

Aleksander UBYSZ

TEORETYCZNE I PRAKTYCZNE PRZESŁANKI WYKORZYSTANIA GAZOLINY STABILIZOWANEJ JAKO PALIWA DO SILNIKÓW ZS

Streszczenie. W pracy poddano obszernej analizie wpływ podstawowych właściwości paliwa, jak lepkość, gęstość, skład frakcyjny, liczba cetanowa, na przebieg procesu wymieszania ładunku i spalania oraz toksyczność spalin w silnikach ZS. Na podstawie teoretycznych i praktycznych przesłanek, szeroko omówionych w literaturze fachowej, zaproponowano dwa rodzaje paliwa - letniego i zimowego - powstałego na bazie odpowiedniego oleju napędowego i gazoliny stabilizowanej (GS).

Scharakteryzowano podstawowe parametry tych paliw i zestawiono z analogicznymi danymi paliw gazolinowych stosowanych eksperymentalnie w silnikach ZS na Syberii.

Pobieżnie scharakteryzowano wpływ czynników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych na przebieg procesu roboczego w różnych typach silników ZS. Przewidziano również ewentualne trudności - wywołane obecnością lotnych frakcji GS w paliwie - w pracy systemu zasilania silników ZS.

THEORETICAL AND PRACTICAL PREMISES OF THE STABILIZED NATURAL GASOLINE APPLICATION IN SI ENGINES

Summary. The influence of basic fuel features as viscosity, density, fractional composition, cetane number on the course of mixing the charge, combustion process and CI engine exhausted gas toxicity has been analyzed. On the ground of theoretical and practical premises, widely described in specific literature, two sorts of fuel have been recommended: summer and winter ones based on relevant Diesel fuel and natural gasoline.

Basic features of these fuels have been described and compared with analogue ones of natural gasoline fuels experimentally used as CI engine fuels in Siberia.

The influence of design and exploitation factors on the course of combustion process in the different patterns of CI engines have been briefly described. Possible difficulties in fuel system induced by the presence of natural gasoline light ends have been foreseen.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО ТОПЛИВА В ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИЗЕЛЕЙ

Резюме. В работе представлено обзор применения к разным дизелям различных топлив с изменяющимися основными параметрами, как плотность, вязкость, температура испарения, цетановое число и др. На основе этих замечаний предположено два-летний и зимний - виды топлива, созданного из газового конденсата и сезонного дизельного топлива. Проведено сравнительный анализ предлагаемых топлив с топливами испытываемыми в предприятиях западной Сибири.

Проведено тоже характеристику влияния на рабочий процесс в дизеле конструкционно-эксплуатационных факторов двс. Предусмотрено возможные сотруднения в работе системы питания двс вызванные присутствием легких фракции в дизельном топливе. Тщательно представлено итоги зарубежных исследований в эксплуатации дизелей на низкоцетановом топливе.

1. WSTĘP

Ubočnym produktem w procesie obróbki gazu ziemnego jest kondensat o niewielkiej gęstości, zwany gazoliną surową. Stanowi ona mieszaninę ciekłych węglowodorów, głównie alifatycznych, jak propan, butan, a także cięższe: pentan, heksan, heptan i oktan. Cięższe gazoliny zawierają nawet nonan i dekan.

Ze względu na skład frakcyjny rozróżnia się dwa rodzaje gazoliny surowej:

- lekką - L,
- ciężką - C.

Gazolina surowa lekka SL jest mieszaniną węglowodorów o dużej zawartości składników będących w normalnych warunkach gazem (tab. 1). Z gazoliny tej przez rektyfikację, przy podwyższonym ciśnieniu, otrzymuje się gaz płynny propan-butan, a pozostałość stanowi gazolinę stabilizowaną (GS).

Gazolina surowa ciężka SC jest mieszaniną węglowodorów, otrzymaną w wyniku destylacji ropy naftowej, o małej zawartości składników będących w warunkach normalnych gazami.

Wszystkie trzy rodzaje gazoliny mają przybliżone własności fizykochemiczne, co przedstawiono w tabelicy 1 [4,8].

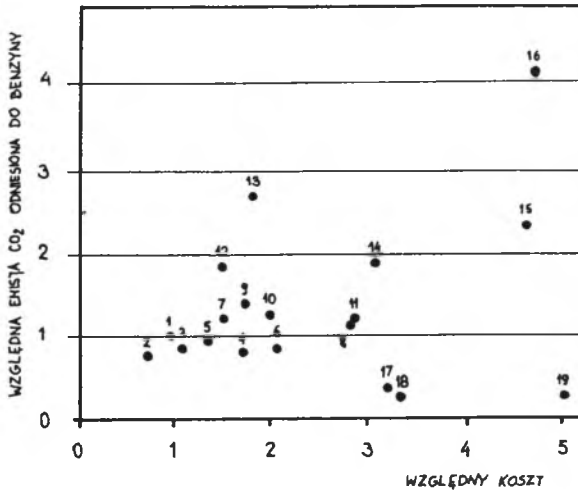
Tablica 1

Wymagania stawiane gazolinie stabilizowanej przez normę zakładową
ZN 66/MPCh/NF-106

Lp.	Wymagania	Rodzaj gazoliny		
		SL	SC	GS
1	a) barwa	bez	barw	na
2	b) gęstość w temp. 20°C, g/cm ³	0,670	0,700	0,700
3	c) destylacja normalna:			
	początek destylacji, C nie niższy		30	35
	nie wyższy	20	35	45
	do 100 C przedestylowuje % nie mniej	-	-	70
	do 150 C, % nie mniej	-	-	90
	koniec wrzenia, C, nie wyższy	150	160	180
	pozostałość po destylacji, %	1,2	1,2	1,5
4	d) prężność par, MPa nie mniej niż	0,15	-	-
	nie więcej niż	-	0,12	0,10
5	e) ogólna zawartość siarki, % nie			
	więcej niż	0,1	0,15	0,15

W ostatnich latach, przy ogromnym wzroście w świecie liczby środków transportu, którego jednostki napędowe wymagają znacznych ilości paliwa, coraz ostrzej występuje problem wdrażania do zasilania silników paliw zastępczych. Koszt pozyskania jednostki energii w paliwach alternatywnych oraz wpływ - wywołany procesem technologicznym i całkowitym spalaniem C zawartym w paliwie na CO₂ - na wzrost efektu cieplarnianego przedstawiono na rys. 1. Jak wynika z rysunku, przy dzisiejszych cenach paliw najbardziej opłacalne są paliwa ropo- i gazopochodne [3].

Przewidując kolejny kryzys energetyczny, prowadzi się wiele prac nad powiększeniem zasobów paliwowych do silników samochodowych i dlatego brane są pod uwagę frakcje ropo- i gazopochodne, będące dotychczas w transporcie w ograniczonym użyciu. Do nich można zaliczyć również gazoliny. Zastosowanie gazoliny stabilizowanej do zasilania silników ZS wydaje się szczególnie trafnym rozwiązaniem [3,7].



Rys. 1. Koszty produkcji oraz emisja całkowita CO₂ różnego typu paliw odniesiona do benzyny:

1 - benzyna, 2 - olej napędowy, 3 - propan-butan (LPG), 4 - gaz ziemny w ZS (CNG), 5 - gaz ziemny w ZI (CNG), 6 - propan-butan w ZS (LNG), 7 - metanol w ZI, 8 - metanol w ZS, 9 - emulsja węglowa w oleju, 10 - paliwo z gazu ziemnego, 11 - energia elektryczna na bazie gazu, 12 - nafta, 13 - paliwo z węgla, 14 - energia elektr. na bazie węgla, 15 - wodór z gazu, 16 - wodór z węgla, 17 - etanol z biomasy, 18 - energia elektryczna jądrowa, 19 - wodór na bazie energii jądrowej

Fig. 1. Costs of production and total emission of CO₂ referred to petrol

2. WPŁYW WŁAŚCIWOŚCI PALIWA NA WSKAŹNIKI EKSPLOATACYJNE SILNIKÓW ZS

Specyficzne warunki powstawania mieszanki palnej i przebieg procesu spalania w silnikach ZS stawiają ściśle określone wymagania odnośnie do własności fizykochemicznych i eksploatacyjnych paliwa, zwanego olejem napędowym ON. Właściwości ON są różne, zależnie od składu ropy naftowej i technologii jej przeróbki. Podstawowe właściwości ON przedstawiono w tabl.2.

Tablica 2

Parametry wybranych paliw handlowych i badawczych do silników ZS [3,5]

Nr pal.	LC	Gęstość g/cm ³	Lepkość mm ² /s	Zawartość		Skład frakcyjny wg ASTM		
				HC aromaty % obj.	siarki % masy	T10E C	T50E C	T90E °C
1	43,6	0,871	3,57	38,5	0,31	244	283	332
2	47,2	0,851	3,17	28,8	0,19	219	280	326
3	58,9	0,835	3,47	25,4	0,32	250	283	330
4	52,5	0,795	1,71	0,4	0,01	210	224	243
5	45,6	0,840	2,41	21,1	0,21	203	257	323
6	34,7	0,865	2,35	42,7	0,44	213	259	302

Widoczny jest znaczny rozrzut jego podstawowych parametrów, jak gęstość, wartość opałowa, lepkość i liczba cetanowa LC, wynikający z różnego składu frakcyjnego ON. Z tych powodów normy poszczególnych krajów dopuszczają znaczny rozrzut poszczególnych parametrów oleju z wyjątkiem LC, która ma decydujący wpływ na przebiegi procesu spalania i toksyczności spalin.

Poniżej omówiony zostanie wpływ poszczególnych właściwości paliwa na przebieg wtrysku, wymieszania mieszanki i spalania oraz toksyczność spalin.

2.1. Wartość opałowa Wd

Wartość opałowa ma wpływ na regulację organów sterujących wielkością dawki. W tablicy 3 przedstawiono bezwzględną, czyli masową i objętościową wartość opałową dwu paliw o różnej gęstości i LC. W tablicy przedstawiona jest względna - wyrażona w procentach - zmiana jednostkowej ilości ciepła doprowadzonego w paliwie, będąca rezultatem różnej gęstości obu paliw. Stosowane w praktyce ON mają wartość opałową w przedziale 41 - 43 MJ/kg.

Wartość opałowa paliw zależy od stosunku ilości masowej węgla do wodoru i im ten iloraz jest mniejszy, tym wyższa jest wartość opałowa. Z tych względów największą wartość opałową mają węglowodory parafinowe, następnie naftenowe i aromatyczne.

2.2. Gęstość ρ

Gęstość paliwa jest miarą ilości energii cieplnej w jednostce masy, a także odzwierciedla jego skład frakcyjny. Wskazuje na możliwe proporcje pomiędzy cięższymi węglowodorami aromatycznymi i lżejszymi parafinami, a więc w pewnym stopniu charakteryzuje paliwo pod względem właściwości eksploatacyjnych, o ile wzrost zawartości węglowodorów cięższy w paliwie obniża jego LC i pogarsza przebieg procesu spalania.

W zależności od ρ zmienia się - przy stałym dawkowaniu paliwa - skład mieszanki, a tym samym współczynnik nadmiaru powietrza. Gęstość ON zawiera się w przedziale 0,8-0,9 g/cm³ (w temp. 200°C). Im większa gęstość paliwa tym mniejsze jego objętościowe zużycie.

2.3. Liczba cetanowa paliwa LC

LC paliwa jest miarą skłonności do samozapłonu mieszanki paliwowo-powietrznej w tych samych warunkach. Jej wielkość wpływa na długość okresu opóźnienia samozapłonu i w ogóle na przebieg procesu spalania. Zmiana LC paliwa wymaga najczęściej przestawienia o pewną wartość kąta wyprzedzenia wtrysku w celu utrzymania optymalnej sprawności ogólnej silnika.

We współczesnych silnika ZS stosowane są paliwa o LC w przedziale 40 - 55 jednostek, ale prowadzone są badania nad wykorzystaniem paliw o niższych wartościach LC. Wyniki tych badań uzasadniają pożyteczność paliw zarówno o wyższej liczbie cetanowej, jak i niższej [3,5].

2.4. Skład frakcyjny paliwa

W procesie destylacji ropy naftowej, w miarę wzrostu temperatury, w wyniku odparowania otrzymujemy kolejno poszczególne frakcje, z których większość jest poszukiwanym materiałem w przemyśle transportowym i chemicznym.

W pierwszej kolejności parują lekkie frakcje węglowodorów alifatycznych o temperaturze wrzenia od 35°C, dające tzw. gazolinę ciężką. Następnie parują beznizyny, nafta, oleje napędowe, oleje ciężkie, mazut i in. W XIX wieku wykorzystywano tylko naftę, dla pozostałych frakcji nie znajdując zastosowania. Obecnie wszystkie frakcje powinny znaleźć i znajdują zastosowanie w przemyśle.

olej napędowy lekki stanowi mieszaninę węglowodorów o temperaturze destylacji w przedziale od 155 do 370°C. Zależnie od źródła pochodzenia ropy naftowej i zastosowanego procesu rektyfikacji różny jest w ON udział poszczególnych frakcji i zanieczyszczeń, co ma wpływ na jego LC, a więc i przebieg tworzenia mieszanki i spalania w silnikach ZS. Duża zawartość węglowodorów aromatycznych, które w procesie spalania trudno rozpadają się, to skłonność do wydzielania się sadzy. Dobrą charakterystykę frakcyjną paliwa daje jego destylacja wg normy ASTM, na podstawie której jest określana temperatura odparowania 10, 50 i 90% objętości paliwa (tabl. 2).

Tablica 3

Zestawienie własności dwu paliw do silników ZS o różnej gęstości i lepkości kinematycznej

Parametry paliw	D	J
Wartość opałowa Wd, MJ/kg względna, %	42,97 100	43,53 101,3
Objętościowa wartość opałowa, MJ/dm ³ względna, %	35,58 100	33,39 93,8
Gęstość przy 15 C, g/cm ³ względna, %	0,828 100	0,767 92,6
Zawartość węgla, %	87	85
Zawartość wodoru, %	13	15
Stosunek masowy C/H	6,69	5,66
Liczba cetanowa LC	51	38,2
Lepkość kinematyczna, mm ² /s przy 20°C przy - 20°C	3,39 -	1,00 1,89

Z kolei ilość zawartych w paliwie węglowodorów parafinowych, zwanych parafinami, wpływa - ze względu na ich niską temperaturę krzepnięcia - na właściwości rozruchowe silnika. Z frakcyjnością paliwa są ściśle związane także jego właściwości, jak Wd, ρ , lepkość, właściwości niskotemperaturowe i skłonność paliwa do tworzenia sadzy i nagaru.

2.5. Lepkość paliwa

Lepkość ma duży wpływ na przebieg procesu wtrysku i jakość rozpylenia paliwa w komorze spalania, a tym samym na proces wymieszania z wirującym ładunkiem powietrza i spalania. Im niższa lepkość, tym korzystniejszy przebieg tych procesów i niższa toksyczność spalin. Lepkość kinematyczna ON do silników samochodowych zawarta jest w różnych krajach w przedziale 1,8 do 8,0 mm²/s. W okresie zimowym w naszej strefie stosuje się oleje o niższej lepkości, a obecnie sprawdza się oleje o lepkości nawet 1,0 mm²/s (tabl.3).

Paliwa o niskiej lepkości mają zazwyczaj wyższą lotność i prężność par, a tym samym większy udział lżejszych frakcji. Zazwyczaj obniżenie lepkości paliwa podnosi jego LC.

2.6. Zawartość siarki S

Siarka i jej związki są jednym z najbardziej niepożądanych składników paliwa. Jest ona domieszką naturalną w ropie naftowej, a jej procentowy udział zależy od miejsca wydobycia ropy i może dochodzić do 1,5% masy. Normy poszczególnych krajów starają się do minimum ograniczyć jej zawartość w oleju. W większości krajów zachodnich jej dopuszczalna zawartość wynosi 0,2%, natomiast w naszym kraju 0,3% [12]. W Stanach Zjednoczonych czynione są przygotowania do obniżenia jej zawartości do 0,05%.

Zawarta w paliwie siarka wydalana jest ze spalinami jako rozpuszczalne cząstki w postaci tlenków siarki i siarczanów.

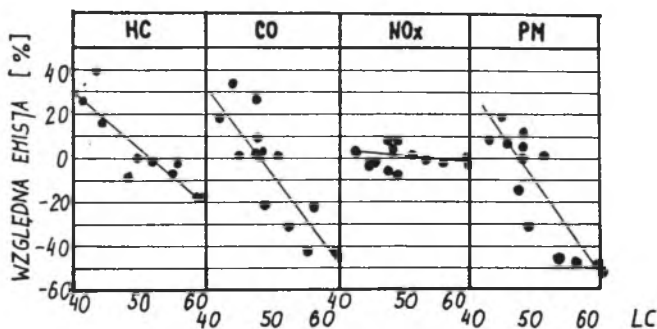
Inne właściwości oleju napędowego, jak np. kwasowość, pozostałość po koksowaniu, zanieczyszczenia mechaniczne i woda wpływają na proces roboczy silnika i toksyczność jego spalin w mniejszym stopniu i w związku z tym nie będą rozpatrywane.

3. WPŁYW ZMIAN WŁAŚCIWOŚCI PALIWA NA PRZEBIEG SPALANIA I TOKSYCZNOŚĆ SILNIKÓW ZS

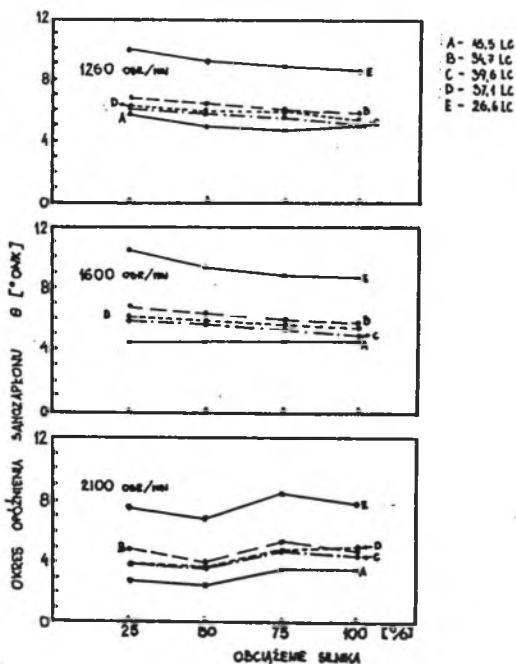
3.1. Liczba cetanowa

Pomiar wpływu LC na przebieg procesu spalania wyrażony toksycznością spalin rzędowego 6-cylindrowego silnika ZS 2,5 dm³ z komorą wirową przeprowadzono wg testu USA FTP i europejskiego ECE 15/04.

Na podstawie wyników badań stwierdzono, że podniesienie LC paliwa o 10 jednostek w sposób liniowy obniża toksyczność silnika o CH: - 25%, CO - 45%, cząstki stałe PM - 50%, NO_x - 5% (rys. 2).



Rys. 2. Względna emisja toksyn w spalinach silnika ZS w funkcji LC paliwa
Fig. 2. Relative emission of the CI engine toxic components referred to cetane number

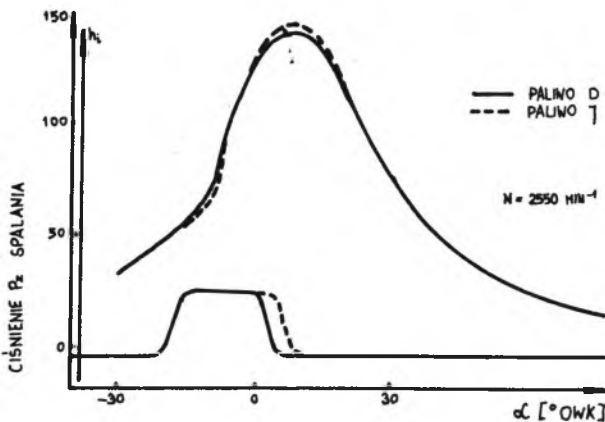


Rys. 3. Wpływ obciążenia silnika i LC paliwa na kąt opóźnienia samozapłonu θ
Fig. 3. The influence of engine loading and fuel cetane number on ignition delay angle

Podniesienie LC paliwa za pomocą specjalnych dodatków daje taki sam efekt, jak podniesienie liczby cetanowej o tę samą wartość w sposób naturalny przez zmianę składu frakcyjnego.

Obniżenie LC o 18 jednostek ma bezpośredni wpływ na wydłużenie okresu opóźnienia samozapłonu θ o 4-7^oOWK w zależności od prędkości obrotowej n i obciążenia silnika oraz 1,5-3^o OWK przy obniżce LC o 10 jednostek (rys. 3), [3].

Konsekwencją tak znacznego wzrostu θ jest wzrost o 12% maksymalnego ciśnienia spalania p_z (w pierwszym przypadku) oraz twardości pracy silnika wyrażonej maksymalnym przyrostem ciśnienia $dp(\alpha)_{max}$. Negatywny wpływ obniżki LC paliwa można w pewnym stopniu zrekompensować obniżeniem jego lepkości kinematycznej, co w wyniku poprawy rozpylenia paliwa zmniejsza kąt θ . Zastosowanie paliwa o LC = 38 i lepkości kinematycznej 1 mm²/s dało nieznaczny wzrost p_z i dp/α w porównaniu z paliwem o LC51, ale dodatkowo podniosła się sprawność ogólna silnika i efektywność obiegu wyrażona średnim ciśnieniem użytecznym p_e (rys. 4) [5]. Zauważalne na charakterystyce przebiegu wzniosu igły wtryskiwacza wydłużenie czasu wtrysku jest rezultatem zwiększenia wielkości dawki wynikającej z różnicy ich objętościowych wartości opałowych (tabl. 3).



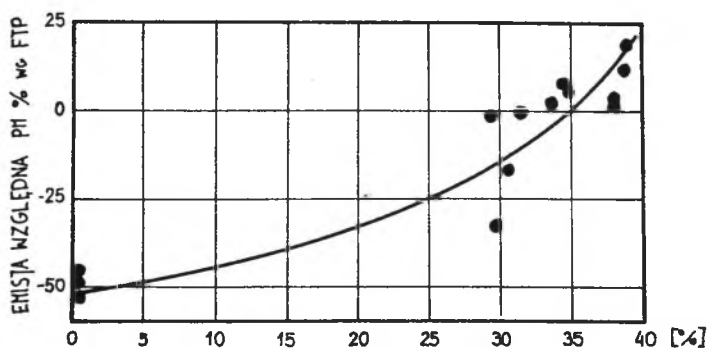
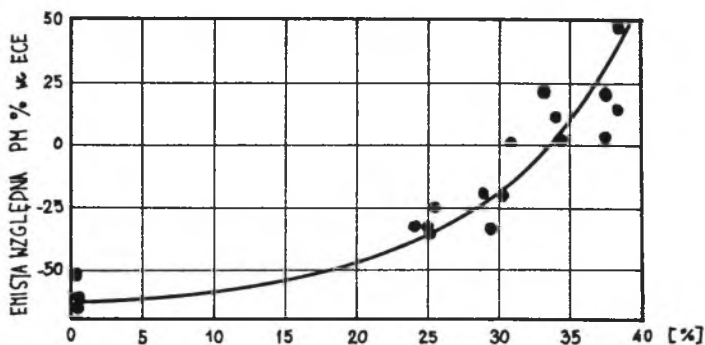
Rys. 4. Wpływ liczby cetanowej i objętościowej wartości opałowej na przebieg ciśnienia spalania i czas otwarcia igły rozpylacza w silniku ZS (charakterystyka paliw D i J w tabl. 3)

Fig. 4. The influence of cetane number and volume calorific value on the course of firing pressure and the time when the CI engine injector nozzle is open (performance of fuels D and J - in the chart 3)

2.2. Skład frakcyjny paliwa

Jak było do przewidzenia, lżejsze frakcje o niższej temperaturze wrzenia w wyniku poprawy przebiegu procesu spalania - pozytywnie wpływają na obniżenie toksyczności spalin, szczególnie emisji cząstek stałych.

Przedstawione w tabl. 2 paliwo (4) ma najniższą zawartość węglowodorów aromatycznych i siarki i najniższą temperaturę początku destylacji i lepkości. Mimo stosunkowo niskiej liczby cetanowej jest to paliwo perspektywiczne, dzięki któremu będzie można do minimum ograniczyć zawartość, pochodzących od paliwa, cząstek stałych w spalinach silników ZS.



Rys. 5. Wpływ zawartości węglowodorów aromatycznych w paliwie na względny wzrost emisji cząstek stałych PM w spalinach silnika ZS mierzony wg testu ECE i FTP-75

Fig. 5. The influence of aromatic hydrocarbons in fuel on the relative increase of the CI engine particles emission measured with test ECE and FTP

Wzrost zawartości węglowodorów aromatycznych w paliwie zwiększa zawartość cząstek stałych w wyniku ich gorszego spalania. Na rys.5 przedstawiono zależność zawartości cząstek stałych PM w spalinach od ilości węglowodorów aromatycznych zawartych w ON, a mierzonych wg normy FTP i ECE 15/04. Obniżenie ich zawartości objętościowo o 10% daje zmniejszenie PM o 25% wg FTP i 40% wg ECE.

Na podstawie przytoczonych danych można stwierdzić, że dla paliwa na bazie węglowodorów ropo- i gazopochodnych z dużym prawdopodobieństwem możliwa jest ocena efektywności procesu roboczego silnika ZS na podstawie takich parametrów paliwa, jak gęstość, lepkość, LC, charakterystyka destylacji i zawartość siarki.

4. WPŁYW WYBRANYCH PARAMETRÓW KONSTRUKCYJNYCH I EKSPLOATACYJNYCH SILNIKÓW ZS NA PROCES SPALANIA I TOKSYCZNOŚĆ SPALIN

Poza właściwościami paliwa nie mniej ważną rolę w przebiegu procesu spalania spełniają parametry konstrukcyjne i eksploatacyjne silnika. Z wielu parametrów konstrukcyjnych decydujące znaczenie ma kształt komory spalania i układu dolotowego ładunku powietrza, układ wtryskowy z układem regulacji oraz w przypadku stosowania, układ doładowania i recyrkulacji spalin.

Przy doborze parametrów poszczególnych zespołów i układów decydujące znaczenie ma osiągnięcie w każdych warunkach pracy silnika tak zorganizowanego procesu roboczego, aby przy minimalnym zużyciu jednostkowym paliwa oraz odpowiednio wysokim p_e toksyczność spalin spełniała wymagania odpowiedniej normy.

Do parametrów eksploatacyjnych w decydującym stopniu wpływających na jakość procesu spalania należą: prędkość obrotowa n , obciążenie, kąt wyprzedzenia, przebieg i czas trwania wtrysku dawki paliwa, ciśnienie i temperatura doładowania, czas pracy na biegu jałowym i częściowych obciążeniach, przebieg zimnego rozruchu, stopień recyrkulacji spalin.

W samochodach osobowych i lekkich ciężarowych stosowane są obecnie dwa rodzaje szybkoobrotowych silników ZS; o wtrysku pośrednim z komorą wirową i o wtrysku bezpośrednim z objętościowym DI lub przyściennym CDI przygotowaniem ładunku do spalania. W tabl. 4 przedstawiono zestawienie graficzne zalet i wad tych rozwiązań. Silniki z komorą wirową - pomimo wielu zalet - mają decydującą o ich dalszym rozwoju, nie do wyeliminowania, wadę, a mianowicie o ok. 15% wyższe jednostkowe zużycie paliwa g_e . Natomiast takie mankamenty silników DI, jak zwiększony hałas procesu roboczego, wyższa emisja tlenków azotu, są do zmniejszenia.

Tablica 4

Porównanie silników ZS z różną komorą i przygotowaniem mieszanki do spalania

Ocena Kryteria	Gorszy niż ZS z komorą wirową	Porównywalny	Lepsza niż ZS z komorą wirową
Zużycie paliwa			xxxxxxxxx
Średnie ciśnienie użytkowe P_e	xxxxxxxxxxxx xxxxxxxxxxxx	_____	
Zakres n			xxxxxxxxx
Zimny rozruch			xxxxxxxxx
Spalanie	_____ xxxxxxxxxxx		
Emisja NO_x	_____ xxxxxxxxxxx		
Emisja HC	xxxxxxxxxxxx		
Cząstki stałe		xxxxxxxxxxxx	
Dymienie przy N_s			xxxxxxxxxxxx
Dymienie zimnego silnika		xxxxx xxxxx	
Zapach spalin	xxxxxxxxxxxx	_____	
Hałas od procesu spalania	_____		
Pełne obciążenie		xxxxxxxxxxxx	
Częściowe obciążenie	_____	xxxxx	xxxxx
Bieg jałowy			xxxxxxxxxxxx
Koszt aparatu wtryskowego	xxxxxxxxxxxx		
Zdolność doładowania			xxxxxxxxx
Koszt produkcji	xxxxxxxxxxxx	_____	

_____ wtrysk DI z objęto-
ściowym spalaniem

xxxxxxxxxxxx wtrysk CDI z powierz-
chowym spalaniem

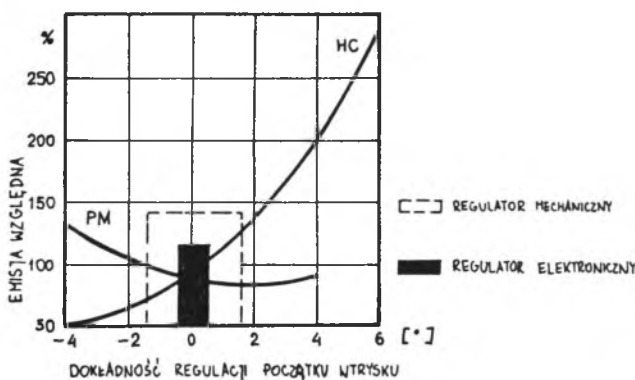
Aktualnie stosowane szybkoobrotowe silniki ZS z komorą wirową przechodzą - w celu poprawy przebiegu procesu spalania - modyfikację kształtu komory.

W każdej grupie silników ZS duży potencjał poprawy procesu robczego istnieje w układzie wtryskowym i regulacyjnym. Jak wynika z badań silnika ZS

do samochodu ciężarowego dużej ładowności, zastosowanie pompowtryskiwaczy i elektronicznego systemu regulacji początkiem wtrysku i wielkością dawki dało bardzo dobre rezultaty w zakresie obniżki głównych toksyn: cząstek stałych PM i tlenków azotu. Stało się to możliwe przez odpowiednie zmniejszenie kąta wyprzedzenia i czasu wtrysku (przy ciśnieniu wtrysku 150 MPa).

Zastosowanie tego rozwiązania dało również, dzięki wyłączeniu części cylindrów z pracy na biegu jałowym i niskich obciążeniach, zmniejszenie zużycia paliwa.

Dokładność regulacji kąta wyprzedzenia wtrysku w silniku z regulatorem mechanicznym i elektronicznym przedstawiono na rys. 6 [11].



Rys. 6. Wpływ dokładności regulacji kąta wyprzedzenia wtrysku na emisję względną cząstek PM i węglowodorów HC

Fig. 6. The influence of the injection angle controlling precision on the relative particles PM and hydrocarbons HC emission

5. DOBÓR SKŁADU I OCENA PALIWA Z GAZOLINĄ STABILIZOWANĄ

5.1. Dobór składu paliwa

Podstawowymi składnikami nowego paliwa będzie olej napędowy, dający wymaganą liczbę cetanową nowemu paliwu, oraz gazolina stabilizowana jako produkt do zagospodarowania. Pomimo dużej różnicy gęstości (patrz tabl.5) oba składniki jako gazo- i ropopochodne doskonale się mieszają i nie rozwarstwiają przy dłuższym składowaniu. W tabl. 5 zestawiono właściwości gazoliny stabilizowanej i oleju napędowego krajowego i rosyjskiego oraz ich mieszanin. W 5 i 6 kolumnie przedstawione są właściwości dwu paliw na okres letni i zimowy, będących mieszaniną ON i GS.

Zestawienie właściwości paliw do silników ZS powstałych na bazie oleju
napędowego i gazoliny produkcji krajowej i zagranicznej

Wskaźnik	Olej napędowy		Gazolina stabilizowa- nana	Paliwo ON+ GS		Paliwa rosyjskie			
	DL	DZ		75% ON+ 25% GS	80% ON+ 20% GS	ON	Gazolina z Naip	50%ON+50% G	Paliwo gazo- linowe letnie
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Wartość opałowa, MJ/kg	41,0-43	41-43	48	44,5	44,0	-	-	-	-
2. Objętościowa wartość opałowa MJ/dm ³	36-37,5	36-37	33,7	36,0	36,3	-	-	-	-
3. Liczba cetanowa, nie niższa	45	45	30	42	43	46,4	40,4	45	42
4. Skład frakcyjny									
- początek destylacji, C	-	-	35-45	75	85	156	82	109	90
- 10% (V/V) destyluje do temp. C	-	-	-	130	145	180	110	146	120
- 50% (V/V) destyluje C	300	280	-	220	240	235	150	221	260
- 90% destyluje C	-	350	150	320	330	339	261	359	360
- 100% C	-	-	180	-	-	362	300	-	-
5. Lepkość kinematyczna, mm ² /s	1,9-4,7	1,7-3,7	-	1,5-3,8	1,2-3,3	2,96	1,22	2,35	2,0
6. Temperatura krzepnięcia C	-	-10	-90	-	-35	-	-	-	-
7. Temperatura zablokowania zimnego filtra	0	-20	-	-	-40	-	-	-	-
8. Zawartość siarki % (mm)	0,3	0,3	0,15	0,25	0,26	0,5	-	-	-
9. Gęstość w temp. 20°C, g/cm ³	0,81	0,87	0,72	0,77-0,8	0,78-0,83	0,816	0,79	0,815	-

Biorąc pod uwagę sezonowy charakter paliw do silnika ZS, do mieszanin zastosowano sezonowy (letni lub zimowy) ON wymieszany w sezonie zimowym z 25% objętości GS, a w okresie letnim z 20% obj. GS. Mniejsza zawartość gazoliny w paliwie w stosunku do paliw rosyjskich jest przede wszystkim wynikiem różnicy ich parametrów podstawowych, a więc LC, gęstości, składu frakcyjnego i lepkości.

Mniejsza zawartość GS pozwoli uniknąć konieczności podwyższania liczby cetanowej paliwa za pomocą specjalnych dodatków. Umiarkowane wprowadzenie do ON lżejszych frakcji w postaci węglowodorów alifatycznych, o niskiej temperaturze wrzenia, spowoduje z jednej strony - przy nie zmienionych warunkach wtrysku - wydłużenie kąta opóźnienia samozapłonu θ (niższa LC), a z drugiej - zwiększy twardość pracy silnika wyrażoną $dp/d\alpha/\max$ (w wyniku lepszego wymieszania i odparowania paliwa w ładunku wirującego powietrza). Przedstawione wyniki badań [7] w sposób pośredni wykazały, że przy utrzymaniu LC mieszaniny na poziomie LC oleju napędowego lekkie i bardziej lotne frakcje wyraźnie poprawiają proces spalania w silniku ZS.

5.2. Ocena paliwa gazolina-ON i regulacja silnika

Przedstawione w tabl.5 i proponowane jako paliwo do silników ZS mieszaniny GS-ON w wersji zimowej i letniej mają niższą liczbę cetanową niż paliwa rosyjskie, ale jest to - co wynika z badań zachodnich - w pełni dopuszczalne. W razie konieczności zwiększenia LC paliwa wystarczy zastosowanie specjalnych dodatków podnoszących skłonność paliwa do samozapłonu. Niemieckie wyniki badań wskazują, że zastosowanie paliwa o znacznie niższej LC i gęstości (tabl.3) nie przeszkadza w podniesieniu sprawności i p_e silnika ZS w czasie pracy przy różnych prędkościach obrotowych i obciążeniach, nawet w niskich temperaturach otoczenia.

Proponowany skład paliw do silników ZS obniża ich objętościową wartość opałową ok 4%, co przy braku korekcji dawki paliwa w nieznacznym stopniu pogorszy własności trakcyjne silników. Również proces spalania nie powinien się pogorszyć, gdyż niewielki (o 5-10%) spadek liczby cetanowej powinna zrekompensować zmiana składu frakcyjnego paliw na korzyść frakcji lżejszych.

Wprowadzenie do ON węglowodorów lżejszych zmniejszyło o ok. 3-4% gęstość paliwa oraz lepkość kinematyczną. Widoczne podobieństwo paliwa J z tabl. 3 i paliw na bazie ON i GS pozwala sądzić, że do oleju można dodawać większe ilości gazoliny, ale może to wymagać zmian konstrukcyjnych i regulacyjnych

systemu zasilania silnika. Proponowane składy paliw, przy tak niewielkim spadku LC, nie będą wymagały korekty kąta wyprzedzenia wtrysku. Również wymagane zwiększenie wielkości dawki jest w granicach dokładności regulacji dawki w pompach wtryskowych z regulatorem mechanicznym.

Uwzględniając niską temperaturę destylacji oraz wysoką prężność par gazoliny stabilizowanej należy oczekiwać pewnych zakłóceń w pracy aparatury paliwowej. Im większy udział GS w ON, tym większe niebezpieczeństwo powstawania korków gazowych w układzie wtryskowym, wzrost zużycia kawitacyjnego powierzchni roboczych układu wtryskowego oraz wpływu wysokich temperatur pracy niektórych zespołów silnika. Wyższy udział gazoliny, to również większa niezawodność rozruchu silnika ZS w niskich temperaturach otoczenia.

Niebezpieczeństwo powstawania korków parowych istnieje przede wszystkim w kolektorach rozpylaczy o dużej średnicy powierzchni czołowej, bezpośrednio przejmującej ciepło od spalin. W przypadkach przegrzewania się rozpylacza, co w konsekwencji w wyniku tworzenia się korków, zakłóca przebieg wtrysku dawki, należy termicznie ekranować powierzchnie czołową specjalną podkładką lub zastosować wtryskiwacz o wydłużonym rozpylaczu. Konstrukcja tych rozpylaczy zapewnia bardziej równomierne chłodzenie przestrzeni roboczych, a także dzięki dwukrotnie mniejszej średnicy powierzchni czołowej, odpowiednio mniejszy pobór ciepła.

6. WNIOSKI KOŃCOWE

Na podstawie powyższej analizy właściwości paliw i parametrów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych silników ZS można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Gazolina stabilizowana po zmieszaniu w odpowiednim stosunku z olejem napędowym daje dla silników ZS dobrej jakości, stabilne, o niższej objętościowej wartości opałowej i niższej liczbie cetanowej paliwo.

2. Przewidywany optymalny stosunek mieszania GS i ON, przy którym nie zachodzi konieczność dodawania specjalnych dodatków podwyższających liczbę cetanową, wynosi dla warunków letnich 1:5, a dla warunków zimowych 1:4 (przy niewielkim spadku LC paliwa obniża się znacznie temperatura zablokowania zimnego filtra).

3. Dla nowych paliw, w celu poprawy wskaźników eksploatacyjnych silnika ZS, można przeprowadzić nieznaczną korekcję wielkości dawki i kąta wyprzedzenia wtrysku, z tym że wielkość i kierunek korekcji kąta należy określić eksperymentalnie dla każdego typu silnika z osobna.

4. Na podstawie takich właściwości paliwa ropo- i gazopochodnego jak LC, gęstość, lepkość, charakterystyka destylacji, można przewidzieć jakość procesu wymieszania i spalania w silniku ZS, a w niektórych przypadkach można określić przybliżoną zawartość cząstek twardych PM w spalinach.

5. Zaproponowane paliwa zaleca się stosować - ze względu na niższą LC - w silnikach samochodów ciężarowych o wtrysku bezpośrednim. Przy wysokich prędkościach obrotowych szybkoobrotowych silników ZS może wystąpić zbyt duży wzrost twardości pracy silnika wyrażony wzrostem $dp/da/\max$.

6. Niska temperatura parowania lżejszych frakcji GS oraz wysoka pręężność jej par może powodować pewne zakłócenia w pracy układu wtryskowego i układu podającego paliwo.

LITERATURA

- [1] Abramska-Tymińska E.: Oleje napędowe. "Chemil" Warszawa 1967.
- [2] Auler B. i in.: Einfluss verschiedener Kraftstoffqualitäten auf das Betriebsverhalten von Dieselmotoren. MTZ nr 12, 1990.
- [3] Anisita F. i in.: Der Kraftstoffeinfluss auf die Abgasemissionen von Pkw-Wirbelkammermotoren. MTZ nr 12, 1991.
- [4] Gazolina. Wyciąg z norm wg ZN-66/MPCh/ NF-106.
- [5] Kallio N.N. i in.: Effekt of low cetane fuels on diesel engine performance 2-combustion pervormance of a detroit diesel 3-71 engine. SAE Techn. Pap.Ser. 1985, 850052.
- [6] Molenda J.: Gaz ziemny - surowiec i paliwo. Wyd. Śląsk, Katowice 1974.
- [7] Stawrow A.: Kiczigin E.: Gazokondensatnoje topliwo dla awtomobilej. Awtomobilnaja Promyslennost nr 7, 1990.
- [8] Wilk Z.: Gaz ziemny. PWN, Warszawa 1966.
- [9] Wiedemann B. i in.: Das Oko-Polo-Antribs konzept. MTZ nr 2, 1991.

- [10] Ubysz A. i in.: Systemy zasilania silników samochodowych. Pol.Śl., Gliwice 1992.
- [11] Uyehara O.A. i in.: Factors that affect BSFC and emissions for diesel engines: Part 1- Presentation of concept. SAE Tech.Pap.Ser. 1987, 870343.
- [12] PN - 92/C 96051 Przetwory naftowe. Oleje napędowe lekkie.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Stanisław Jarmuszkiewicz

Wpłynęło do Redakcji 24.04.93

ABSTRACT

Methods of increasing fuel cetane number have been shown including the simplest one (blending fuel with diesel oil) which is explicated. The data on exploited fuels and being adopted to CI engines ones are available.

The influence of basic fuel features as viscosity, density, fractional composition, cetane number on the course of mixing the charge, combustion process and CI engine exhausted gas toxicity has been analyzed. On the ground of theoretical and practical premises, widely described in specific literature, two sorts of fuel have been recommended: summer and winter ones based on relevant Diesel fuel and natural gasoline.

Basic features of these fuels have been described and compared with analogue ones of natural gasoline fuels experimentally used as CI engine fuels in Syberia.

The influence of design and exploitation factors on the course of combustion process in the different patterns of CI engines have been briefly described. Possible difficulties in fuel system induced by the presence of natural gasoline light ends have been foreseen.