

Article citation info:

Lotko W, Hernik A, Stobiecki J, Kosmanis T, Gorska M. Smoke emission of AD3.152 engine fuelled with rapeseed oil/diethyl ether blends. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2018; 80(2): 65-76. <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL80.ART5>

Zadymienie spalin silnika AD3.152 zasilanego mieszaninami oleju rzepakowego i eteru dietylowego

**WINCENTY LOTKO¹, ARKADIUSZ HERNIK², JERZY STOBIECKI³,
THEODOROS KOSMANIS⁴, MILENA GÓRSKA⁵**

Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom,
Alexander Technological Educational Institute of Thessaloniki

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań zadymienia spalin silnika o zapłonie samoczynnym AD3.152 zasilanego olejem rzepakowym (OR) oraz jego mieszaninami z eterem dietylowym (DEE). Wszystkie niezbędne badania wykonano w warunkach ustalonych dla wybranych prędkości obrotowych wału korbowego tj. 1000, 1500 i 2000 obr/min oraz obciążeń 40, 80 i 120 Nm. Uzyskane wyniki potwierdzają, że dodatek eteru dietylowego w objętości 40% do oleju rzepakowego zmniejsza zadymienie spalin nawet o ok. 50% w stosunku do silnika zasilanego olejem rzepakowym.

¹ Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom, Faculty of Mechanical Engineering, ul. Jacka Malczewskiego 29, 26-600 Radom, Poland; e-mail: lotko@uthrad.

² Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom, Faculty of Mechanical Engineering, ul. Jacka Malczewskiego 29, 26-600 Radom, Poland.

³ Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom, Faculty of Mechanical Engineering, ul. Jacka Malczewskiego 29, 26-600 Radom, Poland.

⁴ Department of Automotive Engineering, , Alexander Technological Educational Institute of Thessaloniki, Sindos 574 00, Greece.

⁵ Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom, Faculty of Materials Science, Technology and Design, ul. Jacka Malczewskiego 29, 26-600 Radom, Poland.

Wstęp

Analizując współczesne trendy rozwoju napędu pojazdów, zauważyć można wyraźnie zaakcentowany aspekt ekologiczności pojazdów. Powszechnie stosowane są silniki spalinowe, zasilane produktami rafinacji ropy naftowej, a więc paliwem pochodzącym ze źródeł nieodnawialnych. Dążeniem producentów pojazdów jest sprostanie coraz ostrzejszym normom emisji limitowanych składników spalin, norm emisji hałasu, zadymienia spalin itp. Wszelkie zabiegi i starania mają na celu złagodzenie lub wyeliminowanie negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne konwencjonalnych silników spalinowych.

Prace konstrukcyjne i badawcze dużych koncernów, ale i samodzielnych jednostek badawczych, skupiają się na dwóch obszarach działalności związanej z opracowaniem napędu pojazdów będącego odpowiedzią na oczekiwania współczesnego rynku motoryzacyjnego. Pierwszym jest opracowanie alternatywnego napędu pojazdu, nie poprzez modyfikację silnika spalinowego, lecz poprzez zaadaptowanie technologii odmiennej od napędu konwencjonalnego. Przykładami takich rozwiązań są: pojazdy elektryczne wykorzystujące zasilanie baterią akumulatorów, możliwość szybkiego ładowania akumulatorów nawet bezprzewodowo, bezprzewodowa „sieć trakcyjna”, rekuperacja energii ruchu z wykorzystaniem superkondensatorów, ogniwa fotowoltaiczne itp. Drugim sposobem na sprostanie coraz surowszym wymogom jest adaptacja układu zasilania silnika konwencjonalnego tak, by można było zasilić go paliwami o mniejszej toksyczności. W tym zakresie do dobrze rozpoznanych i rozwijanych rozwiązań należy zaliczyć zastosowanie gazu pochodzącego z rafinacji ropy naftowej, gazu ziemny w różnej postaci, paliw pochodzenia roślinnego i ich estrów oraz alkoholi i eterów.

1. Analiza literaturowa

Zasilanie silników paliwami pochodzenia roślinnego nie jest nowym pomysłem, ponieważ już w ostatniej dekadzie XIX wieku Rudolf Diesel przy opracowywaniu swojego silnika o zapłonie samoczynnym, przystosował go do zasilania olejem pochodzenia mineralnego, jak i olejem z orzechów arachidowych. Przez dziesięciolecia paliwa pochodzenia roślinnego były niedoceniane. Wyjątek stanowią krótkie okresy podczas II Wojny Światowej, kiedy to niedobory paliwa zmuszały do jego pozyskiwania z innych źródeł.

Dobre opanowanie technologii wydobycia, przetwórstwa i dystrybucji paliw pochodzenia kopalnianego powodowało, że paliwa alternatywne nie były postrzegane jako atrakcyjne, tym bardziej że były wówczas droższe i miały gorsze właściwości. Sytuacja zmieniła się w latach siedemdziesiątych XX wieku pod wpływem panującego na świecie kryzysu naftowego, który dotknął kraje wysoko uprzemysłowione i wiele dziedzin gospodarki światowej.

Kolejny kryzys paliwowy to lata 1979-1982. Był on spowodowany niewydolnością światowego systemu walutowego oraz recesją gospodarczą i inflacją. Oba wydarzenia spowodowały, że zaczęto poszukiwać nowych złóż ropy naftowej, jak również powrócono do koncepcji opracowania paliw stanowiących alternatywę dla paliw konwencjonalnych. Ostatni znaczący spadek cen ropy odnotowano po I wojnie w Zatoce Perskiej. Jednak od tamtej pory ceny ropy charakteryzują się znaczną zmiennością.

Prace nad zastosowaniem oleju roślinnego do zasilania silników o zapłonie samoczynnym, w zależności od regionu geograficznego, skupiały się m.in. na badaniu oleju sojowego, słonecznikowego, rzepakowego, lnianego, kukurydzianego, palmowego, arachidowego, bawełnianego, sezamowego i kokosowego. Z natury chemicznej oleje roślinne są estrami gliceryny i kwasów tłuszczowych, zawierających w cząsteczce od 14 do 22 atomów węgla. Obecność grupy estrowej wolnych kwasów tłuszczowych powoduje, że oleje roślinne są podatne na hydrolizę i estryfikację. Obecność w cząsteczkach olejów roślinnych licznych wiązań nienasyconych sprzyja ich utlenianiu i polimeryzacji.

Ze względu na koszt, do wytwarzania estrów powszechnie używa się alkoholu metylowego, rzadziej alkoholu etylowego. W Polsce i w Europie do produkcji estrów stosuje się z reguły olej rzepakowy i alkohol metylowy. Estry metylowe wyższych kwasów tłuszczowych określa się akronimem FAME (Fatty Acid Methyl Esters), a estry etylowe FAEE (Fatty Acid Ethyl Esters). Estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego oznacza się symbolem RME (Rape-seed Oil Methyl Ester – w Polsce często EMKOR). Obecnie w Polsce paliwa typu FAME, zgodnie z normą PN-EN 590, mogą stanowić dodatek do 7% paliwa dystrybuowanego jako olej napędowy.

W celu polepszenia procesu spalania oleju rzepakowego, podejmowano próby mieszania go z wodą lub alkoholem [1]. Woda paruje gwałtownie (wybuchowo) w gorącej komorze spalania i poprawia proces rozpylania OR. W rezultacie zmniejsza się zadymienie spalin i zawartość tlenków azotu w spalinach. Natomiast dodatek alkoholu do OR prowadzi do zwiększenia okresu opóźnienia samozapłonu i sprzyja większej skłonności paliwa do twardego spalania. Zauważono, że dodatek alkoholu etylowego do OR zmniejsza ilość osadów w komorze spalania w stosunku do zasilania silnika samym OR. Podejmowane były próby zastosowania do zasilania silników ZS mieszaniny ON, RME i odwodnionego alkoholu etylowego, nazwanego Bioxdiesel. Zaletą takiej mieszaniny jest polepszenie jej parametrów niskotemperaturowych przy zachowaniu bardzo dobrych właściwości smarowościowych. Uzyskano mniejszą toksyczność spalin, ale taka mieszanina ma mniejszą wartość opałową niż ON. Powoduje to pogorszenie osiągnięć silnika (przy takiej samej wartości dawki paliwa jak ON) lub wzrost zużycia paliwa przy zwiększeniu dawki.

Paliwa będące produktami rafinacji ropy naftowej prawdopodobnie jeszcze przez długi czas będą stanowiły podstawowe źródło zasilania silników spalinowych. Wprowadzenie dodatków tlenowych do paliw mineralnych może mieć korzystny wpływ na realizację procesów roboczych silnika oraz sprzyjać ochronie środowiska naturalnego przed produktami procesu spalania. Szczególnie obiecujące wydają się być dodatki w postaci pochodnych etanolu i niektórych eterów.

Zarówno etery, jak i pochodne etanolu, są pozbawione cech higroskopijności, dzięki czemu możliwe jest ich mieszanie z olejem napędowym. Uzyskane w taki sposób mieszaniny są jednorodne, stabilne w szerokim zakresie zmian temperatury i nie chłoną wilgoci z otoczenia. Głównymi zaletami eteru dietylowego jest jego wysoka liczba cetanowa oraz dobra mieszalność zarówno z olejem napędowym jak i etanolem. Do głównych wad należy zaliczyć niską temperaturę zapłonu eteru dietylowego (ok. -40°C), co sprawia że substancja wymaga szczególnych środków ostrożności podczas transportu i tankowania.

Sidibe i in. [9] w swojej pracy z 2010 roku wykazali, że istnieje wiele opracowań dotyczących zastosowania olejów roślinnych do zasilania silników o zapłonie samoczynnym. Dotychczasowe opracowania wykazały przydatność olejów pochodzenia roślinnego (SVO-Straight Vegetable Oil), produkowanych lokalnie, postrzeganych jako proste i tanie w produkcji oraz nie szkodzących środowisku naturalnemu. Zwrócono także uwagę na odmienne właściwości fizykochemiczne olejów roślinnych w odniesieniu do oleju napędowego, mogących powodować pewne problemy techniczne w perspektywie dłuższego użytkowania tak zasilanych silników. W bibliografii istnieje spór między autorami dotyczący możliwych konsekwencji stosowania paliw pochodzenia roślinnego. Dotychczasowe badania wskazują na zmniejszenie żywotności silników wskutek odkładania się nagaru węglowego w komorze spalania i przedostawania się go do układu smarowania. Zwrócono również uwagę na znaczną lepkość olejów roślinnych, ich podatność do utleniania i wyższą temperaturą krzepnięcia. Próbowano przeciwdziałać temu zjawisku np. poprzez ogrzewanie oleju roślinnego przed jego wtrysnięciem do komory spalania, jednak okazało się to nieefektywne.

G. Labeckas i S. Slavinskas [11] przeprowadzili badania porównawcze na silniku o zapłonie samoczynnym z bezpośrednim wtryskiem paliwa zasilanym olejem napędowym, oraz olejem rzepakowym (OR) tłoczonym na zimno. Przedmiotem badań był wpływ zasilania OR na sprawność silnika oraz wytwarzanie osadów węglowych na wtryskiwaczach w nieustalonych stanach pracy silnika. Badanie wykazało że standardowy silnik o zapłonie samoczynnym zasilany OR zużywa około 12% więcej paliwa przy pełnym obciążeniu, co związane jest z niższą wartością opałową OR, ale zadymienie spalin jest aż o 35% mniejsze. Doposażenie układu zasilania w system podgrzewania paliwa do temperatury 60°C powoduje obniżenie lepkości OR, mniejsze opory przepływu przez wtryskiwacze i filtry, a w konsekwencji możliwość uzyskania zużycia paliwa większego o 7,5% w odniesieniu do zasilania ON. Dalsze podgrzewanie do temperatury 90°C nie przynosiło już wymiernych efektów, a nawet prowadzi do zwiększenia zadymienia spalin. Również i tym razem stwierdzono problem z odkładaniem się nagaru węglowego we wtryskiwaczach zasilanych OR, zapiekaniem pierścieni tłokowych oraz zalecono dwa razy częstsze ich inspekcje. Wykorzystując zmodyfikowany silnik w którym część wtryskiwaczy zasilana była czystym OR, a pozostałe standardowo ON wykazano, że przyczyną szybkiego powstawania nagaru węglowego jest prawdopodobnie nierównomierny rozkład kropli rozpylonego paliwa, powolne odparowanie i mniejsza skłonność do samozapłonu, co w konsekwencji prowadzi do niepełnego spalania paliwa. Z powodu gorszego rozpylania czystego OR może też występować niestabilna praca silnika w zakresie niskich i średnich obciążeń.

Ważnym aspektem jest również zwiększona aktywność korozyjna i degradacja gumowych uszczelnień. Niezbędne są długookresowe badania na hamowni silnikowej, w celu ustalenia zakresu niezbędnych modyfikacji układu zasilania.

Drown i in. [12] skupili się w swoich badaniach na problemie smarności stosowania estrów etylowych i metylowych różnych olejów roślinnych, stosując metodę HFRR. W swoim opracowaniu podkreślili, że estry etylowe wyraźnie poprawiają smarność, w porównaniu do estrów metylowych. Ponadto nie stwierdzono wyraźnej korelacji pomiędzy poprawą smarności a profilem kwasu tłuszczowego estru.

Nazal i in. [13] przedstawili kompleksowe badania dotyczące zasadności stosowania dodatku biodiesla do oleju napędowego. Badaniom poddano mieszaniny zawierające 5, 8 i 11% biodiesla testowanego na badawczym silniku jednocylinrowym. Wykazano, że czyste oleje roślinne mogą stanowić alternatywne paliwo zasilające silnik o ZS o standardowym układzie zasilania, ale tylko w krótkim okresie eksploatacji. W długotrwałym użytkowaniu silników o ZS zasilanych mieszaniną oleju napędowego i olejów roślinnych wyznaczono wyraźną granicę 20% objętościowej zawartości oleju roślinnego w mieszaninie, powyżej której prawie zawsze występowały poważne problemy z silnikiem

Wang i in. [14] zastosowali do zasilania silnika mieszaniny oleju roślinnego z olejem napędowym w proporcjach 25, 50, 75 i 100%. Eksperyment przeprowadzono na silniku pracującym pod stałym obciążeniem i przy prędkości obrotowej 1500obr/min. Wyniki badania odniesiono do wartości uzyskanych przy zasilaniu silnika olejem napędowym. Potwierdzono, że moc i zużycie paliwa były porównywalne z wartościami uzyskiwanymi dla zasilania ON, natomiast bardzo obiecująco wyglądają wyniki emisji spalin tj. stwierdzono wyraźnie mniejszą emisję tlenków azotu.

W 1997 roku Bailey i in. [2] stwierdzili, że „produkcja i wykorzystywanie paliw odnawialnych w transporcie jest jednym ze sposobów na zrównoważoną przyszłość energetyczną dla Stanów Zjednoczonych, a także dla reszty świata. Paliwa odnawialne mogą również znacznie zmniejszyć wkład w globalną zmianę klimatu”. Autorzy prognozują wykorzystanie etanolu jako paliwa alternatywnego do zasilania pojazdów z silnikiem o zapłonie iskrowym. Proponują jednocześnie rozważenie możliwości zasilania silników o zapłonie samoczynnym eterem dietylowym (DEE), pozyskanym w procesie dehydratacji etanolu. Charakteryzują ponadto DEE jako dobrze znany środek wspomagający rozruch zimnego silnika. Autorzy zwracają uwagę na fakt, że wciąż niewiele wiadomo o możliwości wykorzystania DEE do zasilania silnika, czy to bezpośrednio w formie czystej, czy też jako składnik mieszaniny, w przeciwieństwie do eteru dimetylowego (DME), który został przebadany w znacznie szerszym zakresie i znalazł zastosowanie jako paliwo alternatywne charakteryzujące się niską emisyjnością. W publikacji przeanalizowano zasadność i ekonomiczność użycia DEE z etanolu pozyskanego z biomasy. Warto odnotowania są próby wykorzystania DEE już w latach II Wojny Światowej, kiedy podczas niedoboru paliwa lotniczego, stosowano etanol wzbogacony DEE jako paliwo silnikowe. Zauważono że tworząc mieszaninę zawierającą do 20% DEE, można w prosty sposób wpłynąć na polepszenie właściwości etanolu, zwłaszcza ograniczyć trudności z uruchomieniem silnika.

W 2009 r. Purushothaman i Nagarajan [8] przeprowadzili szereg badań porównawczych silników zasilanych mieszaniną oleju pomarańczowego i biodiesla oraz mieszaniną oleju pomarańczowego z eterem dietylowym, pod kątem emisji tlenków węgla (CO), węglowodorów (HC), tlenków azotu (NOx) i zadymienia spalin. Badania wykonano na silnikach o zapłonie iskrowym zasilanych mieszaninami oleju i benzyny, oraz silniku o zapłonie samoczynnym zasilanym dwupaliwowo. DEE podawano do kolektora ssącego, ponieważ jego duża lotność sprzyjała szybkiemu odparowaniu i wytworzeniu mieszaniny z zasysanym powietrzem. Dodatek DEE sprawił, że możliwe było zasilanie silnika olejem pomarańczowym, który w czystej postaci miał zbyt dużą lepkość, niską liczbę cetanową i dużą zwłokę samozapłonu. Dodanie DEE pozwoliło spalić olej całkowicie, jednocześnie obniżając temperaturę spalin, co wpływa

korzystnie na obniżenie emisji NO_x, natomiast zwiększa emisję CO i HC, co można tłumaczyć większą szybkością propagacji płomienia podczas spalania takiej mieszaniny.

Zhang i in. [5] w 2011 roku podjęli się badań na współczesnym silniku o zapłonie samoczynnym, z układem zasilania typu common rail i turbodoładowaniem. Silnik badawczy zasilany był dwoma rodzajami paliwa typu biodiesel i mieszaniną biodiesla z DEE. Porównania dokonywano w ustalonych warunkach pracy silnika z prędkością obrotową wału korbowego 1600 i 2600 obr/mim i przy trzech obciążeniach: 25, 50 i 75% mocy maksymalnej. Badania wykazały, że dodanie DEE wpływa korzystnie na proces spalania olejów pochodzenia roślinnego. Przy porównywalnej sprawności i zużyciu paliwa możliwa była redukcja emisji NO_x dla każdej konfiguracji obciążenia i prędkości obrotowej wału korbowego. Również i w tym przypadku zwrócono uwagę na fakt, że DEE zwiększa liczbę cetanową mieszaniny, a poprzez obniżenie temperatury procesu spalania zmniejsza również emisję NO_x. Korzystne wyniki przynosi też zwiększenie udziału dodatku DEE przy większych obciążeniach silnika. Zarówno biodiesel jak i DEE zawierają znacznie więcej tlenu i mniej siarki niż olej napędowy, co ma przełożenie na niską emisję szkodliwych produktów ubocznych procesu spalania.

Górski i Przedlacki [4] w 2014 roku dokonali oceny wpływu dodatku DEE na wybrane właściwości fizykochemiczne oleju napędowego i opóźnienie samozapłonu. Określono wpływ DEE na zmianę wartości opałowej, lepkości kinematycznej, gęstości, smarności, temperatury blokady zimnego filtra, liczby cetanowej, a także mieszalności z olejem napędowym. Dodatkowo wykonano badania na dwóch silnikach o zapłonie samoczynnym, zasilanych mieszaninami o zawartości 5,10,15 i 20% DEE. Nie stwierdzono problemów ze stabilnością testowanych mieszanin w szerokim zakresie temperatury tj. od -20°C do +10°C. Badanie silnika AD3.152 przeprowadzono przy prędkościach obrotowych wału korbowego wynoszących: 1000, 1400, 1800 obr/min i dwóch stanach obciążenia tj. 80 i 120 Nm. Stwierdzono, że dodanie 5% DEE do oleju napędowego powoduje zmniejszenie lepkości mieszaniny aż o 26%. Mieszanina zawierająca powyżej 20% DEE powodowała utrudniony rozruch silnika, zauważalny spadek mocy, a w wyniku znacznego rozrzedzenia pojawiały się przecieki w instalacji paliwowej.

Jednym z ostatnich opracowań traktujących o wykorzystaniu DEE, jest opublikowany w 2015 roku artykuł zespołu badawczego Inteman i in. [15]. W badaniach wykorzystano próbki paliwa, stanowiące mieszaninę odpowiednio 80% oleju napędowego, 15% oleju palmowego i 5% DEE, oraz 80% ON, 10% oleju palmowego i 10% DEE, badane pod kątem emisji zanieczyszczeń i charakterystyki spalania. Autorzy zgadzają się co do zasadności stosowania DEE jako komponentu tlenowego poprawiającego charakterystykę spalania olejów roślinnych i polepszających wymienione wcześniej właściwości fizykochemiczne.

2. Metody i materiały badawcze

W niniejszych badaniach wykorzystano olej rzepakowy oraz jego mieszaniny z eterem dietylowym w objętości 10, 20, 30 i 40 %. Wybrane właściwości fizykochemiczne badanych paliw przedstawiono w Tab. 1.

Tab. 1. Właściwości fizykochemiczne badanych paliw

Parametr	Rodzaj badanego paliwa				
	OR	DEE10	DEE20	DEE30	DEE40
Lepkość kinematyczna, [mm ² /s]	34	17	10	6	3
Gęstość, [g/cm ³]	0,92	0,90	0,88	0,87	0,85
Napięcie powierzchniowe, [mN/m]	46	41	37	31	27
Temperatura zapłonu, [°C]	-	20	-2	-12	-21
Wartość opałowa, [MJ/kg]	37	36	36	36	36
Zawartość DEE w OR, [%, v/v]	-	10	20	30	40

Eter dietylowy (DEE) jest organicznym związkem chemicznym z grupy eterów. Zbudowany jest z dwóch grup etylowych przyłączonych do atomu tlenu. Stanowi pochodną alkoholi lub fenoli. Jest skrajnie łatwopalną cieczą o temperaturze zapłonu -45°C i temperaturze samozapłonu 180°C. Otrzymywany jest w procesie dehydratacji alkoholu etylowego. Podstawową zaletą eteru dietylowego jako dodatku do paliwa jest jego wysoka liczba cetanowa, dobra mieszalność z olejem napędowym, etanolem i olejami roślinnymi oraz stabilność takiej mieszaniny.

Olej rzepakowy charakteryzuje się wyższą lepkością w stosunku do oleju napędowego. Zazwyczaj ma to negatywny wpływ na jakość rozpylenia paliwa, a w konsekwencji na pogorszenie jakości procesu spalania. Jednak dodatek DEE do OR znacząco obniża lepkość mieszaniny. W związku z tym można oczekiwać, że dodatek DEE do OR przyczyni się do obniżenia zadymienia spalin. Również niższe napięcie powierzchniowe i gęstość OR z dodatkiem DEE powinno poprawić jakość procesu wtrysku i jednocześnie poprawić proces spalania paliwa.

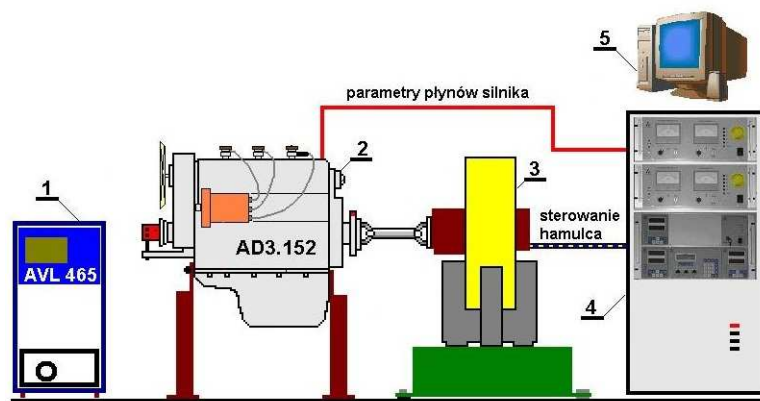
W badaniach wykorzystano silnik AD3.152 wyposażony w konwencjonalny system wtryskowy paliwa tj. pompę rzędową typu DPA oraz wielootworowe wtryskiwacze paliwa. Wybrane dane techniczne badanego silnika przedstawiono w Tab. 2.

Tab 2. Wybrane dane techniczne silnika AD3.152

Parameter	Wartość
Liczba cylindrów i ich układ	3, układ liniowy
Pojemność silnika	2502 cm ³
Stopień sprężania	16.5
Maksymalna moc	34.6 kW przy 2150 obr/min
Maksymalny moment obrotowy	145 Nm przy 1200 obr/min
Prędkość biegu jałowego	750 obr
Rodzaj system wtryskowego	Lucas - CAV typ DPA
Wyprzedzenie wtrysku	17 °OWK przed GMP (na biegu jałowym)
Ciśnienie otwarcia wtryskiwacza	17.5 MPa
Rodzaj wtryskiwacza	wielotworkowy (WZM Warszawa)

Pomiary zadymienia spalin silnika AD3.152 zasilanego testowanymi paliwami wykonano na stanowisku badawczym, którego schemat pokazano na rysunku 1. Badany silnik (2) był podłączony do hamulca elektrowirowego (3). Parametry pracy silnika kontrolowano przy pomocy szafy sterowniczej (4) i stacji roboczej PC (5). Pomiary zadymienia spalin wykonano

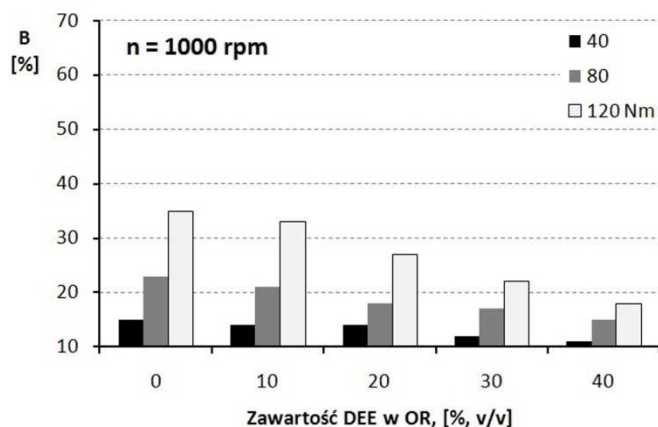
przy pomocy analizatora AVL465 (1). Testy wykonano dla prędkości obrotowych wału korbowego 1000, 1500 i 2000 oraz obciążeń 40, 80 i 120 Nm.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego: 1 – analizator spalin AVL465, 2 – silnik AD3.152, 3 – hamulec silnikowy, 4 – szafa kontrolna, 5 – stacja robocza PC

3. Wyniki badań

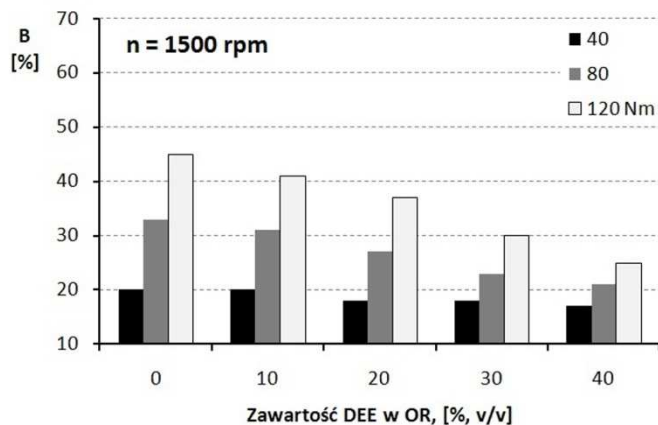
Na rysunku 2 przedstawiono jak zmienia się zadymienie spalin silnika AD3.152 pracującego z prędkością $n = 1000$ obr/min i zasilanego olejem rzepakowym oraz jego mieszaninami z DEE.



Rys. 2. Wpływ zawartości DEE w OR na zadymienie spalin silnika AD3.152 pracującego przy prędkości obrotowej $n = 1000$ obr/min

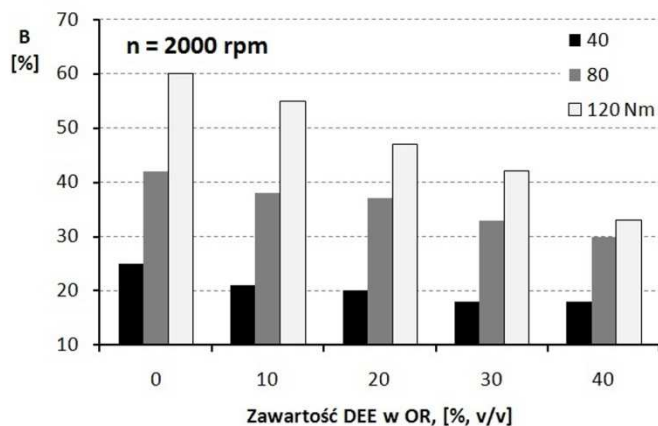
Z oceny rysunku 2 można stwierdzić, że dodatek DEE powoduje wyraźne obniżenie zadymienia spalin silnika AD3.152. Największe zadymienie uzyskano dla silnika pracującego z największym obciążeniem, co wynika z większej objętości spalanej paliwa. W takim przypadku wartość zadymienia spalin silnika AD3.152 zasilanego paliwem DEE40 była ok. 50% mniejsza w stosunku do OR.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki zadymienia spalin silnika AD3.152 pracującego przy prędkości 1500 obr/min. Uzyskane wyniki zadymienia spalin były większe w stosunku do wartości uzyskanych przy prędkości 1000 obr/min. Wynika to z większego natężenia przepływu spalin przez układ wydechowy. Oceniając rysunek 3 można stwierdzić pozytywny wpływ DEE na obniżenie zadymienia spalin badanego silnika. Było to szczególnie widoczne dla obciążenia 120 Nm. W tym przypadku zadymienie spalin, które uzyskano spalając paliwo DEE40 było o ok. 45% mniejsze w stosunku do OR.



Rys. 3. Wpływ zawartości DEE w OR na zadymienie spalin silnika AD3.152 pracującego przy prędkości obrotowej $n = 1500$ obr/min

Dalszy wzrost prędkości obrotowej wału korbowego silnika zwiększa zadymienie jego spalin.



Rys. 4. Wpływ zawartości DEE w OR na zadymienie spalin silnika AD3.152 pracującego przy prędkości obrotowej $n = 2000$ obr/min

Na podstawie oceny rysunku 4 można stwierdzić, że zadymienie spalin silnika pracującego z prędkością $n = 2000$ obr/min jest wielokrotnie większe w stosunku do rezultatów uzyskanych przy prędkości 1000 obr/min. Pomimo to zauważono, że dodatek DEE pozwala obniżyć

zadymienie spalin silnika pracującego we wszystkich testowanych warunkach obciążenia. Szczególnie korzystne rezultaty uzyskano dla silnika pracującego przy obciążeniu 120 Nm. W takim przypadku zadymienie spalin silnika było o ok. 44% mniejsze w stosunku do OR.

4. Podsumowanie

DEE może być dodawany do OR, co pozwala uzyskać mieszaniny paliwowe o właściwościach zbliżonych do ON. DEE pozwala przede wszystkim obniżyć lepkość, napięcie powierzchniowe oraz gęstość OR. W ten sposób można poprawić jakość rozpylenia paliwa, co powinno również sprzyjać poprawie przebiegu procesu spalania. Mając to na uwadze, w niniejszym artykule zaprezentowano wyniki badań dotyczących zaczernienia spalin silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego OR oraz jego mieszaninami z DEE w objętości 10, 20, 30 i 40%. Badania wykonano dla niskiej, średniej i wysokiej prędkości obrotowej wału korbowego oraz dla niskiej średniej i wysokiej wartości obciążenia testowanego silnika. Uzyskane rezultaty potwierdziły, że zastosowanie DEE jako komponentu mieszaniny z OR pozwala znacząco obniżyć zadymienie silnika tj. nawet o ok. 50% w stosunku do wartości zadymienia uzyskiwanego przy spalaniu czystego OR.

Literatura

1. Baczewski K, Kałdoński T. Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2004.
2. Bailey B, Eberhardt J, Goguen S, Erwin J. Diethyl Ether (DEE) as a Renewable Diesel Fuel, SAE Technical Paper 972978, 1997.
3. Chłopek Z. Paliwa alternatywne do silników spalinowych a emisja dwutlenku węgla. Wydawnictwo ITS. Transport Samochodowy 2010(2).
4. Górski K, Przedlacki M. Evaluation of the Influence of Diethyl Ether (DEE) Addition on Selected Physicochemical Properties of Diesel Oil and Ignition Delay Period. Energy & Fuels, 2014.
5. Zhang, N, Huan, Z, Wang X, Zheng B. A Comparative Study of Two Kinds of Biodiesels and Biodiesel-DEE Blends In a Common Rail Diesel Engine. SAE International 2011.
6. Lotko W, Górski K. Zasilanie silnika wysokoprężnego mieszaninami ON i EETB. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne 2011.
7. Merkisz J, Pielecha I. Alternatywne napędy pojazdów. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2006.
8. Purushothaman K, Nagarajan G. Experimental investigation on a C.I. engine using orange oil and orange oil with DEE. Fuel, 2009.
9. Sidibé S S, Blin J, Vaitilingom G, Azoumah Y. Use of crude filtered vegetable oil as a fuel in Diesel engines state of the art: literature review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2010; 14: 2748-2.
10. Rakopoulos D C, Rakopoulos C D, Giakoumis E G, Dimaratos A M, Founti M A. Comparative environmental behaviour of bus engine operating on blends of diesel fuel with four straight vegetable oils of Greek origin: Sunflower, cottonseed, corn and olive. Fuel, 2011; 90(11); 3439-3446.
11. Labeckas G, Slavinskas S. Performance of direct-injection off road diesel engine on rapeseed oil. Renewable Energy 2006; 31: 849-863.

12. Drown D C, Harper K, Frame E. Screening Vegetable Oil Alcohol Esters as Fuel Lubricity Enhancers. *Journal of The American Oil Chemist's Society* 78(6). 2001.
13. Nazal I T, Al-Kayiem H H. Experimental Characterization of Diesel Engine Performance Fuelled By Various Sunflower Oil-Diesel Mixtures. *Journal of Applied Sciences*, 12: 2604-2609.
14. Wang YD, Al-Shemmeri T, Eames P, McMullan J, Hewitt N, Huang Y, Rezvani S. An experimental investigation of the performance and gaseous exhaust emissions of a diesel engine using blends of a vegetable oil. *Applied Thermal Eng.*, 26: 1684-1691.
15. Imtenan S, Varman M, Masjuki H H, Kalam A M, Sajjad H, Arbab M I. Effect of DEE as an Oxygenated Additive on Palm Biodiesel-Diesel Blend In the Context of Combustion and Emission Characteristics on a Medium Duty Diesel Engine. DOI:10.7763/IPCBE. 2015. V85. 16.