

## OCENA WYBRANYCH PARAMETRÓW PROCESU SPALANIA W SILNIKU O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM ZASILANYM MIESZANINAMI OLEJU NAPĘDOWEGO Z SYNTETYCZNYM PALIWEM

### Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań realizowanych z użyciem silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego olejem napędowym (ON) oraz jego mieszaninami z paliwem syntetycznym (SYNON). Przeprowadzone badania wskazują, że syntetyczny olej napędowy może być wykorzystywany jako dodatek do mineralnego oleju napędowego. Należy jednak zauważyć, że użycie SYNON w mieszaninie z ON prowadzi do zwiększenia prędkości narastania ciśnienia w komorze spalania silnika, co może skutkować nadmiernym obciążeniem jego układu korbowo-tłokowego. Jest to spowodowane przede wszystkim niższą liczbą cetanową badanego dodatku paliwowego oraz niedopasowaniem regulacji aparatury wtryskowej silnika do jego zasilania niestandardowym paliwem o odmiennych właściwościach fizykochemicznych.

### WSTĘP

Silnik spalinowy jest ciągle podstawowym źródłem napędu pojazdów samochodowych oraz jednostek pływających. Mimo swoich licznych wad, należy sądzić, że jeszcze długi czas będzie dominował w sektorze transportu drogowego i wodnego. Aktualnie największym determinantem modernizacji silników spalinowych jest poprawa oddziaływania na środowisko naturalne, czyli jak najmniejsza emisja substancji szkodliwych oraz tych uznanych za cieplarniane [6].

Od ostatnich kilkudziesięciu lat prowadzone są bardzo intensywne badania nad zastosowaniem paliw alternatywnych do silników spalinowych np. [2, 3, 4]. Badaniami objęto między innymi takie paliwa jak: gaz propan-butan (LPG), gaz ziemny (CNG i LNG), paliwa roślinne i ich estry, oraz paliwa alkoholowe (metanol, etanol, butanol) i wybrane etery. Zainteresowanie paliwami syntetycznymi zrodziło się dopiero niedawno i na ten temat nie ma licznych publikacji.

Użycie paliw syntetycznych do zasilania silników ma mniej negatywny wpływ na środowisko naturalne niż paliwa konwencjonalne. Dlatego też prace nad pozyskiwaniem paliw syntetycznych zaczynają się cieszyć coraz większym zainteresowaniem. Otrzymywanie długołańcuchowych węglowodorów alifatycznych, które są surowcem do wytworzenia paliwa silnikowego, było od dawna przedmiotem licznych prac badawczych i rozwojowych. W tym zakresie są one stale prowadzone zarówno w krajowych jak i zagranicznych ośrodkach naukowych. Dużą nadzieję na ekonomiczne otrzymanie paliw syntetycznych dają szczególnie: technologia katalicznej bezcisnieniowej depolimeryzacji (KDV) oraz syntezy alkoholi do ciekłych paliw. KDV jest procesem technologicznym, który pozwala z różnych rodzajów surowców zawierających węglowodory wytworzyć syntetyczny olej napędowy, kerozynę oraz benzynę [1]. Druga technologia polega na wykorzystaniu alkoholu w celu jego przetworzenia do postaci tzw. wyższych węglowodorów.

Zastosowanie mieszaniny paliw syntetycznych z mineralnym olejem napędowym ma uzasadnienie szczególnie pod względem ekonomicznym. Produkcja paliw syntetycznych jest droższa, a tym samym mniej opłacalna pod względem masowego, komercyjnego zastosowania. Jednak użycie w paliwach syntetycznego dodatku przyczynia się do mniejszego szkodliwego oddziaływania na środo-

wisko naturalne. W porównaniu z mineralnym olejem napędowym paliwo syntetyczne tworzą lżejsze cząsteczki o prostszej budowie. Taka struktura przyczynia się do ich efektywniejszego spalania. Wynika to z tego, że rozpad małych cząsteczek wytwarza mniej związków pośrednich, przyczyniających się do powstawania szkodliwych składników spalin [5].

W artykule przedstawiono wyniki badań zasilania silnika o zapłonie samoczynnym AD3.152 mieszaninami syntetycznego oleju napędowego z mineralnym olejem napędowym. Odniesione są one do przypadku zasilania tego samego silnika olejem napędowym pochodzącym z przeróbki ropy naftowej. W celu dokonania analizy procesu spalania paliwa w silniku o zapłonie samoczynnym zasilanym paliwem z dodatkiem syntetycznym podczas badań były rejestrowane ciśnienia w przewodzie wtryskowym i w komorze spalania za pomocą kwarcowych czujników.

### 1. OPIS BADAŃ

#### 1.1. Wybrane właściwości fizykochemiczne paliw

Zamieszczona poniżej tabela 1 zawiera porównanie wybranych właściwości fizykochemicznych paliw, będących przedmiotem badań, którymi zasilano silnik AD 3.152.

Tab. 1. Podstawowe właściwości fizykochemiczne paliw silnikowych wykorzystanych w badaniach

Parametr	ON	20% SYNON	15% SYNON	10% SYNON	5% SYNON
Gęstość w 15 °C, kg/m <sup>3</sup>	842	852	848	845	844
Temperatura zapłonu, °C	63	60	61	62	64
Zawartość FAME, % (v/v)	7	5,6	5,95	6,3	6,65
Wartość opałowa, MJ/kg	43,9	42,8	43,1	43,2	43,7

W czasie badań silnik spalinowy o ZS Perkins AD 3.152 pracował wg charakterystyki zewnętrznej prędkościowej i zasilano go pięcioma paliwami tj.: olejem napędowym zgodnym z normą PN-EN 590:2011 i mieszaninami mineralnego oleju napędowego z paliwem syntetycznym.

Paliwa do badań skomponowano z zastosowaniem następujących udziałów objętościowych komponentów zmieszanych w proporcji (% v/v) z mineralnym olejem napędowym:

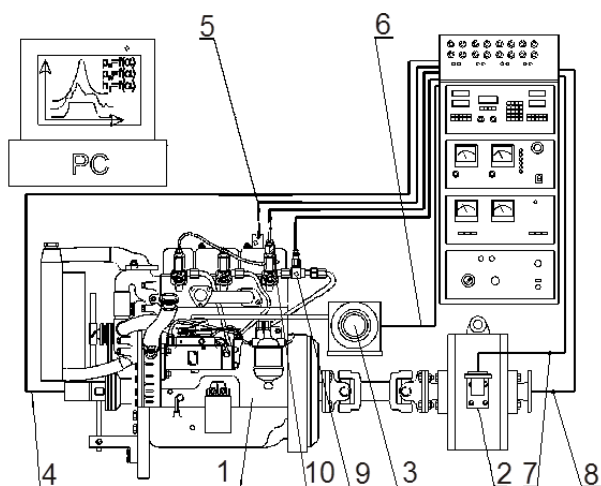
- 95% ON + 5% SYNON – określane jako 5SYNON
- 90% ON + 10% SYNON – określane jako 10SYNON
- 85% ON + 15% SYNON – określane jako 15SYNON
- 80% ON + 20% SYNON – określane jako 20SYNON

Mieszanki te były klarowne, bez osadów. Przechowywane przez kilka dni w temperaturze pokojowej nie wykazały żadnych cech rozwarstwienia. Olej napędowy, został wyprodukowany przez Polski Koncern Naftowy Orlen S.A. Jest to paliwo węglowodorowe, przeznaczonym do zasilania szybkoobrotowych silników o zapłonie samoczynnym, w którym zawartość estrów metylowych kwasów tłuszczowych FAME stanowi do 7% objętości (% v/v). Charakteryzuje się on niską zawartością węglowodorów aromatycznych, małą zawartością zanieczyszczeń stałych i podwyższoną liczbą cetanową [7]. Natomiast syntetyczny olej napędowy jest wytwarzany w procesie katalitycznej konwersji alkoholi do mieszaniny węglowodorów, realizowanego według technologii ETG opracowanej przez EKO-BENZ Sp. z o.o. w Lublinie.

## 1.2. Opis stanowiska

Badania były przeprowadzone na hamowni silnikowej Zakładu Technicznej Eksploatacji Pojazdów Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu. Stanowisko badawcze wyposażone było w trzycylindrowy silnik o zapłonie samoczynnym AD3.152 i system do pomiaru parametrów szybkozmiennych takich jak ciśnienie w cylindrze, ciśnienie w przewodzie wtryskowym oraz wznios iglicy wtryskiwacza. Wyniki 50 cykli pracy silnika były rejestrowane w postaci danych na dysku komputera stanowiącego wyposażenie laboratorium. Specyfikacja techniczna systemu pomiaru parametrów szybkozmiennych została przedstawiona w publikacji [8].

Widok stanowiska badawczego z silnikiem AD3.152 połączonym z hamulcem elektrowirowym przedstawia rysunek 1.



**Rys. 1.** Schemat wykorzystywanego podczas badań stanowiska: 1- silnik o ZS Perkins AD3.152, 2 - hamulec elektrowirowy Automex AMX200/100, 3 -układ sterujący ustawieniem listwy pompy wtryskowej, 4 - tor pomiarowy kąta obrotu wału korbowego, 5 - tor pomiarowy ciśnienia w komorze spalania, 6 - tor ustawienia listwy pompy wtryskowej, 7 - tor pomiarowy momentu obrotowego, 8 - tor pomiarowy prędkości obrotowej silnika, 9 - czujnik ciśnienia w przewodzie wtryskowym, 10 - czujnik wzniosu iglicy wtryskiwacza

Badany silnik jest trzycylindrową jednostką o zapłonie samoczynnym z wtryskiem bezpośrednim paliwa do komory spalania. Układ zasilania stanowi rozdzielaczowa pompa wtryskowa Lucas –

CAV typu DPA i wtryskiwacze wyposażone w czterootworowe rozpylacze. Specyfikację techniczną silnika AD3.152 zawiera tabela 2.

**Tab.2.** Specyfikacja techniczna silnika AD 3.152 [4]

Parametr	Wartość
Liczba i układ cylindrów	3-rzędowy pionowy
Średnica cylindra [mm]	91,44
Skok tłoka [mm]	127
Pojemność skokowa [cm <sup>3</sup> ]	2502
Stożek sprężania	16,5
Moc znamionowa [kW]	34,6
Znamionowa prędkość obrotowa [obr/min]	2250
Znamionowy moment obrotowy [Nm]	146,8
Maksymalny moment obrotowy [Nm]	165,4
Prędkość obrotowa przy maks. momencie [obr/min]	1300-1400
System wtrysku paliwa	bezpośredni do cylindra
Rodzaj pompy wtryskowej paliwa	Lucas – CAV typu DPA
Ciśnienie otwarcia wtryskiwacza paliwa [MPa]	17,5
Kąt dynamicznego początku tłoczenia paliwa [°OWK]	16 przed GMP

## 1.3. Przebieg badania

Wszystkie pomiary zostały przeprowadzone dla prędkościowych charakterystyk zewnętrznych dla wybranych prędkości obrotowych wału korbowego. Silnik we wszystkich punktach pomiarowych pracował z maksymalnym obciążeniem (pełne dawkowanie paliwa).

Silnik posiadał nominalne nastawy wartości ciśnienia otwarcia wtryskiwaczy i kąta dynamicznego początku tłoczenia paliwa  $\alpha_{dpt}$ .

Zamieszczona poniżej tabela 3 zawiera zestawienie wartości warunków przeprowadzonych pomiarów.

**Tab.3.** Warunki badań silnika AD3.152 zasilanego mineralnym olejem napędowym i jego mieszaninami z paliwem syntetycznym

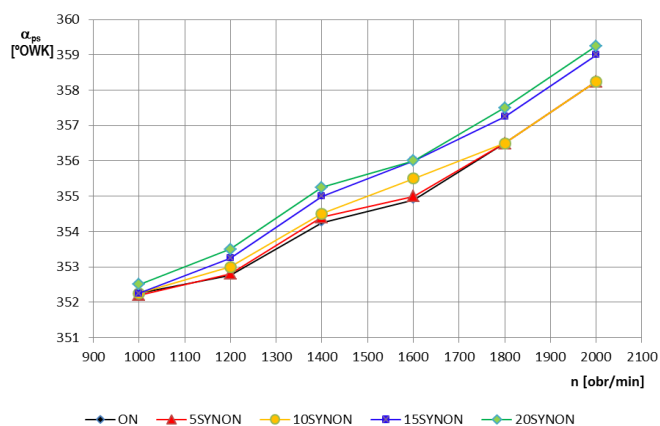
Parametr	Wartość					
n [obr/min]	1000	1200	1400	1600	1800	2000
$\alpha_{dpt}$ [°OWK]	16° przed GMP					
$M_o$ [Nm]	Maksymalne					

## 2. WYNIKI POMIARÓW

Jako źródło informacji o procesie spalania przyjęto wykres indykatorowy. W wyniku jego analizy przy różnych warunkach pracy silnika zbadano i porównano przebiegi zmian wybranych wskaźników.

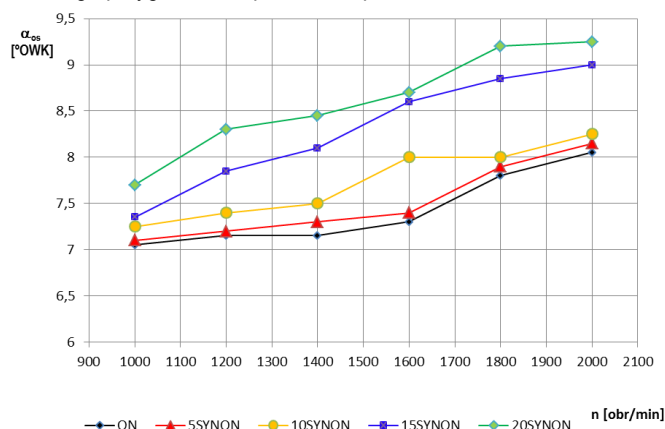
Analizując wykres na rysunku 3 można zaobserwować wpływ wzrastającej zawartości SYNON w mieszaninie z ON na zwiększenie wartości kąta początku spalania. Wynika to z mniejszej liczby cetanowej mieszanin o mniejszej zdolności do samozapłonu.

Zazwyczaj dąży się do tego, by początek spalania następował w pobliżu GMP, co sprzyja zachowaniu optymalnej efektywności pracy silnika [9]. Zbyt wczesny lub zbyt późny zapłon nie tylko powoduje spadek efektywności pracy silnika, ale również prowadzi do wzrostu emisji toksycznych składników spalin oraz może zwiększyć tzw. twardość pracy silnika.



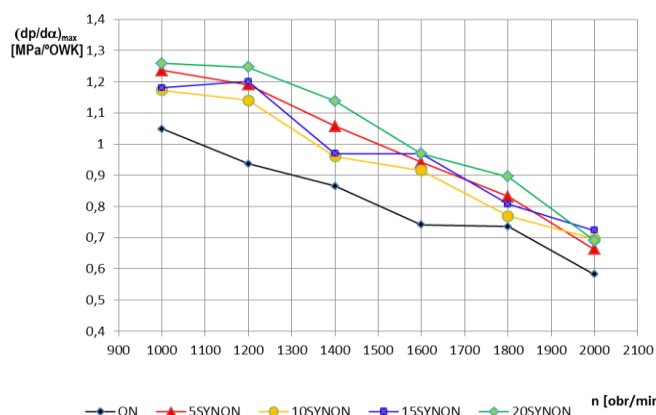
**Rys. 3.** Wpływ prędkości obrotowej wału korbowego silnika AD3.152 zasilanego ON i jego mieszaninami z SYNON na zmiany wartości kąta początku spalania

Na rysunku 4 pokazano, jak zmienia się opóźnienie samozapłonu badanych paliw w zależności od prędkości obrotowej silnika AD 3.152. Opóźnienie samozapłonu wyrażone w °OWK rośnie głównie wraz ze wzrostem prędkości obrotowej wału korbowego oraz objętością syntetycznego paliwa w mieszaninie z ON. Trzeba to tłumaczyć głównie mniejszą liczbą cetanową takich mieszanin, co wpływa na wydłużenie okresu niezbędnego do fizycznego i chemicznego przygotowania paliwa do spalania.



**Rys. 4.** Wpływ prędkości obrotowej wału korbowego silnika AD 3.152 zasilanego ON i jego mieszaninami z SYNON na zmiany wartości kąta opóźnienia samozapłonu

Wraz ze wzrostem wartości kąta opóźnienia samozapłonu w komorze spalania gromadzi się coraz więcej paliwa, które intensywnie miesza się z powietrzem. Gwałtowny zapłon takiej mieszaniny, a następnie proces jej spalania odbywa się z większymi prędkościami narastania ciśnienia, co potwierdza rysunek 5.



**Rys. 5** Wpływ prędkości obrotowej wału korbowego silnika AD 3.152 zasilanego ON i jego mieszaninami z SYNON na zmiany maksymalnej wartości szybkości narastania ciśnienia

Wartości  $(dp/d\alpha)_{max}$  rosną wraz ze zwiększonym udziałem paliwa syntetycznego w ON. Należy jednak zauważyć, że wraz ze wzrostem prędkości obrotowej wału korbowego obniża się wartość maksymalnej szybkości narastania ciśnienia. Jest to spowodowane przesunięciem początku spalania za GMP, czemu towarzyszy bardziej miękka praca silnika.

## PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały, że istnieje możliwość zasilania silników o zapłonie samoczynnym mieszaninami ON z syntetycznymi paliwami. Przeprowadzona analiza wykazała, że początek spalania jest opóźniony dla paliw z dodatkiem oleju syntetycznego. Dalsza realizacja procesu spalania paliw z domieszką SYNON charakteryzowała się gwałtowniejszym przebiegiem w stosunku do mineralnego oleju napędowego. Świadczą o tym maksymalne prędkości narastania ciśnienia, które podczas spalania badanych mieszanin były większe w stosunku do spalania oleju napędowego. W przypadku pełnych obciążeń silnika zasilanego takim rodzajem paliwa może to budzić obawy ze względu na większe obciążenie układu korbowo-tłokowego. Na podstawie otrzymanych wyników badań wydaje się celowe kontynuowanie doświadczeń z syntetycznym olejem napędowym, a szczególnie w kierunku optymalizacji parametrów regulacyjnych silnika zasilanego nową mieszaniną paliwową.

## BIBLIOGRAFIA

1. Labeckas G., Slavinskas S., Performance and emission characteristics of a direct injection diesel engine operating on KDV synthetic diesel fuel, Energy Conversion and Management; Volume 66, February 2013, Pages 173–188.
2. Lotko W., Zasilanie silników wysokoprężnych mieszaninami paliwa rzepakowego z olejem napędowym, Wydawnictwo Politechniki Radomska, Radom 2008.
3. Lotko W., Górski K., Longwic R., Nieustalone stany pracy silnika wysokoprężnego zasilanego olejem napędowym z eterem etylo-tert butylovym, WKŁ, Warszawa 2010.
4. Lotko W., Górski K., Zasilanie silnika wysokoprężnego mieszaninami ON i EETB, WNT Warszawa 2011.
5. Łodygowski K., Paliwa syntetyczne do zasilania silników spalinyowych z zapłonem samoczynnym, TTS Technika Transportu Szybowego, 2013/10.
6. Łodygowski K., Zastosowanie ogniw paliwowych typu PEMFC jako źródło napędu pojazdu samochodowego, Oficyna wydawnicza Black Horse, Poznań 2013.

7. PKN Orlen S.A., Charakterystyka oleju napędowego Ekodiesel Ultra,  
<http://www.orken.pl/PL/DlaBiznesu/Paliwa/OlejeNapędowe/>, 25-09-2014
8. Różycki A., Mikrokomputer system for measurement of high speed parameters for IC engines. Bratislavia 2001. 8th EAEC, paper No SAITS 01196.
9. Bernhardt M., Dobrzyński S., Loth E., Silniki samochodowe. Warszawa: WKiŁ, 1965.

## ESTIMATION OF SELECTED COMBUSTION PROCESS PARAMETERS IN A DIESEL ENGINE FUELLED WITH BLENDS OF DIESEL AND SYNTHETIC OIL

### *Abstract*

*The paper presents test results carried out for diesel engine fuelled with diesel oil and its blends with synthetic fuels (SYNON). Research results show that SYNON can be used in diesel engine as a fuel additive. Combustion process of such fuel blends depend on mixture composition. Using of SYNON in mixture with diesel oil increases a value of maximum pressure rise in combustion chamber.*

Autorzy:

mgr inż. **Kamil Łodygowski** – doktorant, Uniwersytet Technologiczno Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu  
prof. zw. dr hab. inż. **Wincenty Lotko** – Uniwersytet Technologiczno Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu  
prof. nadzw. dr hab. inż. **Krzysztof Górski** – Uniwersytet Technologiczno Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu  
prof. nadzw. dr hab. inż. **Rafał Longwic** – Politechnika Lubelska