

EKSPLOATACYJNE ASPEKTY ZASILANIA SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM OLEJEM NAPĘDOWYM Z DODATKIEM FAME

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań wpływu zawartości FAME (estrów metylowych olejów roślinnych) w oleju napędowym na moc, moment obrotowy oraz zawartość związków szkodliwych w spalinach silnika o zapłonie samoczynnym (ZS). Przedstawiono wyniki badań silnika ZS na hamowni silnikowej oraz pojazdu napędzanego silnikiem ZS na hamowni podwoziowej. Wyniki te odniesiono do uzyskanych na silniku pracującym tylko na czystym oleju napędowym.

WSTĘP

Od szeregu lat prowadzi się badania nad paliwami pochodzącymi ze źródeł naturalnych, które mogą zastąpić częściowo lub całkowicie paliwa z przeróbki ropy naftowej. Jako paliwa zastępcze najczęściej wykorzystywane w silnikach o zapłonie samoczynnym (ZS) możemy podać paliwa ciekłe pochodzenia roślinnego lub innego, oraz paliwa gazowe. W ubiegłym dziesięcioleciu stosowano estry metylowe olejów roślinnych (FAME), w Polsce - estry olejów rzepakowych. Parametry olejów roślinnych znacznie różnią się od parametrów ropopochodnych olejów napędowych. Wartość opałowa olejów roślinnych (OR) jest niższa niż konwencjonalnych ON. Niższa wartość opałowa mogłaby być rekompensowana przez większą gęstość, jednak przy większej gęstości następują straty energii w tłoczeniu OR. Wzrost oporu następuje głównie podczas przepływu przez filtr paliwa, przez pompę wysokiego ciśnienia, przewody także w otworach rozpylacza. Lepkość jest dużo większa (ok. 15 razy) niż w przypadku ON. Wpływa to na doszczelnienie elementu tłoczącego i rozpylacza, jednak duża lepkość wpływa na większy rozmiar kropli wtrysku, co powoduje zwiększenie zasięgu strugi. Część paliwa spływa wówczas po ściankach i nie spala się, powodując zaburzony proces spalania i większą zawartość węglowodorów w spalinach. Wadą OR jest ich wysoka temperatura zablokowania zimnego filtra, mieszcząca się w granicach $15 \pm 20^\circ\text{C}$, co znacznie utrudnia rozruch zimnego silnika. Czynnikiem ten niemal całkowicie dyskwalifikuje OR do użytku w standardowych silnikach ZS. Dodatkowo, stwierdzono powstawanie węglistych osadów na końcówkach rozpylacza, w komorze spalania oraz na zaworach. Wynika to z tego, iż gliceryna w wysokich temperaturach przechodzi w akroleinę, która jest bardzo podatna na tworzenie nagaru. Obecnie zauważa się trend wycofywania z tzw. biodiesli, min. z powodu opinii mówiącej o negatywnym skutku tegoż paliwa nie tylko na aparaturę wtryskową, ale także na osiągi silnika [2, 4, 5, 6, 7]. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań wpływu zawartości FAME (estrów metylowych olejów roślinnych) w oleju napędowym na moc, moment oraz zawartość związków szkodliwych w spalinach silnika ZS, stosowanego do napędu samochodu osobowego. Wyniki te odniesiono do uzyskanych na silniku pracującym tylko na czystym oleju napędowym. Przedstawiono wyniki badań silnika ZS na hamowni silnikowej oraz pojazdu napędzanego silnikiem ZS na hamowni podwoziowej.

1. MIESZANINY OLEJU NAPĘDOWEGO Z FAME

Ze względu na wady opisane powyżej czysty olej roślinny nie może być stosowany w konwencjonalnych silnikach ZS. Wykorzystanie OR jako paliwa alternatywnego możliwe jest po obróbce chemicznej zwanej transestryfikacją. Oleje roślinne składają się głównie z acylogliceroli - naturalnych estrów polialkoholu i kwasów tłuszczowych. Alkoholowa część łańcucha w olejach roślinnych pochodzi od 1, 2 lub 3-propanotriolu, który jest najprostszym alkoholem trójwodorotlenowym, zwanym popularnie gliceryną. Gliceryna połączona jest z jedną, dwiema lub trzema cząsteczkami resztek kwasów tłuszczowych, a ich pochodzenie zależy od rośliny, z której tłoczony jest olej. Transestryfikacja polega na zamianie trzech jednowartościowych cząsteczek alkoholu na trójwartościową cząsteczkę glicerolu, w wyniku czego powstaje jedna cząsteczka glicerolu i trzy cząsteczki estru alkoholowego kwasu tłuszczowego. Procesowi temu mogą być poddawane zarówno oleje roślinne, jak i tłuszcze zwierzęce i odpady olejowe, zazwyczaj w obecności katalizatora. Najczęściej w transestryfikacji używa się alkoholu: metylowego lub etylowego. Alkohol metylowy jest tańszy ze względu na jego produkcję, natomiast etylowy uważany jest za bardziej ekologiczny, ponieważ pozyskiwany jest ze źródeł odnawialnych. Od rodzaju alkoholu zależy nazwa powstałego estru - w przypadku zastosowania metylu otrzymujemy estry metylowe kwasów tłuszczowych FAME (z ang. Fatty Acid Methyl Esters), natomiast w przypadku etylu - estry etylowe kwasów tłuszczowych FAEE (z ang. Fatty Acid Ethyl Esters). W celu podniesienia jakości FAME, konieczne jest poddanie ich dodatkowym procesom. Należy oczyścić estry z pozostałości metanolu, poddać je neutralizacji i destylacji oraz przemyć wodą i osuszyć. Neutralizacja polega na usuwaniu pozostałości katalizatora i powstałych mydeł za pomocą kwasu, w wyniku czego powstają rozpuszczalne w wodzie sole i wolne kwasy tłuszczowe. Substancje te usuwane są z FAME przez przemycie estrów wodą, która w końcowym etapie również jest usuwana metodą destylacji próżniowej lub przepuszczając przez FAME gorące powietrze.

Podstawową różnicą w składzie estrów oleju roślinnego a olejem napędowym jest obecność w biodieslu ok. 10 do 12% tlenu. Powoduje to nieco inne parametry FAME w stosunku do ON, przede wszystkim w zakresie wartości opałowej - estry mają mniejszą gęstość energii, wobec czego zasilanie silnika takim paliwem podwyższa jednostkowe zużycie paliwa. Liczba cetanowa (LC) FAME jest zależna od budowy chemicznej, rodzaju oraz ilości kwasów

tłuszczowych zawartych w oleju roślinnym poddawanych transestryfikacji. Zwiększa się ona, gdy w oleju dominują długie łańcuchy cząsteczek przy jednoczesnym braku (lub małej ilości) wiązań podwójnych. Wartość LC estrów oleju rzepakowego waha się w granicy od 48 do 62. Stwierdzono także zależność liczby cetanowej od alkoholu użytego do estryfikacji. Najmniejsza LC jest dla alkoholu metylowego, większa dla etylowego i propylowego, a najlepsza dla alkoholu butylowego. Z uwagi jednak na niewielkie różnice LC w zależności od zastosowanego alkoholu, a dużą różnicę w cenie alkoholu, stosuje się najtańszy alkohol metylowy. W rzeczywistości, często stosuje się dodatki poprawiające właściwości samozapłonowe biodiesla. Z uwagi na wyższą temperaturę zapłonu FAME (powyżej 100°C) niż konwencjonalnych olejów napędowych, biodiesel jest bezpieczny w przechowywaniu i transportowaniu, a zbiorniki i aparatura do dystrybucji nie muszą spełniać dodatkowych kryteriów dotyczących bezpieczeństwa pożarowego. Warto jednak dodać, że temperaturę zapłonu biodiesla obniża metanol, dlatego również z tego powodu ważne jest, by zawartość metanolu była minimalna.

Gęstość estrów jest wyższa niż oleju napędowego, co spowodowane jest ich odmiennym składem frakcyjnym. FAME składają się z mniejszej ilości składników i mają węższy zakres temperatury ich wrzenia. Większa gęstość natomiast może częściowo niwelować wpływ mniejszej wartości opałowej, gdyż przy wtrysnięciu stałej objętości dawki masa paliwa wtrysniętego jest większa [1, 3].

Zgodnie z ustawą z dnia 25.08.2006 r. o biokomponentach biopaliwach ciekłych (Dz. U. 2006 nr 169 poz. 1199 z późn. zm.) zobowiązano producentów i importerów paliw do realizacji tzw. Narodowego Celu Wskaźnikowego (NCW), wymuszającego minimalny udział biopaliw na rynku. W roku 2013 NCW, zgodnie z założeniami ustawy, wynosić musiało 7,1% (czyli 7,1% ilości energii z ogółu wyprodukowanej energii musi pochodzić z surowców odnawialnych). Zgodnie z powyższym, do oleju napędowego dodaje się pewien procent objętości FAME, a według najnowszej edycji EN 590:2013, wartość ta może wynosić do 7%. Paliwo takie nie jest określane jako biodiesel, lecz jako zwykły olej napędowy. Składa się na to fakt, że niewielki dodatek estrów nie zmienia (pogarsza) istotnie żadnych właściwości paliwa. Badania dowiodły, że niewielki dodatek estrów praktycznie nie wpływa ani na pogorszenie własności niskotemperaturowych, jak i na wartość opałową paliwa, zmianę lepkości czy reakcję paliwa na elastomery. Stwierdzono nawet istotną poprawę smarności ON po dodaniu doń RME. Mieszanek taką jest stosunkowo łatwo uzyskać z uwagi na fakt, że estry metylowe kwasów tłuszczowych bardzo dobrze mieszają się z olejem napędowym w każdych warunkach i w każdym stosunku. Wymagane jest jednak nazywanie biodieslem wszelkich mieszanek posiadających więcej niż 7% estrów, zarówno metylowych jak i etylowych. Mieszanki takie są czasem sprzedawane w detalu na stacjach benzynowych, a możliwość ich użycia determinuje producent silnika. Mieszanki ON i FAME oznacza się literą „B” i następującą po niej liczbą, oznaczającą procentowy udział estrów w oleju napędowym. Parametry takich mieszanek są pośrednie między właściwościami ON a FAME, w zależności od stosunku tych substancji w mieszance. Warto jednak dodać, że stosunek ten nie zawsze jest liniowy.

2. ZAKRES I CEL BADAŃ DOŚWIADCZALNYCH

Celem pracy było przeprowadzenie badań, oraz analiza otrzymanych wyników, mających określić wpływ zawartości FAME w ON na osiągi silnika ZS. Badania przeprowadzono w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL. Obiektem badań był silnik o pojemności 1,3 dm³ o zapłonie samoczynnym, doładowany turbosprężarką, zasilany układem Common Rail, spełniający normę EURO V

(tabela 1) stosowany do napędu samochodu osobowego o masie własnej 1100 kg.

Tab. 1. Dane techniczne silnika

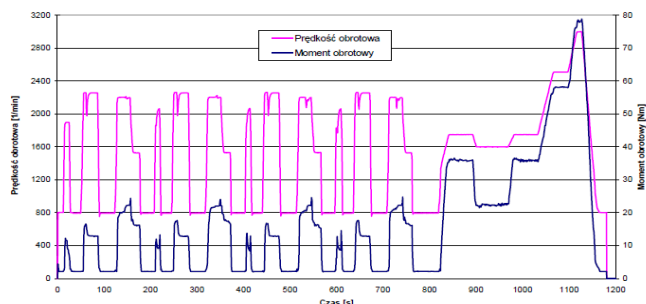
Silnik	Zapłon samoczynny, doładowanie turbosprężarką, układ zasilania C-R
Objętość skokowa	1,3 dm ³
Moc maksymalna	66 kW / 4000 obr/min
Moment obrotowy maksymalny	190 N·m / 1500 obr/min

W celu przeprowadzenia badań przygotowano paliwo wzorcowe oraz mieszaniny FAME z ON (tabela 2). Olej napędowy ultra (zimowy) oraz paliwo B100 zakupiono na stacji paliw. Mieszanki B5, B20 oraz B50 zawierające odpowiednio 5%, 20% i 50% FAME zostały sporządzone w BOSMAL.

Tab. 2. Rodzaje paliw zasilających badany silnik (samochód)

Rodzaj paliwa	Gęstość w temperaturze 15°C [kg/ dm ³]
ON ultra	0,832
B5 (95% ON ultra + 5% FAME)	0,834
B20 (80% ON ultra + 20% FAME)	0,843
B50 (50% ON ultra + 50% FAME)	0,860
B100 (100% FAME)	0,883

Zakres pracy obejmował pomiar parametrów pracy silnika oraz zawartości związków szkodliwych w spalinach na podstawie charakterystyki prędkościowej zewnętrznej. W pracy przeprowadzono również pomiar emisji związków szkodliwych spalin samochodu osobowego napędzanego silnikiem ZS, na hamowni podwoziowej, według cyklu jezdny NEDC (UDC+EUDC) (rys. 1) oraz pomiar CO₂ i zużycia paliwa obliczonego metodą bilansu węgla zgodnie z obowiązującymi regulacjami prawnymi.

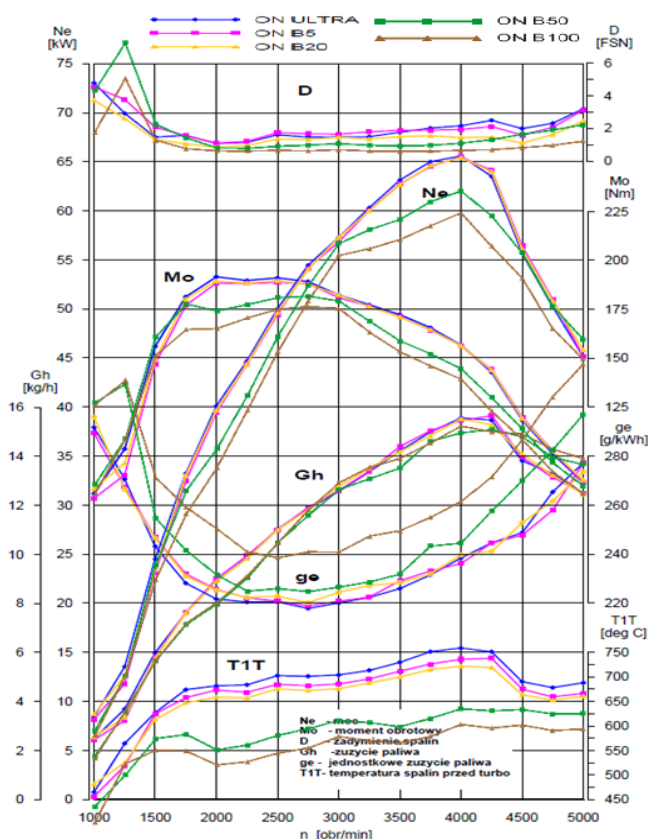


Rys. 1. Odzworowanie prędkości obrotowej i momentu obrotowego silnika dla symulacji testu NEDC na hamowni silnikowej

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Na rys. 2 przedstawiono charakterystykę prędkościową silnika zasilanego różnymi rodzajami paliwa. Wraz ze wzrostem procentowego udziału estrów metylowych kwasów tłuszczowych w oleju napędowym zadymienie spalin spada, osiągając najniższą wartość dla czystego FAME. Wynika to z podstawowej różnicy między ON a FAME - estry kwasów tłuszczowych zawierają nawet do 12 % tlenu co sprzyja spalaniu węglowodorów, które są głównym składnikiem cząstek stałych. Posiadają także mniejsze ilości wodoru i węgla, które również mają znaczący wpływ na powstawanie i samą budowę cząstek stałych. Ten fakt ma jednak negatywny wpływ na wartość opałową paliwa. FAME jest paliwem o mniejszej gęstości energetycznej niż ON. Pociąga to za sobą większe jednostkowe zużycie

paliwa. Wzrost zawartości FAME powoduje wyższe jednostkowe zużycie paliwa. Jednostkowe zużycie paliwa osiąga wartość maksymalną dla paliwa B100, które jest większe o 40 g/kW-h niż zużycie dla czystego oleju napędowego. Moc silnika oraz moment obrotowy wzrastają dla mieszanin o małej zawartości estrów metylowych kwasów tłuszczowych. Różnica ta jest znaczna, gdyż maksymalny moment uzyskiwany podczas pracy silnika na czystym ON ma wartość 190 N·m, natomiast silnik pracujący na czystym FAME osiąga moment obrotowy 175 N·m. Analogicznie jest z mocą maksymalną uzyskaną przez silnik - dla ON wartość wynosi 66 kW, natomiast dla FAME wartość ta maleje do 60 kW.

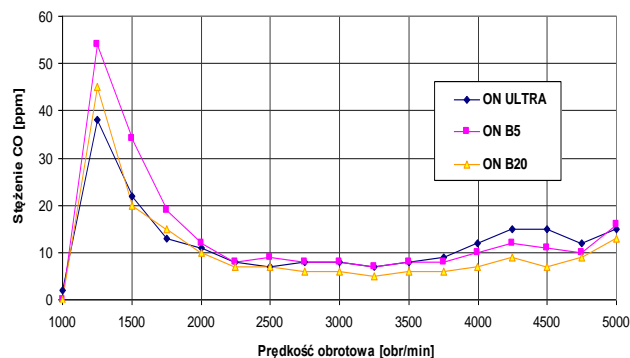


Rys. 2. Charakterystyka prędkościowa silnika zasilanego różnymi rodzajami paliwa

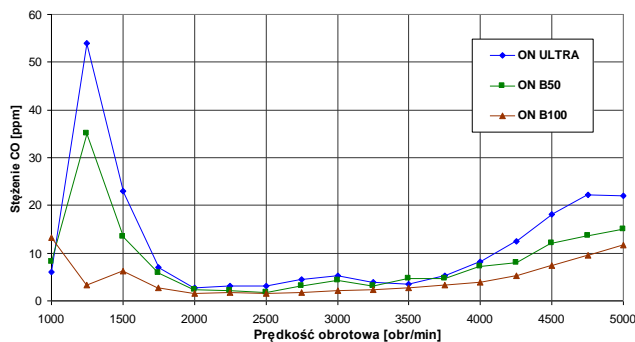
Na rys. 2 widać także wpływ zawartości FAME w paliwie na temperaturę spalin przed turbosprężarką. Im więcej estrów metylowych kwasów tłuszczowych w paliwie tym temperatura spalin jest mniejsza, co jest pozytywnym zjawiskiem w odniesieniu do turbosprężarki. Ten element silnika jest bowiem silnie obciążony cieplnie, gdyż temperatura spalin na wejściu do turbiny sięga do 750°C dla oleju napędowego, natomiast w przypadku paliwa B100 maleje do 600°C. Niższa temperatura gazów wylotowych wynika z obecności większej ilości tlenu zawartego w FAME. Taka różnica temperatur pozwalałaby na zastosowanie mniej wytrzymałego (a co za tym idzie - tańszego) materiału na łopatki turbiny, gdyby zaprojektować silnik zasilany wyłącznie paliwem B100.

Na rys. 3 i rys. 4 przedstawiono zawartości tlenku węgla CO w spalinach. W zakresie do 2000 obr/min najwyższą emisję tlenku węgla zarejestrowano dla paliwa B5, natomiast dla paliw B20 i ON poziomy te są porównywalne, różnice rzędu 10 ppm. Od 2000 obr/min różnice w emisji są pomijalnie małe. Inaczej jest podczas zasilania silnika mieszaniną B50 oraz czystym FAME. Widać tutaj wyraźną tendencję paliwa B100 do obniżania poziomu emisji CO. W zakresie 1000 obr/min ÷ 2000 obr/min różnica w stężeniu tlenku

węgla dla paliw ON oraz B100 to 50 ppm. Następnie poziomy emisji wyrównują się aż do 4000 obr/min. W zakresie 4000 obr/min ÷ 5000 obr/min silnik pracujący na paliwie ON ma wyraźnie największą emisję tlenku węgla.

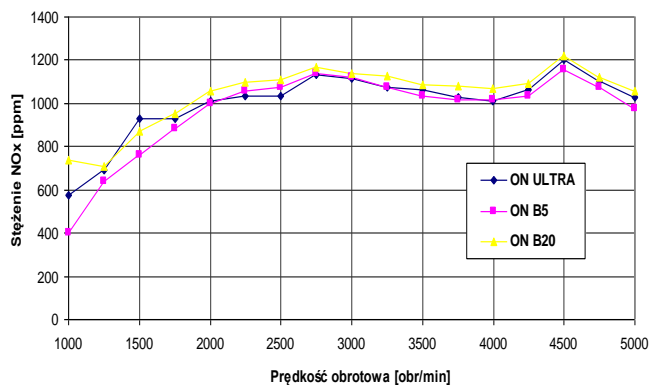


Rys. 3. Stężenie CO podczas wykonywania charakterystyki zewnętrznej silnika

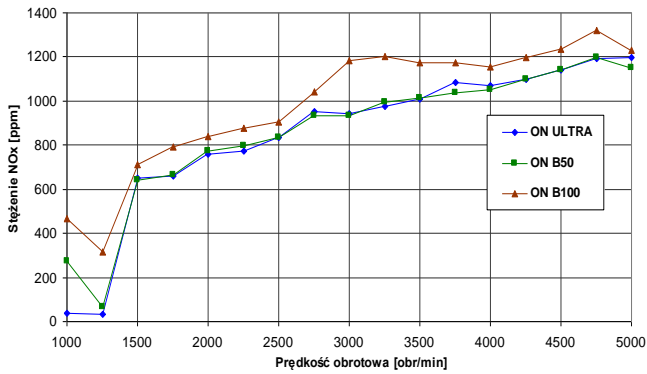


Rys. 4. Stężenie CO podczas wykonywania charakterystyki zewnętrznej silnika

Na rys. 5 i rys. 6 przedstawiono zawartości tlenków azotu NO_x w spalinach. W przypadku mieszanin B5 oraz B20 różnice w emisji tlenków azotu są niewielkie w stosunku do ON, aczkolwiek zauważalne. Widać także negatywną tendencję do zwiększania stężenia tlenków azotu w spalinach wraz ze wzrostem dodatki FAME do oleju napędowego. Na rys. 6 widać już wyraźną różnicę dla czystego FAME w stosunku do ON w emisji tlenków azotu. Różnica ta jest największa dla 3000 obr/min i wynosi 220 ppm.

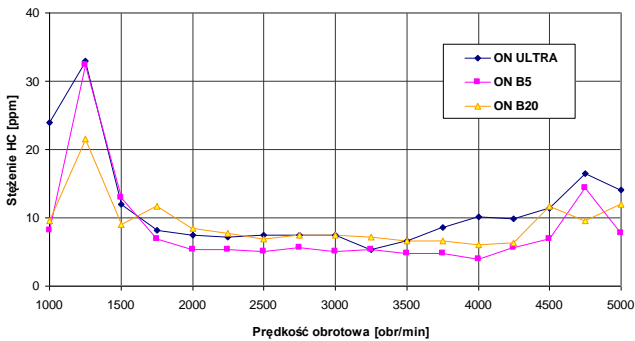


Rys. 5. Stężenie NO_x podczas wykonywania charakterystyki zewnętrznej silnika

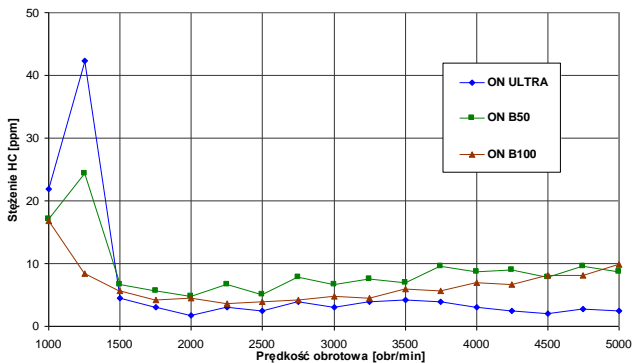


Rys. 6. Stężenie NO_x podczas wykonywania charakterystyki zewnętrznej silnika

Na rys. 7 i rys. 8 przedstawiono zawartości węglowodorów HC w spalinach. Dodatek FAME do ON pozytywnie wpływa na stężenie węglowodorów w spalinach, obniżając je. Silnik zasilany paliwem B5 oraz B20 emituje podobną ilość węglowodorów w całym zakresie prędkości obrotowej. Jedynie w zakresie małej prędkości obrotowej FAME wyraźnie wpływa na emisję węglowodorów, różnica między stężeniem dla ON wynosi 35 ppm.



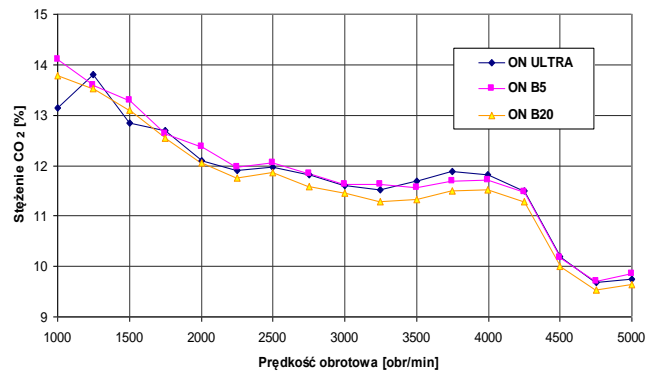
Rys. 7. Stężenie HC podczas wykonywania charakterystyki zewnętrznej silnika



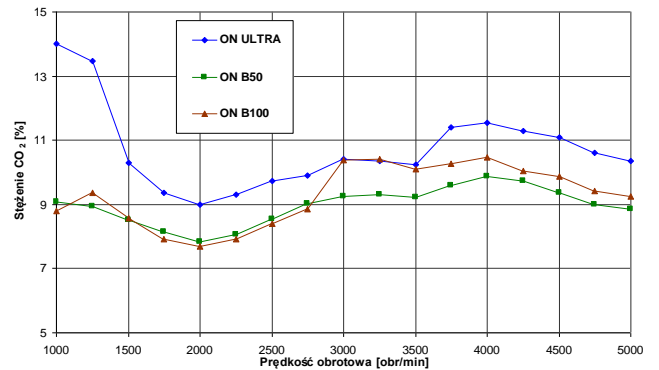
Rys. 8. Stężenie HC podczas wykonywania charakterystyki zewnętrznej silnika

Na rys. 9 i rys. 10 przedstawiono zawartości dwutlenku węgla CO₂ w spalinach. Analizując rysunki 9 i 10 można stwierdzić, że w przypadku paliw B5 i B20 wpływ FAME na stężenie dwutlenku węgla jest znikomy, a ilość emitowanego dwutlenku węgla jest podobna jak w przypadku czystego ON. Najniższa emisja dwutlenku węgla występuje dla paliwa B20, jednak różnice w emisji między ww. paliwami jest pomijalnie mała. Istotnie różnice występują natomiast w przypadku zasilania silnika paliwami B100 i B50. Stwierdzano wówczas wyraźnie zmniejszone stężenie dwutlenku węgla w spalinach w stosunku do ON, a jest to najbardziej widoczne przy

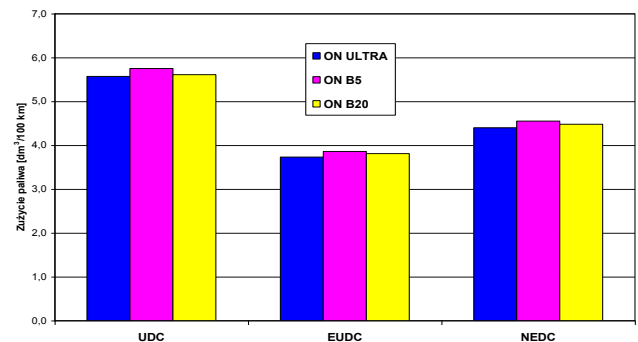
małej prędkości obrotowej. Warto jednak dodać, że 50% dodatek FAME powoduje taką samą emisję dwutlenku węgla jak paliwo B100, co może nasuwać wniosek, iż nie warto dodawać więcej estrów do ON niż 50%, gdyż nie spowoduje to większego obniżenia emisji dwutlenku węgla.



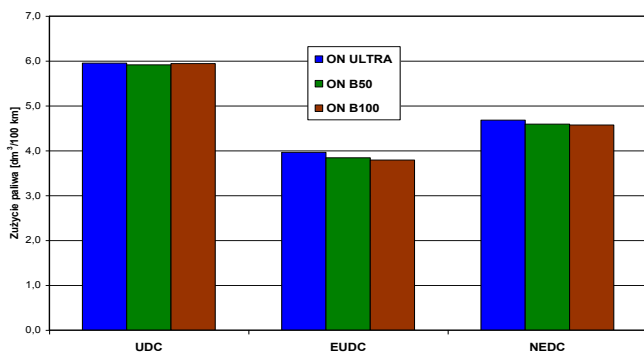
Rys. 9. Stężenie CO₂ podczas wykonywania charakterystyki zewnętrznej silnika



Rys. 10. Stężenie CO₂ podczas wykonywania charakterystyki zewnętrznej silnika



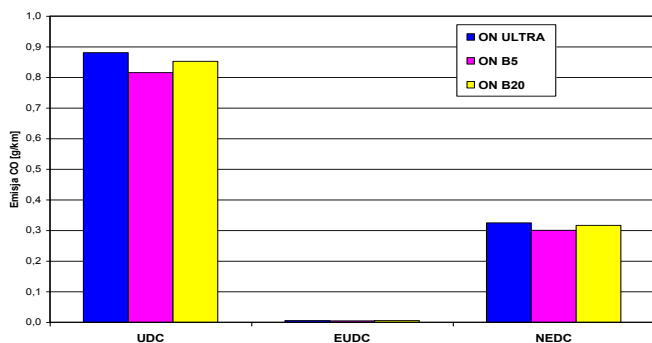
Rys. 11. Średnie zużycie paliwa w poszczególnych fazach i w całym teście NEDC dla badanego samochodu zasilanego różnymi rodzajami paliw



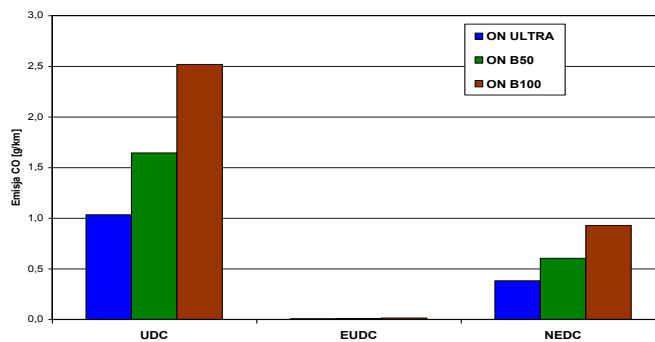
Rys. 12. Średnie zużycie paliwa w poszczególnych fazach i w całym teście NEDC dla badanego samochodu zasilanego różnymi rodzajami paliw

Na rys. 11 oraz rys. 12 przedstawiono zużycie paliwa badanego samochodu zmierzone na hamowni podwoziowej. Analiza uzyskanych wyników nie pozwala na jednoznaczne wskazanie wpływu wzrostu zawartości FAME w oleju napędowym na zużycie paliwa w przyjętym do rozważań teście jezdnym. Wzrost zawartości FAME w oleju napędowym zastosowanym do zasilania badanego samochodu, zwłaszcza paliwo B50 i B100 powoduje nieznaczny spadek zużycia paliwa w teście NEDC. Wyjaśnieniem jest gęstość estrów, która jest wyższa niż oleju napędowego, co spowodowane jest ich odmiennym składem frakcyjnym. FAME składają się z mniejszej ilości składników i mają węższy zakres temperatury ich wrzenia. Większa gęstość natomiast może częściowo niwelować wpływ mniejszej wartości opałowej, gdyż przy wtrysnięciu stałej objętości dawki, masa paliwa wtrysniętego jest większa. Warto jednak dodać, że różnice zużycia paliwa są bardzo niewielkie.

Na rys. 13 oraz rys. 14 przedstawiono emisję tlenku węgla w spalinach badanego samochodu zmierzoną na hamowni podwoziowej.



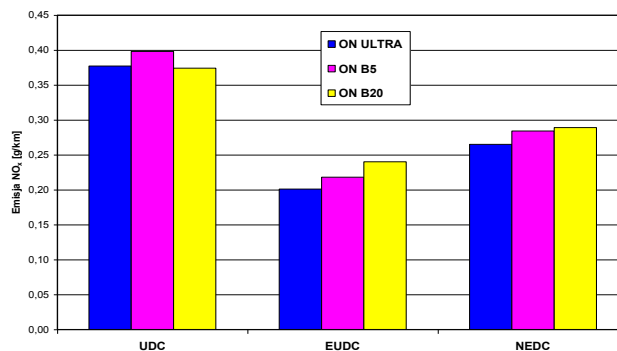
Rys. 13. Średnia emisja CO (w g/km) w poszczególnych fazach i w całym teście NEDC dla badanego samochodu zasilanego różnymi rodzajami paliw



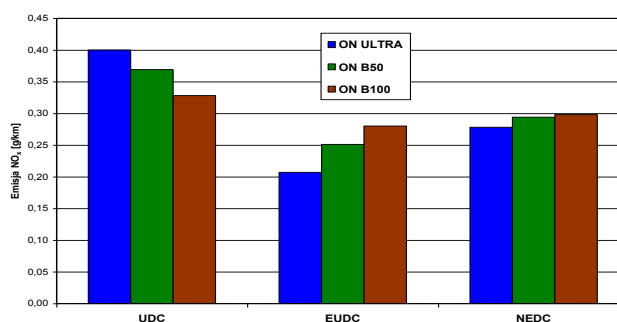
Rys. 14. Średnia emisja CO (w g/km) w poszczególnych fazach i w całym teście NEDC dla badanego samochodu zasilanego różnymi rodzajami paliw

Średnia emisja CO w części UDC dla paliw ON, B5 i B20 jest porównywalnie taka sama, natomiast w przypadku paliw o większym dodatku FAME widać już wyraźną tendencję FAME do podwyższania emisji CO - emisja tlenku węgla dla B100 jest więcej niż dwukrotnie większa niż dla ON. Podczas części EUDC zarówno dla małych, jak i dużych dodatków FAME do oleju napędowego stężenie CO w spalinach jest niemal równe 0 g/km.

Na rys. 15 oraz rys. 16 przedstawiono emisję tlenków azotu w spalinach badanego samochodu zmierzoną na hamowni podwoziowej.



Rys. 15. Średnia emisja NO_x (w g/km) w poszczególnych fazach i w całym teście NEDC dla badanego samochodu zasilanego różnymi rodzajami paliw

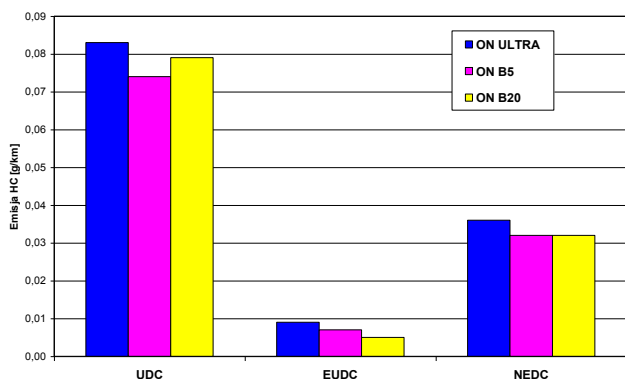


Rys. 16. Średnia emisja NO_x (w g/km) w poszczególnych fazach i w całym teście NEDC dla badanego samochodu zasilanego różnymi rodzajami paliw

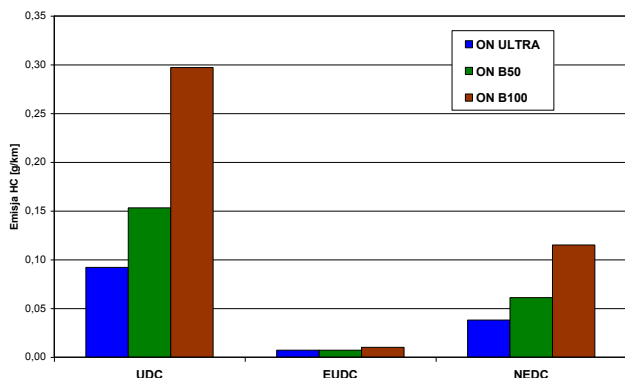
W zakresie części UDC widać, że niewielkie dodatki FAME do oleju napędowego nie wpływają znacząco na emisję NO_x w spalinach. W przypadku paliw B50 i B100 dodatek FAME obniża stężenie tlenków azotu w spalinach. Odwrotnie jest w części EUDC, tutaj najmniejszą ilość NO_x zarejestrowano dla ON, a stężenie tlenków

azotu rośnie wraz z udziałem FAME w paliwie. Takie same relacje między emisjami występują dla całego testu NEDC.

Na rys. 17 oraz rys. 18 przedstawiono emisję węglowodorów w spalinach badanego samochodu zmierzoną na hamowni podwoziowej.



Rys. 17. Średnia emisja HC (w g/km) w poszczególnych fazach i w całym teście NEDC dla badanego samochodu zasilanego różnymi rodzajami paliw

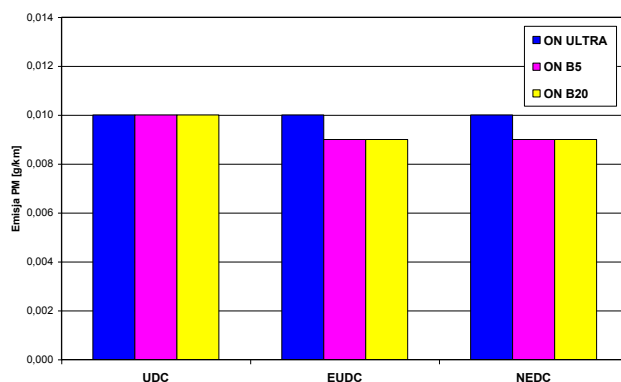


Rys. 18. Średnia emisja HC (w g/km) w poszczególnych fazach i w całym teście NEDC dla badanego samochodu zasilanego różnymi rodzajami paliw

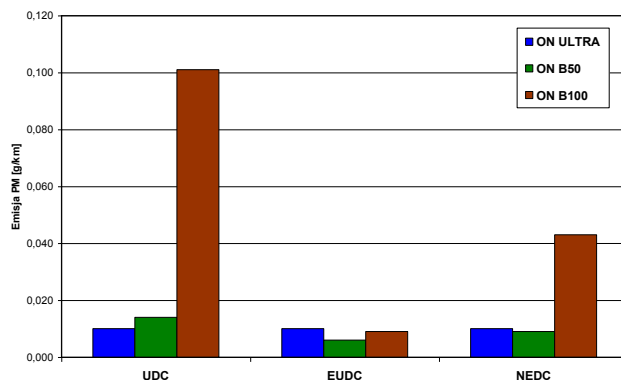
Ilość niespalonych węglowodorów w spalinach nie różni się znacząco w zależności od użytych paliw ON, B5 lub B20. W każdym przypadku poziom emisji waha się na poziomie ok. 0,06÷0,07 g/km w części miejskiej i niemal zerowej w części pozamiejskiej przyjętego cyklu jezdowego.

Inaczej jest, gdy do oleju napędowego dodany jest większy dodatek FAME – paliwo B50 oraz paliwo B100. Tutaj widać wyraźnie, że stężenie HC wyraźnie wzrasta wraz ze wzrostem udziału FAME w paliwie. W części UDC emisja węglowodorów dla B100 jest niemal trzykrotnie większa niż dla czystego ON, natomiast w części EUDC poziomy emisji są porównywalne.

Na rys. 19 oraz rys. 20 przedstawiono emisję cząstek stałych w spalinach badanego samochodu zmierzoną na hamowni podwoziowej.



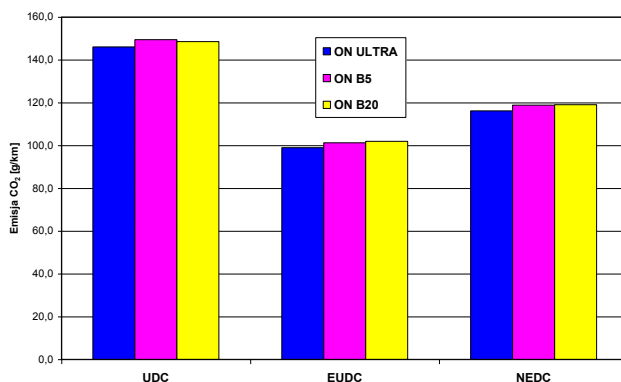
Rys. 19. Średnia emisja PM (w g/km) w poszczególnych fazach i w całym teście NEDC dla badanego samochodu zasilanego różnymi rodzajami paliw



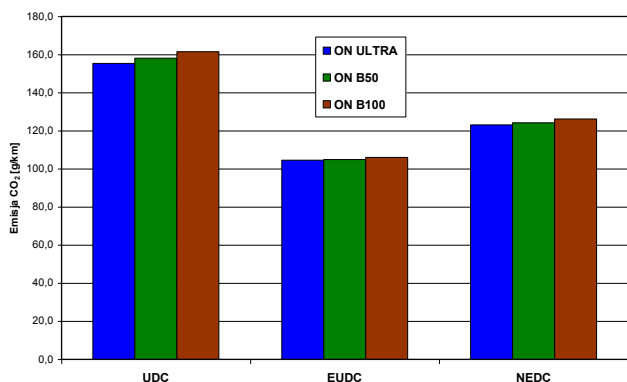
Rys. 20. Średnia emisja PM (w g/km) w poszczególnych fazach i w całym teście NEDC dla badanego samochodu zasilanego różnymi rodzajami paliw

Na rys. 19 widać, że dodatek FAME w małych ilościach nie zmienia poziomu emisji cząstek stałych podczas części miejskiej, natomiast w części pozamiejskiej różnice w poziomie są niewielkie, zaobserwowano nieznaczny spadek emisji. Natomiast w przypadku paliwa B100 (rys. 20) zaobserwowano drastyczny, dziesięciokrotny wzrost emisji PM w spalinach w stosunku do ON podczas części UDC testu jezdowego. Natomiast w części pozamiejskiej nie zaobserwowano istotnych zmian w poziomie emisji PM.

Na rys. 21 oraz rys. 22 przedstawiono emisję dwutlenku węgla w spalinach badanego samochodu zmierzoną na hamowni podwoziowej.



Rys. 21. Średnia emisja CO₂ (w g/km) w poszczególnych fazach i w całym teście NEDC dla badanego samochodu zasilanego różnymi rodzajami paliw



Rys. 22. Średnia emisja CO₂ (w g/km) w poszczególnych fazach i w całym teście NEDC dla badanego samochodu zasilanego różnymi rodzajami paliw

Analizując rys. 21 i rys. 22 można stwierdzić, że zarówno małe (5% i 20% zawartości), jak i większe (50% i 100% zawartości) dodatki FAME nie wpływają na emisję CO₂ w spalinach w istotny sposób, co pozostaje w korelacji z wynikami przedstawionymi na rys. 11 i rys. 12 oraz komentarzem do tych rysunków.

PODSUMOWANIE

Dodawanie estrów metylowych kwasów tłuszczowych FAME do oleju napędowego w małych ilościach nie zmienia znacząco parametrów silnika ZS. Natomiast tzw. biodiesel, czyli mieszaniny z dużą zawartością FAME istotnie pogarszają większość parametrów użytkowych silnika.

Dodawanie estrów metylowych kwasów tłuszczowych FAME do oleju napędowego w małych ilościach i zastosowanie takiego paliwa do silnika ZS, nie zmienia znacząco emisji składników spalin napędzanego tym silnikiem samochodu osobowego. Natomiast tzw. biodiesel, czyli mieszaniny ON z dużą zawartością FAME (50% i 100 % zawartości) istotnie pogarszają większość parametrów użytkowych silnika, a równocześnie istotnie wpływają na wzrost emisji składników spalin. W aspekcie analizy literatury i przeprowadzonych badań trudno jednoznacznie wskazać korzyści z takiego postępowania na tym etapie dostępności oleju napędowego użytkowanego z przerobu ropy naftowej.

Średnie zużycie paliwa podczas testu NEDC jest porównywalne dla wszystkich rodzajów paliw.

Średnia emisja CO, NO_x, HC, PM a także CO₂ jest podobna dla paliw ON oraz B5 i B20.

BIBLIOGRAFIA

1. Dernote J., Hespel C., Foucher F., Houillé S., Mounad-Rousselle C. *Influence of physical fuel properties on the injection rate in a Diesel injector*, Fuel 96 (2012), 153-160.

2. Galle J.; Verhelst S.; Sierens R.; Goyos L.; Castaneda R.; Verhaege M.; Vervaeke L.; Bastiaen M., *Failure of fuel injectors in a medium speed diesel engine operating on bio-oil*, Biomass and Bioenergy, 2012, Vol. 40, 27-35.
3. Knefel T., *Technical assessment of common rail injectors on the ground of overflow bench tests*, Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability, Vol. 14, No. 1, 2012, 43-53.
4. Konieczny Ł., Adamczyk B., Adamczyk G., *Diagnostyka i regeneracja wtryskiwaczy CR*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Transport z. 86, Nr kol. 1926, 2015, 65-73.
5. Osipowicz T., Abramek K. *Katalityczna obróbka paliwa we wtryskiwaczach silnika o zapłonie samoczynnym*, Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability, Vol. 16, No. 1, 2014, 22-28.
6. Stobnicki B., *Badawcza analiza wtrysku paliwa w aspekcie właściwości ekologicznych silnika o zapłonie samoczynnym*, Politechnika Poznańska, Poznań, 2013.
7. Stoeck T., Osipowicz T., Abramek K. *Metodyka naprawy wtryskiwaczy elektromagnetycznych układów zasilania Common Rail Denso*, Eksploatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability, Vol. 16, No. 2, 2014, 270-275.

Operational aspects of fuel supply CI engine diesel oil with FAME

For several years, research is underway to fuels derived from natural sources, which can partially or completely replace the fuel from crude oil. Such fuels are called non-conventional, alternative or substitute. As a substitute fuels commonly used in CI engines can provide liquid fuels of vegetable origin or another, and gaseous fuels. In the past decade, used vegetable oil methyl esters (FAME), Poland - rapeseed oil esters. Currently, notes the trend of so-called withdrawal biodiesel, including the opinion of the speaker because of the negative effect of that not only the fuel injection equipment, as well as CI engine performance. This paper presents the results of the influence the content of FAME (vegetable oil methyl esters) in diesel oil for power, torque, and the content of harmful substances in exhaust gases CI engine. These results were related to the obtained with the engine running only on pure diesel oil. The results were obtained on test bed for engine and for car.

Autorzy:

dr inż. **Andrzej Suchecki** – Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. w Bielsku-Białej

dr hab. inż. **Jacek Nowakowski**, prof. ATH – Wydział Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej