

OCENA NIEPOWTARZALNOŚCI WYBRANYCH PARAMETRÓW SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM ZASILANEGO MIESZANINAMI MINERALNEGO OLEJU NAPĘDOWEGO Z BIEWĘGLOWODORAMI W WARUNKACH NIEUSTALONYCH

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań zasilania silnika o zapłonie samoczynnym AD3.152 mieszaninami syntetycznego oleju napędowego z mineralnym olejem napędowym. Badania wykonane były w warunkach nieustalonych pracy silnika. Opisano charakterystykę pracy silnika w warunkach nieustalonych, tj. w procesie jego swobodnego przyspieszania bez zewnętrznego obciążenia. W artykule przedstawiono sposób przeprowadzonych badań oraz poddano analizie parametry pracy silnika takie jak: kąt dynamicznego początku tłoczenia paliwa, kąt początku wtrysku, kąt trwania trysku, maksymalne ciśnienie w cylindrze, maksymalna prędkość narastania ciśnienia, kąt opóźnienia samozapłonu.

WSTĘP

Silnik spalinowy nadal dominuje jako źródło napędu dla pojazdów samochodowych, mimo swoich licznych wad. Z kolei największą konsumpcję z paliw ciekłych stanowi olej napędowy (rysunek 1). Jednakże aktualnie największym determinantem prac rozwojowych silników spalinowych jest aspekt ekologiczny, czyli osiągnięcie jak najmniejszych emisji substancji szkodliwych [1].

Ciągle prowadzone są intensywne badania nad zastosowaniem paliw alternatywnych do silników spalinowych np. [2] [3] [4] [5]. Badaniom poddano między innymi takie paliwa jak: gaz propanbutan (LPG), gaz ziemny (CNG i LNG), paliwa roślinne i ich estry, oraz paliwa alkoholowe (metanol, etanol, butanol) i etery.

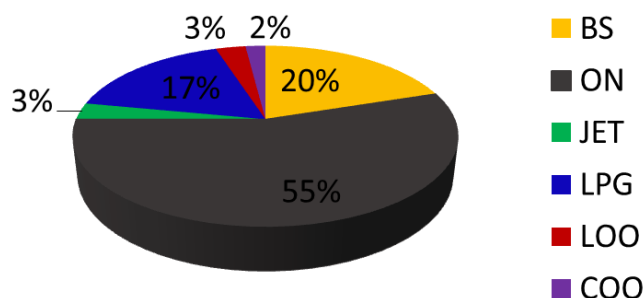
Paliwa syntetyczne cechują się mniejszą degradacją środowiska niż stosowanie paliw ropopochodnych. Otrzymywanie długołańcuchowych węglowodorów alifatycznych, które są surowcem do wytworzenia paliwa silnikowego, było od dawna przedmiotem prac badawczych i rozwojowych. Prace badawcze w tym zakresie są stale prowadzone zarówno w krajowych ośrodkach naukowych jak i zagranicznych.

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 stosowania na skalę masową.

Stosowanie w paliwach dodatku syntetycznego przyczynia się do zmniejszenia szkodliwego działania na środowisko naturalne. W porównaniu z mineralnym olejem napędowym paliwo syntetyczne

zbudowane jest z cząsteczek dużo mniejszych i prościej zbudowanych. Taka struktura przyczynia się do ich dokładniejszego, czystszego spalania. Rozbijanie małych cząsteczek wytwarza mniej związków pośrednich, będących przyczyną niekorzystnych substancji w spalinach [8].

W artykule przedstawiono wyniki badań zasilania silnika o zapłonie samoczynnym AD 3.152 mieszaninami mineralnego oleju napędowego z syntetycznymi węglowodorami otrzymanymi w technologii ETG. Odniesione są one do przypadku zasilania tego samego silnika olejem napędowym pochodzącym z przeróbki ropy naftowej i dostępnego na stacjach paliw. Przedstawiona została analiza wpływu dodatku biewęglowodorów na niepowtarzalność wybranych parametrów silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym w stanie nieustalonym.



Rys. 1. Struktura konsumpcji paliw ciekłych w 2014. BS – benzyna silnikowa, ON – olej napędowy, JET – paliwo lotnicze, LPG – propanbutan, LOO – lekki olej opałowy, COO – ciężki olej opałowy

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

Paliwo	Wartość opałowa [MJ/kg]	Temperatura zapłonu [°C]	Pozostałość po koksowaniu % (m/m)	Gęstość [kg/m³]
Olej napędowy	42,91	63	0,19	842
5SYNON	42,84	64	0,16	844
10SYNON	42,80	62	0,11	845
15SYNON	42,78	61	-	848
20SYNON	42,75	60	-	852

1. WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE PALIW

Podczas badań silnik spalinowy AD 3.152 pracował w warunkach nieustalonych – poddawany był próbie swobodnego rozpędzania. Zasilano go trzema paliwami: olejem napędowym zgodnym z normą PN-EN 590:2011 oraz mieszaninami mineralnego oleju napędowego z węglowodorami syntetycznymi.

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

Mieszaniny 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, podwyższoną liczbą cetanową [8]. Drugim paliwem wykorzystanym w badaniach było paliwo syntetyczne. Syntetyczne węglowodory są pozostałością po wydzieleniu w temperaturze do 210°C frakcji benzynowej z ciekłego produktu procesu katalitycznej konwersji alkoholi do mieszaniny węglowodorów, realizowanego według technologii ETG opracowanej przez EKO-BENZ Sp. z o.o. w Lublinie (zgłoszenie patentowe P.408081). Proces konwersji etanolu prowadzono w temperaturze 270 - 350°C pod ciśnieniem 2 MPa z wykorzystaniem katalizatora typu glinokrzemianu. Otrzymana frakcja olejowa jest zbiorem węglowodorów, mieszającą się w dowolnym stosunku z węglowodorami ropopochodnymi, całkowicie pozbawioną benzenu, alkoholi, siarki, fosforu i metali.

W tabeli 1 umieszczono porównanie wybranych właściwości fizykochemicznych paliw będących przedmiotem badań. Określenie podstawowych właściwości fizykochemicznych paliw (wytworzonych wg założeń autorów) wykonano za pomocą badań laboratoryjnych, zgodnie z określonymi normami.

2. STANOWISKO BADAWCZE

Badania silnikowe przeprowadzono w Instytucie Eksploatacji Pojazdów i Maszyn Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im K. Pułaskiego w Radomiu. Laboratorium Zakładu Technicznej Eksploatacji Pojazdów wyposażone jest w silnik spalinowy o zapłonie samoczynnym AD 3.152. Silnik ten został odpowiednio przystosowany do potrzeb badań nad przebiegiem procesów wtrysku i spalania paliw oraz do testów z zakresu dynamiki procesu przyspieszania silnika.

AD 3.152 jest silnikiem z wtryskiem bezpośrednim, trzycylindrowym, z wtryskiwaczami wielootworowymi i pompą rozdzielaczową. Jest to jednostka napędowa stosowana głównie w ciągnikach rolniczych (Ursus), ale był również montowany w pojazdach osobowo-towarowych Tarpan, Nysa i silnikach agregatowych. Jego cechą charakterystyczną jest stosunkowo płaska charakterystyka momentu obrotowego, przy czym jego maksymalna wartość uzyskiwana jest już przy prędkości ok. 1300 obr/min.

W systemie wtrysku paliwa silnika AD 3.152 zastosowano rozpylacz wielootworowe współpracujące z rozdzielaczową pompą wtryskową Lucas – CAV typu DPA. Przed przystąpieniem do badań wyregulowano ciśnienie wszystkich wtryskiwaczy paliwowych do

wartości zgodnej z danymi producenta – 17,5 MPa. Specyfikację techniczną badanego silnika przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Podstawowe właściwości fizykochemiczne paliw silnikowych wykorzystanych w badaniach

Parametr	Wartość
Liczba i układ cylindrów	3-rzędowy pionowy
Średnica cylindra [mm]	91,44
Skok tłoka [mm]	127
Pojemność skokowa [cm ³]	2502
Stopień 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 maksymalnym 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

3. METODYKA BADAŃ

Nieustalone warunki pracy silnika zasymulowano za pomocą wykonywanej próby przyspieszania jego wału korbowego. Badania rozpoczynały się po nagraniu silnika do temperatury jego normalnej pracy. W czasie testów przyspieszania silnik pracował początkowo na biegu jałowym. Proces przyspieszania następował w chwili naciśnięcia przez operatora przycisku START w uprzednio przygotowanym do tego celu programie. W ten sposób system pomiarowy był przygotowany w tryb gotowości do wykonania próby swobodnego rozpędzania i rejestracji niezbędnych parametrów (ciśnienie w komorze spalania i przed wtryskiwaczem, wznios iglicy, prędkość obrotowa wału korbowego). Istotną cechą opracowanego programu jest to, że w momencie wyzwolenia rozpoczęcia testu przyspieszania za pomocą przycisku START system oczekuje na sygnał GMP tłoka znajdującego się w indykowanym cylindrze. W chwili zarejestrowania tego sygnału karta pomiarowa włącza przełącznik siłownika ustalającego wychylenie dźwigni sterującej w kierunku maksymalnego dawkowania pompy wtryskowej paliwa. Rozpoczyna to proces gwałtownego przyspieszania wału korbowego. Czas zadziałania układu sterującego dawkowaniem pompy wtryskowej paliwa jest na tyle krótki, aby już w pierwszym cyklu zaobserwować maksymalne wychylenie iglicy wtryskiwacza.

4. WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

Określanie zależności procesów w pewnych stanach pracy silnika zależy jednoznacznie od warunków jego pracy. W związku z tym im bardziej dokładnie zostaną wyznaczone warunki pracy, tym mniejszej niepewności stanów należy się spodziewać. Dokładne wyznaczenie warunków wiąże się z koniecznością zwiększenia ilości prób.

Podczas badań niepewtarzalności parametrów procesu tłoczenia, wtrysku i spalania paliwa w silniku w warunkach nieustalonych (dynamicznych) pozyskano 30 prób swobodnego rozpędzania.

Zmiany wartości wybranych parametrów roboczych badanego silnika wyznaczano na podstawie zarejestrowanych przebiegów zmian ciśnienia w komorze spalania, przewodzie wtryskowym oraz wzniosu iglicy rozpylacza. Umożliwiło to wyznaczenie następujących parametrów:

- kąta dynamicznego początku tłoczenia paliwa,
- kąta początku wtrysku paliwa,

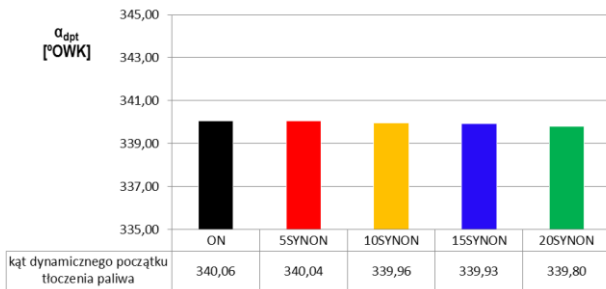
- kąta trwania wtrysku paliwa,
 - kąta opóźnienia samozapłonu paliwa,
 - maksymalnej prędkości narastania ciśnienia w komorze spalania,
 - maksymalnego ciśnienia w cylindrze,
- Wskaźnik niepewtarzalności X wybranego parametru robocze- go silnika Y wyznaczono za pomocą poniższej zależności [6,7]:

$$X_Y = \frac{\sigma_i}{Y_{\text{sr}}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (Y_i - Y_{\text{sr}})^2}}{Y_{\text{sr}}} \quad (1)$$

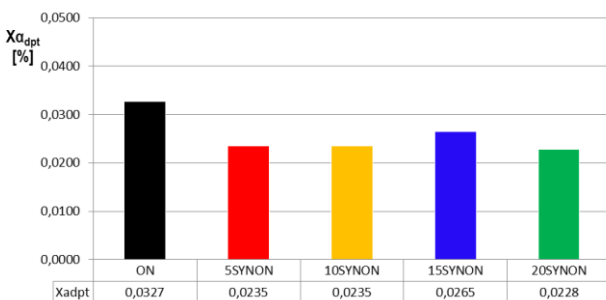
gdzie:

- σ_i – odchylenie standardowe,
- Y_i – wartość parametru dla i -tego cyklu roboczego silnika,
- Y_{sr} – wartość średnia rozpatrywanego parametru,
- i – kolejny numer cyklu,
- k – liczba rozpatrywanych cykli roboczych silnika.

Na niepewtarzalność różnych parametrów pracy silnika, takich jak: wznios iglicy rozpylacza, przebieg ciśnienia w cylindrze silnika oraz charakterystyka dawkowania paliwa, i innych, zdecydowany wpływ mają m.in. właściwości fizykochemiczne paliwa i zjawiska towarzyszące w trakcie przepływu paliwa w procesie tłoczenia w układzie wysokiego ciśnienia paliwa.

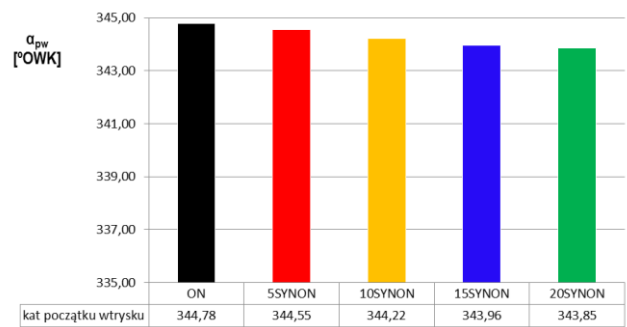


Rys. 2. Wpływ rodzaju badanego paliwa na wartość średnią kąta dynamicznego początku tłoczenia paliwa uzyskaną w stanach nieustalonych pracy silnika AD 3.152

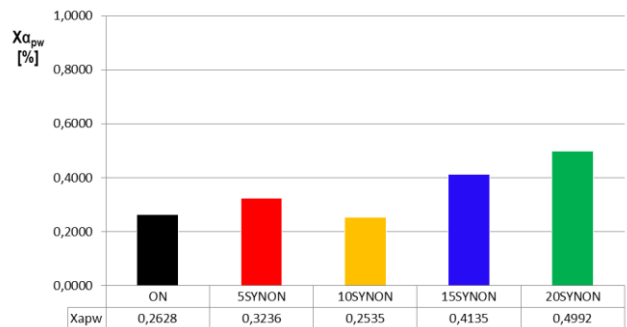


Rys. 3. Wpływ rodzaju badanego paliwa na wartość wskaźnika niepewtarzalności kąta dynamicznego początku tłoczenia paliwa uzyskaną w stanach nieustalonych pracy silnika AD 3.152

Na rysunku 2 przedstawiono wartości średnie kąta dynamicznego początku tłoczenia paliwa wyznaczone w procesie przyspieszania wału korbowego silnika AD 3.152. Po analizie otrzymanych wyników można stwierdzić, że rodzaj zastosowanego paliwa nie wpływa na zmianę parametru kąta dynamicznego początku tłoczenia paliwa, a również wartości otrzymanych wskaźników niepewtarzalności kąta dynamicznego początku tłoczenia paliwa są stosunkowo małe (rys. 3). Wskazuje to na brak wpływu różnych rodzajów paliw na ten parametr.

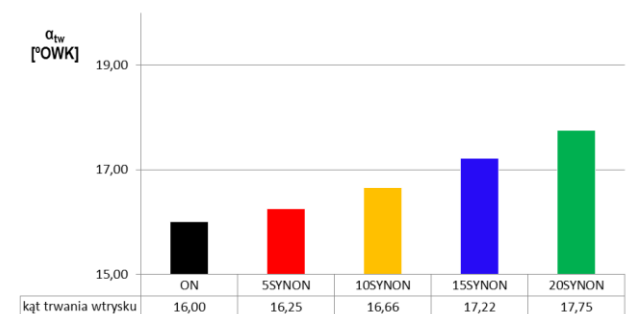


Rys. 4. Wpływ rodzaju badanego paliwa na wartość średnią kąta początku wtrysku paliwa uzyskaną w stanach nieustalonych pracy silnika AD 3.152



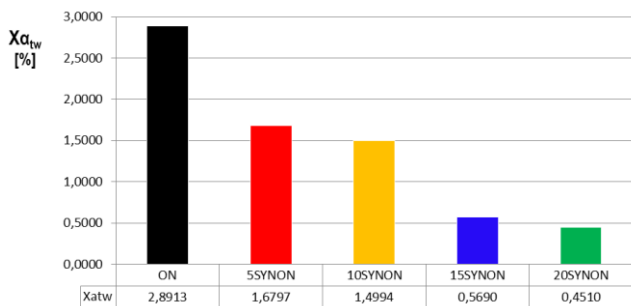
Rys. 5. Wpływ rodzaju badanego paliwa na wartość wskaźnika niepewtarzalności kąta początku wtrysku paliwa uzyskaną w stanach nieustalonych pracy silnika AD 3.152

Rysunek 4 pokazuje wartości średnie kąta początku wtrysku paliwa wyznaczone w procesie przyspieszania wału korbowego silnika AD 3.152. Na podstawie otrzymanych wyników można potwierdzić wyniki badań wykonane przy pracy silnika w stanach ustalonych. Wraz ze wzrostem udziału paliwa syntetycznego wtrysk paliwa następuje wcześniej. Wartości otrzymanych wskaźników niepewtarzalności kąta początku wtrysku paliwa są stosunkowo małe (rys. 5), ale obserwuje się wzrost niepewtarzalności (do 90% dla 20SYNON) wraz ze wzrostem udziału SYNON.

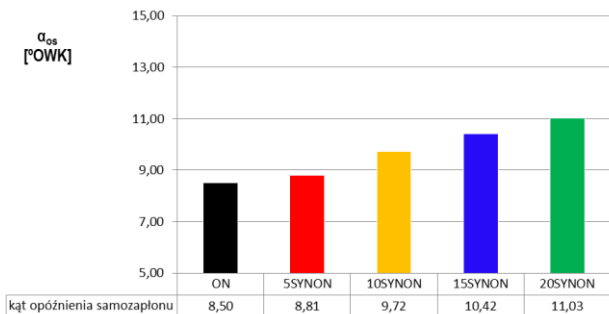


Rys. 6. Wpływ rodzaju badanego paliwa na wartość średnią kąta trwania wtrysku paliwa uzyskaną w stanach nieustalonych pracy silnika AD 3.152

Na rysunku 6 przedstawiono wartości średnie kąta trwania wtrysku paliwa wyznaczone w procesie przyspieszania wału korbowego silnika AD 3.152. Po analizie otrzymanych wyników można stwierdzić, że zostały potwierdzone wyniki badań wykonane przy pracy silnika w stanach ustalonych, gdzie wraz ze wzrostem udziału paliwa syntetycznego wtrysk paliwa trwa dłużej. Wartości otrzymanych wskaźników niepewtarzalności kąta trwania wtrysku paliwa są stosunkowo małe (rys. 7), ale obserwuje się spadek (do 84% dla 20SYNON) niepewtarzalności wraz ze wzrostem udziału SYNON.

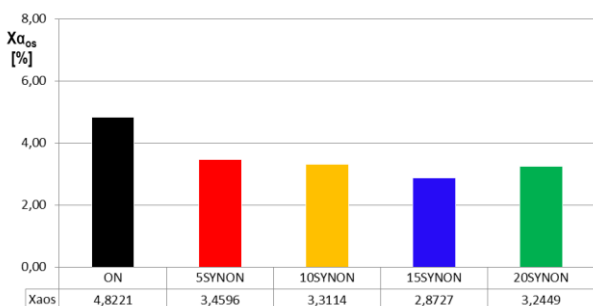


Rys. 7. Wpływ rodzaju badanego paliwa na wartość wskaźnika niepowtarzalności kąta trwania wtrysku paliwa uzyskaną w stanach nieustalonych pracy silnika AD 3.152



Rys. 8. Wpływ rodzaju badanego paliwa na wartość średnią kąta opóźnienia samozapłonu paliwa uzyskaną w stanach nieustalonych pracy silnika AD 3.152

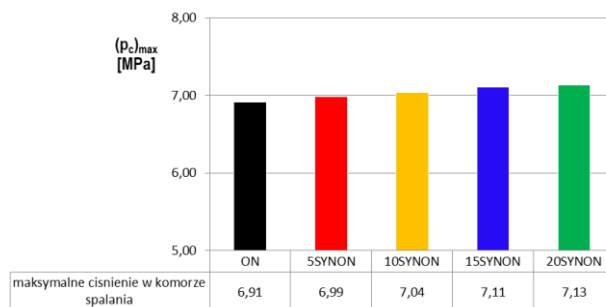
Rysunek 8 przedstawia wartości średnie kąta opóźnienia samozapłonu paliwa wyznaczone w procesie przyspieszania wału korbowego silnika AD 3.152. Po analizie otrzymanych wyników, można stwierdzić ich zgodność z wynikami badań dla pracy silnika w stanach ustalonych. Obserwujemy tendencję ze wraz ze wzrostem udziału paliwa syntetycznego opóźnienie samozapłonu paliwa następuje później. Wartości otrzymanych wskaźników niepowtarzalności kąta opóźnienia samozapłonu są stosunkowo małe (rys. 9), ale obserwuje się spadek niepowtarzalności (do 33% dla 20SYNON) wraz ze wzrostem udziału SYNON.



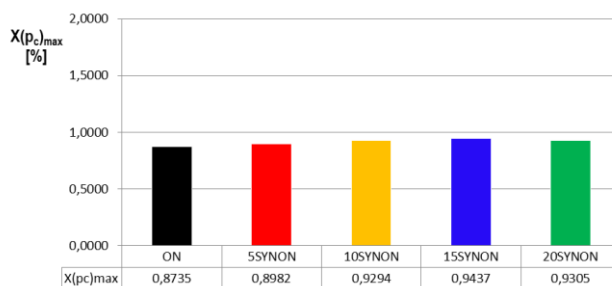
Rys. 9. Wpływ rodzaju badanego paliwa na wartość wskaźnika niepowtarzalności kąta opóźnienia samozapłonu paliwa uzyskaną w stanach nieustalonych pracy silnika AD 3.152

Na rysunku 10 przedstawiono wartości średnie maksymalnego ciśnienia w komorze spalania w procesie swobodnego przyspieszania wału korbowego silnika AD 3.152. Na podstawie analizy otrzymanych wyników, odnotowany został lekki wzrost maksymalnych wartości ciśnienia dla paliw z dodatkiem syntetycznym. Wartości otrzymanych wskaźników niepowtarzalności maksymalnej prędkości narastania ciśnienia w komorze spalania są stosunkowo małe (rys.

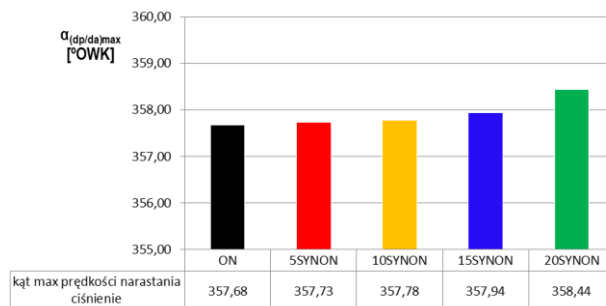
11), ale obserwuje się brak wpływu udziału SYNON na ten parametr.



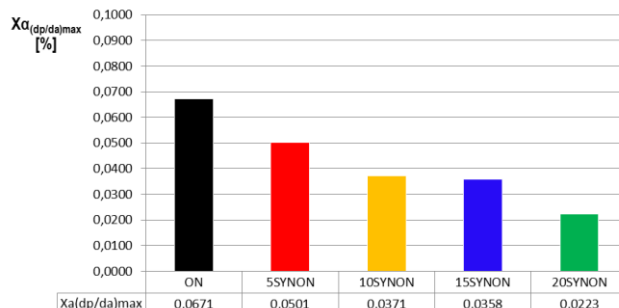
Rys. 10. Wpływ rodzaju badanego paliwa na wartość średnią maksymalnego ciśnienia w komorze spalania uzyskaną w stanach nieustalonych pracy silnika AD 3.152



Rys. 11. Wpływ rodzaju badanego paliwa na wartość wskaźnika niepowtarzalności maksymalnego ciśnienia w komorze spalania uzyskaną w stanach nieustalonych pracy silnika AD 3.152



Rys. 12. Wpływ rodzaju badanego paliwa na wartość średnią kąta występowania maksymalnej prędkości narastania ciśnienia w cylindrze uzyskaną w stanach nieustalonych pracy silnika AD 3.152



Rys. 13. Wpływ rodzaju badanego paliwa na wartość wskaźnika kąta występowania maksymalnej prędkości narastania ciśnienia w cylindrze uzyskaną w stanach nieustalonych pracy silnika AD 3.152

Na rysunku 12 przedstawiono wartości średnie maksymalnej prędkości narastania ciśnienia w komorze spalania w procesie przyspieszania wału korbowego silnika AD 3.152. Po analizie

otrzymanych wyników, można stwierdzić, że zostały potwierdzone wyniki uzyskane przy pracy silnika w stanach ustalonych. Odnotowano lekki przyrost średniej maksymalnej szybkości narastania ciśnienia dla paliw z dodatkiem syntetycznym. Wartości otrzymanych wskaźników niepowtarzalności maksymalnej prędkości narastania ciśnienia w komorze spalania są stosunkowo małe (rys. 13), ale obserwuje się tendencję spadkową tego parametru wraz ze wzrostem udziału SYNON do 57% dla 20SYNON

PODSUMOWANIE

Dodatek syntetyczny paliwa wpływa na wydłużenie czasu trwania wtrysku. Efekt ten wynika z właściwości fizykochemicznych biopaliw, które charakteryzują się następującymi cechami:

- wartości gęstości badanych paliw nowego rodzaju są niewiele większe niż badanego ON (o 0,5-1,4%) i zawierają się w korzystnym (ze względów efektywnościowych) zakresie wymagań dla paliw standardowych.
- zakres oddestylowania paliwa SYNON w stosunku do ON jest zróżnicowany. Zauważa się mniejszą zdolność o około 5,5% dla SYNON5 w zakresie temperatury do 250 °C i znacząco mniejsze zdolności paliw SYNON15 i SYNON20 (odpowiednio o 11% i 17%) w tym zakresie temperatury.

Mimo niższej wartości indeksu cetanowego paliw z dodatkiem syntetycznym nie odnotowano zwiększonego opóźnienia samozapłonu.

Odnotowane zostało wyższe ciśnienie w komorze spalania dla paliw syntetycznych. Dla paliwa 20SYNON wartość ta wzrosła o 3% w stosunku do silnika zasilanego mineralnym olejem napędowym.

Wraz ze wzrostem syntetycznego dodatku do paliwa wzrosła wartość maksymalnej prędkości narastania ciśnienia.

Niepowtarzalność wybranych parametrów tłoczenia, wtrysku i spalania paliwa takich jak: kąt dynamicznego początku tłoczenia paliwa, kąt początku wtrysku, kąt opóźnienia samozapłonu paliwa oraz maksymalne ciśnienie w komorze spalania nie odbiegała od niepowtarzalności przy zasilaniu silnika mineralnym olejem napędowym zgodnym z normą PN 590. Odnotować należy jednak poprawę wartości wskaźnika niepowtarzalności maksymalnej prędkości narastania ciśnienia w cylindrze uzyskaną w stanach nieustalonych dla paliw z dodatkiem syntetycznym. Odnotowana została również pozytywna zmiana wskaźnika niepowtarzalności kąta opóźnienia samozapłonu paliwa uzyskana w stanach nieustalonych pracy silnika AD 3.152 przy zasilaniu paliwami z dodatkiem biowęglowodorów. Również dodatek syntetyczny pozytywnie wpływa na wartość wskaźnika niepowtarzalności kąta trwania wtrysku paliwa, czyli tym samym czas wtrysku paliwa jest bardziej powtarzalny przy zastosowaniu biowęglowodorów.

Wyniki badań z zastosowania nowego rodzaju paliwa (mieszanki mineralnego oleju napędowego z biowęglowodorami) pokazały pozytywny wpływ na większość parametrów wtrysku i spalania paliwa w silniku o zapłonie samoczynnym z rozdzielaczową pompą wtrysku.

BIBLIOGRAFIA

1. Łodygowski K., Zastosowanie ogniw paliwowych typu PEMFC jako źródło napędu pojazdu samochodowego, Oficyna wydawnicza Black Horse, Poznań 2013.
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 mieszankami 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 mieszankami ON i EETB, WNT Warszawa 2011.
5. Lotko W., Niepowtarzalność opóźnienia samozapłonu paliwa, Archiwum Motoryzacji, pp. 195-209, 3-4 2008.
6. Lotko W., Studium zastosowań paliw alternatywnych do silników o zapłonie samoczynnym. Radom: Politechnika Radomska, 2003.
7. Łodygowski K., Paliwa syntetyczne do zasilania silników spalinowych z zapłonem samoczynnym, TTS Technika Transportu Szynowego, no. 10, 2013.

EVALUATION THE UNIQUENESS OF THE SELECTED PARAMETERS IN TRANSIENT CONDITIONS OF THE DIESEL ENGINE POWERED BY A MIXTURE OF MINERAL DIESEL AND SYNTHETIC DIESELIN

Abstract

The paper presents relates to the use of a new type of fuel (a mixture of mineral hydrocarbons ON and synthetic hydrocarbons SYNON) to power diesel engine Ad 3.152. Furthermore, the characteristics of the engine operation in transient conditions, that is in the process of its acceleration with no external load, are described. The paper presents the method of testing and analysis of engine performance parameters such as the angle of dynamic fuel injection start angle, injection angle.

Autorzy:

dr inż. **Kamil Łodygowski** – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Koninie, Wydział Społeczno-Techniczny, Katedra Inżynierii i Technologii; kamil.lodygowski@tlen.pl