphates) in the exhaust to raise. The chemisorption of SO_2 on the active centers of the catalyst reduce the activity of the catalytic converter. In addition, the catalytic activation of reaction between SO_2 and other components in the exhaust lead to the formation of undesirable secondary emissions [13, 16].

Described in literature [1, 3, 4, 5, 13, 14, 22, 28, 35, 38, 39] research programs concerning the influence of fuels on emission levels, confirm the negative sulphur effect on exhaust emissions, however, it is also characteristic, that the sulphur effect on particulate emissions depends on other parameters of diesel fuel properties and on the engine type.

So far there has been no research in the field of influence of diesel fuel properties on exhaust emissions, taking into account Polish conditions e.g. specification of Polish vehicles fleet as well as Polish fuels. Moreover, available foreign data in this field with regard to light-duty diesel vehicles (especially latest ones) are sparse. Therefore it was difficult to predict ecological benefits obtained due to quality improvement of Polish diesel fuels. Continuous improvement of diesel fuel quality is also observed worldwide – Table 1.

A number of previous studies have investigated the effect of diesel fuel properties on steady-state and transient emissions, but the sulphur content was not usually taken into account as an experimental variable and the sulphur effect was distorted by other fuel properties. In the present work sulphur content is the only fuel design variable and is varied from 2000 ppm down to sulphur free (less than 5 ppm). In the research test fuels without ignition improver additives were used. The natural cetane number of a diesel fuel is correlated with other fuel properties such as distillation temperatures, density etc, hence it is a difficult task, if not impossible, to completely isolate the cetane number effects from the effects of other fuel properties on emissions. In the research, test fuels from Polish refineries only were used.

Tabela 1. Porównanie wymagań stawianych olejom napędowym [6, 12, 29, 36, 38]

Table 1. Comparison of requirements for diesel fuels [6, 12, 29, 36, 38]

	EURO III (2000) ^{1,2)}	EURO IV (2005) ²⁾	Japan JIS K 2204 (current)	Japan 2005	US ASTM D 975 (current)	US EPA Federal (2006)	WFC3) Category 4
Liczba cetanowa	min 51	min 51	min 50	?	min 40	?	min 55
Siarka, ppm	max 350	max 50/10 ⁴⁾	max 500 ⁵⁾	max 50	max 500	max 15	max 5-10 ⁶⁾
Poliaromaty, % m/m	max 11	max 11	-	?	-	?	max 2.0
Gęstość @15°C, kg/m ³	max 845	max 845	-	?	-	?	820-840
Destylacja	T95 = max 360°C	T95 = max 360°C	T90 = max 360°C	?	T90 = 282-338°C	?	T95 = max 340°C

¹⁾ obowiązuje również w Polsce, ²⁾ Europejska Dyrektywa 98/70, ³⁾ Worldwide Fuel Charter – Światowa Karta Paliw, ⁴⁾ olej napędowy o zawartości siarki maksimum 10 ppm musi być również dostępny na rynku, ⁵⁾ w metropolii Tokijskiej obowiązuje limit 50 ppm, ⁶⁾ zależnie od obowiązujących regulacji emisyjnych.

¹⁾ valid also in Poland, ²⁾ European Directive 98/70, ³⁾ Worldwide Fuel Charter, ⁴⁾ diesel fuel with a maximum sulphur content of 10 ppm must be marketed and available, ⁵⁾ 50 ppm sulphur fuel for Tokyo Metropolis has already been launched, ⁶⁾ depending on the applicable emission standard.

żowych BOSMAL w Bielsku-Białej przy współpracy z Instytutem Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

2. Metodyka badań

W badaniach wykorzystano samochód osobowy reprezentujący aktualny poziom zaawansowania technologicznego pojazdów, wyposażony w turbodoładowany silnik ZS zasilany w systemie Common Rail oraz katalityczny układ oczyszczania spalin. Podstawowe dane użytego w badaniach pojazdu przedstawiono w tabeli 2.

Pomiar emisji spalin odbywał się w cyklu jezdnym NEDC (*New European Driving Cycle*) określonym w Dyrektywie Europejskiej 98/69/EC, składającym się z cyklu jazdy miejskiej *Urban Driving Cycle* – UDC (zimny start) i cyklu odwzorowującego jazdę poza obszarem miejskim *Extra Urban Driving Cycle* – EUDC. Pomiar emisji odbywał się oddzielnie w obu fazach, aby umożliwić analizę wpływu paliwa w różnych warunkach eksploatacyjnych.

Badania wpływu parametrów oleju napędowego na emisję spalin wykonane zostały w Pracowni Badań Toksyczno-

The research presented in this paper, was carried out in the laboratories of the BOSMAL Automotive R & D Centre in co-operation to Institute of Internal Combustion Engines at Poznan University of Technology.

2. Research program

The tests were conducted on a passenger car equipped with 2.0 litre direct injection (Common Rail) turbocharged compression-ignition (CI) engine, representing Euro 3 technology. Major data on the vehicle are shown in Table 2.

The new vehicle homologation procedure introduced in the Directive 98/69/EC, so-called New European Driving Cycle (NEDC) was selected as a representative test for this study. The test was Urban Driving Cycle (UDC) (cold start), followed by the high-speed Extra Urban Drive Cycle (EUDC) (hot start). Tests were undertaken in order to determine the influence of both parts of NEDC on exhaust emissions.

The tests were carried out at the BOSMAL Automotive R&D Centre's Emission Testing Laboratory using an emission chassis dynamometer Schenck 500/GS60 (Fig. 3). The CVSAVL CEC system with full-flow dilution tunnel AVL CET-

LD/20 type and particulate sampling system AVL CEP-LD/100 PTS 60 l/min, controlling system CESAR and Sartorius microbalance have been used to measure exhaust emissions.

A test fuel matrix consisting of eight diesel fuels was designed to investigate the effect of sulphur and cetane number on exhaust emissions from the

Tabela 2. Parametry użytego w badaniach pojazdu

Table 2. Specifications of the test vehicle

Typ pojazdu	Samochód osobowy
Masa własna	1300 kg
Typ silnika	ZS, czterocylindrowy, rzędowy
Objętość skokowa	1,9 dm ³
Układ tworzenia mieszanki palnej	Wtrysk bezpośredni w systemie Common Rail, turbodoładowanie z chłodzeniem powietrza (intercooler)
Układ recyrkulacji spalin	Sterowany elektronicznie ze sprzężeniem zwrotnym
Układ oczyszczania spalin	Utleniający reaktor katalityczny
Poziom emisji	EURO III

ści Spalin Zakładu Badań Silników OBR SM BOSMAL w Bielsku-Białej. Badania prowadzone były na hamowni podwoziowej Schenck 500/GS60 (rys. 3), wyposażonej m.in. w pełnoprzepływowy tunel rozcieńczający spaliny typu AVL CET-LD/20 oraz system poboru cząstek stałych typu AVL CEP-LD/100.

Do oceny wpływu zawartości siarki na emisję sporządzono cztery paliwa testowe różniące się między sobą wyłącznie zawartością siarki. Bazę do sporządzenia paliw testowych stanowił pochodzący z krajowej rafinerii olej napędowy typu *sulphur-free* (zawartość siarki poniżej 5 ppm). Wymaganą zawartość siarki w paliwach uzyskiwano przez dodatek odpowiedniej ilości tiofenu (C_4H_4S). Podstawowe właściwości paliw testowych o różnej zawartości siarki przedstawiono w tabeli 3.

Paliwa o różnej liczbie cetanowej uzyskiwano przez zmieszanie otrzymanych z rafinerii frakcji bazowych o różnej wartości tego parametru. Finalne paliwa były uzupełnione o wielofunkcyjny pakiet dodatków. Ważniejsze parametry paliw testowych o różnej liczbie cetanowej przedstawiono w tabeli 4. Paliwo TF-2C było najbardziej zbliżone do oleju napędowego dostępnego na krajowych stacjach paliwowych.

3. Wyniki badań i ich analiza

3.1. Wpływ zawartości siarki na emisję

Wpływ zawartości siarki w oleju napędowym na emisję CO, HC, NO_x, PM i CO₂ w teście NEDC i jego poszczególnych fazach przedstawiono na rysunkach 4, 5, 6, 7 i 8.

Emisja CO w teście NEDC (rys. 4), niezależnie od zawartości siarki w oleju napędowym, utrzymywała się na zbliżonym poziomie około 0,570–0,590 g/km. W pierwszej fazie testu NEDC, to jest w fazie UDC, również nie zanotowano większych różnic w emisji CO dla poszczególnych paliw testowych. Wyraźne zróżnicowanie emisji CO w zależności od zawartości siarki w paliwie miało natomiast miejsce w drugiej fazie testu NEDC, czyli w fazie EUDC. Najmniejszą emisję CO – 0,043 g/km uzyskano dla paliwa typu *sulfur-free*. Emisja CO dla paliw o pośrednich zawartościach siarki (50 i 350 ppm) była już o około 0,01 g/km wyższa. Natomiast dla paliwa o zawartości siarki 2000 ppm uzyskano emi-

test vehicle. To evaluate the influence of sulphur contained in diesel fuel on the exhaust emissions, four different test fuels with a sulphur content varying from less than 5 ppm through 50 ppm (EURO IV) and 350 ppm (EURO III) up to 2000 ppm were prepared. These four test fuels were identical



Rys. 3. Hamownia podwoziowa w OBR BOSMAL

Fig. 3. Chassis dynamometer in BOSMAL Automotive R&D Centre

except for the sulphur content, which was varied. The test fuels were blended on the basis of sulphur free (<5 ppm S) diesel fuel. The expected level of sulphur content was being obtained after addition of the right amount of thiophene (C_4H_4S). The properties of test fuels with different sulphur content are shown in Table 3.

To evaluate the influence of cetane number on the exhaust emissions, the next four different test fuels with the cetane number varying from 45 through 50 and 55 up to 63 ppm were prepared. These test fuels were blended from refinery streams to match the desired cetane numbers. The

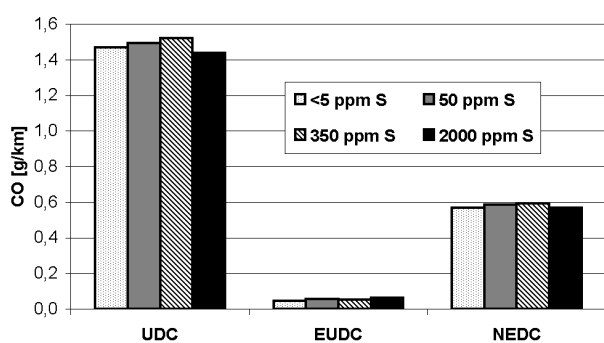
Tabela 3. Właściwości paliw testowych o różnej zawartości siarki

Table 3. Properties of test fuels with different sulphur content

Kod paliwa	TF-1S	TF-2S	TF-3S	TF-4S
Siarka, ppm	2000	350	50	<5
Liczba cetanowa	52	52	52	52
Gęstość w temp. 15°C, g/ml	0,815	0,815	0,815	0,815
Aromaty, % (v/v)	5,1	5,1	5,1	5,1
Destylacja	IBP, °C	172,0	172,0	172,0
	T50, °C	255,9	255,9	255,9
	T90, °C	303,6	303,6	303,6
	FBP, °C	340,5	340,5	340,5

Tabela 4. Parametry paliw testowych o różnej liczbie cetanowej
Table 4. Properties of test fuels with different cetane number

Kod paliwa	TF-1C	TF-2C	TF-3C	TF-4C
Liczba cetanowa	45	50	55	63
Gęstość w temp. 15°C, g/ml	0,8084	0,8282	0,8244	0,8270
Siarka, ppm	300	300	200	<100
Destylacja	IBP, °C	164	174	172
	T10, °C	182	196	196
	T50, °C	206	236	260
	T90, °C	242	313	344,5
	FBP, °C	320	348	368



Rys. 4. Emisja CO w fazie UDC, EUDC i całym teście NEDC w funkcji zawartości siarki w paliwie

Fig. 4. CO emission during UDC, EUDC and the whole NEDC as a function of diesel fuel sulphur content

sję CO na poziomie wyższą niż dla paliwa o najmniejszej zawartości siarki.

Wpływ siarki w paliwie na emisję CO ma miejsce przede wszystkim na drodze wpływu na sprawność reaktora katalitycznego. Wysoka emisja CO w fazie UDC wynika z jednej strony z pogorszonego przebiegu spalania w nierozgrzanym silniku, a z drugiej strony z braku działania reaktora. W fazie UDC, gdy reaktor katalityczny nie osiągnął jeszcze temperatury *light-off*, dopalanie CO w reaktorze praktycznie nie zachodzi, dlatego nie odnotowano tu wyraźnego wpływu siarki na poziom emisji CO.

W fazie EUDC silnik osiąga już stabilizację cieplną, co znacznie ogranicza formowanie CO w procesie spalania. Podobnie reaktor katalityczny jest już rozgrzany i CO jest tam utleniany z dużą sprawnością. Oba te fakty powodują, że emisja CO osiąga niski, względnie stały poziom. W tym momencie o emisji CO decyduje głównie sprawność reaktora katalitycznego, która zależy m.in. od zawartości siarki w paliwie. Seryjny reaktor zastosowany w samochodzie testowym, pomimo krótkiego czasu testu, wykazał dużą wrażliwość na zawartość siarki – różnica emisji CO w EUDC dla paliwa typu *sulphur-free* i paliw o pośredniej zawartości siarki wynosiła około 20-30%, a w przypadku paliwa o największej zawartości siarki (2000 ppm) dochodziła aż do około 50%.

Analizując emisję CO w całym teście NEDC widać wyraźnie, że wpływ siarki na emisję CO jest „zamaskowany” przez

properties of test fuels with different cetane numbers are given in Table 4. Fuel TF-2C represents typical Polish commercial diesel fuel.

3. Test results and discussion

3.1. Influence of sulphur content on emissions

The influence of the sulphur content in diesel fuel on the CO, HC, NO_x, PM and CO₂ emission in the NEDC test and its individual phases is presented in Figures 4, 5, 6, 7 and 8.

The CO emission in the NEDC test (Fig. 4), irrespective of the sulphur content in diesel fuel was kept at the similar level of 0.570 – 0.590 g/km. In the first phase of the NEDC test, i.e. UDC phase, any significant difference in the CO emission for the individual test fuels has not been noted neither. However, a distinct differentiation of the CO emission depending on the sulphur content in fuel in the second phase of the NEDC (i.e. EUDC phase) was noted. The smallest CO emission of 0.043 g/km was obtained for diesel fuel of a sulphur free type. In case of fuels of intermediate sulphur content (50 and 350 ppm) the CO emission was about 0.01 g/km higher. However, for fuel with the sulphur content of 2000 ppm the CO emission was in the region of 0.063g/km, i.e. nearly 50% higher than for the fuel with the smallest sulphur content.

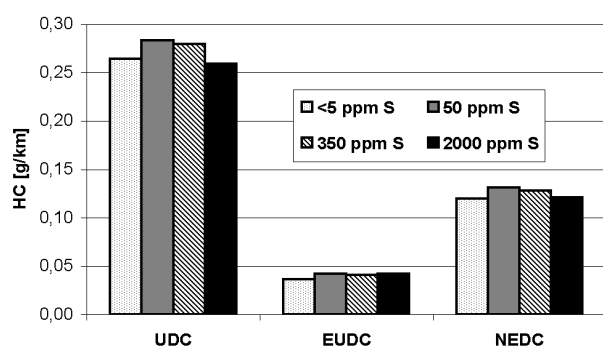
The influence of the sulphur content in fuel on CO emission is experienced mainly by its effect on the efficiency of the catalyst. On the one hand, the high CO emission results from the worse combustion characteristics of a cold engine, and on the other hand from the lack of the operation of the catalyst. In practice in the UDC phase, when the catalyst light-off temperature has not been reached yet, the oxidation of CO in the catalyst does not occur and therefore any significant effect of sulphur on the CO emission level is not recorded there.

In the EUDC phase the engine reaches its thermal stability that significantly limits the formation of CO in the combustion process. Similarly the catalyst is already warmed-up and the highly efficient oxidation of CO occurs there. Both these effects result in low and relatively steady level of the CO emission. At this moment the CO emission is mainly determined by the catalyst efficiency which depends, among others things, on the sulphur content in fuel. The serial catalyst of a test vehicle, despite the short time of the test, appeared to be very sensitive to the sulphur content – the difference in the CO emission in the EUDC phase for the sulphur free fuel and the fuels with the intermediate sulphur content was of about 20-30%, and in case of the fuel of the highest sulphur content (2000 ppm) reached up to about 50%.

When analysing the CO emission in the whole NEDC test one can see that the influence of sulphur on the CO emission is “masked” by the high CO emission in the first phase of the test, and the serious relative differences in the

jego wysoką emisję w pierwszej fazie testu, a duże różnice względne w drugiej fazie NEDC, charakteryzującej się niską emisją bezwzględną nie mają większego znaczenia.

W zakresie HC (rys. 5) trudno wskazać jednoznaczny wpływ siarki zawartej w paliwie na uzyskany poziom emisji. W fazie UDC różnice w emisji HC pomiędzy paliwami testowymi nie przekraczały kilku procent, ponadto najniższą emisję uzyskano dla paliwa o największej zawartości siarki. Świadczy to o braku lub niewielkim wpływie siarki w pierwszej fazie testu NEDC na emisję HC, podobnie jak w przypadku CO. Nieco większe różnice w emisji HC wystąpiły w fazie EUDC. Najniższą emisję uzyskano dla najniższej zawartości siarki, przy czym dla pozostałych paliw testowych emisja HC była wyższa o około 15% i utrzymywała się na praktycznie takim samym poziomie 0,041 – 0,042 g/km. Dla całego testu NEDC otrzymano zbliżone wyniki jak dla jego pierwszej fazy.



Rys. 5. Emisja HC w fazie UDC, EUDC i całym teście NEDC w funkcji zawartości siarki w paliwie

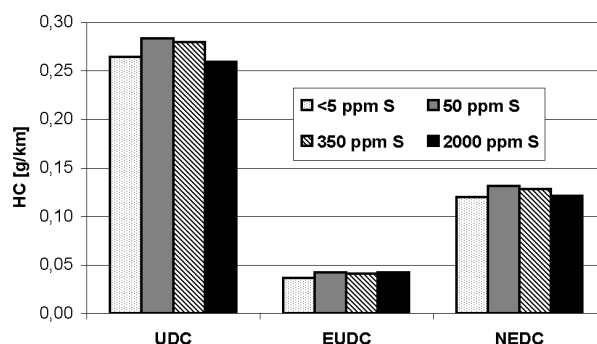
Fig. 5. HC emission during UDC, EUDC and the whole NEDC as a function of diesel fuel sulphur content

W zakresie HC, podobnie jak dla CO najbardziej wyraźny wpływ siarki miał miejsce w fazie EUDC, co należy tak jak poprzednio wytłumaczyć oddziaływaniem siarki na sprawność reaktora katalitycznego. Należy zwrócić uwagę na wyraźny inny charakter wpływu siarki na emisję HC niż w przypadku CO. Dla HC różnice w emisji między paliwami o skrajnej zawartości siarki są znacznie mniejsze, nie stwierdzono również wpływu na emisję przy zmianach zawartości siarki w zakresie 50 – 2000 ppm.

Na rysunku 6 przedstawiono wpływ zawartości siarki w oleju napędowym na emisję NO_x . Zarówno dla pierwszej, jak i dla drugiej fazy testu NEDC najniższą emisję uzyskano dla oleju napędowego o najniższej zawartości siarki. W ogólności emisja NO_x wzrastała ze wzrostem zawartości siarki. Różnice między skrajnymi wartościami emisji największe były w fazie EUDC i wynosiły około 10%, w fazie UDC i całym teście NEDC były około dwa razy mniejsze. Jakkolwiek w badaniach stwierdzono negatywny wpływ siarki na emisję NO_x , a także ewidentny wzrost tego wpływu w drugiej fazie NEDC, to jednak trudno jednoznacznie stwierdzić czego był on wynikiem. Pojazd testowy nie był wyposażony był w reaktor katalityczny redukujący NO_x . Być może zawartość siarki wpływała na emisję NO_x na drodze oddziaływania na pracę układu recyrkulacji spalin.

second phase of the NEDC test, due to low absolute CO emission during EUDC, are of little importance.

With regard to the HC emission (Fig. 5) it is difficult to indicate a clear-cut effect of the sulphur content in fuel on the noted emission levels. In the UDC phase the differences in the HC emission from test fuels have not exceeded the values of a few percent, and moreover, the lowest emission was obtained from the fuel with the highest sulphur content. It gives evidence of a lack or a small influence of sulphur on the emission levels in the first phase of the NEDC test, as in case of CO. Slightly higher differences for HC emission were recorded in the EUDC phase. The lowest emission was recorded for the lowest sulphur content, however, for other fuels the HC emission was higher (by about 15%), and in practice it was kept at the level of 0.041 – 0.042 g/km. In the whole NEDC test the obtained results were close to the ones obtained in its first phase.



Rys. 6. Emisja NO_x w fazie UDC, EUDC i całym teście NEDC w funkcji zawartości siarki w paliwie

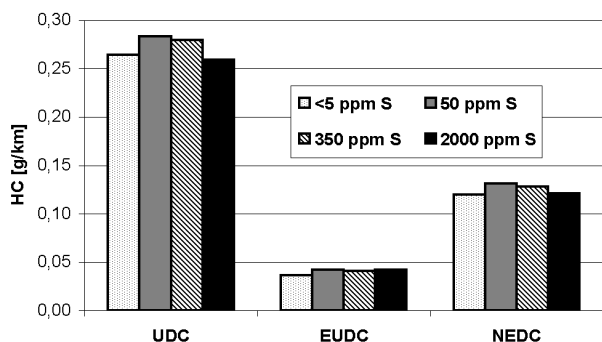
Fig. 6. NO_x emission during UDC, EUDC and the whole NEDC as a function of diesel fuel sulphur content

In the case of the HC emission, as is the case for CO emission, the most evident effect of sulphur occurred in the EUDC phase, which is explained in the same way as above by the influence of sulphur on the catalyst efficiency. However, one should note the nature of the sulphur influence on the HC emission is different than in the case of CO. For HC the differences of emission for fuels with the extreme sulphur content are much lower and also there is no influence on the emissions in case of sulphur content changes in the range of 50 – 2000 ppm.

The influence of the sulphur content in diesel fuel on NO_x emission is presented in Figure 6. Both in the first phase and in the second phase of the NEDC test the lowest emission was recorded for a fuel with the lowest sulphur content. In general, the NO_x emission intensified as the sulphur content increased. The differences in emission for the fuels with the extreme values of sulphur content were most significant in the EUDC phase and of about 10% value. In the UDC phase and in the whole NEDC they were smaller by factor 2.

Although the results of the tests proved the negative effect of sulphur on the NO_x emissions, and the evident increase of this effect in the second phase of the NEDC as well, it is difficult to state definitely the principle causes. The

Dla całego testu NEDC największa emisja PM miała miejsce przy zastosowaniu paliwa o największej zawartości siarki (rys. 7). Dla pozostałych paliw emisja cząstek stałych osiągnęła zbliżone wartości, o około 20% mniejsze niż dla oleju napędowego o zawartości 2000 ppm siarki. Dla paliw o zawartości siarki 350 i 50 ppm uzyskano identyczne wartości emisji PM, wyższe jedynie o około 4% od uzyskanych przy paliwie typu *sulphur-free*.



Rys. 7. Emisja PM w fazie UDC, EUDC i całym teście NEDC w funkcji zawartości siarki w paliwie

Fig. 7. PM emission during UDC, EUDC and the whole NEDC as a function of diesel fuel sulphur content

Analizując emisję PM w teście UDC, który stanowi pierwszą część NEDC, zauważono, że różnice w emisji pomiędzy paliwami o skrajnej zawartości siarki są niższe niż dla całego NEDC. Jest to zapewne wynikiem niskiej temperatury spalin i reaktora katalitycznego, związanych z zimnym rozruchem i niskimi obciążeniami silnika w tej fazie testu jezdny. Warunki te nie sprzyjają tworzeniu siarczanów w złożu katalitycznym, co powoduje ograniczenie wpływu zawartej w paliwie siarki na ogólny poziom emisji cząstek stałych.

W drugiej części testu NEDC, a więc w EUDC uzyskano liniową zależność emisji PM i zawartości siarki w paliwie. Należy sądzić, iż zdecydowała o tym wyższa niż w UDC temperatura spalin i reaktora katalitycznego (gorący start, wyższe obciążenie) i w rezultacie większa intensywność formowania siarczanów.

Wpływ zawartości siarki na emisję CO₂ przedstawiono na rysunku 8. Widać wyraźnie, że emisja CO₂ przyjmuje w poszczególnych fazach testu stałą wartość, niezależnie od zawartości siarki w paliwie.

3.2. Wpływ liczby cetanowej na emisję

Wpływ liczby cetanowej oleju napędowego na emisję CO, HC, NO_x i PM przedstawiono na rysunkach 9, 10, 11, 12 i 13.

Wpływ zwiększenia liczby cetanowej oleju napędowego na emisję CO jest jednoznacznie korzystny (rys. 9). W pierwszej fazie NEDC wyraźna redukcja emisji CO rozpoczęła się powyżej liczby cetanowej LC=50, różnica emisji między paliwami o skrajnych wartościach LC wyniosła 0,522 g/km, czyli około 26%. Redukcja emisji CO w fazie UDC jest szczególnie korzystna, gdyż ze względu na niedogrzanie silnika trudno jest w tej fazie ograniczać emisję za pomocą reaktora katalitycznego, obniżenie emisji CO, szczególnie na początku UDC możliwe jest w zasadzie jedynie na drodze zmniejszenia in-

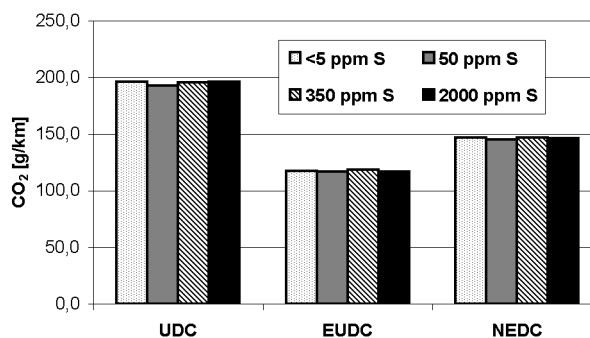
test vehicle was not equipped with a NO_x reduction catalyst. It was possible that the sulphur content influence on the NO_x emissions was connected with the operation of the exhaust gas recirculation system.

The highest PM emission during whole NEDC (Fig. 7) was obtained at the highest sulphur content in diesel fuel. For other fuels the PM emissions were of a similar value and about 20% lower than for the case with 2000 ppm sulphur content. For fuels with the 350 and 50 ppm sulphur content the same PM emission levels were recorded which were higher by only less than 4% than for diesel fuel of a sulphur-free type.

When analysing the PM emissions during the UDC, which constitutes the first part of the NEDC test, it should be stated that the PM emission differences obtained here for the fuels with the extreme values of sulphur content are lower than for the complete NEDC test. It is probably due to a low temperature of the catalyst and exhaust gas in this test, resulting from the cold start and small engine loads. It follows that the formation of the sulphates occurs with reduced intensity and effects the total PM emission level to a smaller extent.

In the second part of the NEDC test, namely during the EUDC, the linear relation between the PM emission and the sulphur content in fuel was obtained. It should be concluded that the exhaust gas and catalyst temperatures were higher (hot start, higher load) than during the UDC phase and as a result the increased formation of the sulphates were decisive.

The influence of the sulphur content on the CO₂ emission is presented in Figure 8. It can be clearly seen that the CO₂ emission for individual test phases is constant, regardless of the fuel sulphur content.



Rys. 8. Emisja CO₂ w fazie UDC, EUDC i całym teście NEDC w funkcji zawartości siarki w paliwie

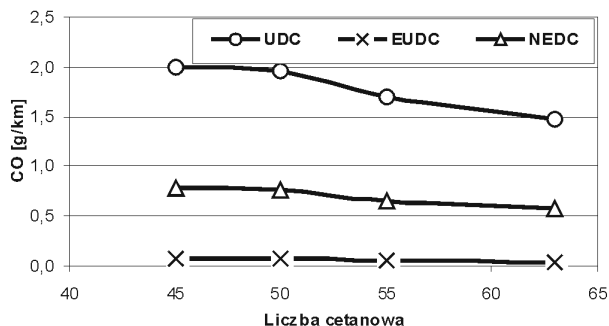
Fig. 8. CO₂ emission during UDC, EUDC and the whole NEDC as a function of diesel fuel sulphur content

3.2. Influence of cetane number on emissions

The influence of the cetane number (CN) of diesel fuel on the CO, HC, NO_x and PM emission is presented in Figures 9, 10, 11, 12 and 13.

The effect of the increasing of the cetane number of diesel fuel on the CO emission is definitely advantageous (Fig. 9). In the first phase of the NEDC the significant reduction of the CO emission started above the cetane number of 50; the

tensywności jego formowania w procesie roboczym silnika. W fazie EUDC wpływ LC na emisję CO był w przybliżeniu liniowy, względna różnica emisji między paliwami o LC=45 i LC=63 była jeszcze większa niż w UDC i wynosiła około 41%. Świadczy to o mniejszej ilości CO tworzonego podczas spalania paliwa o wyższej LC.

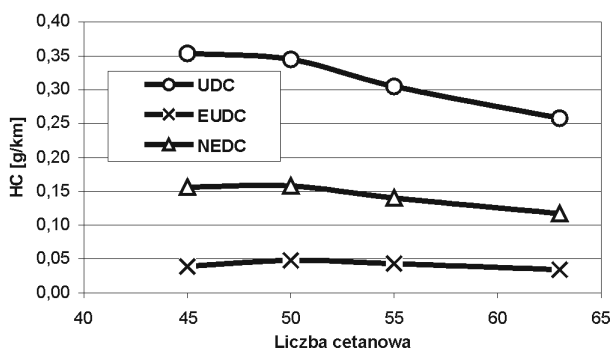


Rys. 9. Emisja CO w fazie UDC, EUDC i całym teście NEDC w funkcji liczby cetanowej paliwa

Fig. 9. CO emission during UDC, EUDC and the whole NEDC as a function of cetane number of diesel fuel

Przebieg krzywej emisji HC w fazie UDC w funkcji liczby cetanowej paliwa (rys. 10) wykazuje duże podobieństwo do omawianego wyżej przebiegu krzywej emisji CO. Tu również wyraźna redukcja emisji występuje powyżej LC=50. Wyraźnie inny jest natomiast przebieg krzywej emisji HC w fazie EUDC. Jakkolwiek najniższą wartość emisji HC uzyskano dla najwyższej liczby cetanowej, to najwyższą emisję otrzymano dla paliw o pośredniej wartości tego parametru (LC=50 i 55). W całym teście NEDC najwyższą emisję HC otrzymano dla LC=50, zwiększając LC do 63 uzyskano redukcję HC o 25%.

Wpływ liczby cetanowej oleju napędowego na emisję NO_x przedstawiono na rysunku 11. W fazie UDC, w zakresie LC od 45 do 55 emisja NO_x zmniejsza się nieznacznie ze wzrostem LC. Zwiększenie LC do z 55 do 63 powoduje już wyraźne (o 6%) obniżenie emisji NO_x . W fazie EUDC zwiększenie LC z 45 do 50 i 55 powoduje niewielki (2%) wzrost emisji NO_x , dalszy wzrost LC do 63 nie wpływa już na emisję NO_x . W całym teście NEDC najniższą emisję NO_x uzyskano dla paliwa o liczbie cetanowej 63; przy pozostałych paliwach emisja NO_x była o 3-4% wyższa i przyjmowała zbliżone wartości.



Rys. 10. Emisja HC w fazie UDC, EUDC i całym teście NEDC w funkcji liczby cetanowej paliwa

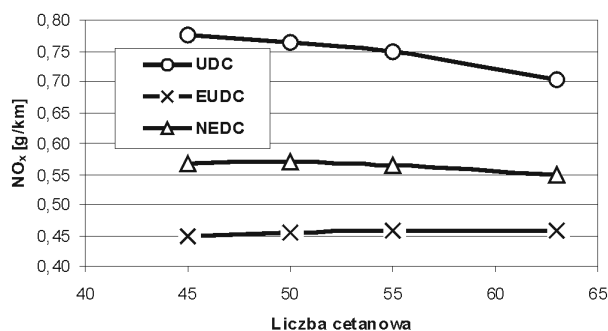
Fig. 10. HC emission during UDC, EUDC and the whole NEDC as a function of cetane number of diesel fuel

difference of the emission for fuels with the extreme values of cetane number was 0.522 g/km, i.e. about 26%. The reduction of the CO emission in the UDC phase is of a special advantage, since due to the cold engine in this phase it is difficult to decrease the CO emission by use of the catalyst; the reduction of the CO emission, especially at the very beginning of the UDC phase, is possible to be achieved only by reducing the intensity of CO formation in the engine working cycle. In the EUDC phase the influence of the cetane number on the CO emission was nearly linear, the relative emission difference for fuels with cetane numbers of 45 and 63 was even higher than in UDC and was of about 41%. It gives evidence of the smaller amount of CO being formed during the combustion of fuel with the higher cetane number.

The characteristics of the HC emission in the UDC phase as a function of the cetane number of fuel (Fig. 10) shows great similarity to the characteristics of the CO emission discussed above. The significant reduction of the emission is also seen here above the CN = 50, whereas the characteristics of the HC emission in the EUDC phase is quite different. Despite the lowest HC emission value which was recorded for the highest cetane number, the highest emission was obtained for fuels with the intermediate value of this parameter (CN = 50 and 55). The highest HC emission in the whole NEDC test was obtained for CN = 50, when increasing CN up to 63 the HC reduction by 25% was obtained.

The influence of the cetane number of diesel fuel on the NO_x emission is presented in Figure 11. In the UDC phase for the CN range from 45 to 55, the NO_x emission slightly decreases as CN increases. The increase of CN from 55 to 63 results in the quite substantial (by 6%) reduction of the NO_x emission. In the EUDC phase the increase of CN from 45 to 50 and 55 results in a slight (by 2%) increase of the NO_x emission; the further increase of CN up to 63 no longer influences on the NO_x emission. In the whole NEDC test the lowest NO_x emission was obtained for the fuel with CN = 63, for other fuels the NO_x emission was by 3-4% higher and the recorded values were similar.

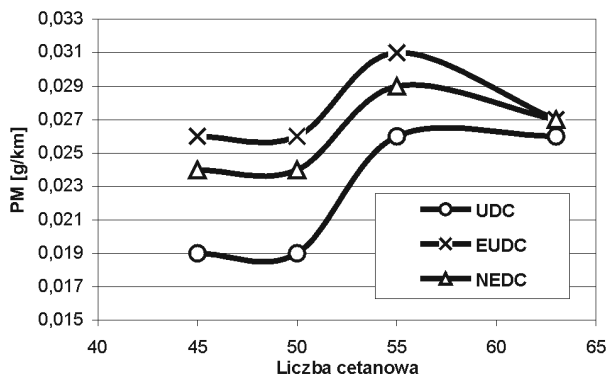
The influence of the cetane number on the PM emission is presented in Figure 12. In the UDC and EUDC identical PM emission values were recorded for fuels with CN = 45 and 50. In case of those fuels the PM emission was lower



Rys. 11. Emisja NO_x w fazie UDC, EUDC i całym teście NEDC w funkcji liczby cetanowej paliwa

Fig. 11. NO_x emission during UDC, EUDC and the whole NEDC as a function of cetane number of diesel fuel

Wpływ liczby cetanowej oleju napędowego na emisję PM przedstawiono na rysunku 12. W fazie UDC i EUDC uzyskano jednakowe wartości emisji PM dla paliw o LC = 45 i 50. Emisja PM dla tych paliw była niższa niż dla paliw o wyższych LC (55 i 63), szczególnie w fazie UDC, gdzie różnica wynosiła około 25%. W fazie EUDC (a także w całym NEDC), wyraźnie najwyższą emisję PM uzyskano dla paliwa o LC = 55, dla pozostałych paliw zarówno o wyższej, jak i niższej LC, emisja PM była o około 15% mniejsza.



Rys. 12. Emisja PM w fazie UDC, EUDC i całym teście NEDC w funkcji liczby cetanowej paliwa

Fig. 12. PM emission during UDC, EUDC and whole NEDC as a function of cetane number of diesel fuel

Wpływ zawartości siarki na emisję CO₂ przedstawiono na rysunku 13. Nie stwierdzono większych różnic w emisji dla paliw o różnej zdolności do samozapłonu. Nieznacznie niższa emisja CO₂ dla paliw o niższych liczbach cetanowych powiązana jest z większą emisją CO i HC.

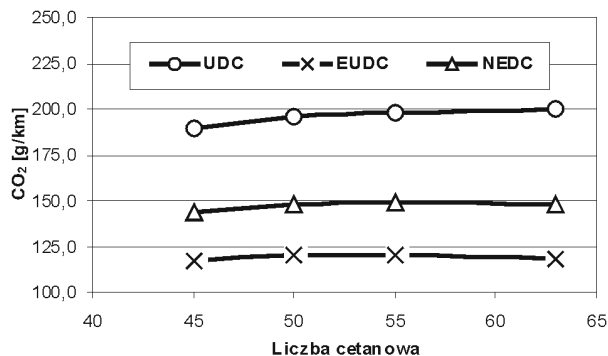
4. Wnioski

Wyniki badań przeprowadzonych na samochodzie napędzanym przez silnik o zapłonie samoczynnym potwierdziły duży wpływ zawartości siarki w paliwie na poziom emisji PM. Biorąc pod uwagę cały NEDC, obniżenie zawartości siarki w oleju napędowym miało największy wpływ na redukcję emisji PM, w mniejszym stopniu wpływało również na obniżenie emisji NO_x. Dla emisji CO i HC w całym NEDC nie zanotowano wyraźnej korelacji z zawartością siarki w paliwie, emisja CO i HC utrzymywała się na zbliżonym poziomie niezależnie od ilości siarki.

Analiza wyników uzyskanych w obu częściach testu NEDC wskazuje na to, że wpływ zawartości siarki w oleju napędowym na emisję PM w spalinach uwidacznia się bardziej w drugiej części testu – fazie EUDC. Zagadnienie to wiąże się z osiągnięciem nominalnej temperatury pracy reaktora katalitycznego oraz z występowaniem większego obciążenia silnika w tej fazie testu toksyczności.

W fazie EUDC zanotowano silny wpływ zawartości siarki na emisję CO, różnica emisji CO między paliwami o skrajnej zawartości siarki (<5 i 2000 ppm) wyniosła blisko 50%. W fazie tej CO jest skutecznie dopalany przez reaktor katalityczny, znaczne różnice jego emisji świadczą o dużym negatywnym wpływie siarki na zdolność reaktora do utleniania CO (zwłaszcza biorąc pod uwagę krótki czas oddziaływania paliwa na reaktor katalityczny). Różnice w emisji CO dla paliw o

than for fuels with higher cetane numbers (CN = 55 and 63), especially in the phase UDC where the difference was of about 25%. In the EUDC phase (and also in the whole NEDC test) definitely the highest PM emission was obtained for fuel with the CN = 55, whereas for other fuels of both higher and lower cetane numbers the PM emission was by about 15% lower.



Rys. 13. Emisja CO₂ w fazie UDC, EUDC i całym teście NEDC w funkcji liczby cetanowej paliwa

Fig. 13. CO₂ emission during UDC, EUDC and whole NEDC as a function of cetane number of diesel fuel

The influence of the cetane number on the CO₂ emission is presented in Figure 13. No significant differences for various ignition qualities were detected. Slightly lower CO₂ emission for low-cetane fuels is connected with higher emissions of CO and HC.

4. Conclusions

The results from the diesel vehicle confirmed the fuel sulphur significant effect on PM emissions. Considering the NEDC test as a whole it should be noted that the lowering of the sulphur content in diesel fuel was of the greatest influence on the reduction of the PM emission, and to smaller extent resulted in the reduction of the NO_x emission. No serious correlation between the sulphur content in diesel fuel and the CO and HC emission in the whole NEDC test was found; the CO and HC emission was kept at the similar level irrespective of the sulphur content.

When considering the two phases of the NEDC test the second phase – the EUDC – is more sensitive to the diesel fuel sulphur content. Within the EUDC test the catalyst reaches its nominal work temperature and the engine loads are higher. In the EUDC phase for all toxic substances (CO, HC, NO_x and PM) the highest emission was obtained in case of the fuel with the highest sulphur content.

In the EUDC phase a significant influence of the sulphur content on the CO emission was recorded; for fuels with the extreme values of sulphur content (<5 and 2000 ppm) CO emission difference of nearly 50% was recorded. In this phase CO is efficiently combusted in the catalyst; the significant differences of its emission prove the high disadvantageous influence of the sulphur content on the CO oxidizing ability of the catalyst (especially when considering the fact that fuel affected the catalyst for short time only). The above mentioned differences of the CO emission do not apply to

różnej zawartości siarki w fazie EUDC nie przekładają się na cały test NEDC, ponieważ o emisji w NEDC decyduje faza UDC, podczas której emisja CO przyjmuje wartości około 30 razy wyższe niż podczas EUDC.

Szczególnie cenne jest, że uzyskanej przez zmniejszenie zawartości siarki redukcji emisji toksycznych składników spalin nie towarzyszy wzrost zużycia paliwa lub emisji innych związków toksycznych.

Zwiększenie zdolności paliwa do samozapłonu (liczby cetanowej) miało największy wpływ na redukcję emisji CO. Dotyczy to zarówno fazy UDC, jak i EUDC, co świadczy o mniejszej intensywności formowania CO w komorze spalania przy wyższej liczbie cetanowej paliwa. Redukcja emisji CO była szczególnie wysoka przy liczbie cetanowej powyżej 50.

Podobny charakter przebiegu do emisji CO w funkcji liczby cetanowej miała emisja HC. Dla całego testu NEDC różnice emisji dla paliw o skrajnej LC (45 i 63) wynosiły odpowiednio: dla CO – 27%, dla HC – 25%. Szczególnie cenne jest zmniejszenie emisji CO i HC w fazie UDC, gdy ze względu na niską temperaturę reaktora katalitycznego, CO i HC nie są już w zasadzie dopalane po opuszczeniu silnika.

Korzystny wpływ wyższej LC na emisję NO_x przejawiał się jedynie w fazie UDC. W fazie EUDC emisja NO_x była prawie jednakowa dla wszystkich paliw. Dla całego NEDC najniższą emisję NO_x uzyskano dla paliwa o LC=63, dla pozostałych była ona o 3-4% wyższa.

W badaniach nie stwierdzono prostej korelacji między liczbą cetanową paliwa a emisją PM.

Zarówno zawartość siarki jak i liczba cetanowa miały niewielki wpływ na poziom emisji CO₂.

the whole NEDC test, because during the UDC phase the average CO emission is more than 30 times higher than the one of the EUDC phase, which determines the total emission in whole NEDC test.

The fact that the reduction of the emissions by the reduction of the diesel fuel sulphur content is not accompanied by an increase of other regulated emission components and fuel consumption is of great importance.

The increase of the self-ignition ability of fuel (increasing the cetane number) was of the greatest influence on the reduction of the CO emission. It applies both to the UDC phase and to the EUDC one, and proves that the intensity of the CO formation in the combustion chamber is smaller at the higher cetane number of fuel. The reduction of the CO emission was especially significant at the cetane number values above 50.

The characteristics of the HC emission as a function of the cetane number was similar to the one of the CO emission. In the whole NEDC test the differences of the emission from the fuels with the cetane number extreme values (CN = 45 and 63) were of 27% and 25% for CO and HC respectively. The reduction of the CO and HC emission in the UDC phase is of special importance, as in fact CO and HC are not any longer combusted after leaving the engine due to a low temperature of the catalyst.

The advantageous effect of higher CN values on the NO_x emission occurred only in the UDC phase. In the EUDC the NO_x emission was almost identical for all fuels. For the whole NEDC test the lowest NO_x emission was recorded for the fuel with CN=63; for other fuels the NO_x emission was higher by 3-4%.

No direct correlation between the cetane number values and the PM emission was found.

Fuel sulphur content as well as cetane number had less influence on CO₂ emission level.

Artykuł recenzowany

Literatura/Bibliography

- [1] ACEA data of the sulphur effect on advanced emission control technologies. Report July 2000.
- [2] Bielaczyc P., Merkisz J., Kozak M.: Analysis of the Influence of Fuel Sulphur Content on Diesel Engine Particulate Emissions. SAE Paper 2002-01-2219.
- [3] Clark W., Sverdrup G.M., Goguen S.J., Keller G., McKinnon D., Quinn M., Graves R.L.: Overview of Diesel Emission Control-Sulphur Effects Program. SAE Paper 2000-01-1879.
- [4] Diesel Emission Control – Sulphur Effects (DECSE) Program. Final Report: Diesel Oxidation Catalysts and Lean-NO_x Catalysts, June 2001.
- [5] Diesel Emission Control – Sulphur Effects (DECSE) Program. Phase I Interim Data Report No. 3: Diesel Fuel Sulphur Effects on Particulate Matter Emissions, November 1999.
- [6] Directive 2003/17/EC of the European Parliament and of the Council of 3 March 2003 amending Directive 98/70/EC relating to quality of petrol and diesel fuels.
- [7] Gerini A., Montagne X.: Automotive Direct-Injection Diesel Engine Sensitivity to Diesel Fuel Characteristics. SAE Paper 972963.
- [8] Grebe U.D., Imarisio R.: Gasoline or Diesel Engine – the Race Is On. FISITA 2004 World Automotive Congress, Barcelona, 23-27.05.2004, F2004V097.
- [9] Hara H., Itoh Y., Henein N., Bryzik W.: Effect of Cetane Number with and without Additive on Cold Startability and White Smoke Emissions in a Diesel Engine. SAE Paper 1999-01-1476.
- [10] Honkanen M. i in.: The Performance of Reformulated Diesel Fuels in a DI Passenger Car. FISITA World Automotive Congress, Helsinki 2002. F02E213.
- [11] http://www.acea.be/ACEA/auto_data.html.
- [12] <http://www.chevron.com/prodserv/fuels/bulletin/diesel>.
- [13] Influence of the sulphur content in fuel on the fuel consumption and pollutant emissions of vehicle with gasoline and diesel engines. FEV Report, 02.11.1999.
- [14] Ingram G., Surnilla G.: On-line Estimation of Sulfation Levels in a Lean NO_x Trap. SAE Paper 2002-01-0731.
- [15] Kenney T.E. i in.: Overall Results: Phase I Ad Hoc Diesel Fuel Test Program. SAE Paper 2001-01-0151.
- [16] Kozak M.: Wpływ wybranych parametrów paliwa na emisję toksycznych składników spalin z silników o zapłonie samoczynnym. Praca doktorska, Politechnika Poznańska, 2003.

- [17] Koenig A.: Fuel Effect on Low Emission Concept. 2nd International Colloquium FUELS 1999, Technische Akademie Esslingen 20-21. 01. 1999.
- [18] Kwon Y., Mann N., Rickeard D.J., Haugland R.: Fuel effect on Diesel Emissions – A New Understanding. SAE Paper 2001-01-3522.
- [19] Lange W.W. i in.: Influence of Fuel Properties on Exhaust Emissions from Advanced Heavy-Duty Engines Considering the Effect of Natural and Additive Enhanced Cetane Number. SAE Paper 972894.
- [20] Li X., Chippior W., Gulder O.: Effects of Cetane Enhancing Additives and Ignition Quality on Diesel Exhaust Emissions. SAE Paper 972968.
- [21] Li X., Chippior W., Gulder O.: Effects of Fuel Properties on Exhaust Emissions of a Single Cylinder DI Diesel Engine. SAE Paper 962116.
- [22] McKinnon D.: The impact of Sulfur in Diesel Fuel on Catalyst Emission Control Technology. Manufactures of Emission Controls Association, 1999.
- [23] Merkisz J., Kozak M.: The Influence of Fuel Sulphur Content on Diesel Engine Particulate Emissions and Composition. EAEC Congress, Bratislava 18-29.06.2001, SAITS 01148.
- [24] Ogawa T. i in.: Fuel Effect on Particulate Emissions from DI Engine – Relationships among Diesel Fuel, Exhaust Gas and Particulates. SAE Paper 971605.
- [25] Oyama K., Kakegawa T.: Japan Clean Air Program – Step 1 Study of Diesel Vehicle and Fuel Influence on Emissions. SAE Paper 2000-01-1973.
- [26] Rickeard D.J., Bonetto R., Singer M.: European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technology (EPEFE) – Comparison of Light and Heavy Duty Diesel Studies. SAE Paper 961075.
- [27] Sher E.: Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines; Pollutant Formation and Control. Academic Press, San Diego USA, 1998.
- [28] Shouxian R.: Diesel Fuel Sulfur Effects on the Performance of Lean NO_x Catalysts. 6th Diesel Engine Emissions Reduction Workshop, San Diego (USA), 20-24.08.2000.
- [29] Shuzo N.: Status of Fuels and Lubricants for Diesel Engines in Japan. Japan Clear Air Program, Joint Meeting APBF-DEC, CAFE, JCAP, October 9-10, 2002.
- [30] Singal S.K., Singh I.P., Pandey D.C., Runda M.K., Semwal P.B., Gandhi K.K.: Fuel Quality Requirements for Reduction of Diesel Emissions. SAE Paper 1999-01-3592.
- [31] Szymkowiec P.G., French D.T., Crellin C.C.: Effects of Advanced Fuels on the Particulate and NO_x Emissions from an Optimized Light-Duty CIDI Engine. SAE Paper 2001-01-0148.
- [32] Tamanouchi M. and others: Effect of Fuel Properties on Exhaust Emissions for Diesel Engines with and without Oxidation Catalyst and High Pressure Injection. SAE Paper 970758.
- [33] Terry L., Ullman T. L., Spreen K.B., Mason R.L.: Effects of Cetane Number on Emissions From a Prototype 1998 Heavy-Duty Diesel Engine. SAE Paper 950251.
- [34] Terry L., Ullman T. L., Spreen K.B., Mason R.L.: Effects of Cetane Number, Aromatics and Oxygenates on Emissions from a 1994 Heavy-Duty Diesel Engine With Exhaust Catalyst. SAE Paper 950250.
- [35] Truex T.J.: Interaction of Sulfur with Automotive Catalysts and the Impact on Vehicle Emission – A Review. SAE Paper 1999-01-1543.
- [36] US Federal Register Vol. 66, No. 12. January 18, 2001.
- [37] Walsh M.: Global Trends in Motor Vehicle Pollution Control – a 2004 Update. FISITA 2004 World Automotive Congress, Barcelona, 23-27.05.2004. F2004V023.
- [38] Worldwide Fuel Charter, December 2002.
- [39] YoungKee Y., SeokJae K., GwonKoo Y., TaeHun Y., HyunSik H.: A development of Diesel Oxidation Catalyst and the Evaluation of its Performance Characteristic. FISITA World Automotive Congress, Seoul 2000. F2000H179.

Skróty i oznaczenia/Nomenclature

CO	carbon oxide – tlenek węgla
CO ₂	carbon dioxide – dwutlenek węgla
CN	cetane number – liczba cetanowa
CVS	constant volume sampler – układ rozcieńczający spaliny powietrzem o stałym natężeniu przepływu
DI	direct injection – bezpośredni wtrysk paliwa
E250 (E350)	percentage v/v of a fuel distilled at 250°C (350°C) – ilość paliwa w % (v/v) oddestylowująca do temperatury odpowiednio 250°C (350°C)
EGR	exhaust gas recirculation – recyrkulacja spalin
EUDC	Extra Urban Driving Cycle – pozamiejski europejski test jezdny (druga część testu NEDC)
FBP	final boiling point – temperatura końca destylacji paliwa
HC	hydrocarbons – węglowodory
IBP	initial boiling point – temperatura początku destylacji paliwa
LEV	low emission vehicles – pojazdy o niskiej emisji
LC	liczba cetanowa

NEDC	New European Driving Cycle – nowy europejski cykl jezdny – zmodyfikowany cykl ECE R83 z natychmiastowym poborem spalin
NO _x	nitrogen oxides – tlenki azotu
PM	particulate matter – cząstki stałe
T50 (T90)	temperature at which 50 (90) % v/v of the fuel distills – temperatura oddestylowania 50 (90)% (v/v) paliwa
UDC	Urban Driving Cycle – miejski europejski cykl jezdny (pierwsza część testu NEDC)
ULEV	ultra low emission vehicles – pojazdy o bardzo niskiej emisji

* Dr inż. Miłosław Kozak – adiunkt na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

Mr Miłosław Kozak Ph.D., M.E. – Doctor in the Faculty of Working Machines and Transportation at Poznań University of Technology.



** Prof. dr hab. inż. Jerzy Merkisz – profesor na Wydziale Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej.

Prof. Jerzy Merkisz D.Sc., Ph.D., M.E. – Professor in the Faculty of Working Machines and Transportation at Poznań University of Technology.



*** Dr inż. Piotr Bielaczyc – kierownik Zakładu Badań Silników w OBR SM BOSMAL w Bielsku-Białej.

Mr Piotr Bielaczyc, Ph.D., M.E. – Head of Engine Research Department at the BOSMAL Automotive Research & Development Centre in Bielsko-Biala.

