

Przemysław SANDER, Łukasz DANIŁOWICZ, Jacek KOWALCZYK, Rafał LONGWIC, Wincenty LOTKO, Krzysztof GÓRSKI

WPLYW RODZAJU PALIWA NA WYBRANE PARAMETRY PROCESU SPALANIA W SILNIKU O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM

W artykule przedstawiono uzyskane wartości wybranych parametrów procesu spalania zachodzącego w silniku o zapłonie samoczynnym przy zasilaniu paliwami standardowymi i uszlachetnionymi - pochodzącymi od różnych producentów (Orlen, BP, Shell). Badania prowadzono w warunkach statycznej pracy silnika: na biegu jałowym oraz w warunkach ruchu pojazdu na hamowni podwoziowej z ustaloną prędkością 50 km/h.

WSTĘP

Obecnie silnik spalinowy jest podstawowym źródłem napędu pojazdów samochodowych i ciężarowych. Głównym paliwem stosowanym do pojazdów silnikowych jest olej napędowy i benzyna, produkty pochodzące z przeróbki ropy naftowej. Wraz z wzrostem świadomości ekologicznej społeczeństwa i związanym z tym zaostrzaniem norm emisji spalin, prowadzono w wielu ośrodkach badawczych prace nad udoskonalaniem układu paliwowo-zapłonowego oraz samej konstrukcji silnika spalinowego [7,6]. Kolejnym kierunkiem badań, prowadzącym do spełnienia rygorystycznych norm emisji spalin, była poprawa własności fizykochemicznych paliw ciekłych stosowanych w silnikach spalinowych, które mają bezpośredni wpływ na przebieg procesu wtrysku oraz spalania [1,2]. Ze względu na wspomniane zaostrzenie norm dotyczących emisji związków toksycznych spalin oraz z uwagi na niestabilną sytuację na rynku paliw ropopochodnych podejmowane są również prace w zakresie poszukiwania nowych rodzajów paliw do zasilania silników spalinowych [8,9]. W odniesieniu do silników o zapłonie samoczynnym prace te prowadzone są głównie w zakresie pozyskiwania paliw nie pochodzących z rafinacji ropy naftowej tzw. paliw alternatywnych. Można już od dłuższego czasu zaobserwować pojazdy o ZS zasilane gazem propan-butan (LPG), gazem ziemnym (CNG i LNG) oraz w technologii hybrydowej [3,4,5]. Pomimo wyraźnych korzyści ekonomicznych (niska cena paliwa gazowego) i ekologicznych (niższa emisja NOx, CO i HC), pojazdy te wymagają dosyć kosztownych zmian konstrukcyjnych przystosowujących układy zasilania i silniki do spalania tego typu paliwa. W odniesieniu do pojazdów oferowanych z silnikami o ZS w technologii hybrydowej można zauważyć niskie zainteresowanie ze względu na ich wysokie ceny, których nie rekompensują żadne ulgi podatkowe z racji użytkowania pojazdu ekologicznego. W związku z powyższym olej napędowy długo jeszcze będzie podstawowym paliwem do pojazdów samochodowych. Na rynku oferowane są paliwa do silników o ZS w dwóch odmianach tj. standardowej oraz uszlachetnionej (paliwa premium). W zależności od producenta paliw ww. paliwa posiadają różne nazwy handlowe tj. ON Ekodiesel Ultra i ON Verva (Orlen), ON Active i ON Active Ultimate (BP) oraz ON FuelSave i ON V-Power Nitro+ (Shell). W artykule autorzy określali wpływ ww. paliw na wybrane parametry procesu spalania w silniku o zapłonie samoczynnym samochodu Fiat QUBO.

1. WŁASNOŚCI FIZYKOCHEMICZNE PALIW

Poddane badaniom paliwa spełniały wymagania określone polskim prawem. Własności fizykochemiczne i metody badań krajowych olejów napędowych były zgodne z polską normą PN EN 590:2013. Norma ta jest oficjalnym tłumaczeniem angielskiej wersji Normy Europejskiej EN 590:2013. Zawarto w niej wymagania Europejskiej Dyrektywy Paliwowej 98/70/WE z późniejszymi zmianami 2003/17/WE, 2009/30/WE i 2011/63/WE [10]. Wg oficjalnych informacji producentów ww. paliwa różnicuje pakiet dodatków uszlachetniających mających wpływ na parametry silników oraz na właściwości oczyszczające. Do każdego badanego paliwa uzyskano odpis świadectwa jakości, gdzie podano wyniki badań paliwa w porównaniu do obowiązującej normy. Wyniki badań paliw pokazano w tab. 1-6. Analiza przedłożonych przez pracowników stacji paliw (z których pobrano próbki) certyfikatów jakości paliw wykazała, że w stosunku do paliw firmy Shell i BP zmierzone parametry fizykochemiczne paliw były identyczne dla odmiany standardowej (ON Active i ON Active Ultimate) oraz odmiany premium (ON FuelSave i ON V-Power Nitro+ (Shell)). Paliwa firmy Orlen charakteryzowały się zmierzonymi odmiennymi wartościami liczby cetanowej, indeksu cetanowego, składu frakcyjnego oraz lepkości (ON Ekodiesel Ultra i ON Verva).

Tab. 1. Wyniki badań ON Active firmy BP

L.p.	Oznaczenie wielkości	Jednostki	Wartość oznaczona	Wymagania wg normy
1	Gęstość w temp. 15 °C	kg/m ³	Zgodnie z normą	min. 820,0 – max. 845,0
2	Liczba cetanowa	-	52,6	min. 51,0
3	Indeks cetanowy	-	53,5	min. 46,0
4	Do 250 °C destyluje	%(V/V)	37,0	max. 65
5	Do 350 °C destyluje	%(V/V)	93,0	min. 85
6	95 %(V/V)	°C	359	max. 360
7	Temp. końca destylacji FBP	°C	-	-
8	Wydajność	%(V/V)	brak	-
9	Lepkość kinematyczna w temp. 40 °C	mm ² /s	2,792	min. 2,000 – max. 4,500
10	Temperatura mętnienia	°C	-5	nie normalizowana
11	Temperatura blokady zimnego filtra	°C	-6	max. 0
12	Temperatura zapłonu	°C	64,5	min. 55,0
13	Pozostałość po kokosowaniu z 10 % pozostałości destylacyjnej	%(m/m)	0,01	max. 0,30
14	Pozostałość po spopieleniu	%(m/m)	< 0,001	max. 0,010
15	Zawartość siarki	mg/kg	8,6	max. 10,0
16	Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych	%(m/m)	1,9	max. 8,0
17	Działanie korodujące na miedź (3h) w temp. 50 °C	klasa	1	max. 1
18	Zawartość wody	mg/kg	100	max. 200
19	Zawartość zanieczyszczeń stałych	mg/kg	< 12,0	max. 24
20	Stabilność oksydacyjna	g/m ³	max. 25	max. 25
21	Smarność, skorygowana średnica śladu zużycia w temp. 60 °C	µm	441	max. 460
22	Zawartość estrów metylowych kwasów tłuszczowych FAME	%(V/V)	max. 7	max. 7,0
23	Stabilność oksydacyjna	H	min. 20	min. 20
24	Zawartość Manganu	mg/l	< 0,5	max. 2,0

Tab. 2. Wyniki badań ON Active Ultimate firmy BP

L.p.	Oznaczenie wielkości	Jednostki	Wartość oznaczona	Wymagania wg normy
1	Gęstość w temp. 15 °C	kg/m ³	Zgodnie z normą	min. 820,0 – max. 845,0
2	Liczba cetanowa	-	52,6	min. 51,0
3	Indeks cetanowy	-	53,5	min. 46,0
4	Do 250 °C destyluje	%(V/V)	37,0	max. 65
5	Do 350 °C destyluje	%(V/V)	93,0	min. 85
6	95 %(V/V)	°C	359	max. 360
7	Temp. końca destylacji FBP	°C	-	-
8	Wydajność	%(V/V)	brak	-
9	Lepkość kinematyczna w temp. 40 °C	mm ² /s	2,792	min. 2,000 – max. 4,500
10	Temperatura mętnienia	°C	- 5	nie normalizowana
11	Temperatura blokady zimnego filtra	°C	- 6	max. 0
12	Temperatura zapłonu	°C	64,5	min. 55,0
13	Pozostałość po koksowaniu z 10 % pozostałości destylacyjnej	%(m/m)	0,01	max. 0,30
14	Pozostałość po spopieleniu	%(m/m)	< 0,001	max. 0,010
15	Zawartość siarki	mg/kg	8,6	max. 10,0
16	Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych	%(m/m)	1,9	max. 8,0
17	Działanie korodujące na miedź (3h) w temp. 50 °C	klasa	1	max. 1
18	Zawartość wody	mg/kg	100	max. 200
19	Zawartość zanieczyszczeń stałych	mg/kg	< 12,0	max. 24
20	Stabilność oksydacyjna	g/m ³	max. 25	max. 25
21	Smarność, skorygowana średnica śladu zużycia w temp. 60 °C	µm	441	max. 460
22	Zawartość estrów metylowych kwasów tłuszczowych FAME	%(V/V)	max. 7	max. 7,0
23	Stabilność oksydacyjna	H	min. 20	min. 20
24	Zawartość Manganu	mg/l	< 0,5	max. 2,0

Tab. 3. Wyniki badań ON FuelSave firmy Shell

L.p.	Oznaczenie wielkości	Jednostki	Wartość oznaczona	Wymagania wg normy
1	Gęstość w temp. 15 °C	kg/m ³	Zgodnie z normą	min. 820,0 – max. 845,0
2	Liczba cetanowa	-	51,6	min. 51,0
3	Indeks cetanowy	-	53,5	min. 46,0
4	Do 250 °C destyluje	%(V/V)	37,0	max. 65
5	Do 350 °C destyluje	%(V/V)	93,6	min. 85
6	95 %(V/V)	°C	355	max. 360
7	Temp. końca destylacji FBP	°C	-	-
8	Wydajność	%(V/V)	brak	-
9	Lepkość kinematyczna w temp. 40 °C	mm ² /s	2,757	min. 2,000 – max. 4,500
10	Temperatura mętnienia	°C	- 6	nie normalizowana
11	Temperatura blokady zimnego filtra	°C	- 7	max. 0
12	Temperatura zapłonu	°C	63,5	min. 55,0
13	Pozostałość po koksowaniu z 10 % pozostałości destylacyjnej	%(m/m)	0,01	max. 0,30
14	Pozostałość po spopieleniu	%(m/m)	0,001	max. 0,010
15	Zawartość siarki	mg/kg	8,3	max. 10,0
16	Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych	%(m/m)	2,2	max. 8,0
17	Działanie korodujące na miedź (3h) w temp. 50 °C	klasa	1	max. 1
18	Zawartość wody	mg/kg	72	max. 200
19	Zawartość zanieczyszczeń stałych	mg/kg	< 12,0	max. 24
20	Stabilność oksydacyjna	g/m ³	max. 25	max. 25
21	Smarność, skorygowana średnica śladu zużycia w temp. 60 °C	µm	452	max. 460
22	Zawartość estrów metylowych kwasów tłuszczowych FAME	%(V/V)	max. 7,0	max. 7,0
23	Stabilność oksydacyjna	H	min. 20	min. 20
24	Zawartość Manganu	mg/l	< 0,5	max. 2,0

Tab. 4. Wyniki badań ON V-Power Nitro+ firmy Shell

L.p.	Oznaczenie wielkości	Jednostki	Wartość oznaczona	Wymagania wg normy
1	Gęstość w temp. 15 °C	kg/m ³	Zgodnie z normą	min. 820,0 – max. 845,0
2	Liczba cetanowa	-	51,6	min. 51,0
3	Indeks cetanowy	-	53,5	min. 46,0
4	Do 250 °C destyluje	%(V/V)	37,0	max. 65
5	Do 350 °C destyluje	%(V/V)	93,6	min. 85
6	95 %(V/V)	°C	355	max. 360
7	Temp. końca destylacji FBP	°C	-	-
8	Wydajność	%(V/V)	brak	-
9	Lepkość kinematyczna w temp. 40 °C	mm ² /s	2,757	min. 2,000 – max. 4,500
10	Temperatura mętnienia	°C	- 6	nie normalizowana
11	Temperatura blokady zimnego filtra	°C	- 7	max. 0
12	Temperatura zapłonu	°C	63,5	min. 55,0
13	Pozostałość po koksowaniu z 10 % pozostałości destylacyjnej	%(m/m)	0,01	max. 0,30
14	Pozostałość po spopieleniu	%(m/m)	0,001	max. 0,010
15	Zawartość siarki	mg/kg	8,3	max. 10,0
16	Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych	%(m/m)	2,2	max. 8,0
17	Działanie korodujące na miedź (3h) w temp. 50 °C	klasa	1	max. 1
18	Zawartość wody	mg/kg	72	max. 200
19	Zawartość zanieczyszczeń stałych	mg/kg	< 12,0	max. 24
20	Stabilność oksydacyjna	g/m ³	max. 25	max. 25
21	Smarność, skorygowana średnica śladu zużycia w temp. 60 °C	µm	452	max. 460
22	Zawartość estrów metylowych kwasów tłuszczowych FAME	%(V/V)	max. 7,0	max. 7,0
23	Stabilność oksydacyjna	H	min. 20	min. 20
24	Zawartość Manganu	mg/l	< 0,5	max. 2,0

Tab. 5. Wyniki badań ON Ekodiesel Ultra BIO firmy Orlen

L.p.	Oznaczenie wielkości	Jednostki	Wartość oznaczona	Wymagania wg normy
1	Gęstość w temp. 15 °C	kg/m ³	Zgodnie z normą	min. 820,0 – max. 845,0
2	Liczba cetanowa	-	52,3	min. 51,0
3	Indeks cetanowy	-	53,6	min. 46,0
4	Do 250 °C destyluje	%(V/V)	40,0	max. 65
5	Do 350 °C destyluje	%(V/V)	93,0	min. 85
6	95 %(V/V)	°C	355	max. 360
7	Temp. końca destylacji FBP	°C	brak danych	-
8	Wydajność	%(V/V)	brak danych	-
9	Lepkość kinematyczna w temp. 40 °C	mm ² /s	2,599	min. 2,000 – max. 4,500
10	Temperatura mętnienia	°C	- 6	nie normalizowana
11	Temperatura blokady zimnego filtra	°C	- 7	max. 0
12	Temperatura zapłonu	°C	61,5	min. 55,0
13	Pozostałość po koksowaniu z 10 % pozostałości destylacyjnej	%(m/m)	0,01	max. 0,30
14	Pozostałość po spopieleniu	%(m/m)	< 0,001	max. 0,010
15	Zawartość siarki	mg/kg	8,0	max. 10,0
16	Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych	%(m/m)	2,1	max. 8,0
17	Działanie korodujące na miedź (3h) w temp. 50 °C	klasa	klasa 1	max. 1
18	Zawartość wody	mg/kg	103	max. 200
19	Zawartość zanieczyszczeń stałych	mg/kg	< 12,0	max. 24
20	Stabilność oksydacyjna	g/m ³	max. 25	max. 25
21	Smarność, skorygowana średnica śladu zużycia w temp. 60 °C	µm	408	max. 460
22	Zawartość estrów metylowych kwasów tłuszczowych FAME	%(V/V)	max. 7,0	max. 7,0
23	Stabilność oksydacyjna	H	min. 20	min. 20
24	Zawartość Manganu	mg/l	< 0,5	max. 2,0

Tab. 6. Wyniki badań ON VERA BIO firmy Orlen

L.p.	Oznaczenie wielkości	Jednostki	Wartość oznaczona	Wymagania wg normy
1	Gęstość w temp. 15 °C	kg/m ³	828,4	min. 820,0 – max. 845,0
2	Liczba cetanowa	-	55,0	min. 51,0
3	Indeks cetanowy	-	53,6	min. 46,0
4	Do 250 °C destyluje	%(V/V)	40	max. 65
5	Do 350 °C destyluje	%(V/V)	93	min. 85
6	95 %(V/V)	°C	355	max. 360
7	Temp. końca destylacji FBP	°C	brak danych	-
8	Wydajność	%(V/V)	brak danych	-
9	Lepkość kinematyczna w temp. 40 °C	mm ² /s	2,60	min. 2,000 – max. 4,500
10	Temperatura mętnienia	°C	- 6	nie normalizowana
11	Temperatura blokady zimnego filtra	°C	- 7	max. 0
12	Temperatura zapłonu	°C	61,5	min. 55,0
13	Pozostałość po koksowaniu z 10 % pozostałości destylacyjnej	%(m/m)	0,01	max. 0,30
14	Pozostałość po spopieleniu	%(m/m)	< 0,001	max. 0,010
15	Zawartość siarki	mg/kg	8,0	max. 10,0
16	Zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych	%(m/m)	2,1	max. 8,0
17	Działanie korodujące na miedź (3h) w temp. 50 °C	klasa	klasa 1	max. 1
18	Zawartość wody	mg/kg	103	max. 200
19	Zawartość zanieczyszczeń stałych	mg/kg	< 12,0	max. 24
20	Stabilność oksydacyjna	g/m ³	max. 25	max. 25
21	Smarność, skorygowana średnica śladu zużycia w temp. 60 °C	µm	408	max. 460
22	Zawartość estrów metylowych kwasów tłuszczowych FAME	%(V/V)	max. 7,0	max. 7,0
23	Stabilność oksydacyjna	H	min. 20	min. 20
24	Zawartość Manganu	mg/l	< 0,5	max. 2,0

2. BADANIA EMPIRYCZNE

2.1. Stanowisko badawcze, obiekt badań

Badania zrealizowano w Laboratorium Katedry Pojazdów Samochodowych Politechniki Lubelskiej. Obiektem badań był pojazd marki Fiat Qubo z silnikiem o zapłonie samoczynnym spełniającym normy spalin określone normą Euro 5, pięciostopniową skrzynią biegów. W pojeździe badawczym zamontowano dodatkowy (zewnętrzny) układ zasilania, pozwalający na szybką wymianę badanych paliw. Dane techniczne silnika samochodu badawczego pokazano w tabeli nr 7.

Tab. 7. Dane techniczne silnika 1.3 Multijet pojazdu badawczego Fiat Qubo

Liczba cylindrów	4
Średnica cylindra (mm)	69,6
Skok tłoka (mm)	82
Pojemność całkowita (cm ³)	1248
Moc maksymalna (kW CEE)	55
Moc maksymalna (KM CEE)	75
Funkcjonowanie przy mocy maksymalnej (obr./1 min)	4000
Moment maksymalny (Nm CEE)	190
Moment maksymalny (kgm CEE)	19,4
Prędkość obrotowa przy momencie maksymalnym (obr./1 min)	1500
Obroty na biegu jałowym (obr./1')	850 ± 20
Stopień sprężania	16,8 : 1

Warunki drogowe odwzorowano symulując jazdę po drodze na hamowni podwozowej dla pojazdów z napędem na dwie osie typu DF4FS-HLS W skład hamowni podwozowej DF4FS-HLS wchodził:

- stacjonarny (pierwszy) zestaw rolkowy z hamulcem elektrowirowym oraz pompą hydrauliczną;
- ruchomy (drugi) zestaw rolkowy z hamulcem elektrowirowym, pompą hydrauliczną oraz silnikiem przekładniowym do dopędzania;
- pulpit sterujący (tablica rozdzielcza);
- sterowanie układem hydraulicznym;
- dmuchawa osiowa do chłodzenia pojazdu;
- komputer PC z oprogramowaniem hamowni.

W badaniach wykorzystano system do indykowania silnika firmy AVL - Indi Micro 602 z wbudowanym wzmacniaczem sygnału, współpracującym z czterema analogowymi kanałami wejściowymi oraz dwoma wejściami cyfrowymi. Sygnały rejestrowane przez system AVL Indimicro to:

- przebieg ciśnienia wewnątrz cylindra - rejestrowano za pomocą czujnika piezoelektrycznego AVL GH13P zamontowanego w gnieździe świecy żarowej pierwszego cylindra;
- sygnał położenia wału korbowego silnika,
- parametry wtrysku analizowano na podstawie analogowego sygnału sterowania wtryskiwaczem piezoelektrycznym po przetworzeniu na sygnał cyfrowy.

Na rysunku 1 pokazano stanowisko badawcze wykorzystywane podczas badań.



Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1. Samochód badawczy Fiat Qubo z silnikiem 1.3 Multijet z dodatkowym układem paliwowym 2. Komputer z zainstalowanym oprogramowaniem AVL 3. System do indykowania silnika AVL Indimicro 602 4. Hamownia podwozowa DF4FS-HLS 5. Oprogramowanie AVL IndiCom V2.7.

2.2. Metodyka badań

Silnik zabudowany w pojeździe Fiat Qubo poddano indykowaniu w wytypowanych warunkach ruchu, odwzorowujących warunki statyczne. Warunki ruchu pojazdu realizowano na hamowni podwozowej. Pojazd obciążony był symulowanymi wartościami siły oporu toczenia. Poddano dwa przypadki pracy silnika:

- praca silnika na postoju– bieg jałowy silnika, (warunki statycznej pracy silnika);
- jazda pojazdem na IV biegu z ustaloną prędkością 50 km/h (warunki statycznej pracy silnika, stałe obciążenie od sił oporu toczenia).

Badaniom poddano sześć próbek paliw dostępnych w ogólnostępnych stacjach paliw na terenie Polski tj.:

- ON Ekodiesel Ultra i ON Verva (Orlen);
- ON Active i ON Active Ultimate (BP);
- ON FuelSave i ON V-Power Nitro+ (Shell).

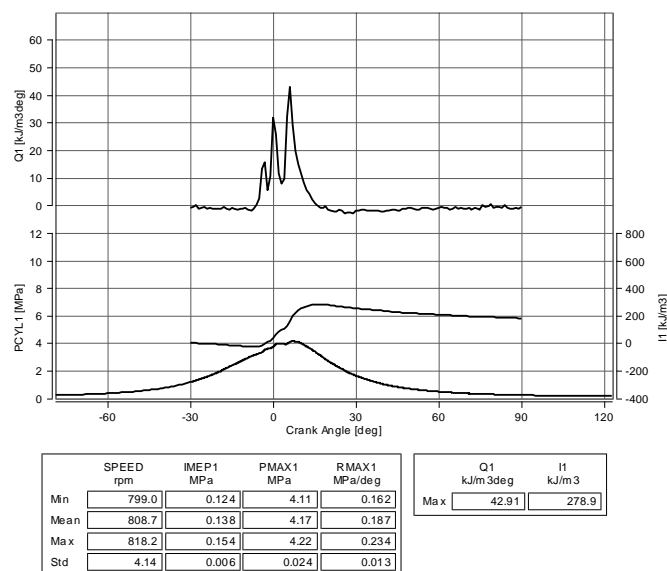
2.3. Analiza wyników

Na rysunku 2 – 7 przeanalizowano wybrane parametry pracy silnika dla przypadku statycznej pracy silnika na biegu jałowym. Pokazano przebieg i maksymalne wartości wywiązywania ciepła (Q1), ilość wywiązanego ciepła (I1) dla 1 cyklu pracy silnika. Obliczono wartości średnie, minimalne, maksymalne oraz odchylenie standardowe średniego ciśnienia indykowanego, prędkości obrotowej silnika, maksymalnego ciśnienia spalania i maksymalnej prędkości narastania ciśnienia ze wszystkich cykli pracy silnika. Na rysunku 8 – 13 przeanalizowano wybrane parametry pracy silnika dla przypadku jazdy pojazdem na IV biegu z prędkością 50 km/h (warunki statycznej pracy silnika, stałe obciążenie od sił oporu toczenia). Przeprowadzone badania w warunkach pracy silnika na biegu jałowym silnika oraz podczas jazdy na IV biegu z prędkością ok. 50 km/h wykazały nieznaczne różnice w wybranych parametrach roboczych silnika zasilanego badanymi paliwami. Do porównania parametrów roboczych przy zasilaniu różnymi paliwami przyjęto wyznaczone wartości średnie. Odchylenia standardowe tych parametrów (bliskie zera) mogło wskazywać, że przyjęte do porównania średnie wartości mogą być reprezentatywne dla zarejestrowanych cykli pracy silnika. W pracy silnika na biegu jałowym najwyższe wartości średniego ciśnienia indykowanego osiągnięto na paliwach firmy Orlen tj. 0,148 MPa dla ON Ekodiesel i 0,173 MPa dla ON Verva i były to wartości odpowiednio większe o 0,01 MPa dla ON FuelSave i ON Active oraz o 0,035 MPa dla V-Power Nitro+ i 0,032 MPa dla ON Active. Maksymalna prędkość narastania ciśnienia osiągała najwyższe średnie wartości (ze 100 cykli pracy) na paliwie ON Ekodiesel tj. 0,200 MPa/°OWK i była wyższa o 0,013 MPa/°OWK dla ON FuelSave i o 0,024 MPa/°OWK dla ON Active. W segmencie paliw premium paliwo ON Verva osiągało najwyższe wartości prędkości narastania ciśnienia tj. 0,215 MPa/°OWK i były one wyższe o 0,054 MPa/°OWK dla V-Power Nitro+ i 0,050 MPa/°OWK dla ON Active Ultimate. W warunkach statycznej pracy silnika na biegu jałowym maksymalna prędkość wywiązywania ciepła w okresie spalania kinetycznego dla wybranych cykli pracy silnika wyniosła 43 kJ/m³OWK dla paliwa Ekodiesel i była wyższa o 0,91 kJ/m³OWK dla ON FuelSave i 1,07 kJ/m³OWK dla ON Active. W segmencie paliw premium najwyższe wartości maksymalnej prędkości wywiązywania ciepła osiągnięto dla V-Power Nitro+ tj. 52,36 kJ/m³OWK i było nieznacznie większe o 0,28 kJ/m³OWK dla ON Verva i 1,22 kJ/m³OWK dla ON Active Ultimate.

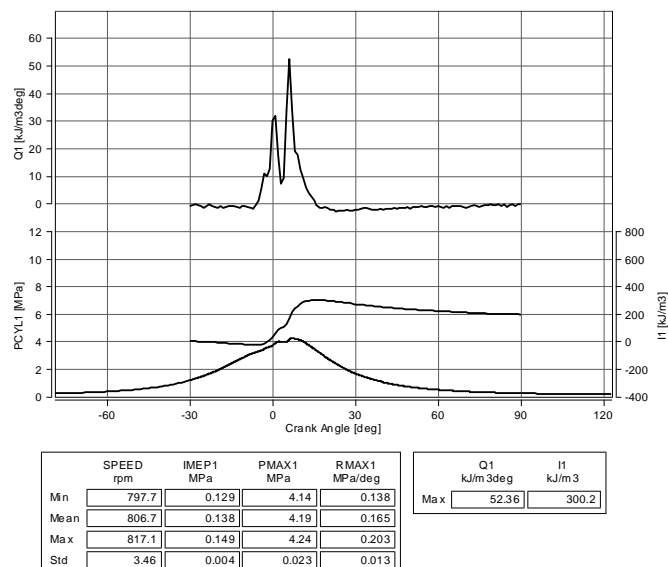
W przypadku poruszania się pojazdem na IV biegu z prędkością ok. 50 km/h przy zbliżonej prędkości obrotowej silnika ok. 1750 obr/min, najwyższe wartości średniego ciśnienia indykowanego osiągnięto dla paliwa firmy BP tj. 0,59 MPa dla ON Active i 0,577 MPa dla ON Active Ultimate i były to wartości odpowiednio większe o 0,025 MPa dla ON FuelSave i 0,047 MPa dla ON Ekodiesel oraz o 0,03 MPa dla V-Power Nitro+ i 0,024 MPa dla ON Verva. Maksymalna prędkość narastania ciśnienia osiągała najwyższe średnie wartości (ze 100 cykli pracy) na paliwie ON FuelSave tj. 0,458 MPa/°OWK i była wyższa o 0,06 MPa/°OWK dla ON Ekodiesel i o 0,026 MPa/°OWK dla ON Active. W segmencie paliw premium paliwo ON Verva osiągało najwyższe wartości prędkości narastania ciśnienia tj. 0,442 MPa/°OWK i były one wyższe o 0,07 MPa/°OWK dla V-Power Nitro+ i 0,012 MPa/°OWK dla ON Active Ultimate. W warunkach poruszania się pojazdem na IV biegu z prędkością ok. 50 km/h maksymalna prędkość wywiązywania ciepła w okresie spalania kinetycznego dla wybranych cykli pracy silnika wyniosła 92,78 kJ/m³OWK dla paliwa ON Active i była wyższa o 4,32

kJ/m^3 OWK dla ON FuelSave i $4,56 \text{ kJ/m}^3$ OWK dla ON Ekodiesel. W segmencie paliw premium najwyższe wartości maksymalnej prędkości wywiązywania ciepła osiągnięto dla ON Active Ultimate tj. $99,75 \text{ kJ/m}^3$ OWK i było nieznacznie większe o $7,09 \text{ kJ/m}^3$ OWK dla ON Verva i $7,09 \text{ kJ/m}^3$ OWK dla V-Power Nitro+.

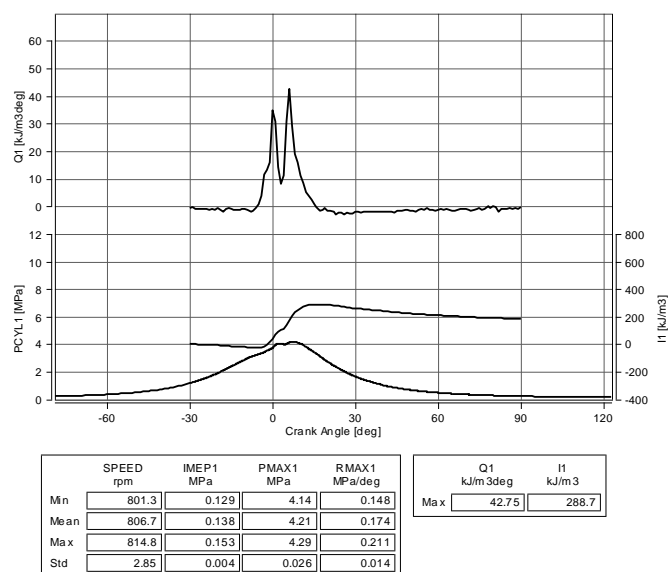
Analiza parametrów fizykochemicznych badanych paliw oraz uzyskane wyniki wybranych parametrów roboczych silnika wskazują, że badane paliwa uzyskały bardzo zbliżone wartości analizowanych parametrów, a wykazane różnice dla użytkownika pojazdu mogły być niezauważalne. Wartości maksymalnych ciśnień spalania, maksymalnych wartości wywiązywania i ilości ciepła oraz średniego ciśnienia indykowanego były wyższe w segmencie paliw premium. Odwrotną zależność obserwowano w stosunku do maksymalnych prędkości narastania ciśnienia gdzie wyższe wartości uzyskiwano na paliwach standardowych. Można to wiązać z cichszą pracą i płynniejszą pracą silnika na paliwach premium. Z informacji podawanych od producentów badanych paliw można wnioskować, że paliwa posiadają dodatki uszlachetniające (odmienne dla każdego z badanych paliw), które mają za zadanie polepszać osiągi silnika oraz oczyszczać elementy komory spalania silnika.



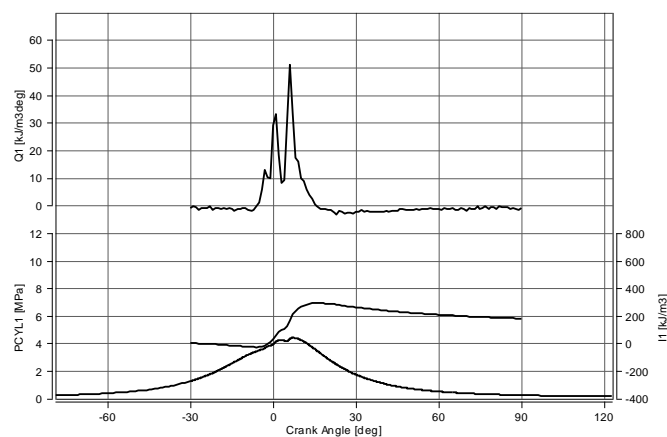
Rys. 2. ON Fuelsave (Shell) - bieg jałowy silnika, przebieg i maksymalne wartości wywiązywania ciepła (Q1), ilość wywiązanego ciepła (I1) dla 1 cyklu pracy silnika oraz wartości średniego ciśnienia indykowanego (IMEP1) i prędkości obrotowej silnika (SPEED) dla cykli badanych oraz wartości średnie, minimalne i maksymalne średniego ciśnienia indykowanego, prędkości obrotowej silnika, maksymalnego ciśnienia spalania (PMAX1) i maksymalnej prędkości narastania ciśnienia (RMAX1), odchylenie standardowe (STD).



Rys. 3. ON V-Power Nitro+ (Shell) - bieg jałowy silnika, przebieg i maksymalne wartości wywiązywania ciepła (Q1), ilość wywiązanego ciepła (I1) dla 1 cyklu pracy silnika oraz wartości średniego ciśnienia indykowanego (IMEP1) i prędkości obrotowej silnika (SPEED) dla cykli badanych oraz wartości średnie, minimalne i maksymalne średniego ciśnienia indykowanego, prędkości obrotowej silnika, maksymalnego ciśnienia spalania (PMAX1) i maksymalnej prędkości narastania ciśnienia (RMAX1), odchylenie standardowe (STD).



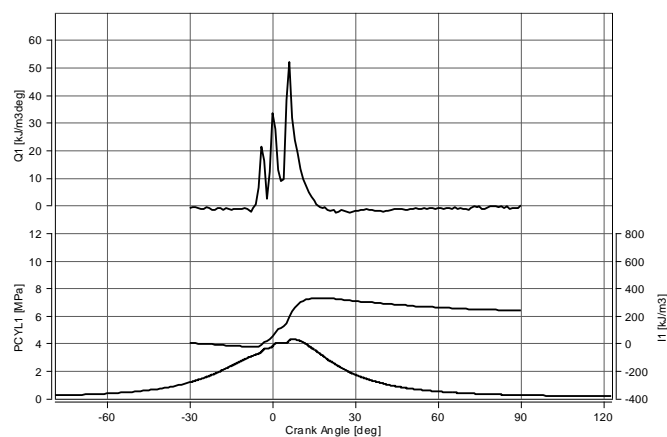
Rys. 4. ON Active (BP) - bieg jałowy silnika, przebieg i maksymalne wartości wywiązywania ciepła (Q1), ilość wywiązanego ciepła (I1) dla 1 cyklu pracy silnika oraz wartości średniego ciśnienia indykowanego (IMEP1) i prędkości obrotowej silnika (SPEED) dla cykli badanych oraz wartości średnie, minimalne i maksymalne średniego ciśnienia indykowanego, prędkości obrotowej silnika, maksymalnego ciśnienia spalania (PMAX1) i maksymalnej prędkości narastania ciśnienia (RMAX1), odchylenie standardowe (STD).



	SPEED rpm	IMEP1 MPa	PMAX1 MPa	RMAX1 MPa/deg
Min	798.7	0.130	4.33	0.137
Mean	807.9	0.141	4.39	0.161
Max	821.8	0.156	4.45	0.196
Std	4.68	0.005	0.027	0.012

	Q1 kJ/m3deg	I1 kJ/m3
Max	51.14	290.9

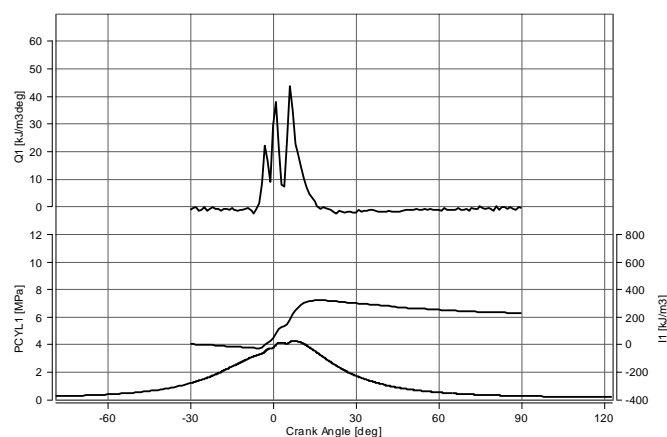
Rys. 5. ON Active Ultimate (BP) - bieg jałowy silnika, przebieg i maksymalne wartości wywiązywania ciepła (Q1), ilość wywiązanego ciepła (I1) dla 1 cyklu pracy silnika oraz wartości średniego ciśnienia indykowanego (IMEP1) i prędkości obrotowej silnika (SPEED) dla cykli badanych oraz wartości średnie, minimalne i maksymalne średniego ciśnienia indykowanego, prędkości obrotowej silnika, maksymalnego ciśnienia spalania (PMAX1) i maksymalnej prędkości narastania ciśnienia (RMAX1), odchylenie standardowe (STD).



	SPEED rpm	IMEP1 MPa	PMAX1 MPa	RMAX1 MPa/deg
Min	788.2	0.139	4.20	0.166
Mean	812.5	0.173	4.36	0.215
Max	858.3	0.228	4.56	0.284
Std	9.80	0.012	0.062	0.025

	Q1 kJ/m3deg	I1 kJ/m3
Max	52.08	330.4

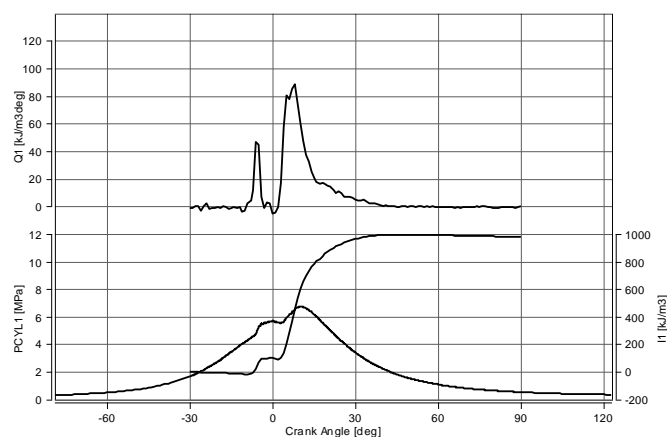
Rys. 7. ON Verva (Orlen) - bieg jałowy silnika, przebieg i maksymalne wartości wywiązywania ciepła (Q1), ilość wywiązanego ciepła (I1) dla 1 cyklu pracy silnika oraz wartości średniego ciśnienia indykowanego (IMEP1) i prędkości obrotowej silnika (SPEED) dla cykli badanych oraz wartości średnie, minimalne i maksymalne średniego ciśnienia indykowanego, prędkości obrotowej silnika, maksymalnego ciśnienia spalania (PMAX1) i maksymalnej prędkości narastania ciśnienia (RMAX1), odchylenie standardowe (STD).



	SPEED rpm	IMEP1 MPa	PMAX1 MPa	RMAX1 MPa/deg
Min	796.0	0.135	4.19	0.168
Mean	810.1	0.148	4.26	0.200
Max	823.8	0.170	4.32	0.241
Std	5.93	0.007	0.026	0.014

	Q1 kJ/m3deg	I1 kJ/m3
Max	43.82	318.2

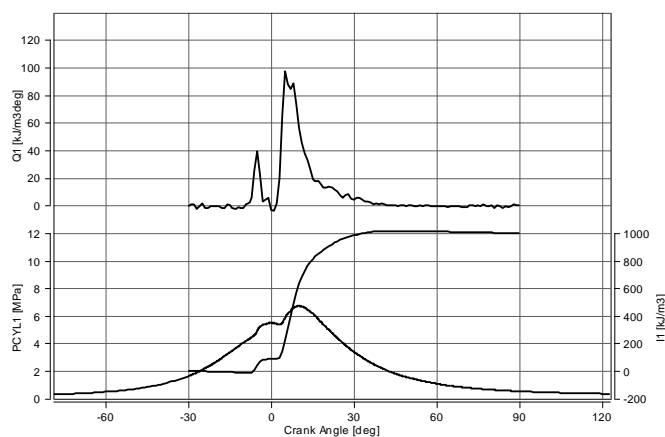
Rys. 6. ON Ekodiesel Ultra (Orlen) - bieg jałowy silnika, przebieg i maksymalne wartości wywiązywania ciepła (Q1), ilość wywiązanego ciepła (I1) dla 1 cyklu pracy silnika oraz wartości średniego ciśnienia indykowanego (IMEP1) i prędkości obrotowej silnika (SPEED) dla cykli badanych oraz wartości średnie, minimalne i maksymalne średniego ciśnienia indykowanego, prędkości obrotowej silnika, maksymalnego ciśnienia spalania (PMAX1) i maksymalnej prędkości narastania ciśnienia (RMAX1), odchylenie standardowe (STD).



	SPEED rpm	IMEP1 MPa	PMAX1 MPa	RMAX1 MPa/deg
Min	1572.4	0.554	6.62	0.364
Mean	1578.0	0.565	6.74	0.458
Max	1582.9	0.575	6.84	0.589
Std	2.98	0.004	0.040	0.044

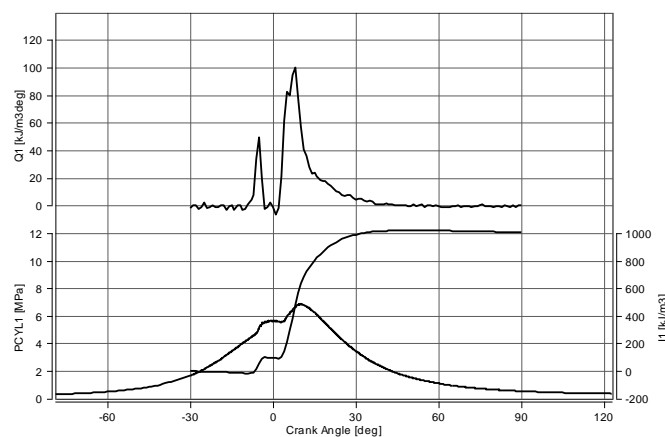
	Q1 kJ/m3deg	I1 kJ/m3
Max	88.46	993.5

Rys. 8. ON Fuelsave (Shell) - jazda pojazdem na IV biegu z prędkością 50 km/h, przebieg i maksymalne wartości wywiązywania ciepła (Q1), ilość wywiązanego ciepła (I1) dla 1 cyklu pracy silnika oraz wartości średniego ciśnienia indykowanego (IMEP1) i prędkości obrotowej silnika (SPEED) dla cykli badanych oraz wartości średnie, minimalne i maksymalne średniego ciśnienia indykowanego, prędkości obrotowej silnika, maksymalnego ciśnienia spalania (PMAX1) i maksymalnej prędkości narastania ciśnienia (RMAX1), odchylenie standardowe (STD).



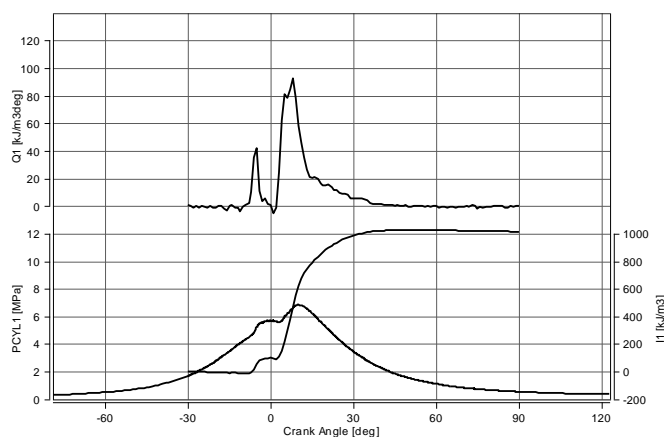
	SPEED rpm	IMEP1 MPa	PMAX1 MPa	RMAX1 MPa/deg	Q1 kJ/m3deg	I1 kJ/m3
Min	1558.0	0.476	6.14	0.295	97.24	1016.0
Mean	1571.0	0.547	6.58	0.372		
Max	1596.4	0.596	6.96	0.488		
Std	13.86	0.036	0.235	0.045		

Rys. 9. ON V-Power Nitro+ (Shell) - jazda pojazdem na IV biegu z prędkością 50 km/h, przebieg i maksymalne wartości wywiązywania ciepła (Q1), ilość wywiązane ciepła (I1) dla 1 cyklu pracy silnika oraz wartości średniego ciśnienia indykowanego (IMEP1) i prędkości obrotowej silnika (SPEED) dla cykli badanych oraz wartości średnie, minimalne i maksymalne średniego ciśnienia indykowanego, prędkości obrotowej silnika, maksymalnego ciśnienia spalania (PMAX1) i maksymalnej prędkości narastania ciśnienia (RMAX1), odchylenie standardowe (STD).



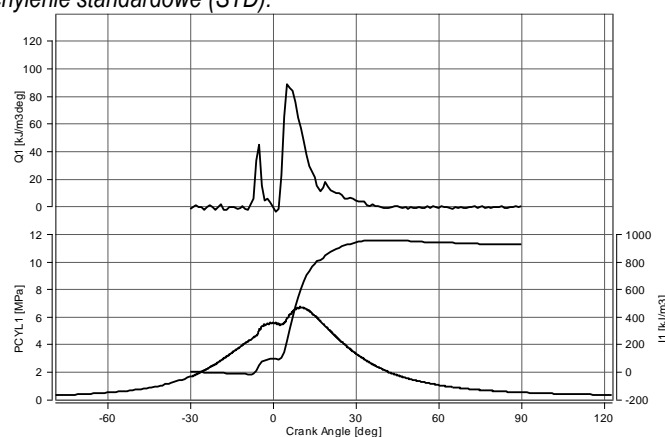
	SPEED rpm	IMEP1 MPa	PMAX1 MPa	RMAX1 MPa/deg	Q1 kJ/m3deg	I1 kJ/m3
Min	1573.2	0.567	6.68	0.325	99.75	1021.2
Mean	1574.5	0.577	6.80	0.430		
Max	1575.6	0.586	6.91	0.523		
Std	0.554	0.004	0.045	0.043		

Rys. 11. ON Active Ultimate (BP) - jazda pojazdem na IV biegu z prędkością 50 km/h, przebieg i maksymalne wartości wywiązywania ciepła (Q1), ilość wywiązane ciepła (I1) dla 1 cyklu pracy silnika oraz wartości średniego ciśnienia indykowanego (IMEP1) i prędkości obrotowej silnika (SPEED) dla cykli badanych oraz wartości średnie, minimalne i maksymalne średniego ciśnienia indykowanego, prędkości obrotowej silnika, maksymalnego ciśnienia spalania (PMAX1) i maksymalnej prędkości narastania ciśnienia (RMAX1), odchylenie standardowe (STD).



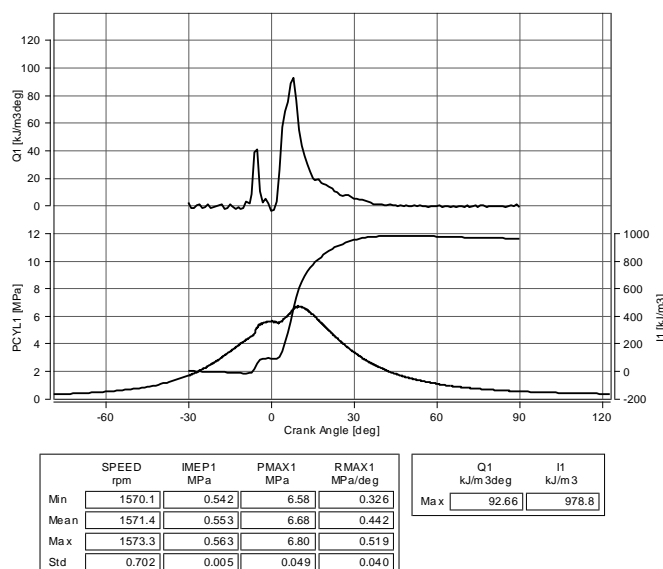
	SPEED rpm	IMEP1 MPa	PMAX1 MPa	RMAX1 MPa/deg	Q1 kJ/m3deg	I1 kJ/m3
Min	1583.5	0.581	6.76	0.325	92.78	1028.9
Mean	1586.1	0.590	6.88	0.432		
Max	1589.6	0.600	6.97	0.539		
Std	1.71	0.003	0.039	0.039		

Rys. 10. ON Active (BP) - jazda pojazdem na IV biegu z prędkością 50 km/h, przebieg i maksymalne wartości wywiązywania ciepła (Q1), ilość wywiązane ciepła (I1) dla 1 cyklu pracy silnika oraz wartości średniego ciśnienia indykowanego (IMEP1) i prędkości obrotowej silnika (SPEED) dla cykli badanych oraz wartości średnie, minimalne i maksymalne średniego ciśnienia indykowanego, prędkości obrotowej silnika, maksymalnego ciśnienia spalania (PMAX1) i maksymalnej prędkości narastania ciśnienia (RMAX1), odchylenie standardowe (STD).



	SPEED rpm	IMEP1 MPa	PMAX1 MPa	RMAX1 MPa/deg	Q1 kJ/m3deg	I1 kJ/m3
Min	1553.0	0.535	6.55	0.299	88.23	954.5
Mean	1554.3	0.543	6.65	0.372		
Max	1556.1	0.553	6.72	0.468		
Std	0.669	0.003	0.035	0.036		

Rys. 12. ON Ekodiesel Ultra (Orlen) - jazda pojazdem na IV biegu z prędkością 50 km/h, przebieg i maksymalne wartości wywiązywania ciepła (Q1), ilość wywiązane ciepła (I1) dla 1 cyklu pracy silnika oraz wartości średniego ciśnienia indykowanego (IMEP1) i prędkości obrotowej silnika (SPEED) dla cykli badanych oraz wartości średnie, minimalne i maksymalne średniego ciśnienia indykowanego, prędkości obrotowej silnika, maksymalnego ciśnienia spalania (PMAX1) i maksymalnej prędkości narastania ciśnienia (RMAX1), odchylenie standardowe (STD).



Rys. 13. ON Verva (Orlen) - jazda pojazdem na IV biegu z prędkością 50 km/h, przebieg i maksymalne wartości wywiązywania ciepła (Q1), ilość wywiązane ciepła (I1) dla 1 cyklu pracy silnika oraz wartości średniego ciśnienia indykowanego (IMEP1) i prędkości obrotowej silnika (SPEED) dla cykli badanych oraz wartości średnie, minimalne i maksymalne średniego ciśnienia indykowanego, prędkości obrotowej silnika, maksymalnego ciśnienia spalania (PMAX1) i maksymalnej prędkości narastania ciśnienia (RMAX1), odchylenie standardowe (STD).

PODSUMOWANIE

Przeprowadzony eksperyment miał na celu zweryfikowanie podawanych przez producentów paliw informacji, z których można było wnioskować, że zasilanie silnika o zapłonie samoczynnym paliwami premium (paliwa uszlachetnione) miało powodować lepsze „osiągi” samochodu oraz powodować oczyszczanie elementów komory spalania. Wykonane badania i porównanie wybranych parametrów roboczych silnika wykazały, że pomiędzy paliwami standardowymi tj. tego samego segmentu (ON Ekodiesel Ultra, ON Active, ON FuelSave) jak również paliwami premium tj. uszlachetnionymi (ON Verva, ON Active Ultimate, V-Power Nitro+) nie występują istotne różnice powodujące odczuwalną dla kierowcy poprawę osiągnięć silnika. Uzyskane niższe wartości maksymalnej prędkości narastania ciśnienia dla paliw premium mogą powodować cichszą i płynniejszą pracę silnika. Pakiety dodatków uszlachetniających, które stanowią tajemnicę handlową każdego z producentów, mogą mieć korzystny wpływ na osadzanie się nagarów na elementach komory spalania silnika oraz układu paliwowego, co może oddziaływać na uzyskiwane parametry szybkozmiennne silnika i mieć pośrednio wpływ na proces spalania paliwa przy dłuższej eksploatacji silnika i zasilaniu go tymi paliwami.

BIBLIOGRAFIA

1. Baczewski K., Kałdoński T., Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. Warszawa: WKŁ, 2008.

2. Lotko W., „Studium zastosowań paliw alternatywnych do silników o zapłonie samoczynnym”, Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom 1999.
3. Lotko W., Zasilanie silników spalających paliwami alternatywnymi. Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 1995.
4. Lotko W., Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami węglowodorowymi i roślinnymi, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1997
5. Luft S., Dwupaliwowy silnik o zapłonie samoczynnym zasilany mieszaniną gazów propan-butan i olejem napędowym. Radom: Politechnika Radomska, 2002.
6. Różycki A., Pomiary ciśnień szybkozmiennych w silniku o zapłonie samoczynnym, Praca zamawiana, Politechnika Radomska, 1996.
7. Wajand Jan A., Wajand Jan T., Tłokowe silniki spalinowe średnio i szybkoobrotowe, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2005.
8. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 443/2009 z dnia 23 kwietnia 2009 r. określające normy emisji dla nowych samochodów osobowych w ramach zintegrowanego podejścia Wspólnoty na rzecz zmniejszenia emisji CO₂ z lekkich pojazdów dostawczych (Tekst mający znaczenie dla EOG)
9. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy [Dz.U. L 152 z 11.6.2008].
10. Dyrektywy Paliwowej 98/70/WE z późniejszymi zmianami 2003/17/WE, 2009/30/WE i 2011/63/WE

The influence of the type of fuel on selected combustion parameters in a diesel engine

The article presents the obtained values of selected parameters of the combustion process in a diesel engine with standard and enriched fuel - from different manufacturers (Orlen, BP, Shell). The study was conducted in conditions of a static engine running (at idle gear) and under the conditions of a moving vehicle on the chassis dynamometer with a fixed speed of 50 km/h.

Autorzy:

Prof. dr hab. inż. Wincenty Lotko – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny;

dr hab. inż. Krzysztof Górski, prof. UTH – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny;

dr hab. inż. Rafał Longwic, prof. PL – Politechnika Lubelska, Katedra Pojazdów Samochodowych; r.longwic@pollub.pl

mgr inż. Przemysław Sander - Politechnika Lubelska, Katedra Pojazdów Samochodowych; p.sander@pollub.pl

mgr inż. Jacek Kowalczyk - Politechnika Lubelska, Katedra Pojazdów Samochodowych;

inż. Łukasz Daniłowicz - Politechnika Lubelska, Katedra Pojazdów Samochodowych.