

Article citation info:

Wincenty Lotko, Kamil Łodygowski. Fuelling compression ignition engine by mineral diesel fuel mixture with synthetic hydrocarbons. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2017; 75(1): 93-104, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL.75.ART6>

FUELLING COMPRESSION IGNITION ENGINE BY MINERAL DIESEL FUEL MIXTURE WITH SYNTHETIC HYDROCARBONS

ZASILANIE SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM MIESZANINAMI MINERALNEGO OLEJU NAPĘDOWEGO Z SYNTETYCZNYMI WĘGLOWODORAMI

Wincenty Lotko¹, Kamil Łodygowski²

Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu

Summary

This article presents aspects related to usage of prospective bio-mixture, which consists of mineral diesel fuel and synthetic hydrocarbons, as a new component of fuel, in order to fulfill the requirements of the National Index Target. Research on the new formula of the fuel was conducted on new-generation, compression ignition engine quipped with common rail fuel injection. Research was conducted in conditions of external velocity performance analysis specifications for defined rotational speed of crankshaft and at full load. Two mixtures of fuel consisting of 5% and 10% (vol/vol) synthetic hydrocarbons were used in the experiment. Synthetic fuel is a result of catalytic conversion of bio-ethanol into hydrocarbons mixture which is realized according to ETG technology. The resultant oil fraction is a mixture of hydrocarbons which mix at any ratio with petroleum hydrocarbons, entirely free of benzene, alcohols, sulfur, phosphorus and metals. The aim of performing the ecological.

Streszczenie

¹ Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, 26-600 Radom, Al. Bolesława Chrobrego 45

² Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Wydział Mechaniczny, Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn, 26-600 Radom, Al. Bolesława Chrobrego 45, e-mail: kamil.lodygowski@tlen.pl

W artykule przedstawione zostały zagadnienia związane z zastosowaniem perspektywicznej biomieszaniny składającej się z mineralnego oleju napędowego oraz syntetycznych węglowodorów, jako nowego składnika paliw motorowych, celem spełnienia wymagań NCW (Narodowy Cel Wskaźnikowy). Badania nad nową formułą paliwa zostały zrealizowane na nowej generacji silnika o zapłonie samoczynnym wyposażonym w zasobnikowy układ zasilania typu common rail. Badania wykonane były w warunkach prędkościowych charakterystyk zewnętrznych dla określonych wartości prędkości obrotowych wału korbowego i pełnych obciążeń. W eksperymencie użyto dwóch mieszanin paliwa zawierającego 5% oraz 10% (vol/vol) węglowodorów syntetycznych. Paliwo syntetyczne jest wynikiem procesu katalitycznej konwersji bioetanolu do mieszaniny węglowodorów, realizowanego według technologii ETG. Otrzymana frakcja olejowa jest mieszaniną węglowodorów mieszającą się w dowolnym stosunku z węglowodorami ropopochodnymi, całkowicie pozbawioną benzenu, alkoholi, siarki, fosforu i metali. Celem dokonania analizy ekologicznej silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym zasilanym paliwem z dodatkiem syntetycznym podczas badań było rejestrowane stężenie toksycznych składników spalin (m. in. HC, CO, NO_x) oraz gazów uznawanych za ciepłarniane (CO₂). Wykazano, że paliwa z dodatkiem syntetycznym cechują się mniejszą degradacją środowiska przy jednoczesnym wzroście mocy silnika w stosunku do zastosowania konwencjonalnych paliw.

Keywords: biofuel, synthetic fuel, internal combustion engine

Słowa kluczowe: biopaliwa, paliwa syntetyczne, silniki spalinowe

1. Wstęp

Silnik spalinowy pozostaje nadal dominuje jako źródło napędu dla pojazdów samochodowych, mimo swoich licznych wad. Aktualnie największym determinantem prac rozwojowych silników spalinowych jest aspekt ekologiczny, czyli osiągnięcie jak najmniejszych emisji substancji szkodliwych [6].

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 propan-butan (LPG), gaz ziemny (CNG i LNG), paliwa roślinne i ich estry, oraz paliwa alkoholowe (metanol, etanol, butanol).

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, czystszej spalania. Rozbijanie małych cząsteczek wytwarza mniej związków pośrednich, będących przyczyną niekorzystnych

substancji w spalinach [1,7].

W artykule przedstawiono wyniki badań zasilania silnika o zapłonie samoczynnym AVL 5402 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. Celem dokonania analizy wpływu dodatku na poprawę ekologiczności silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym podczas badań była rejestrowane stężenie toksycznych składników spalin (HC, CO, NO_x, SO₂), gazów uznawanych za cieplarniane (CO₂) oraz zużycie paliwa.

2. Wybrane właściwości fizykochemiczne paliw

Podczas badań silnik spalinowy AVL pracował wg charakterystyki prędkościowej i 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

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 pozostawiają 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 EKOBENZ 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.

Tabela 1. Podstawowe właściwości fizykochemiczne paliw silnikowych wykorzystanych w badaniach

| Paliwo | Wartość opalowa [MJ/kg] | Temperatura zapłonu [°C] | Indeks cetanowy [-] | Pozostałość po koksowaniu %(m/m) | Gęstość [kg/m ³] | Lepkość [mm ² /s] |
|--------|-------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|--------|-------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|

| | | | | | | |
|---------------|-------|----|----|-------|-----|------|
| Olej napędowy | 42,91 | 63 | 51 | 0,19* | 842 | 2,48 |
| 5SYNON | 42,84 | 64 | 50 | 0,16* | 844 | 2,48 |
| 10SYNON | 42,80 | 62 | 49 | 0,11* | 845 | 2,49 |

3. Stanowisko badawcze

Badania były przeprowadzone na hamowni silnikowej Instytutu Eksploatacji Pojazdów i Maszyn Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego w Radomiu. Stanowisko badawcze wyposażone było w jednocylindrowy silnik o zapłonie samoczynnym AVL 5402 i system do analizy emisji składników spalin.

Widok stanowiska badawczego przedstawia rysunek 1. Badany silnik jest jednocylindrową jednostką o zapłonie samoczynnym z wtryskiem bezpośrednim do komory spalania typu Common Rail. Układ zasilania zasobnikowego, umożliwiał badania zasilania silnika z wielokrotnym wtryskiem paliwa na cykl pracy. Układ sterowania pozwalał na podział dawki paliwa oraz zmianę kąta wtrysku w szerokim zakresie. Specyfikację techniczną silnika zawiera tabela 2.

4. Metodyka badań

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 wtrysku paliwa (180 MPa) i kąt dynamicznego początku tłoczenia paliwa α_{dpt} wg mapy sterowania silnika opracowanej na potrzeby niniejszych badań. Dodatkowo prócz pomiaru zużycia paliwa metodą objętościową w trakcie badań rejestrowano zawartości CO, CO₂, NO, NO_x, HC, SO₂ w spalinach.

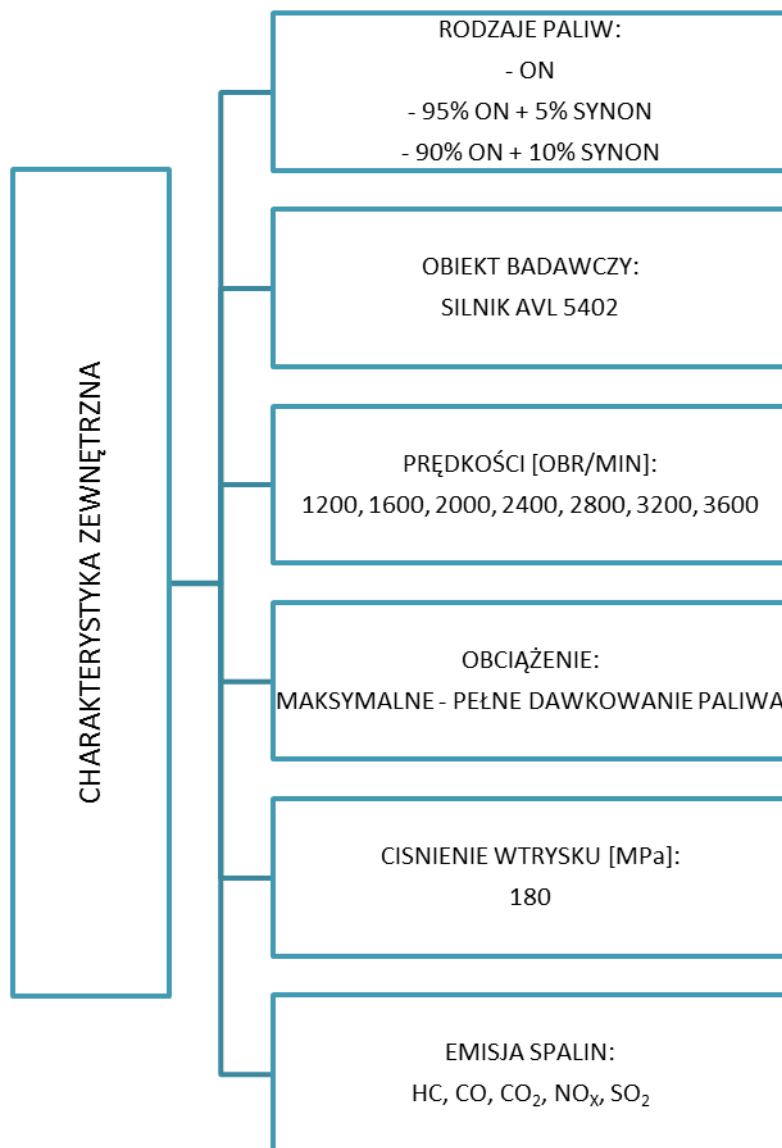


Rys. 1. Widok ogólny stanowiska badawczego.

Tabela 2. Specyfikacja techniczna silnika AVL 5402

| Parametr | Wartość |
|---------------------------------------|-----------------------|
| Liczba i układ cylindrów | 1-cylindrowy, pionowy |
| Średnica cylindra [mm] | 85,01 |
| Skok tłoka [mm] | 90 |
| Pojemność skokowa [cm ³] | 511 |
| Stopień sprężania | 17,5 |
| Typ silnika | 5402 AVL |
| Ilość zaworów na cylinder | 4 |
| Ciśnienie w listwie Common Rail [bar] | 1800 |

| | |
|----------------------------------|-------------------------|
| System wtrysku paliwa | bezpośredni do cylindra |
| Rodzaj układu wtryskowego paliwa | Common Rail - Bosch |
| Zawór recyrkulacji spalin | zamknięty |
| Doładowanie | brak |



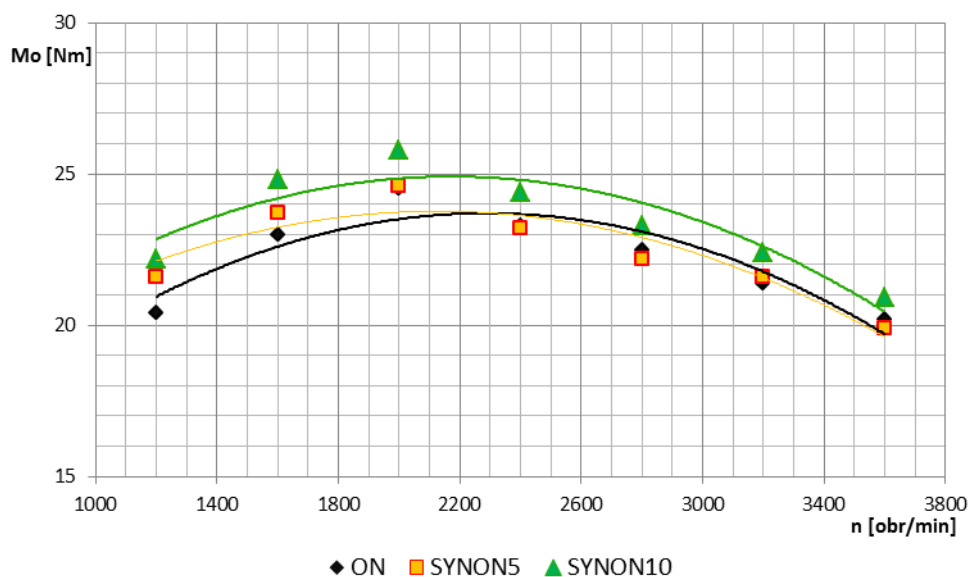
Rys. 2. Schemat ilustrujący zakres zrealizowanych badań.

5. Wyniki badań i dyskusja

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono odpowiednio moc efektywną oraz moment obrotowy, jakie osiągał badany silnik na poszczególnych rodzajach paliw. Zaobserwować można pozytywny przyrost mocy (do 5% dla 10SYNON) i momentu obrotowego (do 5% dla 10SYNON) dla paliw z dodatkiem syntetycznym w stosunku do paliwa mineralnego.



Rys. 3. Porównanie mocy efektywnej silnika AVL zasilanego mineralnym olejem napędowym, oraz mieszaninami oleju napędowego z syntetycznym olejem napędowym, pracującego przy pełnym obciążeniu



Rys. 4. Porównanie momentu obrotowego silnika AVL zasilanego mineralnym olejem napędowym, oraz mieszaninami oleju napędowego z syntetycznym olejem napędowym, pracującego przy pełnym obciążeniu

W trakcie sporządzania charakterystyki zewnętrznej rejestrowano zawartość CO , CO_2 , HC , NO_x oraz SO_2 w spalinach. Poniżej w postaci wykresów zostały zilustrowane zarejestrowane wyniki badań. Stwierdzono, że na poziom emisji poszczególnych składników wyraźny wpływ wywiera skład badanych paliw – udział węglowodorów syntetycznych.

Dwutlenek węgla (CO_2), tlenek węgla (CO) oraz niespalone węglowodory C_mH_n i aldehydy $\text{C}_m\text{H}_n\text{O}$ (oznaczone wspólnym symbolem HC) wchodzi w skład produktów niecałkowitego spalania, które zachodzi w rzeczywistym silniku spalinowym.

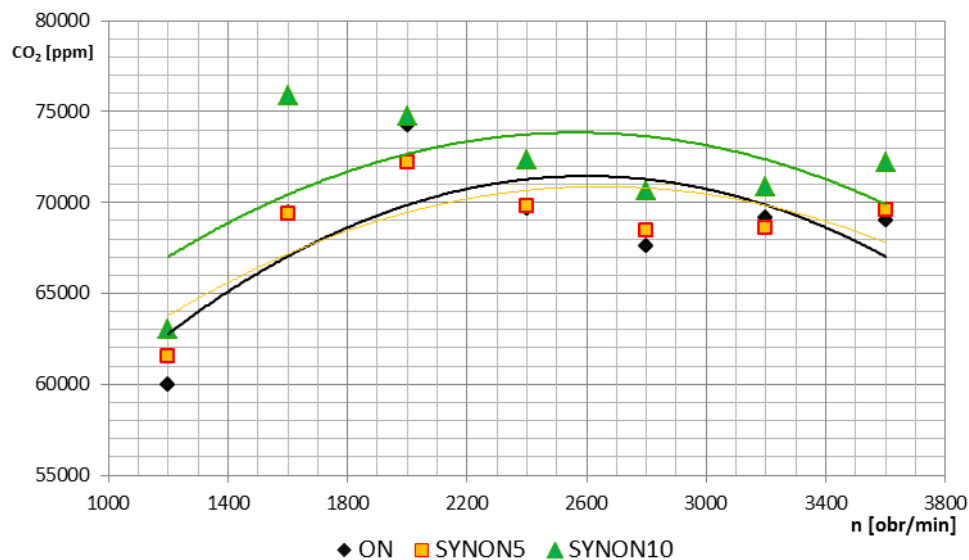
Na zwiększenie stężenia dwutlenku węgla wraz ze wzrostem udziału syntetycznego paliwa ma wpływ odmienny skład węglowodorów tworzący paliwo. Stężenie dwutlenku węgla w spalinach rośnie wraz z udziałem paliwa syntetycznego (do 9% przy zasilaniu silnika 10SYNON), co wskazuje na pełniejsze spalanie mieszanki w cylindrze. Potwierdzeniem tego jest również niższe stężenie niespalonych węglowodorów (rys. 7).

Stężenie tlenków węgla w spalinach emitowanych z silników o zapłonie samoczynnym jest niewielkie ze względu na spalanie paliwa w nadmiarze powietrza. Możliwe jest jednak zwiększenie emisji na skutek zaburzeń procesu spalania spowodowanych złymi właściwościami fizykochemicznymi paliwa. Analizując wykres na rysunku 6 można stwierdzić, że w przypadku badanych paliw nie zanotowano wyraźnych zmian w stężeniu tlenku węgla w spalinach, co potwierdza, że właściwości fizykochemiczne stosowanych paliw są odpowiednie.

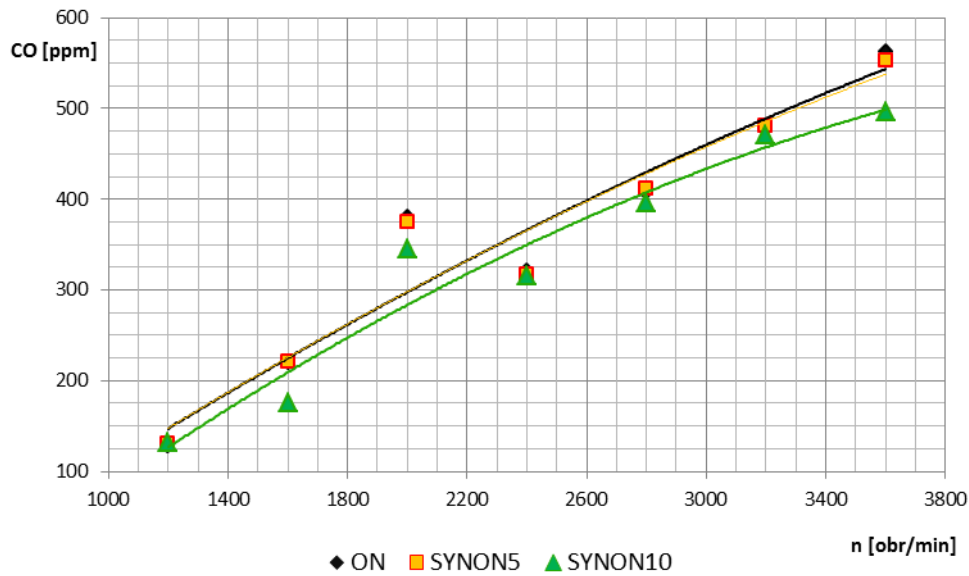
Na wykresach na rysunku 7 przedstawiono zależność stężenia skumulowanych niespalonych węglowodorów HC od prędkości obrotowej wału korbowego silnika. Odnotowano spadek stężenia HC o ponad 40% w spalinach z silnika zasilanego 10SYNON w stosunku do zasilania mineralnym olejem napędowym.

Przyczyną powstania tlenków azotu jest gwałtowny proces łączenia się atomów tlenu z azotem w wysokich temperaturach. Wraz ze wzrostem udziału paliwa syntetycznego odnotowano spadek stężenia tlenków azotu w spalinach o 20% (NO) oraz o 17% (NO_x) dla 10SYNON w stosunku do ON (rys. 8), co wskazuje na niższą temperaturę płomienia uzyskiwanego podczas spalania.

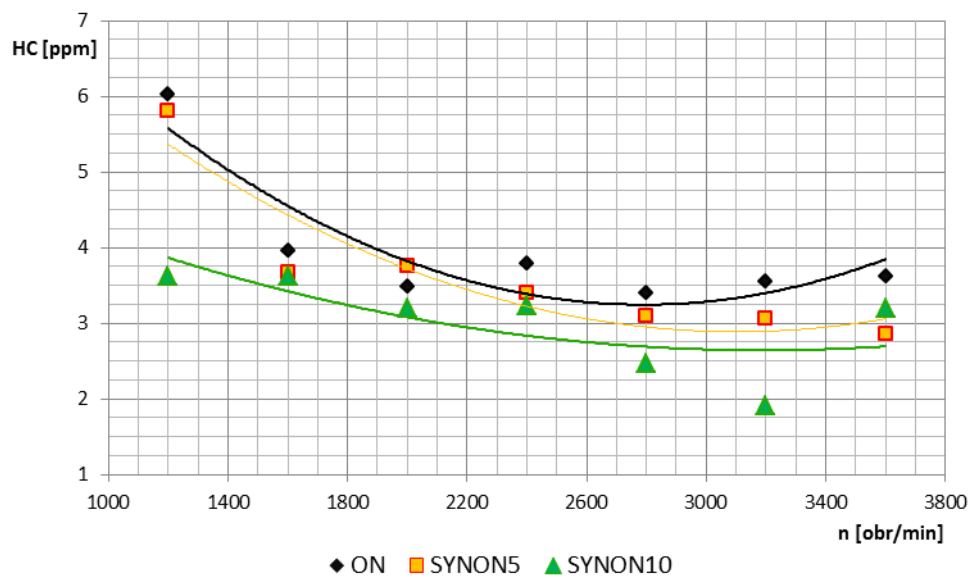
Dwutlenek siarki SO₂ jest wynikiem zanieczyszczenia paliwa siarką. Wymuszenie ograniczenie zawartości siarki przez normę PN-EN 590 wpływa na to, że spalanie oleju napędowego nie wiąże się już z tak dużą emisją tlenków siarki do atmosfery. Paliwa syntetyczne ze względu na swój skład [7] emitują mniej dwutlenku siarki do atmosfery co ilustruje wykres na rysunku 9.



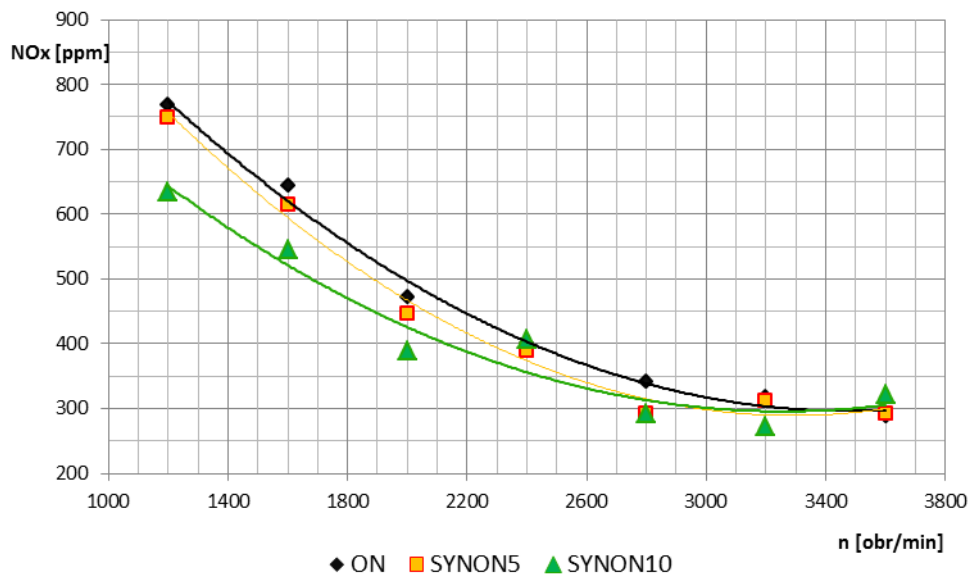
Rys. 5. Porównanie stężenia CO₂ w spalinach z silnika AVL zasilanego mineralnym olejem napędowym, oraz mieszaninami oleju napędowego z syntetycznymi węglowodorami, pracującego przy pełnym obciążeniu



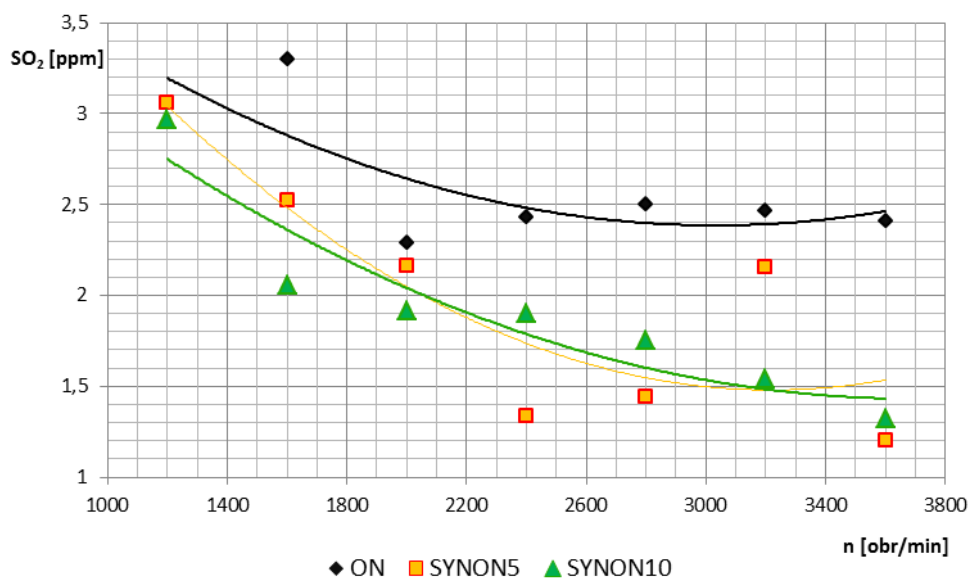
Rys. 6. Porównanie stężenia CO w spalinach z silnika AVL zasilanego mineralnym olejem napędowym, oraz mieszaninami oleju napędowego z syntetycznymi węglowodorami, pracującego przy pełnym obciążeniu



Rys. 7. Porównanie stężenia HC w spalinach z silnika AVL zasilanego mineralnym olejem napędowym, oraz mieszaninami oleju napędowego z syntetycznymi węglowodorami, pracującego przy pełnym obciążeniu



Rys. 8. Porównanie stężenia NO_x w spalinach z silnika AVL zasilanego mineralnym olejem napędowym, oraz mieszaninami oleju napędowego z syntetycznymi węglowodorami, pracującego przy pełnym obciążeniu



Rys. 9. Porównanie stężenia SO₂ w spalinach z silnika AVL zasilanego mineralnym olejem napędowym, oraz mieszaninami oleju napędowego z syntetycznymi węglowodorami, pracującego przy pełnym obciążeniu

6. Wnioski

Przeprowadzone badania i analiza wyników pozwoliła na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Przeprowadzone badania potwierdziły, że do zasilania silników spalinowych o zapłonie samoczynnym można stosować mieszaniny mineralnego oleju napędowego z syntetycznymi węglowodorami.
2. Odnotowano wzrost mocy i momentu obrotowego o 5% silnika zasilanego nowym rodzajem paliwa.
3. Dodanie do oleju napędowego już niewielkiej (10% v/v) dawki paliwa syntetycznego prowadzi do obniżenia stężenia tlenu węgla (do 12%), tlenków siarki (do 45%), węglowodorów (do 40%) jak również tlenków azotu (do 17%) w spalinach.
4. Pokazano, że paliwo z domieszką syntetycznych węglowodorów ma przesłanki do uznania jako ekopaliwo.
5. Zastosowanie nowego rodzaju paliwa może przynieść korzyści nie tylko w wymiarze ekologicznym, ale również w sektorze gospodarczym.
6. Uzyskane wyniki uzasadniają konieczność przeprowadzenia dalszych badań pozwalających na ocenę parametrów ekologicznych silnika zasilanego tymi paliwami.

Powyższe wnioski stanowią podstawę do sformułowania wniosku ogólnego: zasilanie nowym rodzajem paliwa (mieszaninami mineralnego oleju napędowego z syntetycznymi węglowodorami) silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym wpływa pozytywnie na wzrost mocy i momentu obrotowego silnika przy jednoczesnym obniżeniu stężenia toksycznych składników w spalinach.

Literatura

- [1] Górski K, Lotko W, Łodygowski K. Ekologiczne aspekty silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego mieszaniną mineralnego oleju napędowego z syntetycznym olejem napędowym; *Logistyka*. 2014; 6.
- [2] Labeckas G, Slavinskas S. Performance and emission characteristics of a direct injection diesel engine operating on KDV synthetic diesel fuel, *Energy Conversion and Management*. 2013; 66: 173–188.
- [3] Lotko W. Zasilanie silników wysokoprężnych mieszaninami paliwa rzepakowego z olejem napędowym, Wydawnictwo Politechnika Radomska, Radom 2008.
- [4] Lotko W, Górski K, Longwic R. Nieustalone stany pracy silnika wysokoprężnego zasilanego olejem napędowym z eterem etylo-tert butylowym, WKŁ, Warszawa 2010.
- [5] Lotko W, Górski K. Zasilanie silnika wysokoprężnego mieszaninami ON i EETB, WNT Warszawa 2011.
- [6] Łodygowski K. Zastosowanie ogniw paliwowych typu PEMFC jako źródło napędu pojazdu samochodowego. Oficyna wydawnicza Black Horse, Poznań 2013.
- [7] Łodygowski K. Paliwa syntetyczne do zasilania silników spalinowych z zapłonem samoczynnym, *TTS Technika Transportu Szynowego*. 2013; 10.
- [8] PKN Orlen S.A. Charakterystyka oleju napędowego Ekodiesel Ultra [cited 2016 Oct 18]. Available from: <http://www.ornlen.pl/PL/DlaBiznesu/Paliwa/OlejeNapedowe/>, 25-12-2014.