

WŁAŚCIWOŚCI OLEJU NAPĘDOWEGO A TOKSYCZNOŚĆ SPALIN W SILNIKACH Z ZAPŁONEM SAMOCZYNNYM (ZS)

Cezary Bocheński, Marek Klimkiewicz

Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Wstęp

Zagrożenia środowiska naturalnego spowodowały wprowadzenie coraz ostrzejszych przepisów, ograniczających emisję poszczególnych związków toksycznych zawartych w spalinach silnika. W tabeli 1 przedstawiono dopuszczalne wartości związków toksycznych w spalinach, zawartych w kolejnych aktach prawnych, zmuszających producentów do szukania nowych sposobów obniżenia toksyczności.

Tabela 1; Table 1

Dopuszczalna zawartość toksycznych składników spalin dla samochodów osobowych:

1 – dla samochodów z silnikami o ZI; 2 – dla samochodów z silnikami o ZS

Admissible content of toxic components of exhaust gases in motor-cars:

1 – cars with diesel engines ; 2 – cars with petrol engines

Emisja Emission (g·km ⁻¹)	Euro I od 01/1993 Euro I from 02/1993	Euro II od 01/1997 Euro II from 01/1997	Euro III od 01/2000 Euro III from 01/2000	Euro IV planowa- ne od 01/2005 Euro IV planned from 01/2005
CO 1	3,16	2,2	2,3	1
CO 2	3,16	1	0,64	0,5
HC i NO _x 1	1,13	0,5	0	0
HC i NO _x 2	1,13	0,7	0,56	0,3
Sadza 1; Soot 1	0	0	0	0
Sadza 2; Soot 2	0,18	0,08	0,05	0,025
HC 1			0,2	0,1
HC 2			0	0
NO _x 1			0,15	0,08
NO _x 2			0,5	0,25

Nowym oryginalnym kierunkiem w dziedzinie ochrony środowiska naturalnego, jest zmniejszenie poziomu toksyczności przez dobór właściwości paliwa. Dobór określonych cech oleju napędowego powoduje równoczesną zmianę innych właściwości, jak lepkość, smarność, napięcie powierzchniowe, liczba cetanowa czy skład frakcyjny. Zmiany te mają wpływ na przebieg podstawowych pro-

cesów fizykochemicznych zachodzących w silniku. Znaczenie tych zmian może być większe przy wysokociśnieniowym wtrysku paliwa stosowanym powszechnie w najnowszych konstrukcjach silników. W czasie spalania przebiegają bardzo złożone, szybkozmienne procesy fizykochemiczne wzajemnie na siebie oddziaływujące. Potwierdzają to badania eksploatacyjne wykonane na różnych silnikach, gdzie obserwuje się różny wpływ tego samego paliwa, na zawartość poszczególnych związków toksycznych w zależności od cech i parametrów silnika, co przedstawia tabela 2.

Tabela 2; Table 2

Wpływ wybranych właściwości paliwa na intensywność wydzielania poszczególnych związków toksycznych

The effect of select properties of fuel on the intensity of toxic compound emission

Właściwości paliwa Fuel properties	Związki toksyczne spalin Toxic compounds of exhaust gases					Zalety i wady Advantages and disadvantages
	CO	HC	NO _x	PM	SO ₂	
Obniżenie zawartości siarki S Decrease of the sulphur content				↓	↓	- wzrost kosztów wytwarzania increase of production costs - gorsze właściwości smarne poover lubricating
Obniżenie gęstości 855→830 Decrease of density 855→830 (kg·m ⁻³)	↕	↕	-	↓	-	- wzrost kosztów wytwarzania increase of production costs - zmniejszenie LC LC decrease - zwiększone zużycie paliwa increase of fuel consumption
Obniżenie zawartości poliaromatów 8 do 1% Decrease of the content of avenes from 8 to 1%	↕	↕	↓	↓	-	- zmniejszenie smarności decrease of lubrication - wzrost kosztów wytwarzania increase of production costs
Wzrost LC; LC increase 50→58	↓	↓	↓	↑	-	- wzrost kosztów wytwarzania przy hydrokrakingu increase of production costs with hydrocracking
	(dodatki; additives)		(hydrokraking; hydrocracking)			
Obniżenie temperatury końca odparowania; Decrease of tem- perature at the end of evapo- ration 370→325°C	↕	↓	↕	↓	-	- zmniejszenie LC LC decrease - zmniejszenie gęstości thickness decrease

Szereg zależności, pomiędzy właściwościami paliwa a toksycznością spalin w silniku, jest trudnych do określenia. Zmniejszenie zawartości siarki powoduje zmniejszenie ilości tlenków siarki i cząstek stałych, zmniejszając jednocześnie smarność paliwa oraz trwałość elementów układu paliwowego [BOCHENSKI i in. 2000]. Na proces rozpylenia paliwa i tworzenia mieszaniny paliwowo-powietrznej ma wpływ lepkość i napięcie powierzchniowe, których zmianę w procesie produkcji dopuszcza się w szerokim zakresie. Zmianę lepkości dla oleju napędowego lekkiego dopuszcza się w przedziale 2,0–4,5 mm²·s⁻¹. Lepkość ma wpływ na zasięg i charakterystykę strugi paliwa. Liczba cetanowa zależy od zawartości poszczególnych węglowodorów (głównie parafin), od których zależy szereg innych właściwości oleju napędowego. Wpływ zatem zmiany poszczególnych właściwości paliwa

na toksyczność spalin należy rozważać kompleksowo z uwzględnieniem wzajemnych związków między cechami paliwa i parametrami termodynamicznymi. Badania wpływu właściwości paliw na toksyczność spalin skłaniają do obniżenia do kilkunastu $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ zawartości siarki i węglowodorów aromatycznych, zmiany składu frakcyjnego, obniżenia temperatury końca destylacji oraz zwiększenia liczby cetanowej. W efekcie badań sformułowano pewne zależności między zawartością niektórych składników paliw a wielkością emisji poszczególnych związków toksycznych, przedstawione w postaci złożonych formuł.

Dla silników wysokoobciążonych:

$$CO(\text{g/kWh}) = 2,24407 - 0,0011DEN + 0,00007 POLY - 0,00768CN - 0,00087T95$$

$$HC(\text{g/kWh}) = 1,61466 - 0,00123DEM + 0,00133POLY - 0,00181CN - 0,00068T95$$

$$NO_x(\text{g/kWg}) = 1,75444 + 0,00906DEN + 0,0163POLY - 0,00493CN + 0,00266T95$$

$$PM(\text{g/kWg}) = (0,06959 + 0,00006DEN + 0,00065POLY - 0,00001CN) \times [1 - 0,000086(450 - S)]$$

gdzie:

CO – tlenek węgla; carbon monoxide

HC – węglowodory; hydrocarbons

NO_x – tlenki azotu; nitric oxide

PM – cząstki stałe; solid particles

DEN – gęstość; density

POLY – zawartość węglowodorów poliaromatycznych; polycyclic aromatic hydrocarbon content

CN – liczba cetanowa; cetane index

T95 – temperatura oddestylowania 95% paliwa (miara zawartości frakcji ciężkich); temperature of distilling 95% fuel (measure of heavy fraction content)

S – zawartość siarki; sulphur content

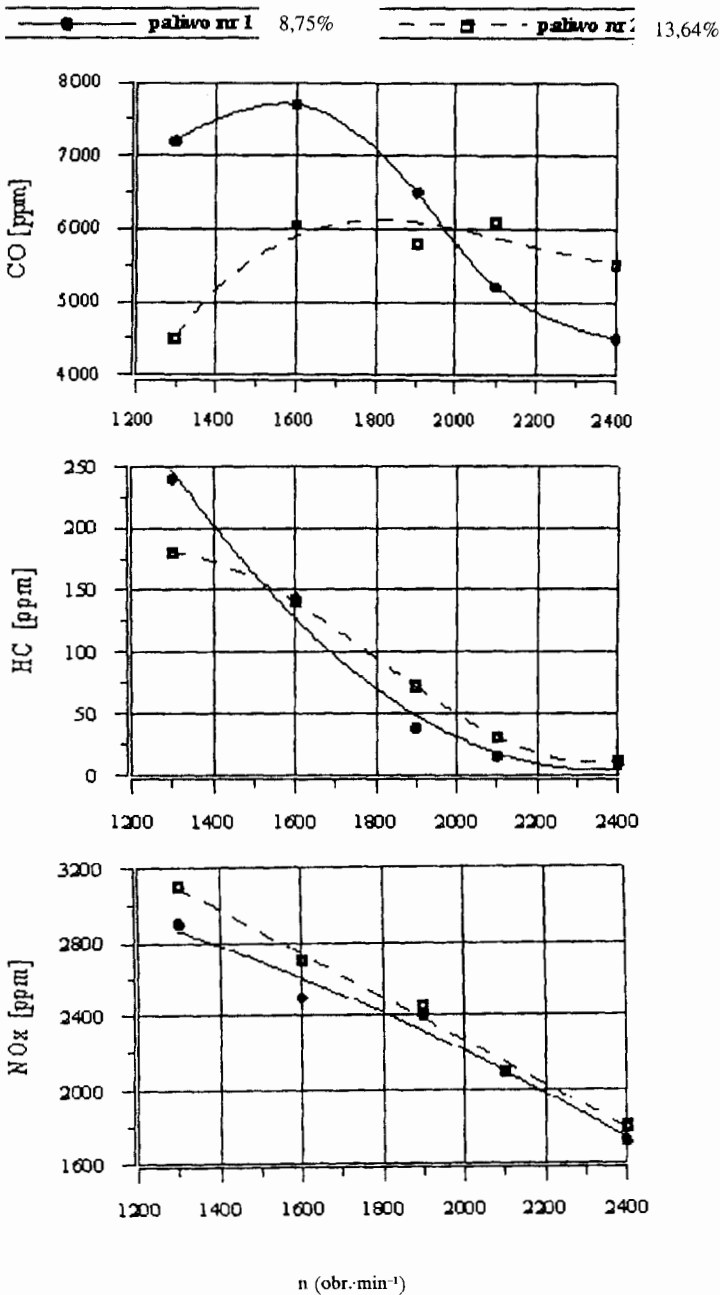
Tabela 3; Table 3

Wymagania dotyczące olejów napędowych
Requirements of diesel oil quality

Parametr Parameter	Jednostka Unit	Limity; Limit		Badanie; Investigation	
		min.	max.	metoda method	data publikacji date of publication
Liczba cetanowa; Cetane index		51,0	-	EN-ISO 5165	1992
Gęstość w 15°C; Density at 15°C	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	-	845	EN-ISO 3675	1995
Destylacja: 95% destyluje do temperatury Distillation 95% distilling to temperature	°C	-	360	EN-ISO 3405	1988
Policykliczne węglowodory aromatyczne Polycyclic aromatic hydrocarbons	% $\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$	-	11	IP 391	1995
Zawartość siarki; Sulphur content	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	-	350	pr. EN- ISO/DIS 14596	1996

W Unii Europejskiej wprowadzone są dyrektywy, określające skład i poziom jakości stosowanych paliw. Wymagania odnośnie oleju napędowego zawarte w Dyrektywie 98/70 IEC przedstawia tabela 3.

Badania wpływu wybranych właściwości paliwa na toksyczność spalin



Rys. 1. Zmiany stężenia CO, HC i NO_x w spalinach dla dwóch paliw różniących się zawartością węglowodorów aromatycznych

Fig. 1. Change of CO, HC and NO_x concentration in exhaust gases for two fuels with differing content of aromatic hydrocarbons

W ramach projektu badawczego nr 9T12D00716 [BOCHEŃSKI 2002], przeprowadzono badania składu różnych paliw na toksyczność spalin. Badaniom poddano dwa rodzaje oleju napędowego o odmiennej zawartości węglowodorów aromatycznych (paliwo 1 – 8,75%, paliwo 2 – 13,64%) i zbliżonych zawartościach węglowodorów olefinowych i nasyconych oraz temperaturach końca destylacji [SZLACHTA, CISEK 2001].

Różnice w zawartości CO, HC i NO_x przy stosowaniu tych paliw, na tle charakterystyki prędkościowej oraz charakterystyk obciążeniowych przy prędkości obrotowej momentu maksymalnego $n = 1600 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ oraz nominalnej prędkości obrotowej $n = 2400 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ przedstawia rysunek 1. Wpływ składu grupowego oleju napędowego jest widoczny w warunkach charakterystyki prędkościowej. W zakresie niskich i średnich prędkości obrotowych silnika stwierdzono wyższe stężenie CO dla paliwa 1. Również w tych warunkach występowała większa emisja CH i NO_x dla tego paliwa. W całym zakresie pomiarowym występowało wyższe stężenie cząstek stałych i zadymienie spalin dla paliwa o mniejszej ilości aromatów (paliwo 1). Uzyskane wyniki zależą nie tylko od składu grupowego paliwa, ale również od zmian właściwości fizykochemicznych paliw.

Coraz częściej w celu obniżenia toksyczności spalin silnika stosowane są paliwa roślinne (np. paliwa uzyskane z oleju rzepakowego). Duża lepkość oleju rzepakowego jest przyczyną pogorszenia dynamiki spalania wskutek obniżenia jakości rozpylenia. Badania w komorze doświadczalnej potwierdziły silny wpływ lepkości paliwa na zwiększenie zasięgu strugi i pogorszenie jej rozpylenia.

Wnioski

1. Badania wybranych właściwości paliwa, potwierdziły ich silny wpływ na poziom toksyczności spalin w silniku z ZS.
2. W zależności od ilości w paliwie poszczególnych grup węglowodorów, zmienia ulega zawartość głównych składników toksycznych spalin. Proporcje tych zmian są zależne od parametrów termodynamicznych panujących w komorze (ciśnienie, temperatura, zawirowanie).
3. Badania w komorze doświadczalnej potwierdziły silny wpływ lepkości paliwa na zasięg strugi i jej strukturę.

Literatura

BOCHEŃSKI C., KLIMKIEWICZ M., LENDZION K. 2000. *Badanie wpływu wybranych właściwości paliwa na trwałość elementów pomp wtryskowych*. Mat. z VIII Międz. Symp. im. Prof. Cz. Kanafojskiego „Problemy budwy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych” t. 1., 21–22 IX 2000 Płock: 57–66.

BOCHEŃSKI C. 2002. *Badania wpływu właściwości fizykochemicznych paliwa do silników wysokoprężnych na charakterystykę wtrysku i trwałości elementów układu paliwowego konwencjonalnego i Common Rail*. Projekt badawczy KBN nr 9T12D00716. Maszynopis. 490 ss.

SZLACHTA Z., CISEK J. 2001. *Badania wpływu właściwości fizykochemicznych paliwa do silników wysokoprężnych na charakterystykę wtrysku i trwałość elementów układu*

paliwowego konwencjonalnego i Common Rail. Badania silnikowe przeprowadzone w ramach projektu badawczego nr 9T12D00716. Maszynopis: 427–488.

Słowa kluczowe: oleje napędowe, silniki wysokopreżne, toksyczność spalin

Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości paliwa na poziom toksyczności spalin w silniku o ZS. W zależności od ilości w paliwie poszczególnych grup węglowodorów zmianie ulega zawartość głównych składników toksycznych spalin. Proporcje tych zmian są zależne od parametrów termodynamicznych panujących w komorze (ciśnienie, temperatura, zawirowanie). Na podstawie badań silnikowych określono wpływ zmiany zawartości węglowodorów aromatycznych, na poziom zawartości w spalinach węglowodorów, tlenku węgla, tlenków azotu, cząstek stałych i zadyminienia spalin. Badania w komorze doświadczalnej potwierdziły silny wpływ lepkości paliwa na zasięg strugi i jej strukturę.

PROPRIETIES OF DIESEL FUEL AND TOXICITY LEVEL OF DIESEL ENGINE EMISSIONS

Cezary Bocheński, Marek Klimkiewicz
Department of Management and Engineering,
Warsaw Agricultural University, Warszawa

Key words: diesel fuels, diesel engines, toxicity of exhaust gases

Summary

Results of investigations of selected properties of diesel oil on exhaust emissions of diesel engine are presented. Quantity of individual groups of hydrocarbons in fuel influences the change in the content of main components of exhaust gases. These changes are dependent on thermodynamical parameters prevailing in the chamber (pressure, temperature, swirl). On the basis of engine investigations there was evaluated the influence of aromatic hydrocarbon content on the level of total hydrocarbons, carbon monoxide, nitrogen oxides, and particulates in exhaust gases and smoke were evaluated. Investigations in the experimental chamber confirmed a strong influence of fuel viscosity on the range of fuel stream and its structure.

Prof. dr hab. Cezary **Bocheński**
Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 166
02-787 WARSZAWA
e-mail: wip_zit@alpha.sggw.waw.pl