

Aleksander Mazanek

*Institut Nafty i Gazu, Kraków*

Janusz Jakóbiec

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków*

## Ocena jakości paliw silnikowych w badaniach eksploatacyjnych

W pracy przedstawiono informacje dotyczące badań paliw silnikowych, węglowodorowych i alternatywnych, w zakresie oceny użytkowej. Rozwój konstrukcji silników samochodowych i zaostrzone przepisy administracyjne, dotyczące ochrony środowiska, wymuszają wysoki poziom jakości paliw silnikowych i pakietów dodatków uszlachetniających. Wśród paliw alternatywnych istotną pozycję stanowią benzyny bezołowiowe z dodatkiem 5% (v/v) etanolu, etery, gaz propan-butan oraz biopaliwa. Istotną rolę w ich ocenie użytkowej odgrywają badania eksploatacyjne.

### Evaluation of engine fuels quality in field tests

The work presents the information about hydrocarbon and alternative fuels in the area of working properties. The evolution of car's engines constructions and also new ecological regulations stimulate high level of fuels and additives. Among alternative fuels, fuels for SI engines with 5% (v/v) of ethanol, with ethers, also LPG and biofuels are very important. Exploitation research are the key to determine the operational value.

### Wstęp

Doskonalenie konstrukcji silników samochodowych jest ściśle związane z koniecznością stosowania paliw o coraz to lepszych właściwościach fizykochemicznych i użytkowych. Przemysł rafineryjny jest zmuszany do ciągłej modyfikacji procesów technologicznych.

Generalnie w rozwoju współczesnych benzyn przeznaczonych do zasilania silników spalinyowych o ZI należy wyszczególnić następujące, główne kierunki działania:

- wyeliminowanie związków ołowiu (benzyny bezołowiowe),
- wprowadzenie komponentów tlenowych,
- obniżenie zawartości siarki w paliwie,
- wprowadzenie do benzyn wielozadaniowych dodatków uszlachetniających,
- obniżenie zawartości węglowodorów aromatycznych, w tym ograniczenie zawartości benzenu,
- obniżenie prężności par.

Postęp technologiczny w dziedzinie silników o zapłonie samoczynnym i ich dynamiczna ekspansja w pojazdach samochodowych powoduje, że już ponad połowa wszystkich sprzedawanych w Europie

samochodów wyposażona jest we wspomniane zespoły napędowe. Perspektywy wyczerpania się zasobów paliw kopalnych, obawy o stan środowiska naturalnego, a przede wszystkim do niedawna gwałtownie rosnące ceny ropy naftowej przyspieszyły zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii, w tym paliw do silników z zapłonem samoczynnym [1, 15], jednak nadal istotnym elementem rynku samochodowego są silniki zasilane benzyną.

Ważnym segmentem prac badawczych prowadzonych w Instytucie Technologii Nafty, a obecnie w Instytucie Nafty i Gazu w Krakowie, dotyczących benzyn silnikowych, są badania eksploatacyjne. Pozwalają one na monitorowanie pracy silnika, zasilanego przedmiotowym paliwem w warunkach rzeczywistych, pod kątem dynamiki samochodu, zużycia paliwa, pomiaru emisji toksycznych składników paliw, zanieczyszczenia układu dolotowego, komór spalania i rozpylaczy paliwa oraz trwałości podstawowych elementów roboczych silnika. Jakość tych badań gwarantuje nowoczesny warsztat badawczy obiektów badań, tj. samochodów badawczych.

## Rozwój benzyn silnikowych w świetle wymagań współczesnej motoryzacji

Wraz z rozwojem konstrukcji silników o zapłonie iskrowym oraz zmianami przepisów administracyjnych dotyczących ochrony środowiska, następuje wzrost wymagań parametrów fizykochemicznych i użytkowych benzyn silnikowych. Pierwszy etap podwyższenia jakości benzyn silnikowych w kraju przeprowadzono w latach 80. ubiegłego wieku i dotyczył on ograniczenia zawartości ołowiu w benzynach etylizowanych. Drugi jego etap zakończono w 1994 roku i była to kontynuacja obniżki zawartości ołowiu w benzynach etylizowanych do poziomu 0,15 g/l. Kolejnym etapem było wprowadzenie wysokooktanowych komponentów tlenowych. Były nimi: eter MTBE (eter metylo-tert-butylowy) i etanol. Szerokie zastosowanie etanolu pochodzenia roślinnego, jako dodatku do benzyn, na początku lat 90. stało się możliwe z wielu powodów, a były to:

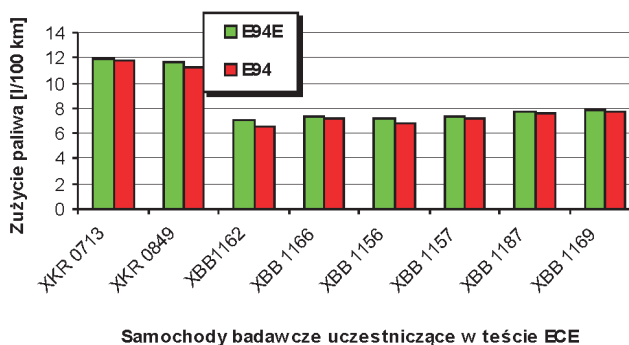
- względy ekologiczne: etanol jest paliwem odnawialnym, natomiast eter uważano wówczas za paliwo częściowo odnawialne,
- względy technologiczne: polskie normy PN-92/C-96025/01 dopuszczały wówczas stosowanie tlenowych związków organicznych we wszystkich typach produkowanych benzyn, w ilości ograniczonej zawartością tlenu na poziomie 2,8% (m/m) oraz maksymalnym stężeniu etanolu do 5% (V/V),
- względy ekonomiczne: wprowadzenie przez Ministra Finansów 22 listopada 1993 roku obniżonej stawki podatku akcyzowego na benzyny zawierające etanol.

Wprowadzenie organicznych związków zawierających tlen – alkoholi i eterów – do benzyn silnikowych pozwoliło na:

- poprawę bilansu tlenowego w procesach spalania,
- obniżenie zawartości węglowodorów,
- zrekompensowanie zmniejszenia liczby oktanowej, spowodowane eliminacją dodatków przeciwstukowych zawierających ołów.

Na podstawie prac badawczych Instytutu Technologii Nafty w 1992 roku Rafineria Trzebinia podjęła doświadczalną produkcję paliwa o handlowej nazwie etylina E-94E, zawierającego etanol, które było dostarczane do stacji CPN i innych sieci paliwowych. W pierwszym roku wprowadzono na rynek ok. 20 tys. ton tego paliwa [13]. Badania eksploatacyjne benzyny etylizowanej E-94E zawierającej ok. 5% (V/V) etanolu wykonano w Zakładzie Badań Trakcyjnych z wykorzystaniem samochodów marki Fiat 126p i Fiat Cinquecento.

Badania dotyczyły oceny jakości pracy silników 126A1.076E i 170A.000, w tym poprawności procesów spalania, pomiaru emisji toksycznych składników spalin, zużycia paliwa i właściwości dynamicznych samochodów [7]. Stwierdzono minimalny spadek prędkości maksymalnej  $V_{max}$  rzędu 1-2 km/h dla samochodów X1/79 Fiat Cinquecento i Fiat 126p, których silniki były zasilane benzyną E-94E z dodatkiem 5% (V/V) etanolu, zaś dynamika samochodów praktycznie nie uległa zmianie w porównaniu do benzyny E-94 (bez etanolu). Zużycie paliwa w samochodach badawczych w warunkach jazdy miejskiej wzrosło o ok. 0,1 l/100 km dla benzyny z dodatkiem 5% (V/V) etanolu, w odniesieniu do benzyny etylizowanej E-94. Zużycie paliwa (E-94 i E-94E) w symulowanej jeździe miejskiej według testu ECE 84-00 w samochodach badawczych przedstawiono na rysunku 1 [7].



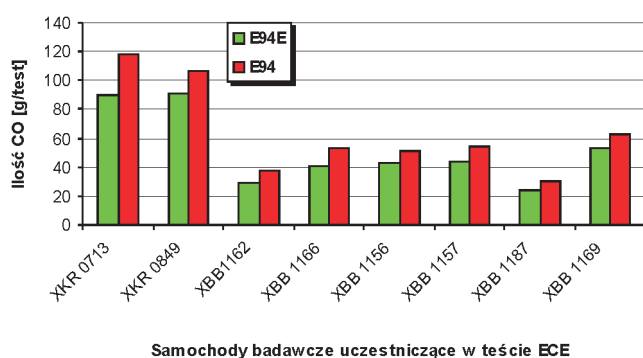
**Rys. 1.** Zużycie paliwa E-94 i E-94E w samochodach badawczych napędzanych przedmiotowymi paliwami w symulowanym cyklu jazdy miejskiej według ECE 84-00 (test „ciepły”) – hamownia podwoziowa

Uzyskano znaczną obniżkę emisji toksycznych składników spalin samochodów badawczych. Średnie stężenie tlenku węgla (CO) w gazach spalinowych silników zasilanych benzyną E-94E w poszczególnych samochodach było następujące:

- X1/79 Fiat Cinquecento – obniżka o 19,7%,
- Fiat 126pFL – obniżka o 18,2%,
- FSO Polonez – obniżka o 19,0%.

Stężenie tlenku węgla w gazach spalinowych, silników zasilanych benzyną E-94 i E-94E, przedstawiono na rysunku 2. Uzyskane wyniki wskazują na znaczny spadek emisji trującego tlenku węgla.

Wieloletnie badania i doświadczenie Instytutu Technologii Nafty dowiodły, że warunkiem dobrej jakości benzyny etylizowanej z dodatkiem etanolu jest specjalny skład benzyny bazowej i dodatku bezwod-



**Rys. 2.** Stężenia tlenku węgla w teście miejskim według ECE 15-04 (test „zimny”) na hamowni podwoziowej Schenck, z silnikami zasilanymi benzyną E-94E z dodatkiem 5% (V/V) etanolu i E-94 (bez dodatku etanolu)

nego alkoholu, o ściśle określonym poziomie stężenia: 4,5-5% (V/V). Alkohol ma wprawdzie niższą wartość energetyczną od benzyny, ale takie stężenie procentowe gwarantuje, że wzrost zużycia paliwa i spadek dynamiki samochodu jest znikomy. Ważnym osiągnięciem badawczym w kraju, osiągniętym przy współdziałaniu Instytutu Technologii Nafty, było wprowadzenie do eksploatacji benzyn bezołowiowych 95, które korzystnie wpłynęły na zmniejszenie szkodliwości środowiska naturalnego [3, 8]. Narastające problemy, związane z nadmiernym zanieczyszczeniem elementów roboczych silnika, spowodowały konieczność opracowania metod badawczych i oceny tych zjawisk – najpierw w USA, a później w Europie. Do ich oceny wprowadzono testy silnikowe, które prowadzi się do chwili obecnej, wykorzystując silniki MERCEDES BENZ: M102 zgodnie z procedurą CEC F-05-A-93 oraz M111 zgodnie z procedurą CEC F-20-A-98. Do wyjaśnienia niektórych mechanizmów analizowanych zjawisk wykorzystano wyniki badań trakcyjnych z użyciem samochodów badawczych reprezentujących nowoczesną myśl konstrukcyjno-technologiczną.

Aby uzyskać wysoką jakość użytkową nowoczesnych paliw benzynowych konieczne było opracowanie specjalnych formułacji benzyn silnikowych (benzyny reformułowane). Gwarantowały one uzyskanie określonego składu grupowego, a więc utrzymanie na odpowiednim poziomie zawartości węglowodorów aromatycznych, olefinowych i parafinowych. Szczególnie ważne było ograniczenie zawartości węglowodorów aromatycznych do poziomu ok. 20-35%, co pozwoliło na ograniczenie emisji szkodliwych składników w spalinach silników o zapłonie iskrowym. Równie ważne było utrzymanie na niskim poziomie zawartości olefin (w granicach 5-15%), co miało bezpośredni wpływ na

czystość układu dolotowego i komór spalania silnika. Kolejne lata przyniosły dalszą poprawę efektywności pracy silników samochodowych i właściwości ekologicznych jednostek napędowych. Wymagało to wprowadzenia do paliw bazowych, otrzymywanych z przeróbki ropy naftowej, specjalnych, wysokojakościowych i wielozadaniowych dodatków uszlachetniających [12]. Wzrost zastosowania dodatków uszlachetniających spowodowany był postępowaniem; zarówno w rozwoju konstrukcji silników spalinowych, jak i procesów petrochemicznych. Wielozadaniowe dodatki umożliwiają spełnienie podstawowych zadań stawianych paliwom przez współczesne silniki spalinowe, m.in. powodują zmniejszenie ilości osadów i nagarów odkładających się w układzie dolotowym, w komorze spalania i na zaworach dolotowych silnika, poprawę jakości spalania, obniżenie zużycia paliwa oraz ograniczenie skażenia środowiska naturalnego.

Znamiennym przykładem badań Instytutu w tym zakresie są badania benzyny silnikowej City (BC-95), uszlachetnionej wielozadaniowym pakietem dodatków uszlachetniających, której właściwości fizykochemiczne przedstawiono w tabelicy 1 [2].

Benzyna City została przebadana w ITN w 1998 roku, na potrzeby polskich rafinerii, w samochodach Opel Vectra 2.0 [2]. Właściwości ekologiczne silnika zasilanego porównawczo: benzyną Eurosuper-95 i benzyną City, samochodów marki Cinquecento 899 cm<sup>3</sup> i Opel Vectra 2.0 oceniono w badaniach stanowiskowych dotyczących pomiaru emisji toksycznych składników spalin według testu europejskiego NEDC (UDC + EUDC) – tablica 2.

Benzyna City-95 pozwoliła na obniżenie:

- zawartości benzenu < 1%,
- zawartości siarki < 50 mg/kg,
- zawartości węglowodorów aromatycznych < 30%.

Ponadto paliwo to nie zawierało żadnych metali w dodatkach detergentowych i spełniło wymagania CEC, dotyczące zanieczyszczenia wybranych elementów roboczych silnika.

Emisja toksycznych składników spalin benzyny City-95 charakteryzowała się niższym stężeniem, w porównaniu do benzyny Eurosuper-95:

- węglowodorów (CH) o 50%,
- tlenku węgla (CO) o 25%,
- tlenków azotu (NO<sub>x</sub>) o 75%.

Wyniki badań potwierdziły przydatność benzyny City do zasilania ówczesnych silników z ZI, które spełniają wymagania normy EURO IV.

**Tablica 1.** Porównanie właściwości fizykochemicznych benzyny BC-95 z właściwościami określonymi w normie PN-92/C-96025/06

Lp.	Parametr	Nie niżej	Nie wyżej	PN-92/C-96025/06	Metody badań
1.	Liczba oktanowa metodą badawczą [LOB]	95	-	min. 95	PN-82/C-04112
2.	Liczba oktanowa metodą motorową [LOM]	85	-	min. 85	PN-82/C-03033
3.	Liczba oktanowa frontalna [LOB <sub>100</sub> ]	85	-	min. 85	PN-92/C-96025/06 p3
4.	Skład frakcyjny: – do 70°C destyluje [% (V/V)] lato zima – do 100°C destyluje [% (V/V)] lato zima – do 150°C destyluje [% (V/V)] – koniec destylacji [°C]	28 30 50 55 83 -	42 47 65 70 - 190	min. 15 min. 20 min. 40 min. 45 - max. 215	PN-81/C-04012
5.	Prężność par [kPa] lato zima	45 60	60 80	max. 70 max. 90	PN-92/C-96025/06 p.4
6.	Zawartość siarki [mg/kg]	-	50	max. 1000	PN-88/C-04005
7.	Gęstość w temperaturze 20°C [g/ml]	0,73	-	min. 0,72	PN-90/C-04004
8.	Zawartość benzenu [% (V/V)]	-	1	max. 5	PN-92/C-04194
9.	Zawartość MTBE [% (V/V)]	-	15	max. 15	PN-92/C-04196
10.	Zawartość tlenu łączna [% (V/V)]	1,5	2,3 <sup>2)</sup>	max. 2,8	PN-92/C-04196
11.	Indeks własności jezdnych [DI] <sup>3)</sup>	-	1200	-	
12.	Zawartość olefin [% (V/V)]	-	13	-	PN-76/C-04100
13.	Zawartość węglowodorów aromatycznych [% (V/V)]	-	30	-	PN-76/C-04100
14.	Zawartość ołowiu [mg/kg]	-	5	max. 50	PN-92/C-96025/06 p.6
15.	Zawartość fosforu	-	Nie wykrywalna	Brak dodatków P	
16.	Dodatki zawierające metale	-	Nie zawiera	-	
17.	Czystość zaworów ssących (Opel Kadett) [mg/zawór]	-	50	-	CEC F-04-A-87
18.	Czystość zaworów ssących Mercedes M102 [mg/zawór]	-	50	-	CEC F-05-A-94

<sup>1)</sup> Wartość orientacyjna. Dokładna granica wyniku z wartości górnego limitu zawartości tlenu.

<sup>2)</sup> Tymczasowo, do momentu podjęcia decyzji przez Parlament Europejski, dopuszcza się 2,7% (m/m) O<sub>2</sub>.

<sup>3)</sup> DI = 2,7 T10 + 5,5T50 + 1,8T90 + 20\*O<sub>2</sub>[% (m/m)] + 176.

**Tablica 2.** Porównanie wyników pomiarów emisji toksycznych składników spalin benzyny City-95 z typową benzyną Eurosuper 95 produkowaną przez Petrochemię Plock S.A. w europejskim teście NEDC (UDC + EUDC)

Lp.	Benzyna	SAMOCHÓD					
		Cinquecento 899 cm <sup>3</sup>			Opel Vectra 2.0		
		HC [g/km]	CO [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]	HC [g/km]	CO [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]
1.	City, kompletny układ wydechowy	0,109	1,009	0,054	0,023	0,164	0,028
2.	Eurosuper-95, układ wydechowy kompletny	0,154	0,998	0,124	0,056	0,210	0,094
3.	City, układ wydechowy bez katalizatora	1,197	4,802	1,953	-	-	-
4.	Eurosuper-95, układ wydechowy bez katalizatora	1,273	4,977	1,910	-	-	-



## Paliwa alternatywne do zasilania silników o zapłonie iskrowym

Jednym z paliw alternatywnych przeznaczonych do zasilania silników o ZI i uznawanych za paliwo mało szkodliwe dla środowiska naturalnego jest gaz propan-butan [4, 9]. Tak duże zainteresowanie paliwami gazowymi propan-butan wynika z tych samych powodów, dla których na początku kariery silników spalinowych paliwa gazowe zostały wyparte przez paliwa konwencjonalne. Koszt tych ostatnich stale wzrastał, m.in. w związku z wymaganiami jakościowymi, a także wskutek obciążenia ich wysokimi podatkami, co w konsekwencji doprowadziło do tego, że dziś są one znacznie droższe od paliw gazowych. Tak naprawdę głównym powodem popularności gazu płynnego, jako nośnika energii napędu pojazdów samochodowych, jest korzystna relacja ceny, w odniesieniu do benzyny. Zasilanie silników paliwem gazowym LPG jest obecnie najpopularniejszym na świecie rodzajem zasilania alternatywnego, na które często decydują się wielkie koncerny samochodowe, takie jak: Fiat, Peugeot, Renault, GM itp., włączając w ten sposób do swojej oferty handlowej samochody z fabrycznie montowaną instalacją gazową. Szacuje się, że paliwem gazowym LPG jest napędzanych ok. 2 mln pojazdów poruszających się po polskich drogach [14]. Wymagania jakościowe gazów skroplonych propan-butan ( $C_3-C_4$ ) jako paliw silnikowych są określone w normie PN-EN 589:2003.

Prace badawcze dotyczące tych paliw, jako nośnika energii pojazdów samochodowych, stanowiły ważny obszar zainteresowań Instytutu, ukierunkowanych na potrzeby przemysłu rafineryjnego. Przeprowadzono kompleksowe badania laboratoryjne – dotyczące oceny właściwości fizykochemicznych paliw gazowych propan-butan oraz badania eksploatacyjne z uwzględnieniem dynamiki samochodu i zużycia paliwa, a także właściwości ekologicznych silnika i kompatybilności współdziałania paliwa gazowego z olejem smarowym. Istotnym elementem badań eksploatacyjnych paliw gazowych są badania drogowe, które dotyczą oceny dynamiki samochodów napędzanych benzyną 95 i gazem LPG (rozpędzanie w funkcji czasu), zużycia paliwa w ruchu miejskim, pozamiejskim i w jeździe górskiej

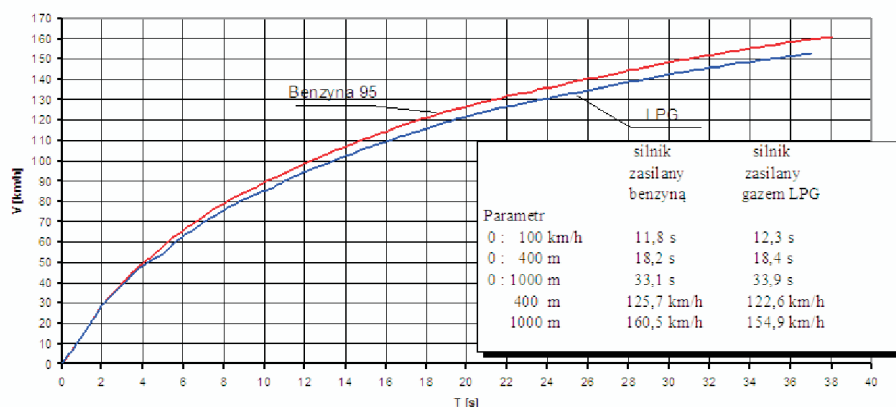
oraz trwałości podstawowych elementów roboczych silnika.

Na rysunku 3 przykładowo przedstawiono porównawcze charakterystyki dynamiki rozpędzania w funkcji czasu dwóch samochodów wyposażonych w tego samego typu silniki o pojemności  $1,8 \text{ dm}^3$ : jeden spełniający wymagania normy EURO IV (dla benzyny), a drugi posiadający instalację gazową IV generacji.

O przydatności paliw gazowych do zasilania silników o zapłonie iskrowym decydują następujące czynniki [5, 6]:

- wysoka liczba oktanowa badawcza w granicach 89-108 jednostek w przypadku, gdy LPG spełnia wymagania normy EN 589:2003,
- łatwość mieszania się paliwa gazowego z powietrzem, wskutek czego mieszanek napływającą do cylindrów silnika cechuje duża jednorodność, co zapewnia porównywalne obciążenie cieplne wszystkich cylindrów,
- spalane paliwo gazowe propan-butan powoduje mniejszą emisję toksycznych związków w spalinach silnika,
- mniejsza skłonność do tworzenia osadów w komorze spalania,
- istnieje możliwość stosowania większego stopnia sprężania w silnikach ZI w przypadku instalacji jednopunktowej,
- nie ma problemu rozcieńczania oleju silnikowego.

Dlatego też z punktu widzenia napędu silnika samochodowego paliwo propan-butan można uznać za paliwo porównywalne do benzyny, chociaż nie pozbawione wad [5]. Jedną z głównych niedoskonałości paliw gazowych propan-butan w stosunku do ciekłych paliw węglowodorowych jest znacznie mniejsza gę-



Rys. 3. Zależność prędkości rozpędzania samochodów w funkcji czasu

stość, co rzutuje na wielkość zużycia paliwa. Wyniki badań eksploatacyjnych paliw gazowych propan-butan pozwalają na stwierdzenie [10]:

- braku efektu chłodzenia zaworów dolotowych silnika mieszkanką gazowo-powietrzną (szybkie odparowywanie),
- zmniejszenia mocy użytkowej w silnikach o ZI rzędu 10-15% w odniesieniu do zasilania benzyną i momentu obrotowego o ok. 10%,
- obniżenia normatywnych toksycznych składników

spalin samochodu (zależnie od składu węglowodorowego paliwa gazowego LPG i nowoczesności konstrukcji silnika EURO IV oraz generacji instalacji gazowej) w stosunku do benzyny węglowodorowej.

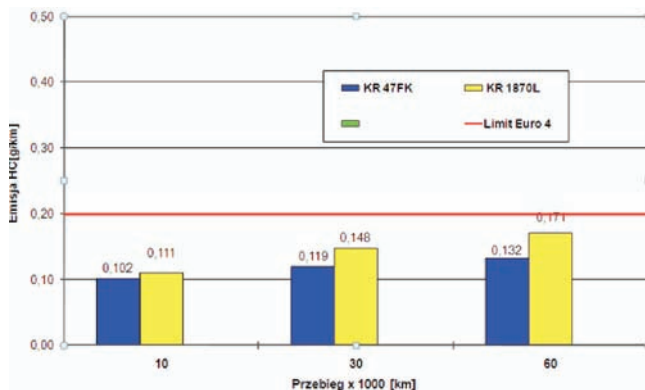
Ocenę energetyczną przedmiotowych paliw (benzyny bezołowiowej 95 i gazu propan-butan) przedstawiono w tabelicy 3.

Ocenę ekologiczną paliwa gazowego propan-butan przedstawiono na rysunkach 4-6.

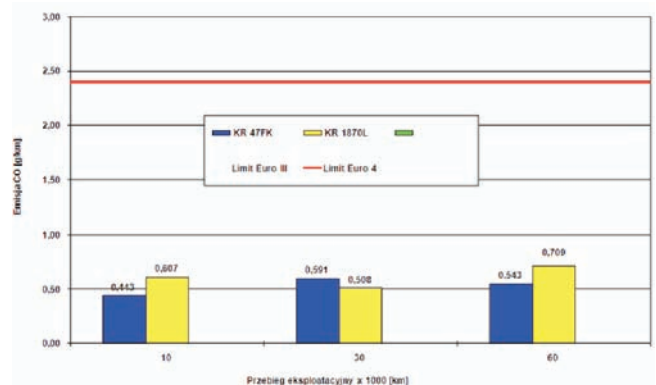
**Tabela 3.** Ocena energetyczna porównawcza benzyny bezołowiowej 95 i gazu propan-butan

Objekt badawczy: samochód osobowy wyposażony w:	Rodzaj paliwa	Zużycie paliwa	Test		
			UDC + EUDC	UDC	EUDC
– Silnik benzynowy o pojemności skokowej 1,8 dm <sup>3</sup> – Układ zasilania benzyną: wtrysk wielopunktowy – Układ zasilania gazem LPG: sekwencyjny wtrysk gazu w fazie lotnej	Benzyna handlowa 95	dm <sup>3</sup> /100 km	8,64	11,22	7,11
		kg/100 km	6,53	8,48	5,37
		MJ/100 km	274,26	356,16	225,54
	Gaz LPG	dm <sup>3</sup> /100 km	11,57	15,82	9,07
		kg/100 km	6,44	8,81	5,05
		MJ/100 km	294,96	403,50	231,29

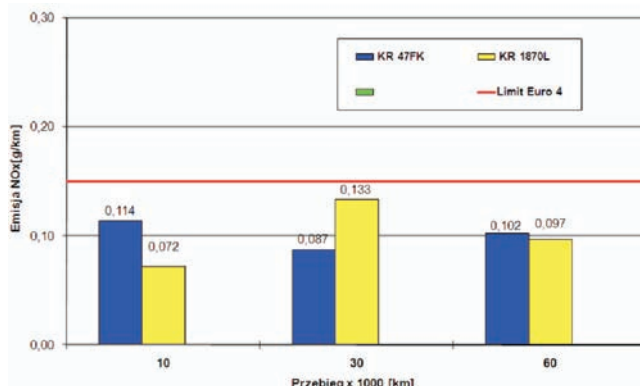
Gęstość paliw silnikowych: benzyna handlowa 95 = 0,756 [kg/dm<sup>3</sup>]  
 gaz LPG = 0,557 [kg/dm<sup>3</sup>]



**Rys. 4.** Średnie stężenie węglowodorów (HC) w teście europejskim NEDC (UDC + EUDC) samochodu marki Ford Mondeo 1.8 zasilanego LPG



**Rys. 5.** Średnie stężenie tlenku węgla (CO) w teście europejskim NEDC (UDC + EUDC) samochodu marki Ford Mondeo 1.8 zasilanego LPG



**Rys. 6.** Średnie stężenie tlenków azotu (NO<sub>x</sub>) w teście europejskim NEDC (UDC + EUDC) samochodu marki Ford Mondeo 1,8 zasilanego LPG

## Paliwa alternatywne do zasilania silników o zapłonie samoczynnym

Jednym z paliw alternatywnych do zasilania silników o zapłonie samoczynnym, zyskującym coraz większe zainteresowanie, jest biopaliwo. Przez wiele lat biopaliwa stanowiły obszar rozgrywek politycznych, przy medialnej krytyce, przekładającej się na społeczną niechęć do ich stosowania, a w wielu opiniach traktowano je nawet jako remedium na wszystkie bolączki gospodarki Polski. Pomimo przeprowadzenia wielu prac badawczych dotyczących biopaliw, w kraju w dalszym ciągu istnieją kontrowersje związane z eksploatacją nowoczesnych silników o zapłonie samoczynnym. Dotyczy to współdziałania biopaliwa z olejem silnikowym, kompatybilności materiałów konstrukcyjnych silników z biopaliwem, trwałości elementów wtrysku paliwa typu Common Rail, a także właściwości eksploatacyjnych i proekologicznych pojazdów samochodowych. Należy podkreślić, że specyfikacja danego rynku paliwowego, użytkowanych na nim pojazdów samochodowych oraz sposobu ich eksploatacji, wymaga każdorazowo rozpoznania zagrożeń stwarzanych przez biopaliwo stosowane do silników określonego typu. Problem biopaliw jest priorytetowym obszarem prac badawczych Instytutu Nafty i Gazu. Obecnie INiG zakończył badania eksploatacyjne – porównawcze paliw (ON, B10) z użyciem samochodów wyposażonych w silnik z układem wtrysku paliwa typu Common Rail, spełniających wymagania norm EURO IV [11]. Ogólny widok samochodu badawczego podczas badań stanowiskowych dotyczących pomiaru emisji toksycznych składników spalin przedstawiono na rysunku 7.

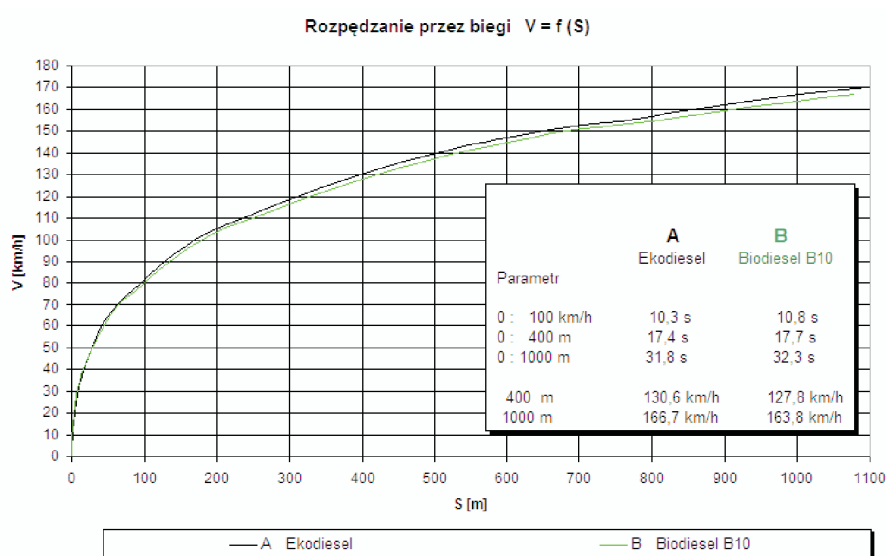
Badania stanowiskowe i drogowe wykazały dla samochodów zasilanych olejem napędowym Ekodiesel Ultra i biopaliwem B-10 porównywalne zużycia paliwa przy stałych prędkościach jazdy 90 i 120 km/h oraz w eksploatacji miejskiej i górskiej. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 8.

Stwierdzono nieco gorsze właściwości dynamiczne pojazdów zasilanych B-10 (rysunek 8) i nieco wyższe zużycia paliwa podczas jazdy autostradowej (przy dużych obciążeniach silnika). Pomiar emisji i oceny



**Rys. 7.** Ogólny widok samochodu podczas badań stanowiskowych w zakresie pomiaru emisji toksycznych składników spalin w teście europejskim NEDC (UDC + EUDC)

sprawności układu oczyszczania spalin potwierdziły pełną skuteczność filtra cząstek stałych, przekraczającą 95% sprawności samochodów zasilanych badanymi paliwami. Równocześnie stwierdzono kilkunastoprocentowe pogorszenie skuteczności działania konwertera katalitycznego (emisja HC i NO<sub>x</sub>) w przypadku samochodów zasilanych paliwem B-10. Stan techniczny i funkcjonalność układu wtrysku paliwa Common Rail podczas eksploatacji samochodów na dystansie 80 tys. km przy zasilaniu silnika przedmiotowymi paliwami (ON, B-10) nie uległy istotnym zmianom i zachowały pełną sprawność do końca przebiegu badawczego. Zasilanie silników samochodów badawczych biopaliwem B-10 nie wpłynęło na obniżenie właściwości użytkowych oleju silnikowego, który zapewnił bezpieczną eksploatację.



**Rys. 8.** Wyniki pomiarów rozpędzania pojazdu przez biegi – prędkość w funkcji czasu

## Podsumowanie

W ostatnich latach największymi dokonaniem przemysłu rafineryjnego dotyczącymi benzyn silnikowych było wprowadzenie do eksploatacji, przy współudziale Instytutu, benzyn bezołowiowych, tzn. takich, z których wyeliminowano szkodliwe związki ołowiu, głównie tetraetyk ołowiu  $Pb(C_2H_5)_4$  w postaci płynu etylowego (*Ethyl Fluid*) i wprowadzenie dodatków uszlachetniających oraz specjalnych komponentów, w tym komponentów tlenowych. Benzyny silnikowe najnowszej generacji wymagają specjalnych formułacji, uwzględniających zagrożenia odpowiedniego kształtowania składu grupowego tych paliw, a więc ścisłego określenia i doboru zawartości węglowodorów aromatycznych, olefinowych i parafinowych. Ilości poszczególnych węglowodorów mają m.in. ścisły związek z poziomem emisji substancji toksycznych w spalinach. Światowe kryzysy energetyczne stały się przyczyną zastosowania etanolu do benzyn silnikowych oraz biopaliwa estrowego (FAME) do zasilania silników o zapłonie samoczynnym. Badania eksploatacyjne biopaliw pozwoliły wyjaśnić wiele zagadnień; dotyczących współdziałania biopaliw z olejem smarowym, kompatybilności materiałów konstrukcyjnych silników z biopaliwami, w tym trwałości elementów wtrysku paliwa Common Rail, a także pozwoliły badać i kształtować właściwości eksploatacyjne i proekologiczne pojazdów samochodowych. Wiele problemów eksploatacyjnych związanych z wykorzystaniem biopaliw czeka jeszcze na rozwiązanie, a zatem można przypuszczać, że ten zakres prac badawczych będzie w dalszym ciągu kontynuowany i rozwijany w INiG.

## Literatura

- [1] Gajewska K.: *Biopaliwa – rozwiązania prawne w zakresie akcyzy w wybranych państwach Unii Europejskiej*. Biuletyn ITN, styczeń-marzec 2007.
- [2] Instytut Technologii Nafty, Kraków, Dokumentacja nr 1846, praca niepublikowana, 1993.
- [3] Jakóbiec J.: *Badania eksploatacyjne benzyny bezołowiowej, wysokotlenowej E-95 o ograniczonej zawartości tlenu 2,7% (m/m) w tłokowych silnikach spalinowych o zapłonie iskrowym*. Dokumentacja ITN, 1995.
- [4] Jakóbiec J.: *Badania eksploatacyjne paliwa propan-butan w tłokowych silnikach spalinowych o zapłonie iskrowym zasilanych gaznikowo i wtryskowo wyposażonych w katalizator w układzie wydechowym i sondę lambda*. Dokumentacja ITN nr 3027, 1996.
- [5] Jakóbiec J., Wysopal G.: *Badania porównawcze oceny toksyczności spalin silnika zasilanego benzyną bezołowiową i gazem propan-butan*. Dokumentacja ITN nr 3092, 1998.
- [6] Jakóbiec J., Wysopal G.: *Ocena jakościowo-energetyczna paliwa gazowego propan-butan w samochodach marki Polonez Caro GLI i GLE*. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Pojazd a Środowisko”, Jedlina – Radom, 1999.
- [7] Jakóbiec J., Marchut A.: *Emisja spalin z silnikiem zasilanym benzyna z bioetanolem*. Biuletyn ITN nr 2, 2000.
- [8] Jakóbiec J., Urzędowska W., Wysopal G., Pałuchowska M. i in.: *Badania współdziałania benzyn silnikowych produkowanych w Polskim Koncernie Naftowym ORLEN S.A. zawierających bioetanol oraz dodatki uszlachetniające z olejami silnikowymi produkcji ORLEN OIL Sp. z o.o.* Dokumentacja ITN nr 3480, 2003.
- [9] Jakóbiec J., Wysopal G.: *Ocena konkurencyjności zasilania benzynami motorowymi wobec gazu LPG. Wpływ zasilania nowoczesnych silników samochodowych gazem LPG na ich trwałość i ekonomikę stosowania paliwa LPG w stosunku do benzyny silnikowej*. Dokumentacja ITN, 2005.
- [10] Jakóbiec J., Urzędowska W., Wysopal G.: *Ocena efektywności smarowania olejem silnikowym produkcji Grupy LOTOS S.A. silników samochodowych wyposażonych w nowoczesny układ zasilania gazem – sekwencyjny wtrysk LPG w fazie gazowej*. Dokumentacja ITN nr 4006, 2006.
- [11] Jakóbiec J., Urzędowska W., Mazanek A., Lubowicz J.: *Badania eksploatacyjne biopaliwa B10 zawierającego 10% (V/V) FAME w nowoczesnych silnikach o zapłonie samoczynnym z bezpośrednim wtryskiem paliwa w układzie Common Rail, uwzględniając aspekt współdziałania z olejem silnikowym*. Dokumentacja INiG nr 0684/TE3, 2008.
- [12] Jakóbiec J., Wysopal G.: *Badania eksploatacyjne wielofunkcyjnego pakietu dodatków uszlachetniających do benzyn silnikowych*. Zadanie nr 5, Projekt celowy zamawiany nr 3T09BO7897C/3709.
- [13] Kossowicz L.: *Burza wokół paliw*. Kurier Daewoo, 2002.
- [14] PN-EN 589:2003 *Paliwa do pojazdów samochodowych; Skroplone gazy węglowodorowe LPG – Wymagania i metody badań*.
- [15] *Zielona Księga o bezpieczeństwie zapotrzebowania w energię*, 2000.

Recenzent: doc. dr Michał Krasodomski



Doc. dr inż. Janusz JAKÓBIEC – absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej, Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych. Był Kierownikiem Pracowni Badań Eksploatacyjnych w Instytucie Nafty i Gazu w Krakowie. Zajmuje się oceną właściwości użytkowych produktów naftowych w badaniach trakcyjnych.



Mgr inż. Aleksander MAZANEK – absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Krakowskiej. Od 2003 roku pracownik Zakładu Badań Eksploatacyjnych Instytutu Technologii Nafty. Współautor 12 artykułów publikowanych w czasopiśmie krajowych oraz 6 dokumentacji ITN. Obecnie Kierownik Laboratorium Badań Eksploatacyjnych w Pionie Technologii Nafty INiG.