POLITECHNIKA POZNAŃSKA

WYDZIAŁ INŻYNIERII TRANSPORTU

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Agnieszka Leśniak

Określenie wpływu składu kwasów tłuszczowych oleju z rośliny babassu na właściwości biodiesla II generacji oraz na parametry silnika o zapłonie samoczynnym

Promotor:
Dr hab. inż. Grzegorz Wcisło

POZNAŃ 2019

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Spis treści

Streszczenie 4
Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń 6
1.Wstęp 8
1.1. Wprowadzenie 8
2. Charakterystyka biopaliw 15
2. 1. Podział i klasyfikacja biopaliw 15
2.2. Biopaliwa I generacji 17
2.3. Biopaliwa II generacji 21
2.4. Biopaliwa III i IV generacji 22
3. Aspekty prawne w zakresie produkcji biopaliw 26
3.1. Rozwój polityki w Unii Europejskiej w zakresie biopaliw 26
3.2. Regulacje prawne dotyczące stosowania biopaliw w Polsce 28
4. Cel i zakres pracy 32
5. Analiza wskaźników ekologicznych i zużycia paliwa silników o zapłonie samoczynnym ZS, zasilanych estrami kwasów tłuszczowych 35
5.1. Wprowadzenie 35
5.2. Charakterystyka wskaźników jakościowych estrów kwasów tłuszczowych wyprodukowanych z różnych surowców 37
5.3.Wpływ estrów kwasów tłuszczowych na pracę silnika 40
5.3.1. Wpływ estrów kwasów tłuszczowych na sprawność termiczną silnika 40
5.3.2. Wpływ estrów kwasów tłuszczowych na jednostkowe zużycie paliwa 44
5.3.3. Wpływ estrów kwasów tłuszczowych na temperaturę gazów spalinowych 47
5.4. Wpływ biodiesla na toksyczność spalin 52
5.4.1. Emisja tlenku węgla (CO) 52
5.4.2. Emisja dwutlenku węgla (CO_2) 54
5.4.3. Emisja tlenków azotu (NO_x) 55
5.4.4. Emisja węglowodorów (THC) i cząstek stałych (PM) 57
6. Metodyka badań 61
6.1. Harmonogram badań własnych 61
6.2. Obiekt badań 62

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

6.2.1.Analiza surowca do produkcji biopaliwa nowej generacji 62
6.2.2. Transestryfikacja oleju babassu – próby wstępne 64
6.3. Zastosowana aparatura badawcza 71
6.3.1. Badania właściwości fizykochemicznych biodiesla BBuE uzyskanego przez transestryfikację oleju palmy babassu 71
7. Wyniki badań i ich analiza 86
7.1. Skład i układ estrów wyższych kwasów tłuszczowych w biodieslach BBuE oraz RME ... 86
7.2. Parametry fizykochemiczne wytworzonego w procesie transestryfikacji biodiesla BBuE oraz dla porównania RME 88
7.3. Oznaczanie ciepła spalania i wyznaczenie wartości opałowej wytworzonego BBuE oraz dla porównania RME i oleju napędowego 88
7.4. Oznaczanie parametrów fizycznych wytworzonego biopaliwa BBuE oraz dla .porównania RME i oleju napędowego 90
7.5. Oznaczenie składu frakcyjnego wytworzonego biodiesla BBuE oraz dla porównania RME i oleju napędowego 92
7.6. Oznaczenie temperatury zapłonu wytworzonego biodiesla BBuE oraz dla porównania RME i oleju napędowego 95
7.7. Oznaczenie liczby cetanowej wytworzonego biodiesla BBuE oraz dla porównania RME i oleju napędowego 96
7.8. Badanie parametrów efektywnych silnika Perkins 1104D-44TA oraz toksyczności spalin 97
8. Podsumowanie przeprowadzonych badań i analiz 109
8.1. Podsumowanie analiz 109
8.2. Ważniejsze wnioski z badań własnych 110
9.Wnioski i kierunki dalszych badań 113
9.1. Wnioski z przeprowadzonych badań 113
9.2. Proponowane kierunki dalszych badań 114
Literatura 116
Spis rysunków 129
Spis tabel 132
Summary 134

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Streszczenie

Wysokie ceny ropy naftowej i stały wzrost zapotrzebowania na paliwa płynne, a z drugiej strony postępujący globalny efekt cieplarniany wywołany emisją dwutlenku węgla i innych gazów cieplarnianych skutkuje rosnącym zainteresowaniem wykorzystania surowców biologicznych jako paliw silnikowych. Problem zanieczyszczenia środowiska naturalnego, jak również konieczność poszukiwania alternatywnych rozwiązań w zakresie paliw płynnych stało się argumentem za podjęciem realizacji przedstawionej pracy doktorskiej, której głównym celem jest określenie wpływu składu i układu kwasów tłuszczowych na właściwości fizykochemiczne biodiesla II generacji z oleju palmy babassu (BBuE) oraz na parametry pracy silnika o zapłonie samoczynnym.

Na początku pracy zaprezentowano spis ważniejszych skrótów oraz oznaczeń przedstawionych w rozprawie. Praca została podzielona na osiem rozdziałów i zawiera łącznie 138 stron. We wstępie przedstawiono opis zagadnień związanych z genezą podjęcia tematyki pracy. W drugim rozdziale dokonano podziału biopaliw, zapotrzebowania na nie i wykorzystania w transporcie zarówno w świecie jak i w Polsce. Dalej omówiono regulacje prawne dotyczące wdrażania paliw nowej generacji, a także emisji związków szkodliwych w aspekcie norm Euro. Kolejny rozdział poświęcono analizie danych literaturowych wskaźników ekologicznych i zużycia paliw w silnikach z zapłonem samoczynnym zasilanych estrami kwasów tłuszczowych. W rozdziale dotyczącym metodyki badań dokonano analizy surowca do produkcji biodiesla BBuE roślinny nieżywieniowej - oleju palmy babassu, rośliny rosnącej w Ameryce Południowej. Opisano proces transestryfikacji, czyli produkcji BBuE z oleju palmy babassu. Przeprowadzono wstępne badania oraz w oparciu o model zoptymalizowano proces otrzymania BBuE, tak aby jego jakość była bardzo wysoka i spełniała wymogi normy EN-PN 14214 na biodiesel do silników wysokoprężnych. Głównym kryterium wyboru tego oleju była chęć zbadania, czy i w jaki sposób odmienna budowa chemiczna składu i układu kwasów tłuszczowych oleju babassu w stosunku do kwasów w olejach obecnie używanych do produkcji FAME, wpłynie na właściwości biopaliwa oraz na parametry pracy silnika wysokoprężnego. Ponadto olej babassu jest olejem niejadalnym, a więc uzyskany biodiesel będzie paliwem nowej generacji. Tego typu biopaliwa będą musiały być używane obligatoryjnie w transporcie przez wszystkich członków UE począwszy od roku 2020. Użyta podczas badań aparatura i metody umożliwiły ocenę parametrów fizykochemicznych wytworzonego BBuE oraz parametrów efektywnych silnika

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

i emisji zanieczyszczeń w stosunku do paliw referencyjnych jakimi były biodiesel RME uzyskany z oleju rzepakowego i handlowy olej napędowy.

W kolejnym rozdziale przedstawiono wyniki badań wraz z analizą przyczynowo-skutkową. Przedstawiono rezultaty przeprowadzonego procesu transestryfikacji oleju palmy babassu. Wyznaczono charakterystyki emisyjne biopaliwa z oleju palmy babassu oraz wyróżniki jakościowe otrzymanego biopaliwa. Porównano je z parametrami jakościowymi z biopaliwem oleju rzepakowego oraz paliwem referencyjnym - olejem napędowym. Zaprezentowane wyniki badań odniesiono do ekologicznych aspektów wykorzystania oleju palmy babassu w ewentualnym projektowaniu biopaliwa przyszłości z rośliny nieżywnościowej.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń

AMN - *Methylnaphthalene* - α-metylonaftalen

BBuE – *Buthyl Ester Babassu Oil* **–** estry butylowe kwasów tłuszczowych oleju babassu

BHT – *Buthyated hydroxytoluene* – butylohydroksytoluen

Bio-DME – *biodimethyl ether* – eter dimetylowy

Bio-DMF – *biodimethylfuran* – biodimetylofuran

Bio-ETBE – *ethyl-tert-butyl ether* – eter etylo-tert-butylowy

Bio-MTBE – *methyl-tert-butyl ether* –eter metylo-tert-butylowy

BtL – B*iomass to Liquid* – przetwarzanie biomasy na paliwa ciekłe

BtG – B*iomass to Gas* – przetwarzanie biomasy na paliwa gazowe

CCS - *Carbon Capture and Storage* – sekwestracja dwutlenku węgla

CNG – *Compressed Natural Gas* – sprężonej gaz ziemny

CtL – *Coal to Liquid* – olej napędowy otrzymywany z węgla

CO – *Carbon Monoxide* – tlenek węgla

CO_2 – *Carbon Dioxide* – dwutlenek węgla

D – *exhaust* – zadymienie

DME – *dimethylester* – dimetyloeter

dLUC – D*irect Land Use Change* – bezpośrednia zmiana sposobu użytkowania gruntów

dp/dα – przyrost ciśnienia w komorze spalania w funkcji konta obrotu wału korbowego

EC – *European Commision* – Komisja Europejska

FAEE – *fatty acid etyl ester* – estry etylowe kwasów tłuszczowych

FAME – *fatty acid metyl ester* – estry metylowe kwasów tłuszczowych

GtL – *Gas to Liquid* – olej napędowy otrzymywany z gazu ziemnego

HC – *hydrocarbons* – węglowodory

HMN - *Heptamethylnonane* - heptametylononan

HTU – *Hydrothermal Upgrading* – hydrotermiczne wzbogacanie

iLUC – *Indirect Land Use Change* – pośrednia zmiana sposobu użytkowania gruntów

KPD – *National Action Plan* –Krajowy Plan Działania

Ktoe – *kilotonne of oil equivalent* – kilotona oleju ekwiwalentnego

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

LA – *Anisidine value* – liczba anizydynowa

LC – *Cetane value* – liczba cetanowa

LI – *Iodine value* – liczba jodowa

LK – *Acid value* – liczba kwasowa

LNG – *Liquefied Natural Gas* – skroplony gaz ziemny

LPG – *Liquefied Petroleum Gas* – gaz płynny propan-butan

NOx – *Nitrogen Oxides* **–** tlenki azotu

NCW – *National target indicator* – Narodowy Cel Wskaźnikowy

ON – *Diesel* – olej napędowy

pGMP – *before top dead center* – przed górnym martwym położeniem tłoka

PM – *Particulate Matter* – cząstki stałe

PME – *Palm Methyl Ester* – estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju palmowego

ppm – *parts per million* – liczba części na milion

PVO – *Pure Vegetable Oil* – czysty olej roślinny

RED - *Renewable Energy Directive* – dyrektywa dotycząca odnawialnej energii

RME –Rapeseed Methyl Ester – estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego

TG – *triacylglycerol* – triacyloglicerol

THC – *Total Hydrocarbons* **–** suma węglowodorów niemetanowych i metanu

Toe – *tonne of oil equivalent* – kilotona oleju ekwiwalentnego

t. w. – *boiling point* – temperature wrzenia

UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change* – Ramowa Konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu

UE – *European Union* – Unia Europejska

ZS – *Self-ignition engine* – silnik z zapłonem samoczynnym

Mtoe - *megatonne of oil equivalent* – megatona oleju ekwiwalentnego

WKT – *free fatty acids* – wolne kwasy tłuszczowe

WtL - *Waste to Liquid* – technologia produkcji paliw z odpadów

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

1.Wstęp

1.1. Wprowadzenie

Paliwa konwencjonalne, jak na przykład ropa naftowa, nadal stanowią ponad 80% ogólnej produkcji energii światowej. Jednak podejmowanych jest szereg działań od lat dziewięćdziesiątych XX wieku, nad rozwojem energii ze źródeł odnawialnych. W obliczu ciągłych wahań cen ropy naftowej, wyczerpania się zapasów paliw kopalnych, obaw o stan środowiska naturalnego, wzrasta zainteresowanie poszukiwaniem alternatywnych źródeł energii [34,62,80].

Wzrost zapotrzebowania na energię, spowodowany rozwojem gospodarczym, przy ograniczonych zasobach konwencjonalnych paliw oraz nadmierne zanieczyszczenie środowiska spowodowały, iż w ostatnich latach coraz więcej uwagi poświęca się odnawialnym źródłom energii, w tym biopaliwom ciekłym. Alternatywne paliwa, w tym także biopaliwa, z pewnością jeszcze przez wiele lat nie zastąpią paliw kopalnych w transporcie, ale odgrywają istotną rolę w długotrwałym procesie zmierzającym do ich dywersyfikacji. Konieczność zmiany optyki postrzegania biopaliw i ich roli w gospodarce nie może zatem ograniczać się do wskazywania ich jako marginalny przykład surowców energetycznych. Rozwój stosowania biopaliw i biokomponentów wywołuje bowiem szereg dodatkowych, korzystnych impulsów gospodarczych, takich jak: innowacyjność, postęp technologiczny, tworzenie nowych miejsc pracy. Biopaliwa to przede wszystkim impuls rozwojowy unijnego, a w związku z tym, i polskiego rolnictwa i obszarów wiejskich. Podstawowych przyczyn uzasadniających wykorzystanie biopaliw jest kilka. Do najważniejszych należy zaliczyć [57,63,71,132]:

- wyczerpywanie paliw kopalnych,
- konieczność ograniczenia emisji gazów cieplarnianych,
- konieczność dywersyfikacji paliw,
- konieczność zmniejszenia uzależnienia od państw sprzedających,
- stopniowe wprowadzanie biopaliw nowej generacji.

Możliwość produkcji biopaliw i perspektywy ich rozwoju regulują przepisy Unii Europejskiej. Zgodnie z wymogami Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych, państwa członkowskie Unii Europejskiej są zobowiązane do 2020 roku zapewnić udział w ilości

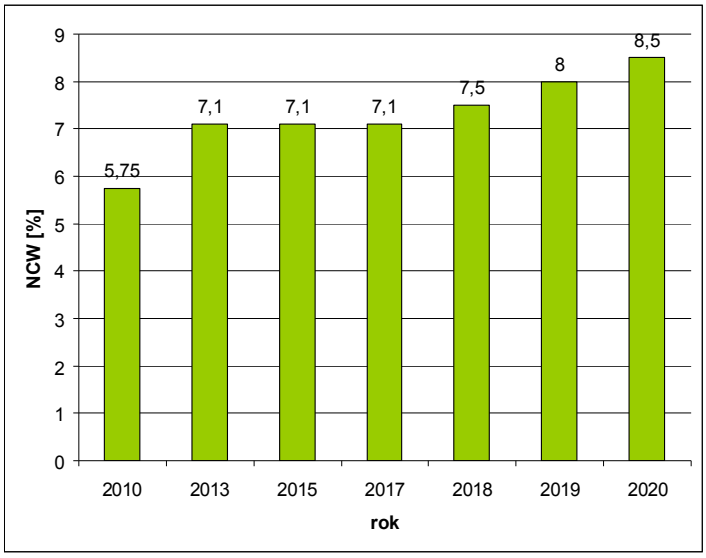
This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

minimum 10% energii odnawialnej w transporcie, co stanowi ekwiwalent ponad 30 mld euro importu ropy naftowej, głównie rosyjskiej przez kraje Unii Europejskiej, w tym ponad 7 mld zł ropy importowanej przez Polskę. Ma to szczególne znaczenie biorąc pod uwagę uniezależnienie energetyczne, przy jednoczesnym wzroście wykorzystania własnego potencjału surowcowego i wytwórczego. Ponadto w 2015 przyjęto i opublikowano nowelizację Dyrektywy 2009/28/WE (tzw. Dyrektywa „ILUC" - Indirect Land Use Change), czyli pośredniej zmiany sposobu użytkowania gruntów, która przewiduje wejście w życie obowiązku zapewnienia redukcji emisji gazów cieplarnianych o 50%, począwszy od 2018 roku. Grunty dotychczas wykorzystane na cele spożywcze, przeznaczane są do produkcji roślin energetycznych, a kolejne tereny dotychczas nieprzekształcone, zasobne w pierwiastek węgiel, zamieniane są na nowe obszary uprawne, co może prowadzić do zwiększonej emisji dwutlenku węgla. Dyrektywa wskazuje na konieczność redukcji gazów cieplarnianych spowodowanej zwiększonym popytem na surowce rolnicze do produkcji biopaliw I generacji, czyli wytwarzanych z surowców spożywczych oraz wspierania badań i rozwoju zaawansowanych biopaliw, które nie będą konkurować z uprawami roślin żywnościowych [41,52].

Przedmiotowy cel w warunkach polskich jest zrealizowany przede wszystkim w oparciu o stosowanie biokomponentów i biopaliw ciekłych, zgodnie z zapisami Krajowego Planu Działania w zakresie energii ze źródeł odnawialnych z dnia 7 grudnia 2010 roku [38,58]. Poza tym, w Polsce możliwość produkcji biopaliw reguluje Ustawa o biokomponentach i biopaliwach ciekłych z dnia 25 siepnia 2006 oraz jej nowelizacja z dnia 24 listopada 2017 roku "o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych oraz niektórych innych ustaw", oraz odpowiednie rozporządzenia [133,134]. Ustawa określa obowiązki producentów biopaliw, producentów rolnych wytwarzających surowce do ich produkcji oraz mechanizmy wprowadzania nowego typu biopaliw na rynek. Drugim bardzo ważnym dokumentem regulującym stosowanie biopaliw w transporcie jest tzw. Narodowy Cel Wskaźnikowy - rys. 1.1. Określa on minimalny udział biokomponentów i innych paliw odnawialnych w transporcie. Brak realizacji celów określonych w dyrektywie unijnej, będzie stanowić przesłankę do nałożenia kar finansowych ze strony Komisji Europejskiej. Polska zobowiązała się w tzw. Narodowym Celu Wskaźnikowym (NCW), że począwszy od roku 2008 będzie zwiększać udział biopaliw w całkowitej konsumpcji paliw. Na lata 2013-2020, został określony minimalny udział biokomponentów i innych paliw odnawialnych w ogólnej ilości paliw zużywanych w ciągu roku

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

kalendarzowego w transporcie. Ich zużycie do roku 2020 r. powinno wynieść 8,5%. Zgodnie z wytycznymi znowelizowanej Dyrektywy ustanawiającej zalecenia dla biopaliw w transporcie, biopaliwa i biokomponenty II generacji, wytworzone z tzw. surowców nieżywieniowych, mogą być zaliczane podwójnie do celów wskaźnikowych. Praktycznie oznacza to, że jeżeli w 2019 roku w transporcie powinno się wykorzystać co najmniej 8% biopaliw I generacji, to podmiot wprowadzający biopaliwa II generacji może wprowadzić tylko 4% paliw nowej generacji, a co za tym idzie, spełni wymogi wynikające z NCW [122,134].



*2020 – cel wynikający z ustawy o biokomponentach i biopaliwach

Rys. 1.1. Narodowy Cel Wskaźnikowy na lata 2010-2020 [122]

W ostatnich dwudziestu latach zintensyfikowano działania związane z zapotrzebowaniem i wykorzystaniem energii. Wzrost poziomu życia mieszkańców globu spowodowany postępem cywilizacyjnym, przyczynia się do zwiększenia zapotrzebowania na energię, co z kolei wymusza poszukiwanie coraz to nowych źródeł ich pozyskiwania. Wzrost produkcji pojazdów i urządzeń komunikacyjnych zwiększa wzrost zużycia energii na świecie. Poza tym, uwzględniając światową tendencją ograniczania emisji gazów cieplarnianych, nakładany jest duży nacisk polityczny na ograniczanie emisji dwutlenku węgla do atmosfery. W ostatnich 10-ciu lat rozwój motoryzacji przyczynił się do zwiększenia emisji dwutlenku węgla do atmosfery o 28% w stosunku do 2000 roku, do czego głównie przyczynił się transport drogowy. Jednym ze sposobów poprawy globalnego bilansu dwutlenku węgla jest zastosowanie paliw alternatywnych

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

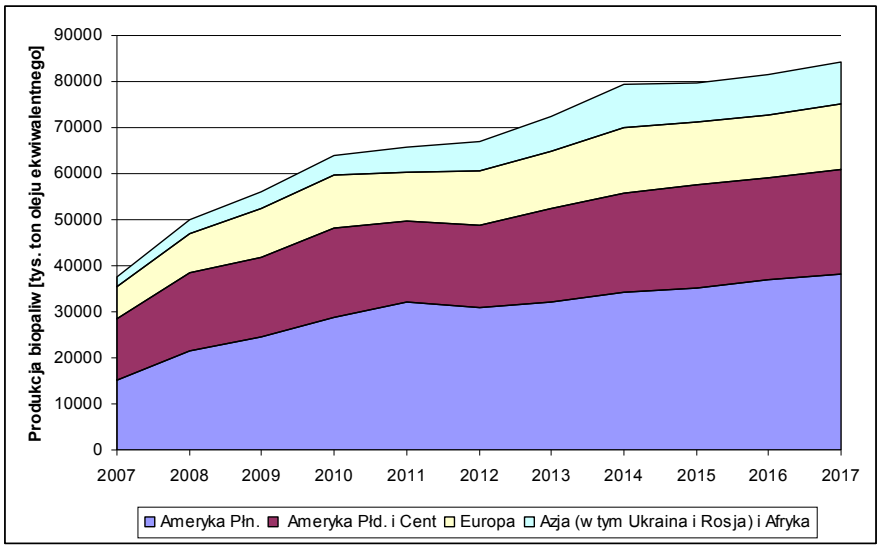
do zasilania silników w procesie zamkniętego obiegu dwutlenku węgla. Z wyliczeń stechiometrycznych wynika, że zastąpienie 1 dm^3 oleju napędowego wytwarzanego z ropy naftowej biopaliwem rzepakowych (biodiesel RME) umożliwia zmniejszenie emisji dwutlenku węgla o ok. 3,4 kg [66]. W obliczu tych faktów, jak również ze względu na zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego krajów Unii Europejskiej, wysokie ceny surowców energetycznych, koniecznym stał się rozwój produkcji biopaliw ciekłych w transporcie.

Impulsem do podejmowania takich działań stały się założenia Światowej Konferencji Klimatycznej z Kioto w 1997 r. Po podpisaniu na konferencji klimatycznej w Kioto w grudniu 1997 r., tzw. Protokołu z Kioto, dotyczącego przeciwdziałania ociepleniu klimatu, prace nad odnawialnymi źródłami energii nabrały nowego tempa rozwoju. Podpisanie tego protokołu było zobowiązaniem społeczności międzynarodowej do przeciwdziałania zmianom klimatycznym i globalnemu ociepleniu, a jednocześnie wypełnieniem Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (UNFCCC). Do chwili obecnej 183 państwa ratyfikowały Protokół z Kioto. W 2012 światowa konsumpcja energii wyniosła 25% (IEA, 2013), a do atmosfery zostało wyemitowane 22% CO_2 (IEA, 2012) [73,74]. Największą emisję dwutlenku węgla w sektorze transportowym zanotował transport drogowy – 75% całkowitej emisji CO_2 (IEA, 2012) [73]. Według Komisji Europejskiej jedną z dróg ograniczenia emisji dwutlenku węgla do atmosfery, a co za tym idzie zmniejszenie efektu cieplarnianego jest stosowanie paliw alternatywnych w transporcie (European Commission, 1997) [43,51].

Najwięcej inicjatyw w tym względzie wykazała Unia Europejska, która jest liderem działań zmierzających do ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Początkowo zobowiązano się do utrzymania istniejących poziomów emisji, zachowując odniesienia do stanu z 1990 r. W latach 2008-2012 Unia Europejska planowała zredukować emisję CO_2 o 8% w porównaniu do poziomu z 1990 r., czyli o 346 milionów ton. Wszystkim krajom członkowskim narzucono limity, przy czym największe ograniczenia dotyczyły krajów wysokorozwiniętych, takich jak Niemcy, które zobowiązały się do ograniczenia emisji CO_2, aż o 21% (Wielka Brytania o 12,5%). Celem wszystkich działań do 2020 r. jest ograniczanie tradycyjnych paliw w transporcie drogowym na korzyść zwiększania udziału w transporcie paliw alternatywnych (biopaliwa, gaz ziemny, wodór). Ma to wpłynąć na poprawę bezpieczeństwa energetycznego Unii Europejskiej poprzez zmniejszenie uzależnienia krajów członkowskich od importowanej ropy naftowej oraz spowodować redukcję emisji gazów cieplarnianych [43].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

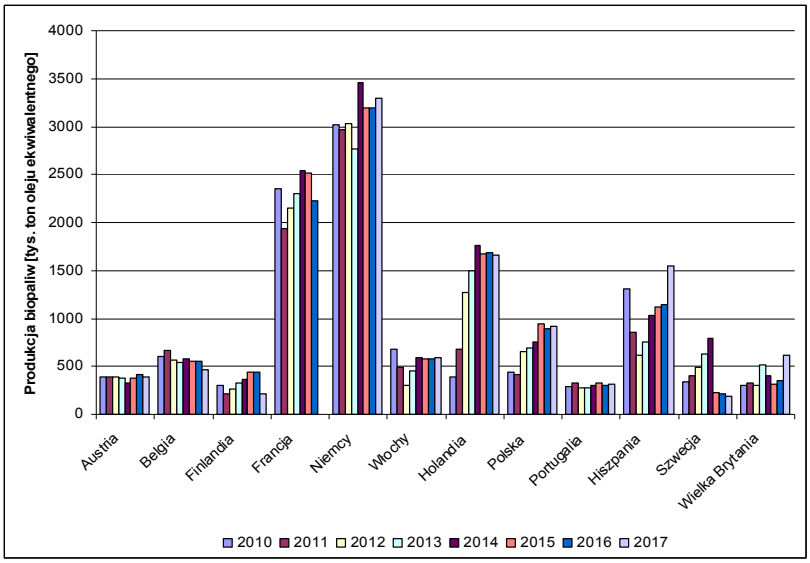
Według danych BP Statistical Review, światowa produkcja biopaliw w 2016 roku wzrosła o 2,6% w stosunku do roku 2015. Ameryka Północna, do której zalicza się Stany Zjednoczone Ameryki, Kanadę oraz Meksyk, była największym producentem biopaliw. Region ten odznaczał się największym wzrostem produkcji biopaliw na przestrzeni ostatnich dziesięciu lat (2006 – 2016) i w roku 2016 ich produkcja w tym regionie wyniosła blisko 37 tys. ton, co stanowiło 43,5% światowej produkcji (rys. 1.2). Drugim co do wielkości produkcji biopaliw regionem są kraje Ameryki Południowej i Środkowej na czele z Brazylią i Argentyną. Ich udział w światowej produkcji w roku 2016 stanowił 27,2% całkowitej światowej produkcji, z czego w Europie i Eurazji produkcja biopaliw była na poziomie 12,7%, a 12,6% stanowiły pozostałe kraje Azji Pacyficznej oraz kraje Afryki [25].



Rys. 1.2. Światowa produkcja biopaliw [25]

Według BP Statistical Review, w Unii Europejskiej zużycie biopaliw stosowanych w transporcie było wysokie (rys. 1.3). Większość krajów europejskich zanotowała wzrost w produkcji biopaliw w 2016 roku w stosunku do roku 2015. Największymi producentami biopaliw były Niemcy, Francja, Holandia i Polska. Przy czym należy zauważyć, że w przypadku Francji i Polski nastąpił spadek produkcji biopaliw w 2016 roku, odpowiednio o 11,6% i 4,5% w stosunku do 2015 roku. Spadek w produkcji biopaliw odnotowały również Szwecja i Portugalia, odpowiednio 7,1% i 4,9% [25].

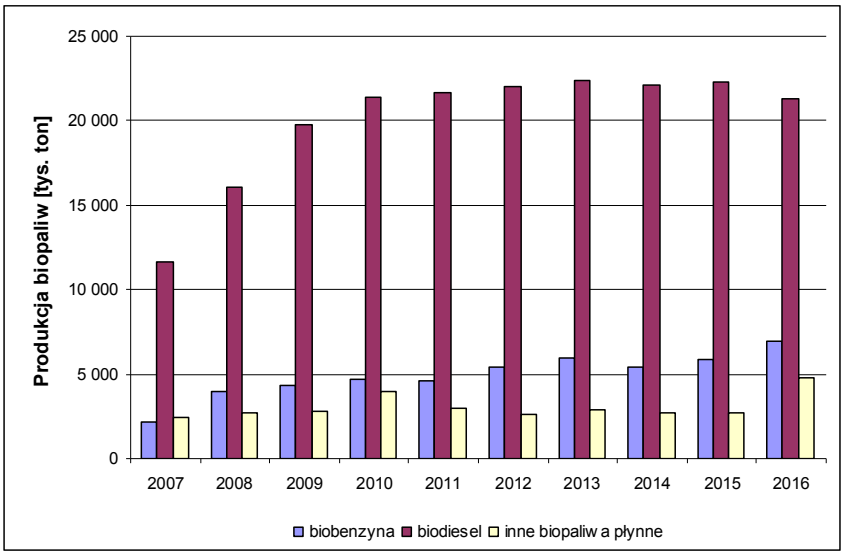
This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.



Rys. 1.3. Produkcja biopaliw w Europie w latach 2010 – 2017 [25]

Natomiast według konsorcjum EuroObserver w 2015 poziom wykorzystania biopaliw wyniósł 89,4% w Unii Europejskiej, z czego 79,4% (11154 toe) przypadło na produkcję biodiesla, bioetanolu 19,5% (2743 ktoe - bezpośrednio zmieszany z benzyną lub wcześniej przekształcony w ETBE) oraz 1.1% (150 ktoe) biogazu [42].

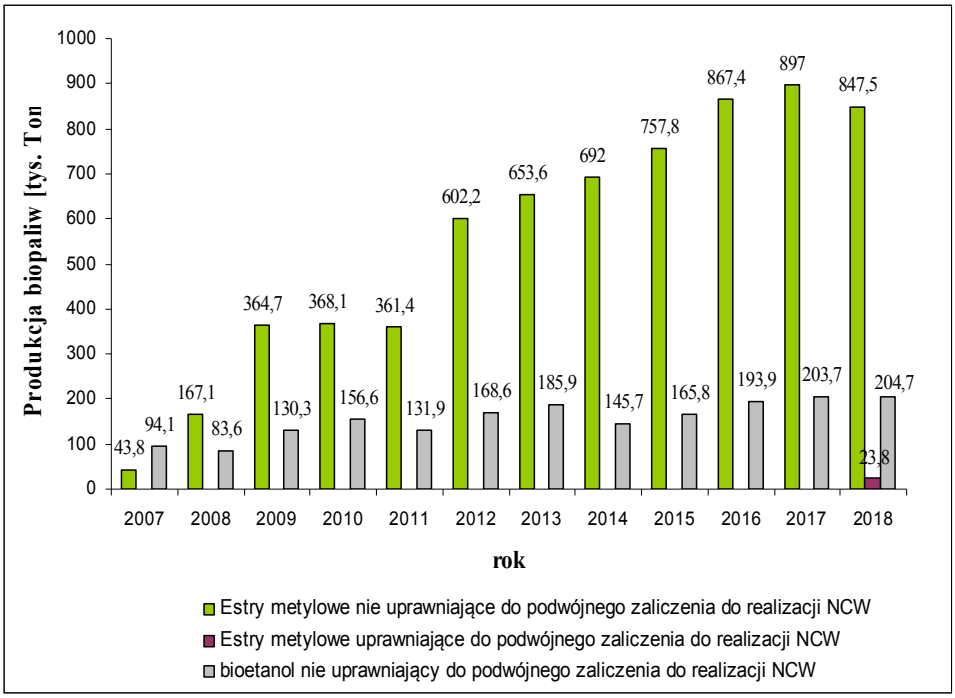
Według Urzędu Statystycznego Unii Europejskiej Eurostat w latach 2007 -2013 widać wyraźny wzrost w produkcji biodiesla i biobenzyny. W 2016 roku nastąpił niewielki spadek w produkcji biodiesla, w stosunku do 2015 roku i wyniósł on ponad 21300 tys. ton [143].



Rys. 1.4. Produkcja biopaliw w Europie w latach 2007 – 2016 [143]

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

W Polsce zgodnie z art. 4 ust. 2 ustawy z dnia 25 sierpnia 2006 r. o biokomponentach i biopaliwach ciekłych (Dz.U. z 2018 r. poz. 1344, z późn. zm.) organem prowadzącym rejestr wytwórców jest Dyrektor Generalny Krajowego Ośrodka Wsparcia Rolnictwa. Na podstawie danych rejestru wytwórców 9 dużych podmiotów realizowało NCW - stan na 21.03.2019 roku. W 2018 r. polskie rafinerie i agrorafinerie wytworzyły ponad 847 tys. ton estrów metylowych nie uprawniających do podwójnego zaliczenia do realizacji NCW oraz 23,8 tys. ton estrów metylowych uprawniających do podwójnego zaliczenia do realizacji NCW. Natomiast sumaryczna zgłoszona wydajność instalacji do produkcji estrów metylowych to blisko 1404,6 mln litrów. W 2018 r. do Polski sprowadzono dodatkowo około 302 tys. ton estrów metylowych [142]. Na rys. 1.5 przedstawiono produkcję biopaliw w Polsce w postaci bioetanolu i estrów metylowych kwasów tłuszczowych (FAME).



Rys. 1.5. Ilość wyprodukowanych w Polsce biopaliw w postaci bioetanolu i estrów metylowych FAME [142]

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

2. Charakterystyka biopaliw

2. 1. Podział i klasyfikacja biopaliw

W ostatnich latach zauważa się intensywny rozwój badań nad otrzymywaniem i zastosowaniem paliw niekonwencjonalnych do zasilania silników z zapłonem samoczynnym (ZS). W Europie oraz w USA *biopaliwa płynne* definiowane są jako ciekłe i gazowe paliwa do silników spalinowych, otrzymywane z biomasy. Według definicji Unii Europejskiej - Dyrektywa 2009/28/WE, *biomasa* oznacza ulegające biodegradacji frakcje produktów, odpadów lub pozostałości z rolnictwa (w tym substancje roślinne i zwierzęce), leśnictwa i związanych z nim gałęziami przemysłu, a także ulegające biodegradacji odpady komunalne i przemysłowe [40]. Dyrektywa ta definiując biopaliwa, nie wyszczególnia poszczególnych gatunków tych paliw, co wynika zarówno z rozwoju technologii przetwarzania biomasy (procesy BtL), jak i z poszukiwań nowych surowców do otrzymywania biopaliw i paliw alternatywnych (procesy WtL) [40]. Podobnie została zdefiniowania biomasa w Ustawie o biokomponentach i biopaliwach ciekłych. Według tej ustawy *biomasa* to stałe lub ciekłe substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które ulegają biodegradacji, a w szczególności surowce roślinne [134].

Przyjmując biomasę jako źródło surowcowe do otrzymywania biopaliw, w definicji europejskiej wzięto pod uwagę dwie podstawowe ścieżki surowcowe i odpowiadające im technologie przekształcania, a mianowicie procesy BtL *(biomass to liquid),* alternatywnie BtG (*biomass to gas)* i WtL *(waste to liquid)*, alternatywnie WtG (w*aste to gas*).

Stosuje się wiele podziałów i klasyfikacji paliw. Jednym z nich jest podział paliw ze względu na pochodzenie: Paliwa te dzieli się na:

- pochodzące ze źródeł kopalnych (naturalne paliwa) – stosowane w postaci pierwotnej lub przekształcane chemicznie (gaz ziemny: stosowany w postaci sprężonej CNG lub ciekłej LNG; mieszanina propanu i butanu stosowana w postaci ciekłej (LPG); paliwa syntetyczne: olej napędowy otrzymywany z gazu ziemnego metodą GtL lub z węgla CtL; paliwa płynne otrzymane w procesie Fischera-Tropscha – benzyna silnikowa i olej napędowy; dimetyloeter DME.
- pochodzące ze źródeł odnawialnych i nazywane biopaliwami. Do nich zalicza się: biopaliwa ciekłe i gazowe [15,16].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

W klasyfikacji europejskiej, w Aneksie do Komunikatu COM(2006)34, podstawowym podziałem biopaliw jest ich podział ze względu na stan skupienia [12,16]. W tym komunikacie po raz pierwszy zostały wprowadzone pojęcia biopaliw pierwszej i drugiej generacji.

Paliwa według tego podziału dzielą się na [12,16,47]:

a) biopaliwa ciekłe, do których zalicza się:

- biometanol – alkohol metylowy wytwarzany z biomasy jako paliwo lub komponent paliwowy,
- bioetanol – alkohol etylowy wytwarzany z biomasy i/lub z biodegradowalnych frakcji odpadowych, możliwy do zastosowania jako biopaliwo E5, zawierające 5% etanolu i 95% benzyny silnikowej oraz jako E85, zawierające 85% etanolu i 15% benzyny,
- biodiesel zawierający estry metylowe (PME, RME, FAME) otrzymane z olejów pochodzenia roślinnego i zwierzęcego lub odpadowych tłuszczów i olejów (np. posmażalniczych), spełniające wymagania odpowiednich norm na oleje napędowe B5, zawierający 5% estrów i 95% naftowego oleju napędowego, B30, odpowiednio 30% i 70% oraz B100, stanowiące czyste estry o właściwościach zgodnych z odpowiednią normą,
- bio-MTBE, eter metylo-*tert*-butylowy wytworzony z biometanolu, o tym samym przeznaczeniu jak Bio-ETBE, stosowany w ilości 36%,
- bio-ETBE, eter etylo-*tert*-butylowy otrzymywany z bioetanolu, jako dodatek przeciwstukowy do benzyn podwyższający ich liczbę oktanową, stosowany w ilości 47%, BtL, jako ciekłe frakcje i ich mieszaniny otrzymywane z biomasy, które mogą stanowić biopaliwa lub komponenty paliwowe,
- czyste oleje roślinne (np. oleje: rzepakowy, słonecznikowy, palmowy, sojowy, kokosowy), otrzymywane z procesów tłoczenia, ekstrakcji itp., z wyłączeniem modyfikacji ich składu metodami chemicznymi, które mogą stanowić biopaliwa spełniające wymogi ochrony środowiska w zakresie odpowiednich typów silników.

b) biopaliwa gazowe, do których zalicza się:

- bio-DME, eter dimetylowy otrzymywany z biomasy do bezpośredniego stosowania jako biopaliwo do silników o zapłonie samoczynnym,
- biogaz, jako biopaliwo otrzymywane z biomasy i/lub biodegradowalnych frakcji odpadowych, odpowiednio oczyszczony tak, aby odpowiadały jakości gazu naturalnemu,

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

- biowodór, jako biopaliwo otrzymywane z biomasy lub biodegradowalnych frakcji odpadowych.

W ostatnich latach do powyższej klasyfikacji dodano jeszcze dwa rodzaje biopaliw, tj.: biopaliwa trzeciej generacji (do których wstępnie zakwalifikowano biowodów i biometanol) i czwartej generacji, tzw. biopaliwa przyszłościowe (advanced biofuels). Zaproponowała to Dyrekcja Generalna Transportu i Energetyki Komisji Europejskiej, która opracowanie technologii produkcji tychże biopaliw i wdrożenia ich do powszechnego użytku oszacowała na lata 2030 i powyżej. Biopaliwa trzeciej generacji mogą być otrzymywane podobnymi metodami, jak paliwa drugiej generacji, ale ze zmodyfikowanym i udoskonalonym procesem konwersji biomasy do biopaliw (biowodór, biometanol, biobutanol). Przykładem może być rozwój upraw zmienionych genetycznie roślin z wbudowanymi odpowiednio enzymami, uprawy drzew o niskiej zawartości ligniny, itp. [16,24,57,115].

Powstanie biopaliw czwartej generacji i ich klasyfikacja jest wynikiem konieczności zamknięcia bilansu dwutlenku węgla lub elimancji jego wpływu na środowisko. Technologie wytwarzające biopaliwa czwartej generacji powinny brać pod uwagę procesy CCS (Carbon Capture and Storage), czyli wychwytu i składowania węgla na etapie surowców i technologii ich wytwarzania. Surowcami do ich produkcji mają być rośliny o zwiększonej (także w wyniku zmian genetycznych) asymilacji dwutlenku węgla w czasie uprawy, a zastosowane technologie muszą uwzględnić wychwyć CO_2 doprowadzając do stadium możliwego do składowania w wyrobiskach ropy naftowej i gazu [16,115].

2.2. Biopaliwa I generacji

Podział biopaliw na biopaliwa I, II, III, IV generacji jest związany z rodzajem surowca z jakiego są paliwa wytwarzane. Do produkcji biopaliw I generacji wykorzystuje się oleje roślinne przeznaczone także na cele konsumpcyjne (np. oleje: rzepakowy, słonecznikowy, sojowy itp.), zboża, buraki cukrowe i trzcina cukrowa. W tabeli 2.1 przedstawiono surowce wykorzystywane do produkcji biopaliw I i II generacji [23].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Tabela 2.1. Podział roślin ze względu na ich potencjalną przydatność do produkcji biopaliw I, II generacji [23]

Surowce roślinne spożywcze (I generacja)	**Surowce roślinne niespożywcze (II generacja)**
Bawełniany	Aamla oil
Canola	Babassu oil
Kokosowy	Croton megalocarpus
Kukurydziany	Hochst (*Crambe abyssinica*)
Musztardowy	Jatropha
Olej z lnianki (Camelia Sativa)	Jojoba
Olej z nasion jabłka cukrowego (*Annona squamosa*)	Macauba coconut oil (*Acrcomia Aculeteata*)
	Milk bush (*Euphorbia tirucalli*)
Olej z nasion Olejarki abisyńskiej (*Guizotia abyssinica*)	Miodla indyjska (*Cannabis sativa Linn*)
	Moringa olejodajna (drzewo chrzanowe)
Olej z orzechów tygrysich	Moringa peregrina seed
Olej z orzechów ziemnych	Nahor oil
Olej z rzodkiewek	Pangium edule oil
Palmowy	Paradise oil
Rycynowy	Pithraj (*Aphanamixis polystachya*) oil
Ryżowy	Pongamia oil
Rzepakowy	Rubber seed oil
Słonecznikowy	Smokrzyn łojodajny (*Sapium sebiferum Linn.)*
	Soapnut (*Sapindus mukorossi*) – Zapian właściwy
	Tall oil (olej talowy)
	Tobacco (*Nicotiana tabacum*)
	Tewecja peruwiańska (*Thevettia peruviana*)

Jak już wyżej wspomniano, w Aneksie do Komunikatu COM(2006)34 przedstawiony został podział na biopaliwa I generacji i biopaliwa II generacji [12]. Fakt ten wynikał przede wszystkim

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

z oceny przydatności i dostępności surowców do wykorzystania ich w istniejących silnikach spalinowych, jak również ich wpływu na środowisko. Oficjalny raport prezentujący podział biopaliw przedstawiony został w raporcie Biofuels in the European Vision, a Vision 2030 and Beyond [115]. Wyróżnia on biopaliwa I (konwencjonalne) i II generacji.

Do biopaliw I generacji zalicza się:

- bioetanol (BioEtOH, BioEt) rozumiany jako konwencjonalny etanol otrzymywany z procesów hydrolizy i fermentacji z takich surowców, jak: zboża, buraki cukrowe itp. Bioetanol powstaje w wieloetapowym procesie obejmującym obróbkę wstępną, hydrolizę polisacharydów, a także fermentację alkoholową cukrów,
- biodiesel stanowiący estry metylowe bądź etylowe oleju rzepakowego (RME) lub estry metylowe (FAME) i etylowe (FAEE) wyższych kwasów tłuszczowych innych roślin oleistych, otrzymywane w wyniku procesów tłoczenia na zimno, ekstrakcji i transestryfikacji,
- czyste oleje roślinne (PVO-pure vegetable oils), otrzymywane z procesów tłoczenia na zimno i ekstrakcji ziaren roślin oleistych,
- biodiesel, stanowiący estry metylowe i etylowe, otrzymywany w wyniku transestryfikacji posmażalniczych odpadów olejowych,
- biogaz otrzymywany w wyniku procesów oczyszczania zawilgoconego biogazu składowiskowego bądź rolniczego,
- bio-ETBE, otrzymywany z przeróbki chemicznej bioetanolu [15,24].

Jednym z najpowszechniej produkowanym wciąż w Europie i na świecie biopaliwem jest biodiesel I generacji. Do jego produkcji są wykorzystywane rośliny oleiste spożywcze. Otrzymany w wyniku transestryfikacji biodiesel FAME (estry wyższych kwasów tłuszczowych) powinien spełniać wymagania jakościowe zgodnie z obowiązującą w krajach Unii Europejskiej, jak również w Polsce, normą PN-EN 14214, by mogło być zakwalifikowane do biopaliw I generacji (tab. 2.2) [94].

W 2009 roku organy Unii Europejskiej przyjęły przepisy Dyrektywy RED (Renevable Energy Directive) ograniczające surowce roślinne w produkcji biopaliw I generacji, ze względu na zaliczenie ich do roślin żywnościowych. Nowe rodzaje biopaliw, o cechach biodiesla, ze względu na wymogi agrotechniczne (uprawa, nawożenie) oraz ekonomiczne sprawiły, że rośliny pierwszej generacji stanowią potencjalny konflikt z roślinami wykorzystywanymi w produkcji żywności. [40,115].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Tabela 2.2. Wymagane parametry dla biopaliw wg normy PN-EN 14214 [94]

Właściwości	Jednostka	Limity	
		minimum	maximum
Zawartość estrów metylowych kwasów tłuszczowych (FAME)	% [m/m]	96,5	
Gęstość w temperaturze 15ºC	[kg/m^3]	860	900
Lepkość kinematyczna w temperaturze 40ºC	[mm^2/s]	3,5	5,0
Temperatura zapłonu	[ºC]	Powyżej 120	
Zawartość siarki	[mg/kg]	-	10,0
Pozostałość po koksowaniu (z 10% pozostałości destylacyjnej)	% [m/m]	-	0,30
Liczba cetanowa		51,0	
Zawartość popiołu siarczanowego	% [m/m]	-	0,02
Zawartość wody	[mg/kg]	-	500
Zawartość zanieczyszczeń stałych	[mg/kg]	-	24,0
Badanie działania korodującego na miedzi (3h, w temp. 50ºC)	Stopień korozji	Stopień korozji I	
Stabilność oksydacyjna w temperaturze 110 ºC	H	6	-
Liczba kwasowa	[mg KOH/g]	-	0,5
Liczba jodowa	[g Jodu/100g]	-	120
Zawartość estru metylowego kwasu linolenowego	% [m/m]	-	12,0
Zawartość estrów metylowych kwasów polienowych (zawierających nie mniej niż cztery wiązania podwójne)	% [m/m]	-	1
Zawartość alkoholu metylowego	% [m/m]	-	0,2
Zawartość monoacyloglicerolu	% [m/m]	-	0,8
Zawartość diacyloglicerolu	% [m/m]	-	0,2
Zawartość triacylogliceroli	% [m/m]	-	0,2
Zawartość wolnego glicerolu	% [m/m]	-	0,02
Zawartość ogólnego glicerolu	% [m/m]	-	0,25
Zawartość metali grupy I (Na+K)	[mg/kg]	-	5,0
Zawartość metali grupy II (Ca+Mg)	[mg/kg]	-	5,0
Zawartość fosforu	[mg/kg]	-	10,0

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

2.3. Biopaliwa II generacji

Do biopaliw II generacji czyli tak zwanych przyszłościowych zalicza się:

- bioetanol, biobutanol i mieszaniny wyższych alkoholi oraz ich pochodne otrzymywane w wyniku zaawansowanych procesów hydrolizy fermentacji lignocelulozy pochodzącej z biomasy (z wyłączeniem surowców o przeznaczeniu spożywczym),
- biopaliwa syntetyczne stanowiące produkty przetwarzania biomasy poprzez zgazowanie i odpowiednią syntezę na ciekłe komponenty paliwowe w procesach BtL oraz powstałe w wyniku przetwarzania biodegradowalnych odpadów pochodzenia przemysłowego,
- paliwa do silników o zapłonie samoczynnym pochodzące z przetwarzania lignocelulozy z biomasy w procesach Fischer-Tropscha,
- biodiesel, jako paliwo samoistne lub komponent paliwowy do silników o zapłonie samoczynnym otrzymywany w wyniku rafinacji wodorem (hydrogenizacji) olejów roślinnych i tłuszczów zwierzęcych, jak również otrzymywany z odpadowych olejów roślinnych i zwierzęcych oraz z roślin nieżywnościowych,
- biodimetyloeter (bioDME) otrzymywany w termochemicznych procesach przetwarzania biomasy, w tym biometanolu, biogazu gazów syntezowych stanowiących pochodne procesów przekształcania biomasy,
- biometanol otrzymywany w wyniku procesów przekształcania lignocelulozy, w tym syntezy Fisher-Tropscha, a także z wykorzystaniem odpadowego dwutlenku węgla,
- biodimetylofuran (bioDMF) pochodzący z procesów przetwarzania cukrów, w tym celulozy w procesach termochemicznych i biochemicznych,
- biogaz jako syntetycznie otrzymywany gaz ziemny - biometan (SNG), otrzymywany w wyniku procesów zgazowania lignocelulozy odpowiedniej syntezy oraz w wyniku procesów oczyszczania biogazu rolniczego pochodzącego z wysypisk i z osadów ściekowych,
- bioolej, czyli tzw. „zielony diesel" otrzymany w procesach hydrotermicznego wzbogacania (HTU *Hydrothermal Upgrading*) odpadowych olejów roślinnych i tłuszczów zwierzęcych, prowadzących do powstania oleju surowego i następnie jego rafinacji,
- biowodór otrzymywany w wyniku zgazowania lignocelulozy do syngazu, który następnie jest poddawany reformingowi parowemu i wzbogacaniu bądź otrzymywany w wyniku procesów biochemicznych [15,16,118].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Jak wynika z powyższego podziału biopaliw II generacji, nie można do nich zaliczyć przetworzonych biopaliw I generacji, np. przeróbka estrów poprzez rafinację wodorem etc. Poza tym surowcem do produkcji biopaliw II generacji powinna być biomasa, odpadowe substancje pochodzenia organicznego, a także odpadowe oleje roślinne i tłuszcze zwierzęce nieprzydatne w przemyśle spożywczym, jak również tłuszcze roślinne z roślin niespożywczych [12,13,14,33,58].

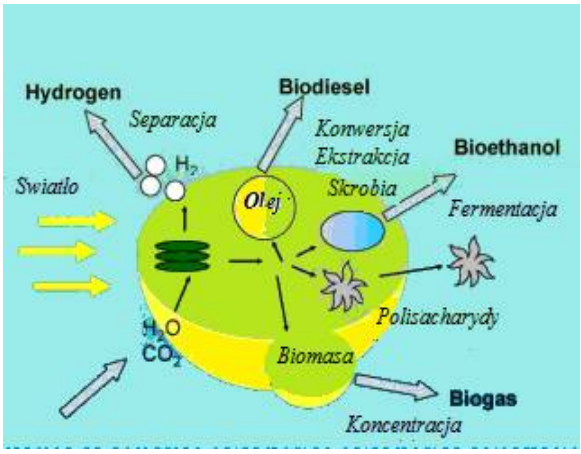
Biodiesel wytwarzany z niejadalnych olejodajnych roślin zwrócił uwagę z powodu problemów związanych z żywnością, kwestiami środowiskowymi i ekonomicznymi związanymi z olejami jadalnymi. Ponadto, niejadalne oleje roślinne są rozważane jako paliwo, ze względu na niskie koszty wsadu. W przeciwieństwie do biodiesla pierwszej generacji oznacza to, że mają one minimalny lub zerowy wpływ na podaż żywności lub ceny żywności [13,33,69,115,123].

2.4. Biopaliwa III i IV generacji

Pomimo, że od kilku już lat prowadzone są badania nad biopaliwami III i IV generacji, to tego typu zagadnienia pozostają w dalszym ciągu w fazie rozwojowej.

Algi znalazły zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym, kosmetycznym, rolnictwie i przemyśle spożywczym. Od wielu już lat prowadzone są także badania nad wykorzystaniem ich w energetyce, między innymi w produkcji biomasy na cele energetyczne i wytwarzania biopaliw. Na rys. 2.6 przedstawiono możliwości wykorzystania składników komórkowych alg w produkcji paliw [101]. W zależności od wykorzystania składników komórkowych z alg, można otrzymać biodiesel z oleju z alg, bioetanol wytwarzany w procesie fermentacji bądź biometan produkowany przez beztlenowe trawienie biomasy alg [20,44,50,57,101,117,118,124].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.



Rys. 2.6. Składniki komórkowe alg wykorzystywane w produkcji biopaliw [101]

Biomasa z glonów otrzymywana jest w biorafineriach. Nadal prowadzone są badania nad udoskonalaniem ich hodowli z wykorzystaniem bioreaktorów oraz znalezienie takich rozwiązań, które zwiększałyby możliwości produkcyjne glonów do wytwarzania większych ilości materiałów zapasowych w postaci glikogenu, białek i oleju. Jak wykazują liczne doniesienie naukowe, glony są cennym źródłem substancji chemicznych, takich jak: enzymy, antyoksydanty (β-karoten, luteina), które można pozyskać z glonów [57].

Produkcja biopaliw z glonów wymaga zastosowania:

a) bioreaktorów fotochemicznych (fotobioreaktory), czyli zamkniętych zbiorników, z dostępem światła (niezbędnym do fotosyntezy i przekształcenia energii świetlnej w chemiczną i wytwarzania przez glony związków chemicznych). Do zalet takich systemów można zaliczyć:

- dają wyższy plon w przeliczeniu na jednostkową powierzchnię w porównaniu z roślinami oleistymi,
- pozwalają uzyskać znaczną kumulację olejów w biomasie,
- zapewniają korzystny bilans emisji dwutlenku węgla. Zużycie przez glony CO_2 wynosi 1,83 kg na 1 kg biomasy,
- kontrolują produkcję biomasy,
- mniejsze zużycie wody w przeliczeniu na jednostkową produkcję biomasy,
- do produkcji biopaliw z glonów można wykorzystywać wody ściekowe, a ich oczyszczenie wymaga usunięcia azotu amonowego, fosforanów i azotanów;

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

b) stawów glonowych - czyli systemów otwartych z zawieszonymi w nich glonami, z ciągłym doprowadzaniem składników odżywczych i dwutlenku węgla. Ich zaletą jest prosta konstrukcja i łatwość eksploatacji, wadami natomiast mała efektywność wykorzystania światła, niedostateczna kontrola procesu, tj. temperatury, stężenia substancji odżywczych, odczynu [15,57].

W tabeli 2.3 przedstawiono budowę chemiczną olejów wyprodukowanych przez niektóre gatunki glonów.

Tabela 2.3. Skład chemiczny kwasów tłuszczowych wybranych glonów [31,37,57]

Rodzaj/gatunek glonów	**Skład kwasów tłuszczowych % [m/m]**								
	C16:0	**C16:1**	**C18:0**	**C18:1**	**C18:2**	**C18:3**	**C20:4**	**C20:5**	**C20:6**
Botryococcus braunii	15,4	10,6	28,2	13,3	22,12	-	-	-	-
Chlorella vulgaris	26,0	2,0	16,0	24,0	20,0	-	-	-	-
Chlorella protothecoides	12,9	-	60,8	17,3	-	20,0	-	-	-
Nitzschia laevis	15,4	1,3	7,9	1,9	0,8	0,8	3,7	11,9	30,0
Scizochytrium spp.	55	-	1,0	5,0	-	-	13,0	-	-

Glony syntetyzują triacyloglicerole (TAG) wówczas, gdy utracą zdolność podziału, na skutek braku wystarczającej ilości azotu na podłożu, w którym są umieszczone. Tabela 2.4 przedstawia przykładowe wydajności oleju wyprodukowane przez różne gatunki/rodzaje glonów.

Do trzeciej generacją biopaliw zalicza się również produkcję wodoru z zastosowaniem metod biotechnologicznych, takich jak fermentacja ciemna i procesy z udziałem bakterii fototropicznych [37].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Tabela 2.4. Stężenie oleju u wybranych gatunków/rodzajów glonów [31,37]

Rodzaj/gatunek glonów	Stężenie oleju [% suchej masy]
Botryococcus braunii	25 – 75
Chlorella vulgaris	28 – 32
Crypthecodinium cohnii	20
Cylindrotheca sp.	16 – 37
Dunaliella primolecta	23
Isochrysis sp.	25 -33
Monallanthus salina	>20
Nannochloris sp.	20 - 35
Nannochloropsis sp.	31 - 68
Neochloris oleoabundans	35 - 54
Nitzschia laevis	45 - 47
Phaeodactylum tricornutum	20 - 30
Schizochytrium spp.	50 - 77
Tetraselmis sueica	15 - 23

Paliwa IV generacji zaliczane są do paliw, w których ważnym czynnikiem przy ich produkcji jest możliwość wychwytu i składowania węgla (CCS – Carbon Capture and Storage). Surowcem mają być rośliny o zwiększonej asymilacji dwutlenku węgla w czasie upraw. Technologie przy utylizacji zużytych biopaliw IV generacji zapewnią redukcję tych biopaliw do węgla, tlenku węgla lub metanolu lub magazynowanie w wyrobiskach ropy naftowej i gazu ziemnego [16,21,31].

Ze względu na zasadniczy cel wprowadzania biopaliw jako paliw samoistnych, bądź jako komponentów paliwowych, który wynika z konieczności obniżania emisji ditlenku węgla, zasadnym jest uwzględnienie jako potencjalnych biopaliw także paliw powstających w wyniku syntezy bądź wykorzystywania odpadowego dwutlenku węgla w procesach wytwarzania nośników energii dla celów transportowych. Przykładem prac prowadzonych w tym zakresie mogą być badania polegające na otrzymywaniu gazu syntezowego z dwutlenku węgla i pary wodnej, w oparciu o katalizowany proces z wykorzystaniem energii słonecznej [15].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

3. Aspekty prawne w zakresie produkcji biopaliw

3.1. Rozwój polityki w Unii Europejskiej w zakresie biopaliw

Temat biopaliw na świecie i w Polsce jest od wielu lat podejmowany i równie często wzbudza wiele kontrowersji. Już w latach 30 ubiegłego stulecia model samochodu opracowany przez T. Forda, był pierwotnie zaprojektowany do poruszania się na bioetanolu [131].

W Europie, ze względu na rosnący rozwój motoryzacji, a co za tym idzie wzrost emisji gazów cieplarnianych, rozwój biopaliw przyspieszyło wprowadzenie w 1997 roku, tak zwanej Białej Księgi. W 2000 roku Komisja Europejska opracowała strategię bezpieczeństwa energetycznego tzw. COM (2000)769, zakładającą udział do 2020 roku co najmniej 20% udział paliw alternatywnych w transporcie [38]. Dyrektywa 2003/30/WE z 2003 roku „w sprawie wspierania użycia w transporcie biopaliw lub innych paliw odnawialnych" zakładała stopniowe zwiększanie udziału biopaliw, od poziomu minimalnego 2% w 2005 roku, 5,75% w 2010 r., żeby w 2020 r. osiągnąć 20% [39]. W 2006 roku nastąpił przełom w promowaniu energetyki odnawialnej. Komisja Europejska ogłosiła tzw. Zieloną Księgę, będąca strategią Europy na rzecz zrównoważonej, konkurencyjnej i bezpiecznej energii. Zostały w niej przedstawione główne obszary priorytetowe w zakresie polityki energetycznej [38]:

- dokończenie budowy europejskich rynków wewnętrznych energii elektrycznej i gazu,
- bezpieczeństwo i konkurencyjność zaopatrzenia w energię,
- zmiana klimatu,
- innowacje w zakresie technologii energetycznych,
- solidarność państw członkowskich.

Obecnie najważniejszymi dokumentami są: Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady UE 2009/28/WE i jej nowelizacja z 2015 roku, w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych oraz Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/30/WE (RED). W Dyrektywie 2009/28/WE przyjęto między innymi zapis, że każde państwo członkowskie powinno promować stosowanie zaawansowanych biopaliw oraz dążyć do osiągnięcia minimalnego zużycia biopaliw w transporcie ze źródeł odnawialnych, który powinien wynieść co najmniej 20% do 2020 r., w tym udział biopaliw II ma zastąpić częściowo biopaliwa I generacji [39,40,41].

W tabeli 3.5 przestawiono regulacje prawne Unii Europejskiej w zakresie stosowania paliw ze źródeł odnawialnych i biopaliw.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Tabela 3.5. Rozwój regulacji europejskich w zakresie stosowania biopaliw [40]

Instrumenty prawne		Ogólny podział rynku biopaliw	Wielokrotne liczenie biopaliw II generacji	Redukcja emisji GHG	Bezpośrednia emisja GHG spowodowana zmianą użytkowania gruntów	Max. udział w rynku biopaliw I generacji	Min. udział w rynku biopaliw II generacji
Poprzednie regulacje prawne UE	*COM(97)599*	6% w 2010	-	-	-	-	-
	COM(2000)769 *COM(2001)264*	7% w 2010 20% w 2020	-	-	-	-	-
	COM(2001)547 *2003/30/EC*	2% w 2005 5,75% w 2010	-	-	-	-	-
Bieżące regulacje prawne UE	*2009/28/EC* *2009/30/EC*	2% w 2014 4% w 2017 6% w 2020	Podwójne liczenie	35% w 2009 50% w 2017 60% w 2018	-	-	-
Proponowane zmiany regulacji prawnych UE	*COM(2012)595*	6% w 2010	podwójne – poczwórne liczenie	60% w 2014	brak bonusu	5% w 2020	-
	20012/0288(COD)	7% w 2010 20% w 2020	podwójne – poczwórne liczenie	35% w 2017 60% w 2018	brak bonusu	5,5% w 2020	2% w 2020

dLUC – bezpośrednia zmiana sposobu użytkowania gruntów; iLUC – pośrednia zmiana sposobu użytkowania gruntów

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

3.2. Regulacje prawne dotyczące stosowania biopaliw w Polsce

Polski sektor biopaliwowy jest kształtowany przez politykę Unii Europejskiej. Pierwszą regulacją prawną związaną z odnawialnymi źródłami energii było Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 2 lutego 1999 r., i zastąpione Rozporządzeniem z 15 grudnia 2000 r., a dotyczące obowiązku zakupu energii elektrycznej i cieplnej ze źródeł niekonwencjonalnych (Dz. U. z 1999 r., Nr 13, poz. 119, Dz. U. z 2000 r., Nr 122, poz. 1336) [119,120]. 30 maja 2003 r. zostało ono zastąpione rozporządzeniem Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej, w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła z odnawialnych źródeł energii oraz energii elektrycznej wytwarzanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła (Dz. U. z 2003 r., Nr 104, poz. 971) [121]. Zgodnie z zawartymi regulacjami w wyżej wymienionym rozporządzeniu, na wszystkie przedsiębiorstwa zajmujące się obrotem energią elektryczną nałożono konieczność zapewnienia w sprzedaży energii elektrycznej udziału energii z Odnawialnych Źródeł Energii (OZE). W 2005 roku, gdy Polska stała się członkiem Unii Europejskiej, nastąpiło dostosowywanie krajowych regulacji dotyczących OZE do praw unijnych, a szczególnie do dyrektywy 2001/77/WE. Na jej podstawie 2 kwietnia 2004 r. została uchwalona ustawa „Prawo energetyczne" oraz "Prawo ochrony środowiska", które to ustawy korzystnie wpłynęły na rozwój sektora odnawialnych źródeł energii w Polsce. 25 sierpnia 2006 r. została przyjęta Ustawa o biokomponentach i biopaliwach ciekłych (Dz. U. 06.169.1199 z 25 września 2006 r.) [133]. Ustawa określała i wymieniała dopuszczalne do produkcji i obrotu w Polsce biopaliwa. Poza tym, od 1 stycznia 2008 r. na mocy wyżej wymienionej ustawy, przedsiębiorcy i rolnicy prowadzący działalność gospodarczą w zakresie wytwarzania, importu wewnątrzwspólnotowego paliw ciekłych, zobowiązani byli zapewnić minimalny udział biokomponentów i innych paliw odnawialnych w ogólnej ilości paliw ciekłych i biopaliw ciekłych sprzedawanych lub zużywanych na potrzeby własne. W dniu 5 grudnia 2017 Ustawa została znowelizowana, a obowiązuje od 1 stycznia 2019 roku. Znowelizowana Ustawa dostosowuje polskie prawo do przepisów Unii Europejskiej dotyczących jakości benzyny i olejów napędowych oraz promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych [134].

W dniu 23 lipca 2007 r. Rada Ministrów przyjęła Wieloletni Program Promocji Biopaliw na lata 2008 – 2014. Zwiększał on promocję biopaliw i biokomponentów w transporcie. Innym istotnym dokumentem związanym z realizacją ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych było Rozporządzenie z 15 czerwca 2007 w sprawie Narodowych Celów Wskaźnikowych (NCW)

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

na lata 2008 – 2013 (Dz. U. Nr 110, poz. 757). Rozporządzenie to określało minimalny wskaźnik udziału biokomponentów dodawanych do paliw płynnych. W tabeli 3.6 przedstawiono zestawienie obowiązujących wskaźników NCW wyrażonych w wartości energetycznej oraz przeliczenie ich na wartości masowe [122,134,140]. Dodatkowo w roku 2011 podczas nowelizacji Ustawy o zmianie ustawy o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw oraz niektórych innych ustaw wprowadzono pojęcie tzw. współczynnika redukcyjnego, który wyniósł 0,85 i obniżał on ilości minimalne stosowanych biopaliw. Współczynnik ten wprowadzono na lata 2012-2013. W 2013 roku zostało wydane rozporządzenie, które określało współczynnik redukcyjny również w wysokości 0,85 na lata 2014-2017 [122]. Zgodnie ze znowelizowaną Ustawą o biokomponentach i biopaliwach z 2017 roku, na lata 2018 i 2019 wysokość współczynników redukcyjnych została określona na poziomie: 0,86 – w 2018 r. i 0,82 – w 2019 r. [134]

Tabela 3.6. Obowiązujące wskaźniki NCW w wartości energetycznej na lata 2008 - 2020 [122,134,140]

	2008	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013-2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Wskaźnik ogółem NCW	3,45	4,60	5,75	6,20	6,65	7,10	7,10	7,5	8,0
NCW zredukowany	-	-	-	-	5,65	6,04	6,04	6,45	6,56
Dla estru metylowego	3,93	5,23	6,54	7,05	7,50	7,96	7,96	-	-
Dla bioetanolu	5,50	7,34	9,17	9,89	10,61	11,33	11,33	-	-

Narodowy Cel Wskaźnikowy – NCW jest definiowany jako; minimalny udział biokomponentów i innych paliw odnawialnych w ogólnej konsumpcji paliw i biopaliw ciekłych zużywanych w ciągu roku kalendarzowego w transporcie, obliczany według dolnej wartości

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

opałowej. Obecnie obowiązuje znowelizowana w 2017 roku, Ustawa o biokomponentach i biopaliwach ciekłych, która przewiduje m. in. optymalizację kosztów Narodowego Celu Wskaźnikowego (NCW), czyli minimalnego udziału biokomponentów i innych paliw odnawialnych w ogólnej ilości paliw ciekłych i biopaliw ciekłych, zużywanych w ciągu roku w transporcie. Nowe regulacje ograniczają koszty realizacji NCW ponoszone przez wytwórców i importerów paliw poprzez dostosowanie ich do potencjału i technologii dostepnych na polskim rynku oraz poprawiają jego przejrzystość. W Ustawie została wprowadzona opłata zastępcza, którą, podmioty, które w latach 2018-2019 zrealizują NCW w 85%., z reszty obowiązku będą mogły się wywiązać za pomocą tej opłaty. NCW obowiązuje wszystkie rafinerie i inne firmy wprowadzające do obrotu paliwa. Prawo w Polsce stanowi, że kto nie spełniłby wymogów wynikających z realizacji przedmiotowego wskaźnika zgodnie z art. 33 ust. 1 Ustawy o biopaliwach i biokomponentach podlega każe pieniężnej („Karze pieniężnej podlega ten, kto będąc podmiotem realizującym Narodowy Cel Wskaźnikowy, nie wykonuje obowiązku, o którym mowa w art. 23 ust. 1 [134]. Wysokość kary oblicza się z zależności [122,134]:

$$K = \mathrm{A} \bullet W \bullet (N - R)/100\% \qquad (3.1.)$$

gdzie:

K - wysokość kary, wyrażoną w złotych,

A - współczynnik równy 0,20, wyrażony w złotych/MJ,

W - wartość energetyczną paliw ciekłych i biopaliw ciekłych rozporządzonych przez dokonanie jakiejkolwiek czynności prawnej lub faktycznej przez podmiot podlegający karze, a także zużytych przez niego na potrzeby własne, liczoną za rok, w którym podmiot ten nie zrealizował obowiązku wynikającego z art. 23 ust. 1, wyrażoną w MJ;

N - wysokość NCW, do którego realizacji był zobowiązany podmiot,

R - ilość biokomponentów i innych paliw odnawialnych wprowadzonych do sprzedaży lub zużytych na własne cele, wyrażoną w procentach.

Ponadto, aby przygotować polski przemysł petrochemiczny do 2020 roku, a więc do momentu wprowadzenia biopaliw nowej generacji, zaawansowanych i niskoemisyjnych, wprowadzono już od roku 2018 możliwość zaliczenia biokomponentów uprawnionych do podwójnego naliczania. Do takich biopaliw zalicza się paliwa uzyskane z tzw. surowców

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

uprawnionych do tego, czyli wyprodukowane z surowców nieżywieniowych, niepełnowartościowych, odpadowych [134].

Poniżej podano maksymalne ilości biokomponentów uprawnionych do podwójnego naliczania w ramach NCW jakie mogą wprowadzić do obrotu jednostki sprzedające paliwa [134]:

- 0,3% w 2018 r,
- 0,5% w 2019 r.

Kolejnym istotnym dokumentem programowym dla rozwoju OZE i przyjętym przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 r. była „Polityka energetyczna Polski do roku 2030 (PEP2030). Zgodnie z nim, rozwój energii odnawialnej ma istotne znaczenie dla polityki energetycznej Polski. Spośród kierunków rozwoju energetyki w Polsce zbieżnych z pakietem klimatyczno-energetycznym, podstawowe cele zawarte w tym dokumencie to:

- wzrost udziału odnawialnych źródeł energii w finalnym zużyciu energii, co najmniej do poziomu 15% w 2020 r., wzrost 10% udziału biopaliw w transporcie oraz zwiększenie wykorzystania biopaliw nowej generacji,
- dywersyfikacja źródeł dostaw oraz stworzenie optymalnych warunków do rozwoju energetyki rozproszonej, opartej na lokalnie dostępnych surowcach,
- ograniczenie oddziaływania energetyki na środowisko [58, 100].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

4. Cel i zakres pracy

Celem pracy było określenie wpływu II generacji biodiesla na parametry paliwowe zgodnie z normą PN-EN 14214 oraz pracę silnika ZS i emisję składników szkodliwych spalin. Dla realizacji rozprawy doktorskiej było istotne to, aby znaleźć taką roślinę, z której olej pozwoli na wytworzenie biodiesla II generacji. Dodatkowo ważne było ustalenie, czy wpłynie on korzystnie na parametry pracy silnika i/lub emisję zanieczyszczeń. W ramach analizy wytypowano roślinę – palmę Babassu, której olej nie nadaje się na cele żywieniowe oraz w dodatku różni się w około 60% [m/m] składem i układem kwasów tłuszczowych od roślin uprawianych w Europie i Ameryce Północnej, z których aktualnie są produkowane biopaliwa I generacji. Spodziewano się, że odmienny skład kwasów tłuszczowych pozwoli na wytworzenie biodiesla, który będzie się różnił parametrami od biodiesla referencyjnego RME oraz wpłynie korzystnie na parametry pracy i skład spalin silnika ZS. Następnie zostały podjęte próby wytworzenia biodiesla, który swoją czystością spełni wymogi normy PN-EN 14214, czyli w którym zawartość estrów będzie wynosiła co najmniej 96,5% [m/m]. Dodatkowo postawiono sobie za cel, wytworzenia biodiesla z udziałem korzystniejszego niż obecnie używanego, alkoholu. Po badaniach wstępnych tym alkoholem okazał się n-butanol. W procesie transestryfikacji, podczas której rozkładana jest i przebudowywana każda cząstka oleju na cztery mniejsze, wchodzi on do struktury trzech cząstek estrów (dla nas biodiesla) oraz jednej odpadowej cząsteczki - gliceryny. W kolejnym etapie przeprowadzono analizy obejmujące określenie parametrów wytworzonego biodiesla II generacji z oleju babassu (BBuE) i porównanie ich z parametrami dla referencyjnego biodiesla RME oraz dodatkowo dla porównania z handlowym olejem napędowym. W następnym etapie przeprowadzono badania silnikowe na hamowni silnikowej, których celem było określenie wpływu zasilania silnika biodieslem BBuE na parametry efektywne pracy N_e i M_o oraz na emisję składników spalin oraz jednostkowe i godzinowe zużycie paliwa. Analogiczne badania przeprowadzono dla RME i oleju napędowego. Spodziewano się że biodiesel BBuE, który zawiera 60% [m/m] estrów kwasów tłuszczowych o krótkich łańcuchach węglowych, czyli od C-6 do C-14, wpłynie korzystnie na parametry zapłonowe, temperaturę początku destylacji, liczbę cetanową, może wartość opałową, a więc kluczowe parametry paliwowe. Badania miały pokazać, jak się zmieniają poszczególne parametry, które są lepsze niż biodiesla RME obecnie używanego, a które gorsze. Następnie, jakie będą osiągi silnika zasilanego biodieslem II generacji BBuE, a jaka toksyczność spalin.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Jako narzędzia badawcze została wykorzystana aparatura badawcza pochodząca z różnych laboratoriów. Badania parametrów paliwowych wykonano w laboratoriach następujących jednostek: Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Małopolskie Centrum Odnawialnych Źródeł Energii „BioEnergia". Natomiast badania silnikowe wykonano w laboratorium w Politechnice Świętokrzyskiej w Kielcach. Aparatura oraz opracowana metodyka pozwoliły na ocenę parametrów fizykochemicznych wytworzonego biopaliwa BBuE oraz parametrów efektywnych silnika i toksyczność spalin i porównaniu ich z parametrami RME i oleju napędowego, zgodnie z obowiązującymi normami oraz procedurami.

W pracy sformułowano następujące cele szczegółowe:

1. Znalezienie rośliny o innym składzie i układzie kwasów tłuszczowych niż powszechnie używany w Europie olej rzepakowy czy olej słonecznikowy.
2. Wytworzenie biodiesla nowej, czyli II generacji z rośliny nieżywieniowej (oleju babassu), spełniającego normę PN-EN 14214 na ilość estrów w biodieslu. Spełnienie wymienionego założenia pozwala na stwierdzenie, że uzyskane biopaliwo jest rzeczywiście biodieslem.
3. Określenie, czy i ewentualnie w jaki sposób odmienny skład i układ kwasów tłuszczowych w stosunku do olejów z roślin pierwszej generacji wpłynie na zmianę właściwości fizykochemicznych wytworzonego biodiesla oraz parametry pracy silnika. Co z kolei, może przyczynić się do wytworzenia w przyszłości, nowej rośliny na paliwo II i wyższych generacji o polepszonych parametrach.
4. Znalezienie innego alkoholu w stosunku do obecnie używanych do produkcji biodiesla, tak aby uzyskać biopaliwo o polepszonych właściwościach przeciwdziałających anomaliom podczas spalania, które mają miejsce, jeżeli w FAME zostanie pewna ilość nieprzereagowanego alkoholu.
5. Wykonanie badań silnikowych na hamowni silnikowej określających wpływ zasilania II generacji biodieslem na parametry pracy silnika z zapłonem samoczynnym oraz toksyczność spalin. W ramach badań zostaną porównane ww. parametry z parametrami silnika zasilanego estrami metylowymi oleju rzepakowego RME oraz handlowym olejem napędowym.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

W pracy postawiono następujące hipotezy:

H1: Jest możliwe wyprodukowanie biodiesla II generacji z oleju rośliny babassu, który spełni, ze względu na sumaryczną ilość estrów w BBuE, wymogi normy PN-EN 14214:2014.

H2: Odmienny skład i układ kwasów tłuszczowych występujący w oleju babassu (zawiera 60% kwasów od C6 - C14, których nie ma w RME) wpłynie korzystnie na wybrane parametry fizykochemiczne wytworzonego biodiesla BBuE.

H3: Zasilanie silnika biodieslem BBuE w stosunku do zasilania RME i oleju napędowego wpłynie korzystnie na efektywne parametry pracy silnika i/lub emisję niepożądanych składników spalin.

Cel pracy należy uznać za osiągnięty jeżeli uzyska się pozytywne odpowiedzi na postawione hipotezy, czyli:

1. Uda się wytworzyć z oleju babassu (o odmiennym składzie i układzie kwasów tłuszczowych od obecnie używanych do produkcji FAME) biodiesel, który spełni ze względu na ilość estrów w BBuE wymogi normy PN-EN 14214. Gdy parametry paliw uzyskane w wyniku analiz będą mieścić się w granicach dopuszczalnych przedstawionych w stosownych normach. W celu określenia jakości wytworzonych BBuE i dla porównania RME zostaną zostaną przeprowadzone następujące analizy: liczba kwasowa, liczba jodowa, stabilność oksydacyjna, gęstość w temperaturze 15^{o}C, temperatura zapłonu, liczba cetanowa, ciepło spalania i wartość opałowa. Dla lepszej oceny parametrów reologicznych zostanie określona lepkość dynamiczna, której wartości dodatkowo zostaną wyznaczone w funkcji temperatury. Jeżeli lepkość dynamiczna BBuE będzie miała niższe wartości od RME, to okaże się, że charakteryzuje się mniejszymi oporami przepływu i będzie korzystnie wpływał na polepszenie wtrysku, rozpylenia strugi i przyczyni się do skrócenia fizycznego i chemicznego okresu opóźnienia zapłonu.
2. Po przeanalizowaniu 13 parametrów paliwowych, okaże się, że spośród badanych paliw, biodiesel II generacji BBuE będzie charakteryzował się lepszymi wartościami w więcej niż połowie (co najmniej 8) parametrów niż biodiesel I generacji RME.
3. Zasilanie silnika biodieslem II generacji wpłynie korzystnie na efektywne parametry pracy silnika i/lub emisję przez niego niepożądanych składników spalin.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

5. Analiza wskaźników ekologicznych i zużycia paliwa silników o zapłonie samoczynnym ZS, zasilanych estrami kwasów tłuszczowych

5.1. Wprowadzenie

Analiza dotychczasowego stanu wiedzy na temat badań wpływu biopaliw, a w szczególności biodiesli, w stosunku do paliw konwencjonalnych na zasilanie silników, wykazała istotne korzyści m. in. ekologiczne, ekonomiczne, tribologiczne [69,86]. W literaturze przedmiotu opisuje się także, negatywne aspekty stosowania biopaliw w transporcie i ich niepożądanego oddziaływania na środowisko oraz trwałość i żywotność silnika spalinowego [15].

Należy jednak nadmienić, że biopaliwami do silników o zapłonie samoczynnym ZS mogą być jednorodne substancje pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, jak również mieszaniny oleju napędowego ON z biokomponentem [24].

Jako biopaliwa do silników o zapłonie iskrowym są polecane: etanol, metanol, i inne alkohole; etery (etylo-tert-amylowy (TAEE), etylo-tert-butylowy (ETEBE), metylo-tert-amylowy (TAME), metylo-tert-butylowy (MTBE) i diizopropylowy (DIPE)), węglowodorowe paliwa syntetyczne pozyskiwane z biomasy [15].

Do silników o zapłonie samoczynnym (ZS) mają zastosowanie: metylowe bądź etylowe estry wyższych kwasów tłuszczowych, czyli FAME lub FAEE, eter dimetylowy (DME), eter dietylowy (DEE), czyste oleje roślinne, a także węglowodorowe paliwa syntetyczne pozyskane z biomasy [15].

Wzrastające wymagania w zakresie ochrony środowiska naturalnego i poszukiwanie alternatywnych surowców energetycznych wpływają na stały rozwój paliw pochodzenia roślinnego. W poszczególnych krajach Unii Europejskiej przyjęto różne modele stosowania paliwa biodiesel. W Niemczech i Austrii na początku stosowano biodiesel jako paliwo samoistne, czyli B100 oraz mieszanki paliwowe biodiesla z olejem napędowym. We Francji zaczęto wprowadzanie biopaliw, od komponowania ich z paliwami konwencjonalnymi z ropy naftowej. W Polsce, podobnie jak w większości krajów, od początku zaobserwowano obydwa modele, tzn. stosowanie w sprzedaży czystych biopaliw oraz równolegle paliw ropopochodnych z biokomponentem.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Obecnie stosowane silniki, zgodnie z homologacją, niezależnie od rodzaju paliwa, są przystosowane do zasilania paliwem o zawartości do 10% [v/v] biokomponentów. Dla silników ZS można stosować paliwa zawierające 7% [v/v] dodatek biokomponentu, przy czym FAME musi spełnić wymogi normy EN 14214, a olej napędowy i całe paliwo wymogi normy EN 590. Dla benzyn jest to norma EN 228.

Szeroko rozumiana troska o środowisko naturalne, wymusiły od krajów Unii Europejskiej wprowadzanie restrykcji związanych z ograniczaniem emisji szkodliwych związków. Wstąpienie Polski do Unii Europejskiej wymusiło wiele zmian mających na celu ochronę środowiska i wymusiło wprowadzanie w życie różnego rodzaju rozporządzeń. Jednymi z ważniejszych z nich są dyrektywy europejskie, tzw. normy EURO, określające dopuszczalną emisję spalin w pojazdach sprzedawanych we wszystkich krajach członkowskich Unii Europejskiej. Co ważne, stopniowo zwiększają one stopień nakładanych ograniczeń emisji spalin i zostały wyznaczone osobno dla pojazdów z silnikami benzynowymi oraz dla pojazdów z silnikami wysokoprężnymi. W tabeli 5.7 zaprezentowano dopuszczalne wartości emisji spalin dla pojazdów z silnikiem wysokoprężnym [136].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Tabela 5.7. Dopuszczalne wartości emisji spalin w poszczególnych normach EURO dla pojazdów z silnikiem wysokoprężnym o zapłonie samoczynnym [136]

Norma	Zakres i data obowiązywania	CO [g/km]	CO_2 [g/km]	NO_x [g/km]	$HC+NO_x$ [g/km]	PM [g/km]
EURO 1	od 1.07.1992 Dyrektywa 93/59/EEC dla samochodów osobowych oraz dla osobowych i lekkich ciężarówek	3,16	-	-	1,13	0,14
EURO 2	od 1.10.1996 Dyrektywa 94/12/EC i 96/69/EC dla samochodów sobowych	1	0,15	0,55	0,7	0,08
EURO 3	od 1.10.2001 Dyrektywa 98/69/EC dla wszystkich pojazdów	0,64	0,06	0,5	0,56	0,05
EURO 4	od 1.10.2006 Dyrektywa 98/69/EC (2002/80/EC) dla wszystkich pojazdów	0,50	0,05	0,25	0,3	0,009
EURO 5	od 1.09.2009 roku Rozp. Parlamentu Europejskiego nr 715/2007/EC dla lekkich samochodów osobowych i użytkowych	0,5	0,05	0,18	0,23	0,005
EURO 6	od 1.09.2014 roku Rozp. Komisji (UE) nr 459/2012 dla lekkich pojazdów pasażerskich i użytkow.	0,5	0,05	0,08	0,17	0,005

5.2. Charakterystyka wskaźników jakościowych estrów kwasów tłuszczowych wyprodukowanych z różnych surowców

Doskonalenie konstrukcji silników samochodowych związane jest z koniecznością poprawy ich właściwości fizykochemicznych i użytkowych. W obecnych czasach rozwój motoryzacji związany jest z opracowywaniem i produkcją silników, które będą charakteryzować się mniejszą emisją szkodliwych składników spalin, a jednocześnie będą stanowiły efektywne źródło energii. Paliwa alternatywne, które są stosowane w Europie i na świecie, produkowane

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

z naturalnych surowców np. olej rzepakowy, sojowy, cechują się m. in. niską zawartością substancji rakotwórczych, niską emisją węglowodorów, mniejszym zadymieniem spalin, lepszą biodegradowalnością w stosunku do paliw kopalnych [59,66]. Z drugiej strony wyższa gęstość biodiesla powoduje spadek energii o 5 - 6% w stosunku do oleju napędowego, a wyższa lepkość, wynikająca ze struktury chemicznej FAME wpływa na wtrysk paliwa [23]. Liczba jodowa jest wyznacznikiem wiązań nienasyconych w biopaliwie. Wraz ze wzrostem nienasyconych wiązań wzrasta liczba jodowa, a to może prowadzić do powstawania osadów i problemów z trwałością podczas przechowywania biopaliwa [23]. Liczby charakterystyczne, takie jak liczba nadtlenkowa, liczba anizydynowa oraz wskaźnik Totox, odpowiadają za utlenienie tłuszczu i mogą być wyznacznikiem stopnia oksydacji biopaliw. Im wyższe ich wartości, tym gorsze właściwości antyutleniające [68].

Wiele ośrodków naukowo-badawczych na świecie prowadzi badania nad wyprodukowaniem takich "paliw ekologicznych", by były jak najmniej szkodliwe dla środowiska i jednocześnie zapewniały maksymalną sprawność tłokowych silników spalinowych [66]. Niektóre z nich, prowadziły badania eksploatacyjne paliw, polegające na monitorowaniu pracy silnika zasilanego paliwami alternatywnymi w warunkach rzeczywistych, badania zużycia paliw, zanieczyszczenia układu dolotowego, komór spalania i rozpylaczy paliw, pomiary emisji toksycznych składników spalin, kompatybilności materiałów konstrukcyjnych silników z biopaliwem, trwałości elementów silnika i wtrysku paliwa typu Common Rail. Rezultaty przeprowadzonych eksperymentów wykazały, że na osiągi silnika ma wpływ stosunek paliwa typu biodiesel do oleju napędowego [9,11,14,30,34,36,79,81,102,107,108,109,110,113,116]. W tabeli 5.8 przedstawiono wyniki badań, w których wykorzystano biopaliwa w 100% złożone z FAME (estrów metylowych kwasów tłuszczowych) [62,124,126,132].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Tabela 5.8. Porównanie właściwości wybranych biodiesli FAME wyprodukowanych z różnych surowców (opracowanie własne na podstawie literatury: 62,123,126,132)

Surowiec	Lepkość kinematyczna [mm^2/s]	Gęstość [kg/m^3]	Liczba cetanowa	Wartość opałowa [MJ/kg]	Liczba jodowa [$gI_2/100g$ tłuszczu]	Temperatura zapłonu [^oC]	Liczba kwasowa [mg/g]	Temperatura płynięcia [^oC]
Rzepakowy	4,585-11	872-885	37,6-54,5	37,3-39,9	112	177-275	0,26	-
Sojowy	4,057-39,5	885-914	37-51,3	37,3-39,66	117,7	69-163	0,18	-
Słonecznikowy	4,381-4,4	880-885,6	50-51,6	37,5-39,95	128,7	183	0,36	-
Kukurydziany	4,363	885,8	55,4	39,87	101	167	-	-
Palmowy	3,248	876,6	62,1	38,53	50,5	131	0,2	-
Jatropha	4,23	873	-	42.673		148		4,2
Jojoba	19,2	866	63,5	43,38	49	61	0,8	-
Neem	8,8	820	51	40,1	-	-		-
Olej przepracowany	4,869	884,2	55	39,68 ,	63,5	167		-
Diesel	2,44-2,60	850	47-50	42-44	-	68-75	-	20

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

5.3.Wpływ estrów kwasów tłuszczowych na pracę silnika

Biopaliwa lub ich mieszanki z paliwami kopalnymi stosowanymi w silnikach o zapłonie samoczynnym zwykle są oceniane na podstawie charakterystyki silnika, oraz ich wpływu na środowisko naturalne. Najważniejszymi parametrami branymi pod uwagę w pracach badawczych i eksploatacyjnych silników spalinowych są: wydajność, moc pracy silnika, temperatura spalin, jednostkowe i godzinowe zużycie paliwa i sprawność cieplna silnika. Poniżej zostały omówione wyniki różnych badań dostępne w literaturze fachowej związane z testami silnika wysokoprężnego wykorzystującego biodiesel i jego mieszanki, a także olej napędowy jako paliwa referencyjnego i ich wpływ na wyżej wymienione parametry.

5.3.1. Wpływ estrów kwasów tłuszczowych na sprawność termiczną silnika

Sprawność termiczna silnika jest to stosunek mocy silnika do energii uwolnionej przez silnik w przeliczeniu na jednostkę czasu wskutek całkowitego spalania paliwa. Z energetycznego punktu widzenia jest to najważniejszy parametr do oceny osiągów silnika.

Agarwal i in. przeprowadzili badania z wykorzystaniem oleju karanja niepodgrzanego i podgrzanego oleju karanja, które wykazały spadek wydajności sprawności silnika jednocylindrowego, czterosuwowego, z bezpośrednim wtryskiem (Kirloskar; DM-10). W przypadku niepodgrzewanego oleju nastąpił spadek wydajności aż o 45%, przy podgrzaniu oleju karanja wydajność wzrosła, lecz pozostawała nadal na niższym poziomie w porównaniu do oleju napędowego i wyniosła 25%. Według autorów, główną przyczyną była wysoka lepkość biodiesla i mała jego lotność [4].

Rao i in. zaobserwowali nieznaczny spadek sprawności silnika w badaniach z udziałem oleju jathropa i jego mieszanki na jednocylindrowym silniku wysokoprężnym z bezpośrednim wtryskiem paliwa chłodzonym powietrzem [113].

Z przeprowadzonego przez Gumus eksperymentu z użyciem biodiesla z orzechów laskowych w czterosuwowym, jednocylindrowym silniku wysokoprężnym Lombardini 6 LD 400 DI, wynika, że przy niższej wartości opałowej i wyższej lepkości niż wykazuje olej napędowy, nastąpiło wyższe zużycie paliwa i pogorszyła się sprawność termiczna silnika. Dalsze badania wykazały również, że przy większym wtrysku i wzroście stopnia sprężania i ciśnienia wtrysku, sprawność termiczna hamulców wzrosła [48].

Aalam i in. przeprowadzili badania sprawności cieplnej silnika z użyciem mieszanki paliwowej biodiesla z oleju mahua (MME20) z olejem napędowym przy wykorzystaniu

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

zmiennego ciśnienia wtrysku paliwa (220 – 880 MPa). Eksperyment był przeprowadzony na czterosuwowym, jednocylindrowym silniku Kirloskar AV1 i wykazał, że sprawność termiczna silnika wzrosła wraz ze wzrostem ciśnienia wtrysku paliwa. W przypadku biodiesla MME20 i ciśnieniu wtrysku paliwa 22 MPa zaobserwowano nieznaczny spadek sprawności cieplnej silnika o około 1,36%. Wzrost ciśnienia wtrysku zmniejsza zużycie paliwa i poprawia własności mieszanki paliwowej z powietrzem [2].

Akash i in. w swoim eksperymencie nad sprawnością termiczną silnika z użyciem mieszanek biodiesla oleju thumba z olejem napędowym (B10, B20, B30, B40, B50, B100), wykorzystali silnik Kirloskar TV1, jednocylindrowy, czterosuwowy, chłodzony wodą. Wykazali oni wzrost sprawności termicznej silnika w przypadku wszystkich mieszanek biodiesla w stosunku do oleju napędowego. Sprawność wzrastała wraz ze wzrostem obciążenia [1].

Puhan i in. w swoim eksperymencie z udziałem silnika jednocylindrowego, czterosuwowego Kirloskar, odnotowali nieznaczny spadek sprawności silnika w przypadku biodiesla z oleju lnianego w porównaniu z olejem napędowym [103].

Ozsezen i in. przeprowadzili badania w silniku czterosuwowym (6,0 dm^3) CI Ford Cargo o stopniu sprężania 15,9:1, z bezpośrednim, sześciocylindrycznym wtryskiem paliwa zasilanym estrami metylowymi kwasów tłuszczowych (FAME) wyprodukowanymi z przepracowanego oleju palmowego, estrów metylowych oleju canola i oleju napędowy mineralnego. Zaobserwowali oni, że zastosowanie biodiesli ze zużytego oleju palmowego i oleju canola, przy pełnym obciążeniu i przy stałej prędkości obrotowej wynoszącej 1500 obr/min, w minimalnym stopniu przyczyniło się do obniżenia sprawności silnika, odpowiednio o 1,42% dla estrów metylowych przepracowanego oleju palmowego i 0,12% dla estrów metylowych oleju Canova, w porównaniu do oleju napędowego [85].

Banapurmath i in. przeprowadzili eksperyment z nieżywnościowym olejem marotti (*Pongamia glabra*). Badali wpływ tego oleju na sprawność cieplną jednocylindrowego, chłodzonego wodą silnika czterosuwowego, wysokoprężnego Kirloskar TV1. Zaobserwowali oni spadek sprawności cieplnej silnika w przypadku zastosowania estrów metylowych oleju marotti w porównaniu do oleju napędowego. Dzięki zastosowaniu estrów metylowych oleju marotti, przy 80% obciążeniu, uzyskali oni sprawność termiczną silnika na poziomie około 28,4%, podczas gdy w tych samych warunkach przy zastosowaniu oleju napędowego uzyskano sprawność termiczną silnika około 31,3%. Zastosowanie mieszanki estrów metylowych oleju marotti z olejem napędowym B20 poprawiło właściwości termiczne silnika w porównaniu z innymi mieszankami paliw. Zaobserwowano poprawę spalania mieszanki

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

paliwowej, mieszanka biodiesla z olejem napędowym B20 wykazywała lepsze właściwości smarne w porównaniu do oleju napędowego, co spowodowało zmniejszenie strat wywołanych przez siły tarcia. Dalszy wzrost udziału zawartości procentowej biodiesla w mieszance paliwowej zmniejszyło wartość opałową, co w konsekwencji doprowadziło do zmniejszenia sprawności silnika [19].

Raheman i Ghadge zastosowali w swoich badaniach silnik wysokoprężny Ricardo E6 z wtryskiem pośrednim i komorą ze spalaniem wstępnym. Zaobserwowali wzrost sprawności termicznej wraz ze wzrostem stopnia sprężania. Zauważyli oni również, wzrost sprawności silnika, gdy zapewniony był zapłon wyprzedzający. Wynikało to głównie z większej ilości czasu dostępnego na wstrzyknięcie, a co za tym idzie zmniejszenie gwałtownego spalania prowadzącego do niepożądanego efektu wywołanego stukaniem [110]. Ci sami autorzy, w innym eksperymencie z zastosowaniem tego samego silnika, zaobserwowali, że przy współczynniku stopnia sprężania 18:1 i regulacją wtrysku 40° bTDC, sprawność termiczna silnika z użyciem biodiesla z oleju rośliny mahua była porównywalna do uzyskanej przy zasilaniu olejem napędowym [110].

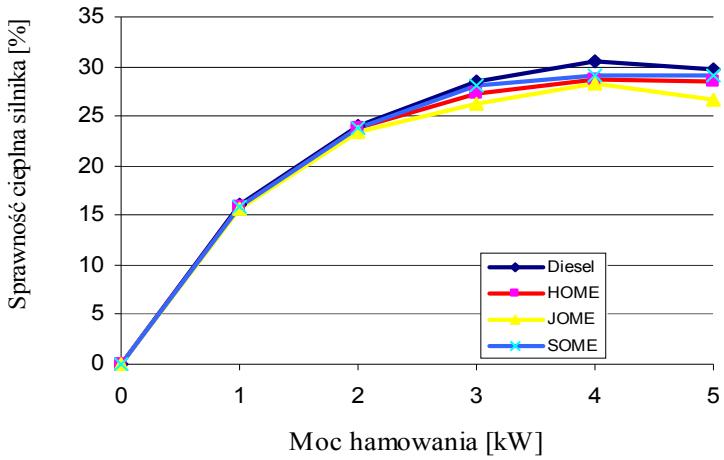
Podobne wyniki przedstawili w swoich pracach Canakci [28] i Zhu i in. [141]. Pierwszy przeprowadził eksperyment na silniku jednocylindrowym, czterosuwowym z turbodoładowaniem John Deere 4276T. Do badań wykorzystał olej sojowy (B100) i jego mieszankę z olejem napędowym (B20). Sprawność cieplna silnika we wszystkich rodzajach paliw była podobna.

Zhu wraz z zespołem swoje badania przeprowadzili z udziałem biodiesla z oleju przepracowanego pozyskanego z firmy Dunwell PetroChemical Ltd. Estry metylowe z oleju zużytego zmieszano z 5%, 10% and 15% etanolu (BE5, BE10, BE15). Sprawność cieplna silnika biodiesla była wyższa niż oleju napędowego Euro V i wzrastała wraz z obciążeniem silnika. Eksperyment wykazał, że sprawność cieplna silnika oleju napędowego Euro V spadła, wskazując na pogorszenie w osiągach silnika. Wzrost sprawności cieplnej paliwa wynikał z poprawy spalania procesu ze względu na zwiększoną zawartość tlenu w biopaliwach z dodatkiem etanolu [141] .

Prace przeprowadzone przez Deore i Jahagirdar z udziałem estrów metylowych olejów jathropa i karanja, na silniku Diesla czterosuwowym, wyposażonym w pojedynczy cylinder, chłodzony wodą o małej pojemności skokowej i mocy maksymalnej 3,5 kW, wykazały, że przy wyższych obciążeniach, sprawność cieplna silnika z użyciem biodiesla z oleju jathropy była wyższa o 9,29% w stosunku do oleju napędowego, a biodiesla z oleju karanja była wyższa o 2,76% w stosunku do oleju napędowego [35].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Na rysunku 5.7 przedstawiono wpływ różnych rodzajów biopaliw na wydajność termiczną silnika w porównaniu do oleju napędowego[17].

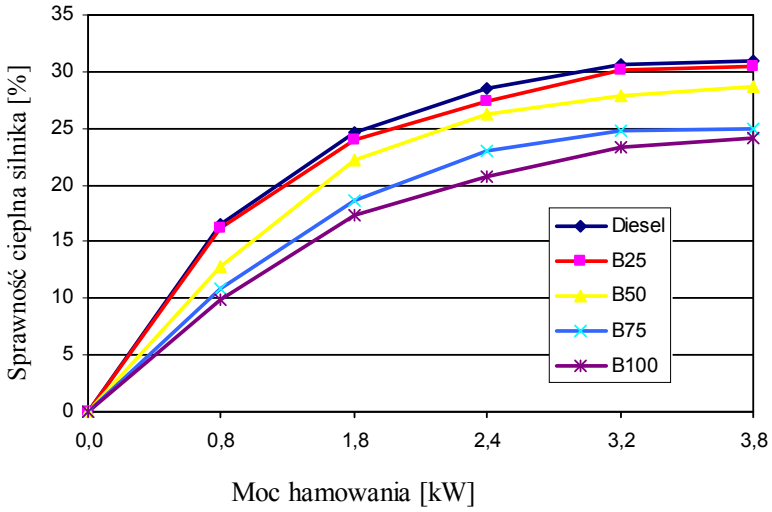


Rys. 5.7. Porównanie wpływu różnych rodzajów biopaliw na sprawność cieplną silnika [17]

Banapurmath i in. wykorzystali estry metylowe olejów: Honge (HOME), jathropa (JOME) i oleju sezamowego (SOME). Jak pokazano na rysunku sprawność termiczna silnika była najniższa przy zasilaniu biodieslem z oleju jathropa (JOME) w porównaniu do innych paliw. Według autorów wynikało to z niskiej lotności, wysokiej lepkości i gęstości oleju jathropa. Wśród testowanych biodiesli największą sprawność termiczną silnika osiągnął biodiesel z oleju sezamowego (SOME) w porównaniu do oleju napędowego. Ogólnie stwierdzono, że wartości wydajności termicznej silnika wyniosły odpowiednio: 30.4% (SOME) 29.51%, (HOME) 29% (JOME) [17].

Na rysunku 5.8 zaprezentowano wyniki badań uzyskane przez Petersom. Przedstawił on wyniki badań dotyczące wpływu jaki miał dodatek biodiesla do oleju napędowego na sprawność cieplną silnika. Autor, do zasilania silnika użył następujących mieszanek biopaliwowych z olejem napędowym: B25, B50, B75, B100. Wartość przy B wskazuje, ile w mieszaninie z olejem napędowym objętościowo znajdowało się biodiesla. Jak wynika z danych zawartych na rysunku 5.7 najwyższą sprawnością cieplną charakteryzował się czysty olej napędowy B0. Biodiesel typu B100 ma najniższą wartość tego parametru. Jednak dodatek 25% [v/v] FAME nie wpłynął znacząco na obniżenie wartości cieplnej. Jest to o tyle ważne, że obecnie większość sprzedawanych na stacjach paliw olejów napędowych zawiera 7% [v/v] FAME, co nie powinno się przełożyć na znaczne zwiększenie zużycia paliwa [88].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.



Rys. 5.8. Porównanie wpływu różnych rodzajów biopaliw na sprawność termiczną silnika [88]

Perumal V. i in. przeprowadzili badania sprawności termicznej silnika badając biodiesel z oleju pongamia i jego mieszanki z olejem napędowym [87]. Zaobserwowali oni, że sprawność termiczna silnika malała wraz ze wzrostem ilości biopaliwa w mieszance paliwowej. Najlepsze rezultaty sprawności cieplnej silnika osiągnięto dla mieszanki paliwowej B20 i była tylko o 2,4% niższa od mineralnego oleju napędowego. Powstanie niejednorodnej mieszanki paliwowej podczas rozpylania jest wynikiem wyższej lepkości i mniejszej lotności spowodowanej tarciem międzycząsteczkowym, a co za tym idzie niepełnym spalaniem i spadkiem sprawności termicznej silnika [10].

5.3.2. Wpływ estrów kwasów tłuszczowych na jednostkowe zużycie paliwa

Jednym z najważniejszych parametrów efektywnych silnika jest zużycie paliwa, scharakteryzowane jako ilość zużywanego przez silnik paliwa w jednostce czasu, przypadające na jednostkę mocy. Ogólnie rzecz biorąc, jednostkowe zużycie biodiesla jest większe ze względu na jego niższą wartość opałową w porównaniu z olejem napędowym. Wynika to głównie z budowy chemicznej samego biodiesla, który zawiera w swoim składzie około 11% tlenu [136].

W literaturze fachowej, wielu autorów przedstawiło wyniki badań dotyczących zasilania silników ZS biopaliwami i m in. ich wpływu na jednostkowe i godzinowe zużycia paliwa.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Badania oceniające biopaliwa przeprowadzone przez Rahemana i Ghadge'a zostały wykonane na hamowni silnikowej wyposażonej w silnik Ricardo E6 o stopniu sprężania 18:1 i kącie początku wtrysku 40^{o} przed GMP o mocy znamionowej 9 kW. Wykonano charakterystykę obciążeniową przy 1500 obr/min, która jest nominalną prędkością obrotową tego silnika. Wykonano również charakterystyki częściowych obciążeń, tj. dla 20%, 40%, 80% i 100% maksymalnego obciążenia. Na podstawie uzyskanych wyników badań, stwierdzono, że jednostkowe zużycie paliwa wzrastało wraz ze wzrostem udziału biodiesla z oleju mahua w mieszaninie z olejem napędowym, natomiast gwałtownie spadło wraz ze wzrost obciążenia dla wszystkich paliw. Średnia wartość jednostkowego zużycia paliwa, dla mieszanek biopaliwa z olejem napędowym, była wyższa w stosunku do czystego ON o około 4,3%, dla B20, 18,6% dla B40, 19,6% dla B60, 31,7% dla B80 i 41,4% dla B100 [110].

Canakci przeprowadził badania porównawcze wpływu zasilania silnika z zapłonem samoczynnym, z wtryskiem bezpośrednim, przy użyciu biodiesla z oleju sojowego w stosunku do zasilania olejem napędowym. Zaobserwował on wzrost średniego jednostkowego zużycia paliwa w przypadku biodiesla o 13% w porównaniu do oleju napędowego [28].

Do podobnych wniosków doszli Puhan i in., którzy w swoich badaniach wykorzystali biodiesel oleju lnianego. Eksperyment przeprowadzili z udziałem silnika czterosuwowego ze stałą prędkością obrotową, chłodzonego powietrzem, z bezpośrednim wtryskiem paliwa. Jednostkowe zużycie paliwa przy użyciu estru metylowego oleju lnianego w całym zakresie obciążenia w porównaniu z olejem napędowym było większe o 9%. Według nich przyczyną takiego stanu rzeczy mogła być wyższa lepkość i niska wartość opałowa estru w porównaniu do oleju napędowego [103].

Ozsezen i in. przeprowadzili badania z wykorzystaniem estrów metylowych zużytego oleju palmowego i oleju canola wykazując, że jednostkowe zużycie paliwa przy zasilaniu sześciocylindrowego, z bezpośrednim wtryskiem paliwa silnika Ford Cargo wzrosło o podobne wartości, jak autorów cytowanych wyżej. Jednostkowe zużycie paliwa dla pierwszego estru (z oleju palmowego) wzrosło o 7,45%, natomiast dla estrów metylowych oleju canola o 6,18% w stosunku do zasilania silnika olejem napędowym. Wyższa gęstość spowodowała wprowadzenie do komory spalania większej ilości paliwa, a wysoka lepkość biopaliw przyczyniły się do pogorszenia rozpylania i spowolnienia tworzenia mieszanki paliwowo-powietrznej biopaliwa w porównaniu do oleju napędowego [85].

Agarwal i in. w swoich badaniach używali czystego oleju karanja i wstępnie ogrzanego oleju karanja. Zaobserwowali oni, podobnie jak inni autorzy, wzrost jednostkowego zużycia

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

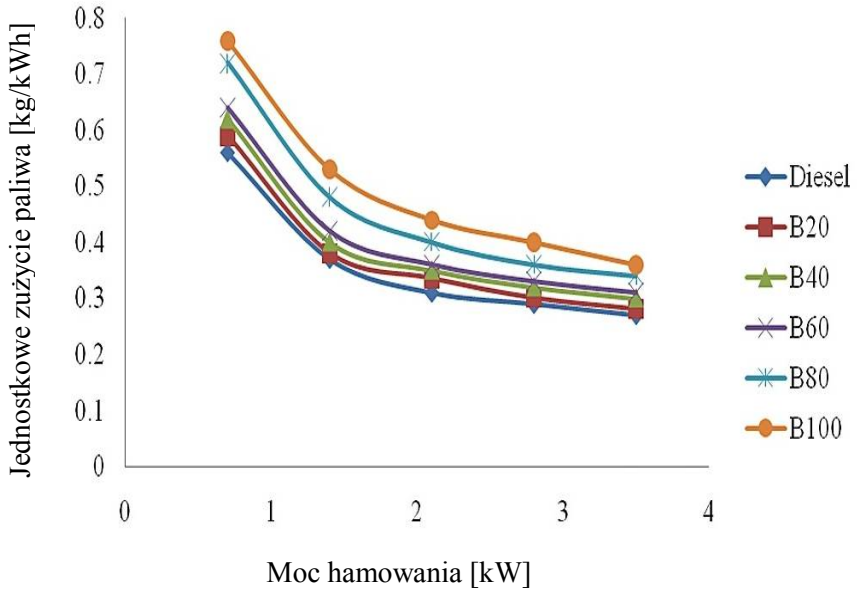
biopaliw w stosunku do oleju napędowego. Jednakże zauważyli oni również, że lepsze właściwości wykazywał wstępnie podgrzany olej karanja. Wynikało to ze znacznie mniejszej lepkości oleju podgrzanego w stosunku do oleju karanja niepodgrzewanego. Jednostkowe zużycie paliwa dla silnika zasilanego podgrzanym olejem było wyższe o 17%, podczas gdy dla nieogrzewanego, aż o 39% w porównaniu do oleju napędowego [4].

Mofijur R. i in. wykazali również, że silniki zasilane mieszaninami estrów metylowych oleju jathropa (JB) i oleju moringa (MB) z olejem napędowym (biopaliwa typu B) zużywają więcej tych paliw w stosunku do czystego oleju napędowego [77]. Jednostkowe zużycie paliwa było wyższe dla mieszanki oleju napędowego z biodieslem z oleju jathropa (JB10 czyli B10) o 3% i dla mieszanki oleju napędowego z biodieslem z oleju moringa (MB10 czyli B10) o 5%. Przyczyn zwiększenia zużycia paliwa dla mieszanek w stosunku do czystego oleju napędowego, autorzy upatrują, w różnych wartościach wskaźników jakościowych paliw, takich jak: gęstość, lepkość i niższa wartość opałowa. Na jednostkę uzyskanej mocy, zużywa się więcej mieszanki oleju napędowego z biodieslem w stosunku do czystego oleju napędowego [71, 88].

Rashedul i in. podczas eksperymentów z zasilaniem silników mieszanką paliwową oleju napędowego z estrami metylowymi oleju tamanu (CB30, czyli B30) oraz dodatkiem butylohydroksytoluenu (BHT) w ilości 1% jako przeciwutleniacza paliwa, zauważyli spadek jednostkowego zużycia paliwa o około 0,4% w stosunku do oleju napędowego. Badania przeprowadzono na hamowni silnikowej wyposażonej w jednocylindrowy, czterosuwowy, wolnossący silnik, o wtrysku paliwa typu Common-rail i mocy znamionowej 7,8 kW [116].

Na rysunku 5.9 przedstawiono wyniki badań określających wpływ dodatku biodiesla oleju pongamia (PME) do oleju napędowego (czyli biopaliw typu B) na jednostkowe zużycie paliwa. Rezultaty przedstawionych badań wskazują, że wraz ze wzrostem w mieszaninie paliwowej biodiesla zwiększyło się jednostkowe zużycie paliwa w stosunku do oleju napędowego. Dla przykładu, zasilanie silnika mieszanką B20 spowodowało wzrost jednostkowego zużycia paliwa o 4,2% [87].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.



Rys. 5.9. Porównanie wpływu różnych rodzajów biopaliw na jednostkowe zużycie paliwa [87]

5.3.3. Wpływ estrów kwasów tłuszczowych na temperaturę gazów spalinowych

Temperatura gazów spalinowych jest wskaźnikiem tempa uwalniania ciepła podczas spalania paliwa. Z uwagi, iż właściwości fizykochemiczne FAME są inne od oleju napędowego, w tym szczególnie gęstość, lepkość oraz parametry związane z lotnością (skład frakcyjny) oraz temperatura zapłonu, napięcie powierzchniowe, dlatego do momentu samozapłonu w komorze spalania silnika, gromadzi się więcej FAME niż oleju napędowego i w chwili spalania mamy do czynienia z większymi przyrostami ciśnienia dp/dα oraz wyższymi temperaturami spalin. Cząsteczki FAME są większe niż cząsteczki oleju napędowego, dlatego podczas wtrysku i rozpylania mikrostruktura strumienia powoduje powstanie innej wielkości kropel biopaliwa niż oleju napędowego. Jak wiadomo podstawowymi parametrami charakteryzującymi mikrostrukturę strumienia są: jakość rozpylenia, która zależy od rozrzutu średnic kropel (różnicy pomiędzy maksymalną i minimalną średnicą kropli), widmo rozpylenia czyli rozkład ilościowy kropel według średnic oraz wartości średnich średnic kropel (arytmetycznej, powierzchniowej, objętościowej i Sautera). Duży wpływ na szybkość spalania wywiera lepkość, ponieważ ciecze o większej lepkości tworzą większe krople. Bardzo duży wpływ na prędkość spalania i szybkość wywiązywania się ciepła wywiera także napięcie powierzchniowe. Ciecze o większym napięciu powierzchniowym rozpadają się na krople o większej średnicy [139].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Jak wynika z badań przeprowadzonych przez Hariram i in., którzy do zasilania silnika użyli mieszanin estrów metylowych oleju z alg z olejem napędowym (mieszaniny typu B5, B10, B15), temperatura gazów spalinowych była wyższa niż przy zasilaniu czystym olejem napędowym. Badania przeprowadzono na jednocylindrowym, czterosuwowym silniku Kirloskar DM10 z bezpośrednim wtryskiem paliwa, o stopniu sprężania 17,5:1 oraz prędkości znamionowej 1500 (obr/min) [50].

Do podobnych wniosków w swych badaniach doszli Pal i in., którzy do zasilania silnika użyli mieszanek paliwowych składających się z oleju Thumba (*Citrullus colocynthis*) i oleju napędowego (zastosowano biopaliwa typu B10, B20, B30) [86].

Buyukkaya użył do zasilania silnika biodiesel z oleju rzepakowego RME i jego mieszaniny z olejem napędowym. Badania przeprowadzono na silniku MAN, z turbodoładowanym, o stopniu kompresji 17/1, maksymalnej mocy silnika 164 kW przy 2100 obr/min oraz maksymalnym momencie obrotowym silnika 819 Nm przy 1600 obr/min. Zaobserwował on, że przy tym samym obciążeniu, wraz ze wzrostem udziału w mieszance RME, wzrastała temperatura gazów spalinowych. Maksymalna temperatura została osiągnięta w przypadku czystego biodiesla (B100) i wyniosła 490^{o}C, podczas gdy w oleju napędowym wyniosła 475^{o}C. Niemniej jednak różnica w maksymalnych temperaturach nie była duża i wynosiła tylko 15^{o}C [27].

Ambarish i in. zastosowali w swoich badaniach biodiesel oleju palmowego i jego mieszanki z etanolem i metanolem. Mieszanki składały się 85%, 90% i 95% (v/v) biodiesla i odpowiednio 15%, 10% i 5% (v/v) etanolu bądź metanolu. Badania przeprowadzone zostały na jednocylindrowym silniku Diesla. Wnioski wynikające z przeprowadzonych eksperymentów potwierdziły badania innych autorów i wykazały wzrost temperatury gazów spalinowych mieszanek biodiesla z etanolem bądź metanolem stosunku do zasilania czystym olejem napędowym [9]. Według autorów może to być spowodowane krótszym okresem opóźnienia samozapłonu i spalania [11,62].

Podobne wnioski uzyskali Perumal i in., którzy badali wpływ zasilania silnika biopaliwami na parametry pracy silnika. Do zasilania silnika użyli oni estry metylowe z oleju pongamia (B100) i ich mieszaniny z olejem napędowym (B20, B40, B60 i B80). Badania przeprowadzono na silniku badawczym, jednocylindrowym, o zmiennym stopniu sprężania 12:1 do 20:1 z bezpośrednim wtryskiem paliwa Kirloskar AV1, pracującym ze stałą prędkością obrotową 1500 obr/min (prędkością mocy maksymalnej). Dla tego silnika, przy wymienionej prędkości, można uzyskać maksymalną mocy 3,7 kW (5 KM). Wnioski z przeprowadzonych badaniach potwierdzają wyniki innych autorów i wskazują, że dla

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

wszystkich mieszanek paliwowych temperatura gazów spalinowych rosła wraz ze wzrostem mocy hamowania. Dla wszystkich obciążeń temperatura gazów spalinowych oleju napędowego była niższa od przebadanych biopaliw, co zapewne wynikało z mniejszej wartości opałowej biodiesla i jego mieszanek z olejem napędowym [87].

Podobne badania przeprowadzili Kumar i in., a dotyczyły wpływu zasilania silnika biopaliwami. Badaniom poddano estry metylowe oleju mahua. Obiektem badań był jednocylindrowy, badawczy silnik z bezpośrednim wtryskiem Kirloskar. Badania wykonano przy stałej prędkości obrotowej i stałym obciążeniu. Temperatura gazów spalinowych również w tym przypadku była wyższa niż przy zasilaniu olejem napędowym. Według autorów mogło to być spowodowane dłuższym czasem spalania [61].

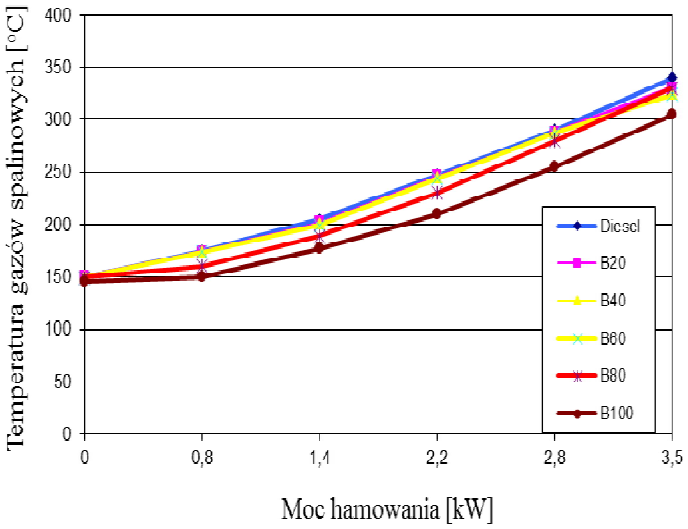
Bueno i in. przeprowadzili badania dotyczące wpływu zasilania biodiesla z oleju sojowego i ich mieszanek z olejem napędowym (paliw typu B5, B10, B15, B20, B30) na parametry pracy silnika. W badaniach wykorzystano sześciocylindrowy silnik z turbodoładowaniem, z bezpośrednim wtryskiem paliwa, o pojemności 4,2 dm^3, stopniu sprężania 17,8:1 wyposażonym w pompę wtryskową Bosch VE rotary. Zaobserwowali oni wzrost temperatury gazów spalinowych zarówno w biopaliwach jak i oleju napędowym [26].

Abu-Hamdeh N. H. i in. badali wpływ mieszanek paliwowych oleju napędowego z biodieslem z oleju z migdałów (B10, B30, B50) na parametry pracy silnika. Do badań wykorzystali silnik o zmiennym stopniu sprężania, który został zamontowany na stanowisku testowym Tequipment TD 43. Pojemność skokowa silnika wynosiła 583 cm^3. Badania przeprowadzono dla pięciu momentów obrotowych silnika od 4 do 20 Nm z przyrostem 4 Nm za każdym razem. Czas wtrysku ustawiono w całym zakresie badań na 21^o przed GMP (górnym martwym punktem) tłoka. Ponadto stopień kompresji utrzymywano na poziomie 18:1. Wyniki eksperymentu wykazały, że spaliny silnika zasilanego olejem napędowym charakteryzowały się niższą temperaturą w stosunku do zasilania biopaliwami typu „B". Wraz ze wzrostem mieszance paliwowej z olejem napędowym biodiesla, temperatura gazów spalinowych wzrastała [3].

Kriszna Reddy A.V. i in. przeprowadzili badania nad estrami metylowymi oleju bawełnianego i jego mieszanek z olejem napędowym, wykorzystując badawczy jednocylindrowy silnik Kirloskar TV1. Wyniki ich eksperymentów pozwalają na stwierdzenie, że temperatura gazów spalinowych wzrosła we wszystkich rodzajach biodiesla i była wyższa niż w przypadku czystego oleju napędowego. Wynikało to z faktu, że wraz ze wzrostem obciążenia, temperatura w komorze spalania wzrasta wraz z większą ilością spalanego paliwa [59].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Na rysunku 5.10 przedstawiono wpływ biodiesla z oleju pongamia i jego mieszanek z olejem napędowym na temperaturę gazów spalinowych [87]. Perumal i in. wykazali, że temperatura gazów spalinowych, tak jak się spodziewano, rosła wraz ze wzrostem obciążenia silnika dla wszystkich paliw. Ponadto rosła wraz ze wzrostem udziału procentowego biodiesla w mieszaninie. Średni wzrost temperatury spalin dla biopaliw typu „B" w stosunku do spalin oleju napędowego wynosił odpowiednio: dla B20 - 6%, B40 - 10%, B60 - 12%, B80 - 14% i B100 - 16%.



Rys. 5.10. Wpływ biodiesla z oleju pongamia i mieszanek z olejem napędowym na temperaturę gazów spalinowych [87]

W tabeli 5.9 przedstawiono wpływ różnych rodzajów estrów kwasów tłuszczowych na parametry silnika, takie jak: moc, jednostkowe i godzinowe zużycie paliwa, temperaturę gazów spalinowych oraz moment obrotowy [32,48,49,50,54,85,102,109,110].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Tabela 5.9. Porównanie wpływu na parametry silnika różnych rodzajów biodiesli i ich mieszanek z olejem napędowym (opracowanie własne na podstawie 32,48,49,50,54,85,102,109,110)

Rodzaj paliwa i zastosowana mieszanka	Moc [%]	Jednostkowe zużycie paliwa [%]	Godzinowe zużycie paliwa [%]	Temperatura gazów spalinowych [%]	Moment obrotowy [%]
Algi B5, B10,B15	↑2,67	↑4	↓	-	↑1,5
Bawełniany B5, B20, 50, B75, B100	↓	-	↑3,5	↓15,8	↓10,4
Canola B5, B10	↑	↑7,69	↑11,7	-	-
Jatropha B10,B20, B30, B50	↓	↓	↑	-	↓
Jojoba B100	↓20	↓15	↑11,5	-	↓16,66
Karanja B20,B40,B60	↑14,81	↑17	-	-	-
Karanja B20,B40,B60,B80,B100	-	↑B20,B40; ↓B60,B80,B100	↓0,8-7,4 B20,B40; ↑11-48 B60,B80,B100	Brak znaczących zmian	-
Kukurydziany B10,B20	↑	↑	↑	-	↑
Mahua B5, B10, B15, B20	↑	↑	↓25	-	-
Mahua B85,B90,B95,B100	-	↓2	↓6	↓2,7	-
Neem B5, B10, B20, B50,B100	10	↑12,2	↓4,8	-	-
Olej przepracowany B10,B20,B50	↑	↑5,1	↑2,1	-	↓1,9
Orzechy włoskie B5,B20, B50,B100	-	↓	↑ 22,66	↓16,7	-
Palmowy B20,B100	↓0,68-1,02	-	↑4,03-4,71	↑	↓
Pongamia pinnata B20-B100	-	-	↓25,57	-	-
Rzepakowy B5, B20, B70	↓8	↑10	↑7,5	↑	↓4
Słonecznikowy B100	↑2,6	↑	↑13	↓2,4	↑1,5
Sojowy B10,B20,B30	↑1,15	↑4,16	↓1,73	-	↑
Sojowy, z orzechów lask., kukurydziany, słonecznikowy, rzepakowy, palmowy, olej zużyty	-	-	↑	↓	-
Tłuszcz zwierzęcy B20,B40,B100	↑	↑	↑	-	-

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

5.4. Wpływ biodiesla na toksyczność spalin

5.4.1. Emisja tlenku węgla (CO)

Toksyczność składników spalin jest przedmiotem wielu badań. Ich emisja przyczynia się do niszczenia warstwy ozonowej, a tym samym zanieczyszczenia środowiska naturalnego i problemów zdrowotnych, m in. trudności z oddychaniem. Głównymi toksycznymi składnikami spalin są: NO_x, THC, CO, CO_2, cząstki stałe PM i zadymienie spalin.

Badania przeprowadzone przez Baczewski K. i in. wykazały, że zawartość tlenku węgla CO zmniejszała się liniowo wraz ze wzrostem estrów w mieszaninie oleju napędowego [15]. Szczególnie było to widoczne, gdy silnik nie miał katalitycznego konwertora spalin.

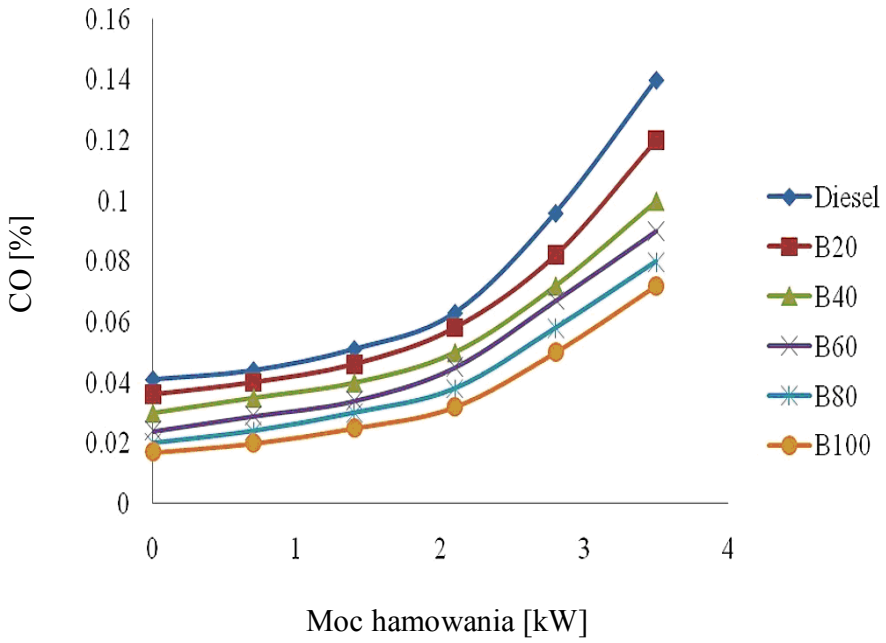
Raheman H. i in. przeprowadzili badania wykorzystując do zasilania silnika wysokoprężnego, estry metylowe oleju mahua (B100) i jego mieszanek z olejem napędowym – B20, B40, B60 i B80. Wykazali oni, że wzrost zawartości estrów w mieszance paliwowej spowodował obniżenie emisji CO. Minimum i maksimum emisji CO wynosiło 0,02-0,2%, co stanowiło odpowiednio 81% i 12% redukcji emisji tlenku węgla w porównaniu do zasilania silnika olejem napędowym. Emisja tlenku węgla CO początkowo spadała wraz z obciążeniem, a później gwałtownie wzrosła przy pełnym obciążeniu. Ten trend zaobserwowano dla wszystkich testowanych mieszanek paliwowych [109]. Według autorów, mniejsza emisja tlenku węgla w przypadku biodiesla i jego mieszanki mogła wynikać, z lepszego ich utleniania w porównaniu do oleju napędowego. Część tlenku węgla tworzącego się podczas spalania paliwa może ulegać konwersji do dwutlenku węgla poprzez pobranie tlenu z biodiesla i powodować redukcję CO [26]. W początkowej fazie zaobserwowano spadek emisji CO wynikający z niższej temperatury panującej w cylindrze. Dopiero wzrost ilości paliwa w cylindrze zwiększył temperaturę i poprawił spalanie paliwa, co skutkowało redukcją CO. Jednak dalsze zwiększenie ilości paliwa, według autorów, może prowadzić do tworzenia większej ilości dymu [109].

Podobne badania na estrach metylowych i etylowych oleju mahua przeprowadzili Puhan i in. wykazali oni, że silnik zasilany biodieslem wydzielał od 67% do 79% mniej CO niż przy zasilaniu olejem napędowym [103].

Perumal i in. podczas badań dotyczących wpływu zasilania silnika biopaliwami na ich toksyczność wykazali, że silnik zasilany FAME emitował mniej CO. Przy czym, najmniej CO wykazywał biodiesel B100 (ponad dwa razy mniej) w porównaniu do oleju napędowego. Do badań użyto biodiesla z oleju mahua oraz jego mieszaniny z olejem napędowym (B20 ,B40,

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

B60, B80, B100). Badania przeprowadzono na jednocylindrowym badawczym silniku Kirloskar AV1 z bezpośrednim wtryskiem paliwa. Silnik pracował w ustalonych warunkach przy prędkości obrotowej 1500 obr/min i zmiennym obciążeniu. Pomiaru emisji tlenku węgla dokonano za pomocą analizatora gazu AVL 444DI (rys. 5.11) [87].



Rys. 5.11. Emisja CO w spalinach silnika Kirloskar zasilanego badanymi paliwami [87]

Mofijur M i in. w swojej pracy nad wpływem mieszanin estrów metylowych oleju jathropa z olejem napędowym do zasilania silnika Yanmar Tf 120-M na toksyczność spalin. Wykazali oni spadek emisji tlenku węgla dla paliw B10 i B20 w stosunku do zasilania olejem napędowym B0. Również wraz ze wzrostem udziału biodiesla w mieszaninie z olejem napędowym emisja CO zmniejszała się [76].

W badaniach Schumacher i in. dotyczących wpływu zasilania silnika 6V-92TA mieszaninami estrów metylowych oleju sojowego z olejem napędowym (paliwa typu B10, B20, B30, B40) na toksyczność spalin, autorzy, zaobserwowali spadek emisji CO w porównaniu do zasilania olejem napędowym [125].

Rakopoulos i in. przeprowadzili badania z udziałem mieszanek estrów metylowych oleju słonecznikowego (B10, B20) i bawełnianego (B10, B20) z olejem napędowym, na stanowisku

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

hamownianym wyposażonym w sześciocylindrowy, z turbodoładowaniem, silnik OM366LA z bezpośrednim wtryskiem (DI), o pojemności 5958 cm^3 firmy Mercedes-Benz. Ten typ silnika jest seryjnie montowany w pojazdach typu mini bus w Atenach [111]. Jak wykazał eksperyment, nastąpił spadek emisji CO podczas zasilania silnika wszystkimi rodzajami mieszanin biopaliw w porównaniu do zasilania olejem napędowym. Badania wykonano dla dwóch prędkości obrotowych 1200 obr/min i 1500 obr/min. Zaobserwowano również, że spadek emisji tlenku węgla CO był wyższy, im wyższy był procentowy udział biodiesla w mieszaninie z olejem napędowym. Autorzy zauważyli także, że zasilanie silnika mieszaniną biodiesla z nasion bawełny z olejem napędowym przyczyniło się do nieznacznie mniejszej emisji CO w porównaniu do mieszaniny biodiesla oleju słonecznikowego z olejem napędowym. Podobną zależność wykazali autorzy Shehata i in. [126].

Habibullah i in. przeprowadzili badania na stanowisku hamownianym wyposażonym w jednocylindrowy czterosuwowy silnik Diesla, TF 120M. Określili wpływ mieszanek biodiesli oleju palmowego i kokosowego na emisję spalin. Podobnie, jak u wyżej wymienionych autorów, nastąpiła redukcja emisji tlenku węgla przy zasilaniu silnika wszystkimi mieszaninami paliwowymi i wyniosła w granicach od około 13% do około 18% w porównaniu do zasilania olejem napędowym. Przy czym PB30 (B30) wykazywało większą emisję CO niż PB15CB15 (mieszanina oleju palmowego i kokosowego zawierająca po 15% [v/v] obydwu FAME z olejem napędowym) o 2,43%. Najniższą emisję CO wykazywała, w stosunku do wszystkich przebadanych paliw, mieszanka paliwowa CB30 (B30 – mieszanina zawierająca 30% (v/v) biodiesla oleju palmowego) [49].

Kumar i in., przeprowadzili badania na jednocylindrowym badawczym silniku Kirloskar AV1 z użyciem mieszanki biodiesla pongamia z olejem napedowym (B20) z dodatkiem ferrofluidu i kwasu cytrynowego jako surfaktantu. Zaobserwowali oni spadek emisji tlenku węgla o ponad 35% dla mieszanki biodiesla z ON (B20) z dodatkiem 1% ferrofluidu [60].

5.4.2. Emisja dwutlenku węgla (CO_2)

Ze względu na budowę chemiczną biodiesel charakteryzuje się mniejszą zawartością węgla wynikającą z zastępowania go tlenem w cząsteczce w porównaniu z olejem napędowym, co przyczynia się do redukcji emisji dwutlenku węgla podczas spalania paliwa.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Sureshkumara i in. w swoich badaniach wykazali spadek emisji dwutlenku węgla o 2-8% z zastosowaniem biodiesla z oleju Pongamia z dodatkiem glikolu dimetylodietylowego [130].

Ozcanli i in. wykazali spadek emisji CO_2 w mieszankach biodiesla z oleju rycynowego z olejem napędowym, przy czym wraz ze wzrostem oleju rycynowego w mieszance paliwowej nastąpił spadek CO_2 [84].

Rao i in. zastosowali w swoim eksperymencie do badania emisji CO_2 biodiesel z oleju bawełnianego. Podobnie, jak wykazali poprzednicy, także Ci autorzy potwierdzili spadek emisji dwutlenku węgla z udziałem biodiesla z oleju bawełnianego w porównaniu do ON [114].

Z drugiej strony wielu autorów wykazało wzrost emisji dwutlenku węgla podczas spalania różnych biopaliw (estrów metylowych oleju rzepakowego, estrów metylowych oleju z ryb) lub jego mieszanek [6,45,80]. Według tych autorów wzrost emisji CO_2 o 10 - 12% spowodowany był zawartością tlenu w strukturze biodiesla. Tlen odpowiada za wzrost temperatury wewnątrz cylindra, poprawia to proces spalania, a w konsekwencji następuje wzrost emisji dwutlenku węgla. Do podobnych wniosków doszli Celikten i in. oraz Nwafor, którzy w swoich badaniach wykorzystali czterosuwowy silnik Diesla z bezpośrednim wtryskiem. Zbadali wpływ mieszanki estrów metylowych oleju rzepakowego z olejem napędowym (B50) bądź estrów metylowych oleju rzepakowego (B100) na proces spalania i emisję spalin tych biopaliw. W obu przypadkach nastąpił wzrost emisji CO_2, odpowiednio w pierwszym przypadku o 0,39%, w drugim o 3,87% w stosunku do oleju napędowego [29,82].

5.4.3. Emisja tlenków azotu (NO_x)

Wyniki badań emisji NO_x są bardzo zróżnicowane. W literaturze przedmiotu przedstawione zostały zarówno badania mówiące o wzroście tlenków azotu podczas spalania różnego rodzaju biodiesli. Często rodzaj silnika i warunki pracy (prędkość obrotowa, obciążenie) mają większy wpływ na emisję tlenków azotu niż obecność estrów kwasów tłuszczowych w paliwie. Poza tym, ilość powstających tlenków azotu zależy od temperatury spalania - tlenki azotu powstają w temperaturze spalania powyżej 1200^{o}C, ilości tlenu w mieszance paliwowej [8,9].

Natomiast wielu autorów, w testach na hamowni podwoziowej stwierdziła, że ilość powstających NO_x była niższa w porównaniu z olejem napędowym [71,78,105,106,132,138].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Sureshkumar i in. badając wpływ estrów metylowych Pongamia na emisję składników spalin, stwierdzili redukcję tlenków azotu dla mieszanek biodiesla z olejem napędowym B40 i B60 [131].

Wcisło G. przeprowadził badania z udziałem paliwa estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego odmiany wysokooleinowej (A) oraz estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego odmiany populacyjnej (B), na silniku Perkins 1104C o zapłonie samoczynnym, pojemności skokowej 4400 cm^3 wyposażonym w filtr cząstek stałych typu CCRT, złożonego z utleniającego reaktora katalitycznego DOC i filtrem cząstek stałych CDPF. Zasilanie silnika biopaliwami A i B, spowodowało zwiększenie emisji NO_x odpowiednio z 7,82 g/kWh do 8,46 g/kWh dla biopaliwa A i do 8,63 g/kWh dla biopaliwa B [136].

Sehata i in., podobnie jak inni autorzy, zauważyli spadek NO_x w przypadku zastosowania mieszanki estrów metylowych oleju jojoba z olejem napędowych w stosunku do czystego oleju napędowego [126].

Lin i in. wykorzystali w swoich badaniach estry metylowe oleju palmowego, sojowego, słonecznikowego, rzepakowego, a także olej zużyty. Zaobserwowali oni wzrost NO_x w stosunku do oleju napędowego, przy zastosowanym wyższym ciśnieniu i temperaturze. Przy czym, największy wzrost emisji tlenków azotu wykazywał biodiesel oleju rzepakowego i wyniósł blisko 26%, zaś najmniejszy wzrost zaobserwowano w estrach metylowych oleju palmowego, około 6% [70].

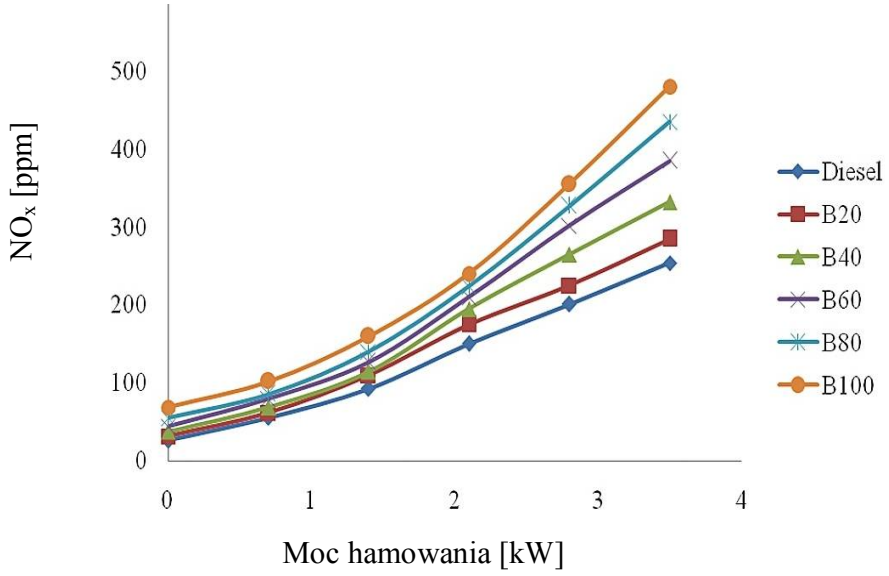
Godiganur i in. wykazali wzrost o blisko 12% emisji tlenków azotu w silniku zasilanym estrami metylowymi oleju mahua i jego mieszankach z olejem napędowym w stosunku do czystego oleju napędowego. Eksperyment przeprowadzono przy wykorzystaniu silnika Ricardo. Ilość NO_x w B20 i B100 wyniosła pomiędzy 17 ppm a 50 ppm w porównaniu do oleju napędowego, którego wartości były w granicach od 17 ppm do 44 ppm. Według autorów koncentracja NO_x wzrasta wraz ze wzrostem temperatury spalin w komorze spalania. Poza tym ilość powstających NO_x wzrosła wraz ze wzrostem ilości wtryskiwanego paliwa [46].

Podobne badania z wykorzystaniem biodiesla z oleju mahua i jego mieszanek przeprowadzili Nayak i in. Wykorzystali oni do badań czterosuwowy silnik, jednocylindrowy, chłodzony wodą. Ich badania wykazały wzrost zawartości w spalinach NO_x wraz ze wzrostem w mieszance paliwowej biodiesla. Najwyższą emisją NO_x charakteryzował się biodiesel B100.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Ilość NO_x wzrastała liniowo wraz ze wzrostem wtrysku paliwa, a spowodowane było to wyższym ciśnieniem panującym w cylindrze i wyższą temperaturą wtrysku [80].

Na rysunku 5.12 zostały przedstawione wyniki badań wpływu estrów metylowych oleju pongamia oraz jego mieszanek z olejem napędowym na emisję tlenków azotu, przeprowadzone przez Perumal i in. [87]. Eksperyment wykazał wzrost emisji tlenków azotu w silniku zasilanym biodieslem z oleju mahua i jego mieszanek z olejem napędowym w porównaniu do referencyjnego oleju napędowego. Największą emisję tlenków azotu zaobserwowano z udziałem czystego biodiesla (B100), a najmniejszą w mieszance 20% biodiesla oleju mahua z olejem napędowym (B20).



Rys. 5.12. Emisja NO_x w silniku wysokoprężnym Kirloskar AV1 zasilanym w biodiesel pongamia i jego mieszanek z olejem napędowym [87]

5.4.4. Emisja węglowodorów (THC) i cząstek stałych (PM)

Wzrost ilości węglowodorów jest związany z długością łańcuchów estrów kwasów tłuszczowych. Estry metylowe zawierające długie łańcuchy charakteryzują się wyższymi temperaturami wrzenia i topnienia, co wpływa na trudniejsze spalanie i ich odparowanie, a w konsekwencji może powodować wzrost zawartości węglowodorów [109].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

W wyniku badań przeprowadzonych w wielu niezależnych ośrodkach badawczych stwierdzono, że zastosowanie biodiesla powoduje obniżenie emisji węglowodorów, tlenku węgla, cząstek stałych i zadymienia spalin emitowanych z silników ZS [27,30,70,75,76,82,107,112,136].

W silniku zasilanym paliwem RME zawartość w spalinach rozpuszczalnych, organicznych cząstek stałych jest znacznie mniejsza (około 46% cząstek stałych) w porównaniu do zasilania olejem napędowym (około 84% cząstek stałych). Najprawdopodobniej tłumaczy się to wyższą zawartością tlenu. Zawartość tlenu w paliwie zwiększa temperaturę spalania, co wpływa na zwiększenie emisji tlenków azotu, a zmniejszenie dymienia [71].

Karabektas i in. oraz Jazair przeprowadzili eksperyment wykorzystując czterosuwowy, czterocylindryczny silnik DI diesel do zbadania wpływu biodiesla z oleju rzepakowego na emisję węglowodorów. Z ich badań wynika, że zastosowanie biodiesla oleju rzepakowego spowodowało wzrost emisji węglowodorów w spalinach [54,56].

Podobne wyniki, czyli wzrost w spalinach węglowodorów, uzyskali Allocca i in. Surowcem do badań emisji THC był biodiesel oleju rzepakowego, a próby przeprowadzono z wykorzystaniem silnika Diesla, jednocylindrowego EURO 5 [6].

Z drugiej strony Karabektas i in. oraz Millo i in. z wykorzystaniem biodiesla z oleju rzepakowego wykazali obniżenie THC w porównaniu do oleju napędowego. W pierwszym przypadku do badań został użyty silnik czterocylindrowy, czterosuwowy Diesel. W drugim przypadku, autorzy przeprowadzili badania z udziałem jednocylindrowego silnika Diesel [55,75].

Mofijur i in., w swoim eksperymencie, zbadali mieszanki biodiesla oleju jathropa z olejem napędowym (B0, B10, B20) wykorzystując silnik Yanmar TF, jednocylindrowy. Zauważyli, spadek emisji węglowodorów (THC) wraz ze wzrostem w mieszance paliwowej z olejem napędowym biodiesla. Wynika to z faktu, że w mieszance z udziałem biodiesla jest tlen, który przyczynia się do lepszego spalania paliwa i redukcji HC. Redukcja HC w B10 i B20 wyniosła odpowiednio: około 3,8% w przypadku B10 i 10,2% w przypadku B20, w stosunku do oleju napędowego B0 [76].

W badaniach Habibullah i in. z wykorzystaniem jednocylindrowego, chłodzonego wodą, czterosuwowego silnika Diesla, TF 120M i użyciem mieszanek biodiesli z oleju palmowego i kokosowego na emisję THC, wykazali redukcję węglowodorów w spalinach silnika, podczas zasilania wszystkimi stosowanymi mieszaninami biopaliw, od 13 do około 18% w porównaniu z olejem napędowym. Przy czym, PB15CB15 (mieszanina oleju palmowego i kokosowego

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

z olejem napędowym) wykazała mniejszą emisję węglowodorów niż PB30 (olej palmowy z olejem napędowym) o 9,35%. Najniższą emisję THC wykazała, w stosunku do wszystkich przebadanych paliw, mieszanka paliwowa CB30 [49].

W przypadku badania wpływu biodiesli i mieszanek paliwowych z udziałem biodiesla na zawartość cząstek stałych (PM) to wielu autorów zaobserwowało ich zmniejszenie.

Bergtorson i in. wykazał spadek emisji PM o blisko 60% w przypadku B100 [22].

Podobne badania przeprowadzili Merkisz i in., na hamowni silnikowej firmy Automex, wyposażonej w hamulec elektrowirowy typu AMX-210/100, z udziałem silnika czterocylindrowego, o zapłonie samoczynnym ZS z bezpośrednim wtryskiem. W badaniach zastosowano estry metylowe oleju rzepakowego (B100) oraz ich mieszaniny (B20 i B50) Pomiary emisji substancji szkodliwych w spalinach odbywały się w warunkach homologacyjnego (13-fazowego) testu ESC. Jak wykazał eksperyment, zasilanie silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym estrami RME spowodowało zmniejszenie emisji cząstek stałych. Zaobserwowano wyraźny spadek wartości emisji godzinowej w każdej fazie testu ESC oraz emisji jednostkowej obliczonej dla całego testu [72].

Wcisło G. przeprowadził badania z udziałem paliwa estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego odmiany wysokooleinowej oraz estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego odmiany populacyjnej, na silniku Perkins 1104C o zapłonie samoczynnym, pojemności skokowej 4400 cm^3 wyposażonym w filtr cząstek stałych typu CCRT. Zasilanie silnika biodieslami RME uzyskanym z wysokooleinowej i populacyjnej odmiany rzepaku spowodowało odpowiednio zmniejszenie emisji PM z 1,4 g/kWh do 0,13 g/kWh dla RME z odmiany wysokooleinowej i do 0,18 g/kWh dla RME z odmiany populacyjnej w stosunku do zasilania olejem napędowym [136].

Lemaire i in. wykorzystali w swoich badaniach biodiesel oleju rzepakowego (B100) oraz jego mieszanki z olejem rzepakowym (B10, B20, B30, B50, B60, B80), które zostały najpierw podgrzane do temperatury 70^oC. Badania przeprowadzono na silniku Diesel z bezpośrednim wtryskiem paliwa. Nastąpiła redukcja cząstek stałych (PM) od 20% do 53% w mieszankach biodiesla z udziałem oleju napędowego [67]. Najprawdopodobniej wynikało to ze wstępnego ogrzania paliwa, co obniżyło lepkość paliw, poprawy w jego rozpylaniu i tworzeniu mieszanki paliwowo-powietrznej i w konsekwencji poprawy spalania biopaliwa [5].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Jeszcze większą redukcję PM zaobserwował Qi i in. badając emisję cząstek stałych w silniku zasilanym biodieslem oleju rzepakowego. Podobnie, jak poprzednicy, obniżenie PM tłumaczą większą zawartością tlenu w komorze spalania i lepszym spalaniem samego paliwa, a w konsekwencji redukcję emisji PM [106].

Labeckas i in., Singer i in. zaobserwowali redukcję emisji PM w paliwie opartym na bazie biodiesla z oleju rzepakowego lub jego mieszanki z olejem napędowym, odpowiednio o blisko 60% i 45% w stosunku do czystego oleju napędowego [65,127].

W tabeli 5.10 przedstawiono wybrane wyniki badań toksyczności spalin przeprowadzone w różnych warunkach i przez różnych autorów.

Tabela. 5.10. Porównanie wpływu na toksyczność różnych rodzajów biodiesli i ich mieszanek z olejem napędowym [opracowanie własne na podstawie 7,32,66,77,87,127,128]

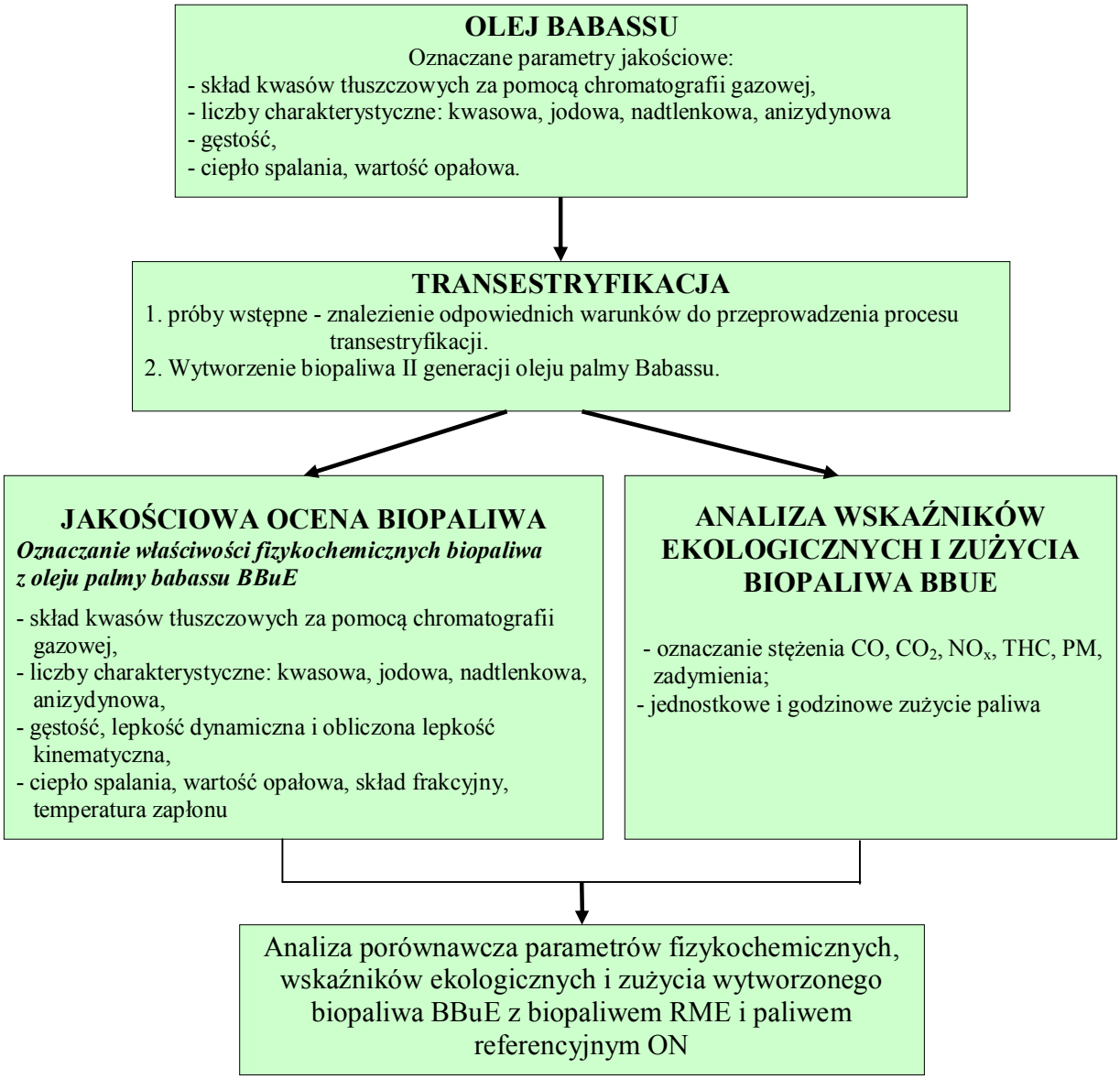
Rodzaj paliwa i zastosowana mieszanka	**CO [%]**	**CO_2 [%]**	**NO_x [%]**	**HC [%]**
Canola B100	↓10	↑4	↓10	↓
Jatropha B100	↓24(B100)	-	↑24(B100)	↓25(b100)
Jojoba B100	↓	-	↑	↑
Karanja B20, B40, B60, B80, B100	↓	↓	↓	-
Karanja B20, B40, B60, B80, B100	↓66	↑	↑47,2	-
Mahua B100	↓	-	↑12	↓63
Neem B5, B10, B15	↓4(B15)	-	↑5(B15)	-
Olej przepracowany B5, B10, B20, B30	↓6,75;7,33;8,32;13,1	-	-	↓10,5;19,9;27,7;36
Rzepakowy B5, B20, B70, B20	↓25,2520,3170,35100	-	↑12(B100);9(B70);	↓
Sojowy B3, B5, B10, B20	↓	↑	↑	↓
Sojowy, z orzechów laskowych, kukurydziany, słonecznikowy,	↓0,68-1,02	-	↑5,58-25,97	↓22,47-33,15

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

6. Metodyka badań

6.1. Harmonogram badań własnych

Na rysunku 6.13 przedstawiono harmonogram prac związanych z wytworzeniem biopaliwa estrów butylowych kwasów tłuszczowych, badań jakościowych oraz badań silnikowych określających wpływ zasilania silnika biodieslem II generacji na parametry pracy silnika i toksyczność spalin w stosunku do zasilania handlowym olejem napędowym i biodieslem RME.



Rys. 6.13. Schemat blokowy przeprowadzonych badań

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

6.2. Obiekt badań

6.2.1.Analiza surowca do produkcji biopaliwa nowej generacji

Do badań wykorzystano zakupiony w Brazylii olej rafinowany palmy babassu. Olej babassu pozyskiwany jest z drzewa palmowego babassu (Orbignya oleifera babassu; Orbignya Cohune Seed Oil). Palma babassu rośnie w tropikalnych lasach Brazylii, głównie na obszarze północno-wschodniej Brazylii, w stanie Maranhao. Obszar występowania w Brazylii drzew palmy babassu to około 17 mln hektarów, co stanowi 94% całkowitej produkcji w Brazylii.

Palma drzewa babassu potrzebuje około 12 lat by stać się dojrzałym drzewem, rodzącym owoce. Orzechy tej palmy dojrzewają od sierpnia do stycznia i osiągają od 10-12 cm długości. Pęczek owoców zawiera od 200 do 600 orzechów. Ich nasiona zawierają około 65% oleju. Olej może być pozyskiwany przez gotowanie albo w procesie tłoczenia na zimno. W końcowej fazie wymagana jest specjalna obróbka, ponieważ występują w nim ślady drożdży i bakterii. W procesie oczyszczania nie stosuje się jednak żadnych rozpuszczalników chemicznych.

Charakterystyka właściwości fizykochemicznych oraz skład kwasów tłuszczowych oleju palmy babassu przedstawiono w tabelach 6.11 i 6.12.

Tabela 6.11. Właściwości fizykochemiczne oleju babassu

Parametr	Olej babassu (OB)
Liczba jodowa (LI) [g/100g]	15,5
Liczba kwasowa (LK) [mg KOH/g]	0,8
Liczba nadtlenkowa (LN) [meqO_2/kg]	2,2
Liczba anizydynowa (LA)	0,87
Wskaźnik Totox	5,27
Gęstość w temperaturze 15^{o}C [g/cm^{3}]	0,914
Współczynnik załamania światła (nD)	1,45

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Tabela 6.12. Profil kwasów tłuszczowych oleju babassu

Kwas tłuszczowy	Wzór sumaryczny	Zawartość kwasów tłuszczowych [% m/m]
Kapronowy	C6:0	**0,57**
Kaprylowy	C8:0	**6,77**
Kaprynowy	C10:0	**4,96**
Laurynowy	C12:0	**36,20**
Mirystynowy	C14:0	**13,35**
Palmitynowy	C16:0	7,79
Palmitoleinowy	C16:1	-
Stearynowy	C18:0	3,33
Oleinowy	C18:1	20,57
Linolowy	C18:2	5,09
Linolenowy	C18:3	1,37
Behenowy	C22:0	-
Erukowy	C22:1	-
Lignocerynowy	C24:0	-
Nerwonowy	C24:1	-
Nasycone kwasy tłuszczowe	**-**	**72,97**
Jednonienasycone kwasy tłuszczowe	**-**	**20,57**
Wielonienasycone kwasy tłuszczowe	**-**	**6,46**

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

6.2.2. Transestryfikacja oleju babassu – próby wstępne

Pomimo stałego rozwoju i wielu badań, nie zostały dotychczas kompleksowo przeprowadzone badania parametrów fizykochemicznych, efektywności energetycznej spalania, zużycia biopaliwa przez silnik, trwałości eksploatacyjnej silnika, a także emisji składników toksycznych spalin biodiesla wytworzonego z oleju palmy babassu.

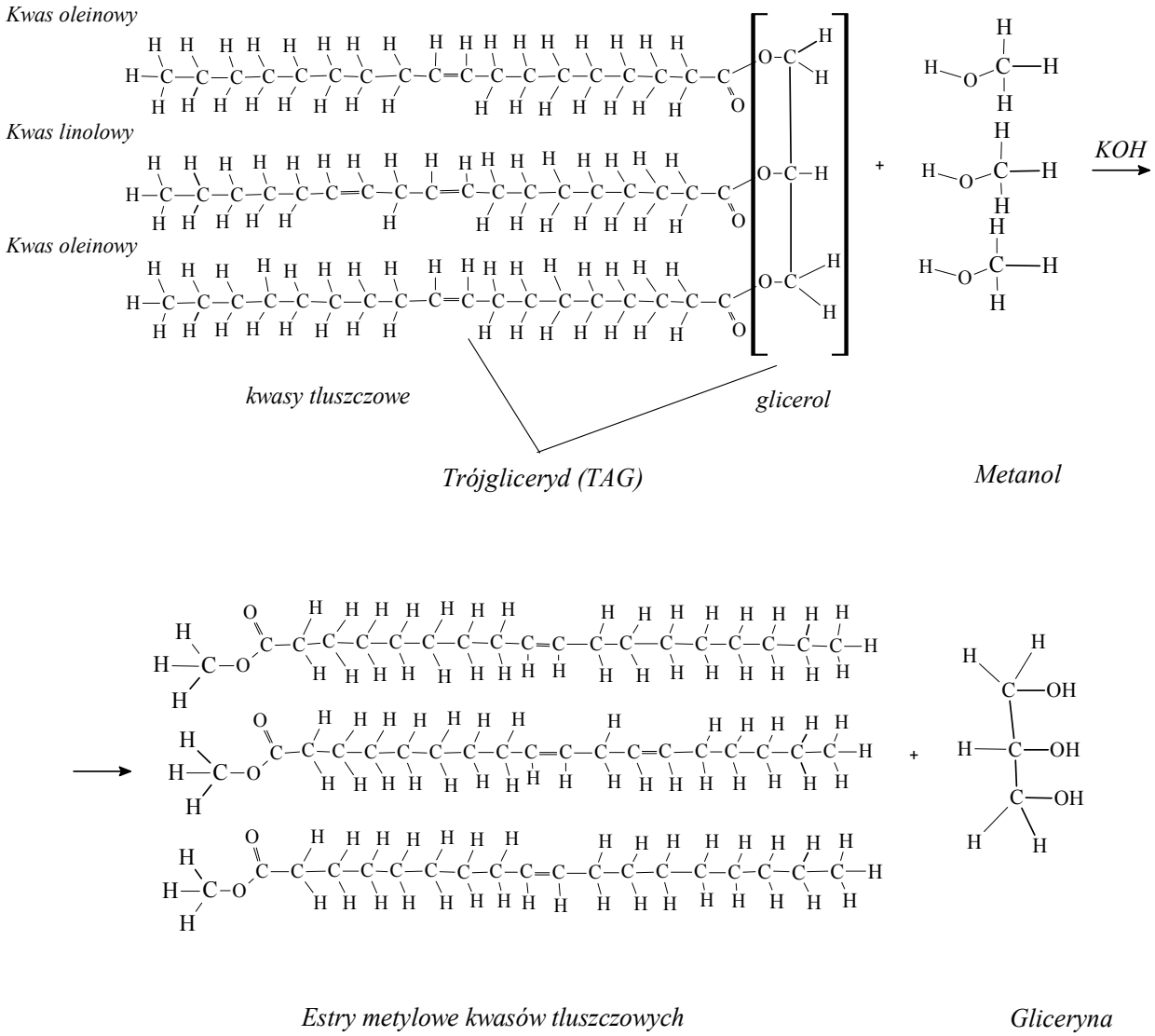
W pierwszym etapie prac skupiono się nad możliwością wytworzenia biodiesla. Natomiast w kolejnych nad określeniem wpływu składu i układu kwasów tłuszczowych biodiesla na parametry fizykochemiczne zgodnie z wymogami PN-EN 14214:2004 oraz parametry pracy silnika o zapłonie samoczynnym i toksyczność spalin.

Na początek, określono wpływ zmiennych parametrów i substratów na stopień konwersji oleju w estry. Zgodnie z wyżej wymienioną normą, aby FAME można było uznać za spełniające normę, stopień przereagowania musi być wysoki, gwarantujący, że zawartość estrów w FAME wyniesie co najmniej 96,5%. Tylko takie paliwo może być wykorzystane do badań jakościowych i silnikowych. Zmiennymi parametrami procesu produkcji były odpowiednio:

- rodzaj alkoholu,
- stosunek ilości alkoholu do oleju, lub jego mieszaniny oraz jego zawartość procentową w stosunku do masy oleju wynoszącą 100g,
- temperatura początku reakcji transestryfikacji,
- czas reakcji.

Otrzymywanie estrów metylowych (etylowych) olejów roślinnych oparte jest na procesie transestryfikacji (rys. 6.14). Proces ten polega na reakcji cząsteczek trójglicerydów z alkoholami (głównie metanolem), w obecności katalizatorów zasadowych lub kwasowych [129].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.



Rys. 6.14. Mechanizm reakcji transestryfikacji triacyloglicerolu z metanolem [129]

Z reakcji transestryfikacji przedstawionej na rysunku 6.14 wynika, że stosunek molowy triacyloglicerolu do metanolu wynosi 1:3. W miarę postępu reakcji stężenie triglicerydów w mieszaninie reakcyjnej maleje, a estrów alkilowych oraz gliceryny wzrasta. Początkowo następuje także wzrost stężenia mono- i diglicerydów, aż do momentu osiągnięcia maksimum, po przekroczeniu, którego ich zawartość zaczyna spadać. W wyniku reakcji transestryfikacji powstają estry (np. metylowe) kwasów tłuszczowych oraz glicerol w stosunku molowym 3:1.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

W praktyce jednak, aby osiągnąć stopień transestryfikacji powyżej 0,98, konieczne jest użycie alkoholu w nadmiarze [68,69]. Wydajność produktu końcowego, szybkość reakcji transestryfikacji glicerydów alkoholami oraz stopień ich przereagowania w dużym stopniu zależą od parametrów prowadzenia procesu, takich jak [5,6]:

- stosunku molowego oleju do metanolu,
- chemicznego składu oleju roślinnego i stopnia jego czystości,
- rodzaju użytego alkoholu,
- temperatury procesu,
- czasu prowadzenia procesu,
- rodzaju użytego katalizatora,
- zastosowanego reaktora lub stanowiska do wytwarzania biopaliw.

Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury fachowej, okazuje się, że wielu autorów uzyskało bardzo wysoki stopień transestryfikacji (95%) z zastosowanie metanolu w stosunku molowym 6:1 (metanol:olej), 0,95% KOH, w temperaturze 45^{o}C [5,6].

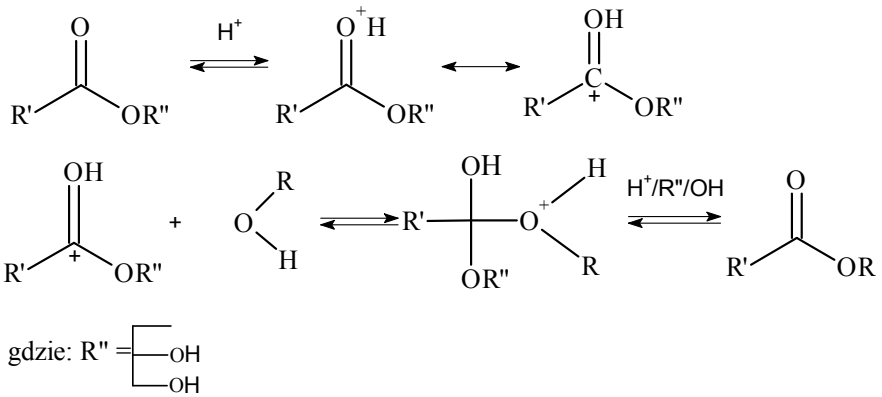
Dlatego w pierwszym etapie, zamierzano przeprowadzić reakcję transestryfikacji z udziałem alkoholu metylowego i katalizatora zasadowego – wodorotlenku potasu, żeby sprawdzić czy można wytworzyć biopaliwo z oleju palmy babassu z zastosowaniem wyżej wymienionych zmiennych. Wytworzenie biopaliwa, spełnajacego wymogi normy PN-EN 14214, która mówi, ze stopień przereagowania powinien wynosić co najmniej 96,5%, było możliwe z oleju palmy babassu, przy zastosowaniu 20% metanolu, 1,5g KOH w temperaturze 60^{o}C.

Z uwagi, iż metanol ma niską temperaturę wrzenia (65^{o}C), spróbowano wykorzystać inny alkohol, który mógłby być skuteczny w procesie transestryfikacji, a co za tym idzie wpłynąć in plus na właściwości fizykochemiczne wytworzonego biopaliwa z oleju palmy babassu. W literaturze przedmiotu przedstawiono wyniki badań reakcji transestryfikacji roślin nieżywnościowych z zastosowaniem alkoholi o dłuższych łańcuchach węglowych [13]. Z pracy m. in. Sanchez wynika, że zastosowanie n-butanolu pozwoliło na uzyskanie wysokiego stopnia przereagowania, spełniającego normy PN-EN 14214 oraz uzyskanie dobrych właściwości jakościowych wytworzonego biopaliwa [94].

W drugim etapie prób wstępnych użyto do reakcji transestryfikacji alkoholu etylowego, mieszanin alkoholu butylowego i alkoholu metylowego lub alkoholu butylowego. Dodatkowo, oprócz katalizatora zasadowego KOH zastosowano katalizator kwasowy H_2SO_4. W związku

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

z tym, że alkohol butylowy charakteryzuje się dłuższym łańcuchem węglowym niż alkohol metylowy i reakcja transestryfikacji przebiega znacznie wolniej, niż z użyciem metanolu, to, aby podnieść jej szybkość, podwyższono temperaturę początku reakcji transestryfikacji. W związku z małą wydajnością przeestryfikowania oleju babassu z użyciem katalizatora zasadowego, zastąpiono katal;izator zasadowy, katalizatorem kwasowym - kwasem siarkowym (VI). Na rysunku 6.15 przedstawiony został mechanizm reakcji transestryfikacji trójglicerydów (TAG) wobec katalizatorów kwaśnych homogennych [135].



R' = łańcuch węglowy kwasu tłuszczowego

R = alkilowa grupa alkoholu

Rys. 6.15. Mechanizm reakcji transestryfikacji oleju rzepakowego wobec kwasowych katalizatorów homogennych [135]

W literaturze użyty kwas siarkowy (VI) w różnych stosunkach, przy produkcji biodiesla, pozwolił uzyskać wydajność procesu transestryfikacji na poziomie 99%. Poprawił także parametry samego biodiesla takie jak: temperatura zablokowania zimnego filtra, liczbę cetanową [13].

Na rysunku 6.16 zaprezentowano stanowisko do wstępnych prób wytwarzania biopaliw typu biodiesel.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.



Rys 6.16. Stanowisko badawcze wytwarzania biodiesla oleju palmy babassu

W tabeli 6.13 zaprezentowano wybrane wyniki badań wstępnych, w których do produkcji biodiesla użyto alkoholu metylowego. Parametrami stałymi procesu była masa oleju oraz czas prowadzenia procesu transestryfikacji. Natomiast parametrami zmiennymi były ilość katalizatora, temperatura początku procesu oraz ilość metanolu w stosunku do ilości oleju babassu. Natomiast w tabeli 6.14 zaprezentowano wybrane wyniki badań wstępnych, w których do produkcji biodiesla użyto alkoholu etylowego, oraz mieszanin alkoholu metylowego z alkoholem etylowym, alkoholu metylowego i butylowego oraz alkoholu butylowego. Parametrami stałymi procesu była masa oleju, masa katalizatora zasadowego KOH. Natomiast parametrami zmiennymi były ilość katalizatora kwasowego, temperatura początku procesu transestryfikacji oraz ilość użytego rodzaju alkoholu bądź jego mieszaniny w stosunku do ilości oleju babassu oraz czas prowadzenia procesu transestryfikacji.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Tabela 6.13. Wybrane wyniki prób wstępnych reakcji transestryfikacji oleju babassu z udziałem metanolu i wodorotlenkiem potasu

Próba	Masa oleju babassu [g]	Masa katalizator KOH [g]	Ilość metanolu [% v/v]	Temperatura początku procesu [^{o}C]	Czas [h]	Zawartość estrów [% v/v]
1.	100	0,8	20	40	1	95,2
2.	100	0,8	40	40	1	54
3.	100	0,8	60	40	1	82,8
4.	100	0,8	40	60	1	49,7
5.	100	0,8	20	60	1	46,4
6.	100	0,8	60	60	1	75,9
7.	100	1,0	20	40	1	77,7
8.	100	1,0	40	40	1	52,5
9.	100	1,0	20	60	1	83,5
10.	100	1,0	40	60	1	81,6
11.	100	1,0	60	60	1	68,3
12.	100	1,5	20	40	1	93
13.	100	1,5	40	40	1	87,6
14.	100	1,5	20	60	1	97,1
15.	100	1,5	40	60	1	67,8
16.	100	1,5	60	60	1	89,7
17.	100	2,0	20	60	1	92,6
18.	100	3,0	20	60	1	80,5

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Tabela 6.14. Wybrane wyniki prób wstępnych reakcji transestryfikacji oleju babassu z udziałem metanolu, etanolu butanolu i ich mieszanin z wodorotlenkiem potasu i kwasem siarkowym(VI)

Próba	**Masa oleju babassu [g]**	**Masa katalizator KOH, H_2SO_4 [% m/m]**	**Rodzaj alkoholu/udział [% v/v]**	**Temperatura początku procesu [^oC]**	**Czas [h]**	**Zawartość estrów [% v/v]**
1.	100	KOH - 1	Etanol - 30	60	1	b. niski stopień przereagowania Brak gliceryny
2.	100	KOH - 1	Butan-1-ol - 20	110	1	b.niski stopień przereagowania Brak gliceryny
3.	100	KOH - 1	Metanol - 15; Etanol - 5	60	1	b.niski stopień przereagowania Brak gliceryny
4.	100	KOH - 1	Butan-1-ol - 10; metanol - 40	60	1,5	84
5.	100	KOH - 1	Butan-1-ol - 40; Metanol - 20	60	1	88
6.	**100**	**H_2SO_4 – 3%**	**Butan-1-ol - 25**	**117**	**2**	**97**

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

6.3. Zastosowana aparatura badawcza

6.3.1. Badania właściwości fizykochemicznych biodiesla BBuE uzyskanego przez transestryfikację oleju palmy babassu

Realizacja celów pracy oraz potwierdzenie bądź odrzucenie słuszności postawionych hipotez badawczych wymagało przeprowadzenia szeregu analiz i doświadczeń. W pracy oznaczono następujące wskaźniki jakościowe spełniające między innymi, wymagania normy dla estrów metylowych bądź etylowych kwasów tłuszczowych PN-EN 14214:2014, a dotyczące biopaliw typu biodiesel oraz innych unormowań.

Zawartość estrów metylowych kwasów tłuszczowych

Oznaczenie estrów kwasów tłuszczowych w oleju babassu przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 5508:1996 [95]. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem chromatografu gazowego SRI 8610C z kolumną Restek RTX-2330, detektorem FID i zastosowaniem wodoru jako gazu nośnego (rys. 6.17).



Rys. 6.17. Stanowisko badawcze wyposażone w chromatograf gazowy SRI 8610C

Gęstość w temperaturze w 15^{o}C

Gęstość wyznaczono zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 3675:2004 za pomocą areometru [99].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Liczba jodowa (LI)

Liczba jodowa została oznaczona zgodnie z normą PN-EN 14111:2004 [93]. Liczba jodowa jest to masa chlorowca wyrażona jako jod, który w określonych warunkach ulega reakcji addycji przez związki zawarte w badanej próbce. Wyznacza ona zawartość związków nienasyconych w badanej próbce. Liczbę jodową opisuje równanie:

$$LI = \frac{12{,}69 \cdot (V_1 - V_0) \cdot C}{m}, \text{[g/100g]} \tag{6.2}$$

gdzie:

V_1 - objętość roztworu tiosiarczanu (VI) sodu użytego do oznaczania próby ślepej [cm^3],

V_0 - objętość roztworu wzorcowego tiosiarczanu (VI) sodu użytego do miareczkowania badanej próby [cm^3],

C - stężenie roztworu tiosiarczanu (VI) sodu [mol/dm^3],

m - masa próbki analitycznej [g].

Liczba kwasowa (LK)

Liczba kwasowa została oznaczona zgodnie z normą PN-EN 14104 [92]. Określa ona ilość miligramów wodorotlenku potasu, niezbędnego do zobojętnienia wolnych kwasów zawartych w jednym gramie próbki. Określa ona stopień hydrolizy tłuszczu. Liczbę kwasową opisuje równanie:

$$LK = \frac{56{,}1 \cdot (V - V_0) \cdot C}{m}, \text{[mg KOH/g]} \tag{6.3}$$

gdzie:

m -masa tłuszczu [g],

V - objętość roztworu wodorotlenku potasu użytego do miareczkowania próby tłuszczu [cm^3],

V_0- objętość roztworu wodorotlenku potasu użytego do miareczkowania próby ślepej [cm^3],

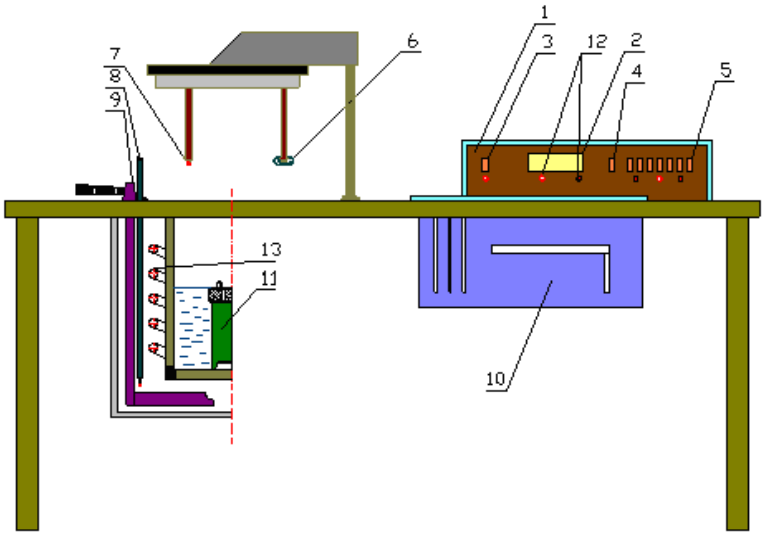
C – stężenie roztworu wodorotlenku potasu, [mol/ dm^3].

Przeprowadzono również badania nienormowane wyżej wymienioną normą, a mianowicie:

Oznaczanie ciepła spalania i wyznaczenie wartości opałowej wytworzonego biopaliwa

Ciepło spalania oznaczono metodą kalorymetryczną zgodnie z normą PN-86/C-04062 przy użyciu kalorymetru KL10 Precyzja BIT (rys. 6.18) [89].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.



Rys. 6.18. Schemat ideowy kalorymetru KL10 [137]

1. urządzenie sterujące, 2. wyświetlacz cyfrowy, 3. przełącznik prądu, 4. start pomiaru, 5. odczyt ciepła spalania, 6. mieszadło, 7. termometr. 8. termometr płaszcza wodnego, 9. mieszadło płaszcza wodnego, 10.układ komputerowy, 11. bomba kalorymetryczna, 12. diody sygnalizacyjne, 13. 13. wężownica

Ciepło spalania próbek biopaliw została wyznaczona przy uwzględnieniu zależności 3.

$$Q_s^a = \frac{C_k \ \Delta t \ - Q_2 m_2}{m_o} + \Delta Q_s \qquad (6.4)$$

gdzie: ΔQ_s - poprawka na przeliczanie ciepła spalania paliwa (wg PN-86/C-04062 dla oleju napędowego wynosi 59 [kJ/kg], natomiast dla oleju opałowego 50 [kJ/kg]. W obliczeniach dla oleju rzepakowego przyjęto wartość ΔQ_s = 50 [kJ/kg].

Wartość opałową paliwa rzepakowego wyliczono na podstawie równania 4.

$$Q_i^a = Q_s^a - 24{,}42(8{,}94 \cdot H - W) \qquad (6.5)$$

gdzie: H - zawartość wodoru w badanym paliwie % [m/m],

W - zawartość wody w badanym paliwie % [m/m].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

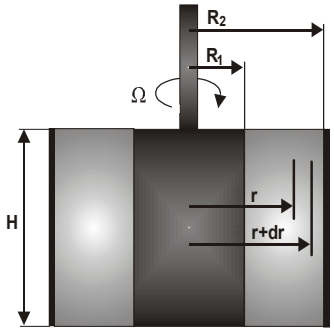
Oznaczanie lepkości dynamicznej wytworzonego biopaliwa w funkcji temperatury

Lepkość dynamiczna została oznaczona za pomocą reometru rotacyjnego wyposażonego dodatkowo w wannę termostatyczną [137]. Na rysunku 6.19 przedstawiono widok stanowiska badawczego do wyznaczania właściwości reologicznych paliw i biopaliw.



Rys. 6.19. Stanowisko badawcze do wyznaczania lepkości dynamicznej, wyposażone w reometr firmy Anton Paar oraz wannę termostatyczna firmy Grant [136]

W reometrze zastosowano układ pomiarowy o dwóch cylindrach współosiowych. Na rysunku 6.20 zaprezentowano schemat ideowy układu pomiarowego z zaznaczeniem wielkości przy pomocy, których wyprowadzono główne zależności na: moment skręcający, szybkość ścinania oraz lepkość dynamiczną.



Rys. 6.20. Układ pomiarowy o cylindrach współosiowych:

Ω - częstość obrotowa wirującego elementu, M - moment skręcający działający na osi wirującego elementu, H - wysokość próbki, r - odległość od osi obrotu, R_1 - promień zewnętrzny wrzeciona reometru, R_2 - promień wewnętrzny tulei cylindra [136]

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Przyjmując, że rozważana próbka ma wysokość *H*, to siła styczna w płynie w odległości *r* od osi obrotów może być wyrażona zależnością 6.6. Biorąc pod uwagę częstość obrotową wirującego elementu oraz średnicę zewnętrzną elementu wirującego R_1 i średnicę wewnętrzną tulei R_2 wypełnionej płynem badanym możemy wyprowadzić zapisaną wzorem 6.7 zależność na siłę ścinającą. Moment skręcający wywoływany przez siłę styczną możemy zapisać ogólnie w postaci $M = F \cdot r$. Natomiast dla układu zastosowanego w reometrze, czyli układu pomiarowego o cylindrach współosiowych, moment skręcający może być wyrażony wzorem 6.8. Siły tarcia stycznego przenoszone przez płyn na cylinder wewnętrzny powodują powstawanie opisanego momentu skręcającego *M*. Uwzględniając powyższe założenia możemy zapisać wzorem 6.9 zależność na lepkość dynamiczną przy zastosowaniu układu pomiarowego o cylindrach współosiowych [136].

$$F_r = 2\pi r H \tau_r \tag{6.6}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{2\Omega}{1 - \frac{R_1^2}{R_2^2}} \tag{6.7}$$

$$M = \frac{4\pi\eta H \Omega}{\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2}} \tag{6.8}$$

$$\eta = \frac{1}{4\pi H}\left(\frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2}\right)\frac{M}{\Omega} \tag{6.9}$$

Oznaczenie temperatury zapłonu

Temperatura zapłonu została wyznaczona zgodnie z normą PN-EN ISO 3679 [98]. Badania temperatury zapłonu biodiesla oleju babassu wykonano na stanowisku wyposażonym w półautomatyczny aparat Herzog HFP 380 (rys. 6.21).

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.



Rys. 6.21. Stanowisko wyposażone w półautomatyczny aparat Herzog HFP 380

Oznaczenie składu frakcyjnego wytworzonego biopaliwa oleju babassu

Skład frakcyjny paliw i biopaliw oznaczono zgodnie z normą PN-EN ISO 3405 metodą destylacji normalnej. Badania wykonano na stanowisku wyposażonym w destylarkę HAD 620/1 firmy Herzog (rys. 6.22) [96,136].



Rys. 6.22. Stanowisko badawcze wyposażone w destylarkę firmy Herzog HAD 620/1

Oznaczenie liczby cetanowej badanych paliw

Jednym z głównych parametrów decydujących o przydatności paliwa do zasilania silnika z zapłonem samoczynnym ZS jest liczba cetanowa (LC). Liczbę cetanową oznacza się na jednocylindrowym silniku badawczym. Oznaczenie LC odbywa się na zasadzie porównania własności zapłonowych badanego paliwa z analogicznymi właściwościami mieszanek paliw wzorcowych o znanych liczbach cetanowych. W Polsce od listopada 2003 roku obowiązuje

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

norma PN-EN ISO 5165. Norma wprowadza dwa rodzaje paliw wzorcowych tzw. wzorce pierwotne i wtórne. Zmieniła się m in. skala LC, która w poprzedniej normie została zdefiniowana jako procent objętościowej zawartości cetanu w mieszance z α-metylonaftalenem (AMN). Cetan miał przypisaną wartość LC=100, natomiast AMN przypisano LC=0. Począwszy od roku 1962 można zamienić składnik o niskiej wartości LC α-metylonaftalen na heptametylononan HMN. Wartość LC dla HMN wynosi 15. Obecnie zgodnie z normą PN-EN ISO 5165 wartość liczby cetanowej oblicza się z wzoru LC=% cetanu (heksadekan) + 0,15 (% HMN). Drugą grupę stanowią paliwa wzorcowe wtórne. Są to mieszanki sporządzoe w proporcjach objętościowych dwóch wybranych mieszanin węglowodorowych oznaczonych jako „paliwo T" o dużej LC oraz „paliwo U" o małej LC. Przy czym każdy zestaw paliw musi być wywzorcowany przez ASTM Diesel National Exchange Grup [53,64].

Przeprowadzenie oznaczeń wartości liczby cetanowej zgodnie z normą PN-EN ISO 5165 jest bardzo żmudne oraz kosztowne. Dlatego poszukuje się alternatywnych metod, które pozwoliły by na uzyskanie powtarzalnych i wiarygodnych wyników oznaczeń paliw. Jest to szczególnie istotne przy oznaczaniu LC paliw syntetycznych i biopaliw, których liczby cetanowe często są bardzo wysokie nawet ponad 65 otrzymuje się duży rozrzut wyników i małą powtarzalność. Wiąże się to m in. z tym, że paliwa takie charakteryzują się innymi właściwościami fizykochemicznymi oraz różnym składem frakcyjnym. Bardziej zintensyfikowane prace nad nowymi metodami oznaczania liczby cetanowej obserwuje się poza Europą, choć w samej Europie są one dopuszczone jako alternatywna metoda. Liczba cetanowa badanych paliw w niniejszej rozprawie została wykonana przy użyciu aparatu CID 510 firmy Herzog (rys. 6.23).

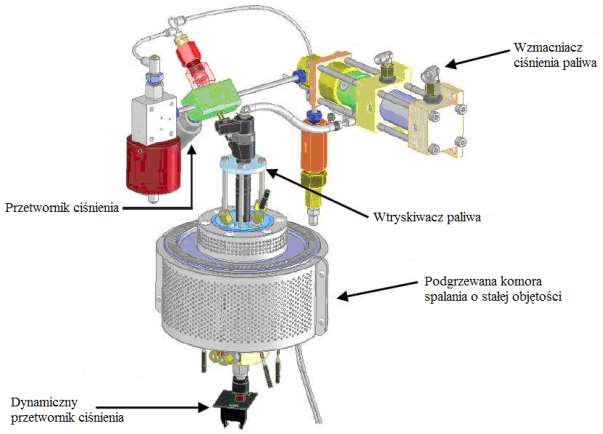


Rys. 6.23. Analizator CID 510 do oznaczenia liczby cetanowej [64, 144]

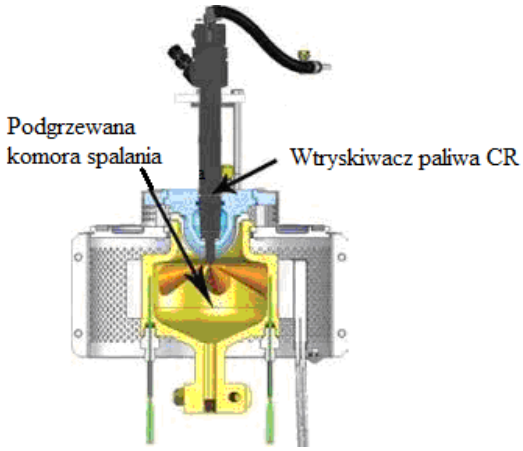
This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Aparat CID 510 pozwala na wyznaczenie liczby cetanowej odmiennym sposobem, ale jak wynika z informacji producenta oraz innych naukowców uzyskiwane wyniki doskonale korelują z uzyskiwanymi klasyczną metodą czyli oznaczeniem przy użyciu silnika tzw. „cetanowca" [53,64]. Aparat jest wyposażony w wielopunktowy wtrysk paliwa, który symuluje pracę współczesnych silników Diesla i zapewnia wtrysk paliwa pod wysokim ciśnieniem do 150 MPa.

Na rys. 6.24 i 6.25 przedstawiono schematy układu wtryskowego aparatu CID 510 i komory spalania.



Rys. 6.24. Układ wtryskowy aparatu CID 510 do oznaczenia liczby cetanowej [144, 145]



Rys. 6.25. Komora spalania CID 510 do oznaczenia liczby cetanowej [144, 145]

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Parametry jakościowe mówiące o stabilności oksydatywnej wytworzonego biopaliwa:

Liczba nadtlenkowa (LN)

Liczba nadtlenkowa została wyznaczona zgodnie z normą PN-EN ISO 3960:2012 [97]. Liczba nadtlenkowa jest miarą stopnia utlenienia tłuszczu. Określa ona ilość związków zawierających reaktywne formy tlenu, tzw. nadtlenki i wyraża się ją jako ilość milirównoważników aktywnego tlenu na kilogram tłuszczu. Liczbę nadtlenkową opisuje równanie:

$$LN = \frac{1000 \cdot (V - V_0) \cdot C}{m}, \text{ [meq}O_2\text{/kg]} \qquad (6.10)$$

gdzie:

V - objętość roztworu tiosiarczanu (VI) sodu użytego do oznaczania próby zawierającej tłuszcz [cm^3],

V_0 - objętość roztworu wzorcowego tiosiarczanu (VI) sodu użytego do miareczkowania próby ślepej [cm^3],

C - stężenie roztworu tiosiarczanu (VI) sodu [mol/dm^3],

m - masa próbki analitycznej [g].

Liczba anizydynowa (LA)

Liczba anizydynowa została wyznaczona zgodnie z normą PN-EN 6885:2001 [91]. Zasada oznaczenia polega na spektrofotometrycznym pomiarze absorbancji przy długości fali λ=350 nm, związków będących wtórnymi produktami utleniania (α-, β-alkenale). Pomiaru dokonano przy pomocy spektrofotometru jednowiązkowego Metertek. Liczbę anizydynową opisuje równanie:

$$LA = \frac{100QV}{m} \cdot [1{,}2 \cdot (A_1 - A_2 - A_0)] \qquad (6.11)$$

gdzie:

V - objętość w jakiej baddana próbka została rozpuszczona [cm^3, V=25 cm^3],

Q - zawartość próbki w zmierzonym roztworze, na podstawie której wyrażona jest liczba anizydynowa (Q=0,01 g/ cm^3) [$gram/dm^3$],

A_0 - absorbancja nieprzereagowanego roztworu do badań,

A_1 - absorbancja przereagowanego roztworu do badań,

A_2 - absorbancja próby ślepej.

Wskaźnik oksydacji tłuszczu Totox

Wskaźnik Totox jest to wskaźnik oksydacji tłuszczów i obliczany jest zgodnie z wzorem [90]:

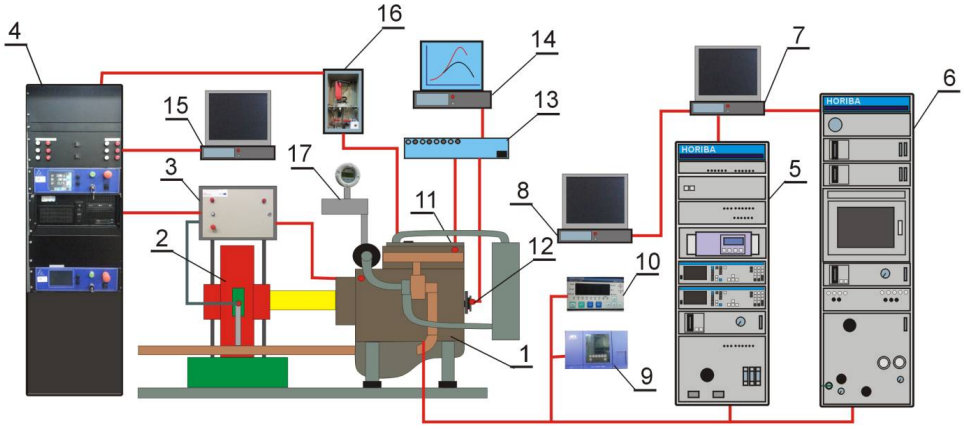
$$\text{Wskaźnik Totox} = 2\,LN + LA \qquad (6.12)$$

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

6.3.2. Wpływ zasilania silnika biodieslem BBuE na pracę silnika oraz toksyczności spalin

Przeprowadzono badania mające na celu określenie wpływu zasilania silnika badanym biodieselm BBuE oraz dla porównania biodieslem RME i olejem napędowym na moc i moment obrotowy oraz dodatkowo na toksyczność spalin. Wykonano dwie serie badań w jednej na charakterystyce zewnętrznej prędkościowej wyznaczono charakterystyki mocy i momentu obrotowego. W drugiej serii na charakterystyce obciążeniowej określono toksyczność spalin oraz jednostkowe i godzinowe zużycie paliw. Badania przeprowadzono na stanowisku hamownianym wyposażonym w tłokowy silnik spalinowy o zapłonie samoczynnym PERKINS 1104D-44TA. Podstawowe elementy stanowiska, takie jak: silnik i hamulec z kompletnym sterowaniem oraz układy umożliwiające pracę silnika umieszczone zostały na wspólnej ramie. Obiektem badań był czterocylindrowy, rzędowy silnik o zapłonie samoczynnym Perkins 1104D-44TA z bezpośrednim wtryskiem paliwa. Silnik ten jest przeznaczony do napędu pojazdów o zastosowaniach pozadrogowych. Spełnia on wymagania norm Stage IIIA i EPA Tier 3 w zakresie emisji spalin silników o wyżej wymienionych zastosowaniach. Podstawowe dane techniczne badanego silnika przedstawiono w tabeli 6.16. Hamulec elektrowirowy typu AMX – 200/6000 firmy Elektromex Centrum może odbierać od silnika moc 200 kW i przenosić moment obrotowy 700 Nm. Podstawowe dane techniczne hamulca zamieszczono w tabeli 6.15. Stanowisko hamowniane zostało wyposażone w komputer stacjonarny wraz z oprogramowaniem firmy Automex do sterowania, kontrolowania i wizualizacji przebiegu badań. Dokładny pomiar zużycia paliwa ciekłego przez silnik umożliwił masowy dawkomierz paliwa firmy Automex. Pomiar zużycia powietrza realizowano za pomocą termicznego, masowego przepływomierza powietrza firmy ABB (rys. 6.26).

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.



Rys. 6.26. Schemat stanowiska badawczego: 1- silnik Perkins 1104D - 44TA, 2 – hamulec Automex AMX 200/6000, 3 – moduł pomiarowy, 4 – szafa pomiarowa z systemem starowania stanowiska, 5 – analizator cząstek stałych Horiba Mexa 1230PM , 6 – analizator spalin Horiba Mexa 1600DEGR, 7 – komputer sterujący pracą analizatora Mexa 1230PM , 8 – komputer synchronizujący pomiary analizy spalin i archiwizujący wyniki pomiarów emisji, 9 – dymomierz AVL Dicom 4000, 10 – urządzenie do pomiaru współczynnika nadmiaru powietrza Horiba AFR Analizer Mexa-730 λ, 11 – czujnik ciśnienia w cylindrze silnika AVL, 12 – enkoder kąta obrotu wału korbowego silnika AVL 365C, 13 – system do indykowania wielkości szybkozmiennych AVL Indicom 612, 14 – komputer do sterowania systemem pomiaru wielkości szybkozmiennych i archiwizacji wyników pomiarów, 15 – komputer do sterowania parametrami stanowiska i archiwizacji wyników badań, 16 – masowy dawkomierz paliwa Automex ATMX2040

Tabela 6.15. Podstawowe dane techniczne hamulca elektrowirowego typu AMX – 200/6000 firmy Elektromex Centrum

Parametr	**Jednostka**	**Wartość**
Maksymalna moc pochłaniania	kW	200
Maksymalna prędkość obrotowa	obr/min	6 000
Maksymalny moment obrotowy	Nm	700
Długość ramienia pomiarowego	m	0,420
Kierunek obrotów	-	Dowolny
Zapotrzebowanie na wodę	m^3/h	5
Ciśnienie wody	bar	0,75÷1,25
Masa hamulca	kg	600

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Tabela 6.16. Podstawowe dane techniczne silnika o zapłonie samoczynnym Perkins 1104D-44TA

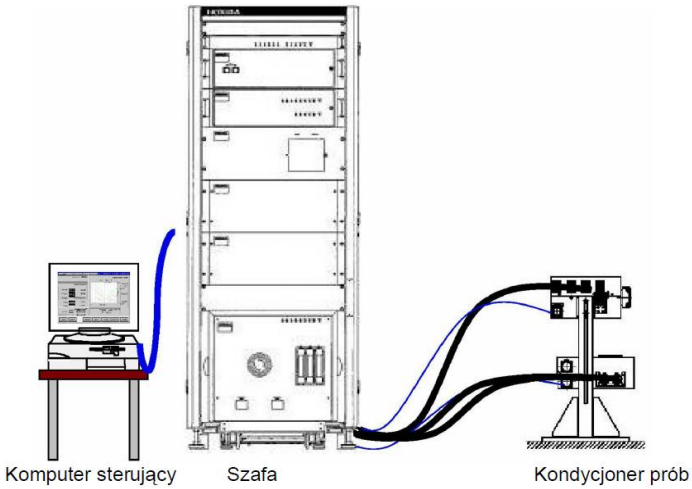
Parametr	Jednostka	Wartość
Układ cylindrów	-	rzędowy
Liczba cylindrów	-	4
Rodzaj wtrysku	-	bezpośredni
Typ układu zasilania	-	pompa rotacyjna Delphi DP310
Maksymalna moc silnika	kW	75
Prędkość obrotowa mocy maksymalnej	obr/min	2200
Maksymalny moment obrotowy silnika	Nm	416,0
Prędkość obrotowa maksymalnego momentu	obr/min	1400
Pojemność skokowa silnika	m^3	$4{,}4 \cdot 10^{-3}$
Średnica cylindra	mm	105
Skok tłoka	mm	127
Stopień sprężania	-	18,2
Układ doprowadzenia powietrza	-	turbosprężarka, chłodnica powietrza doładowującego

Podczas realizacji badań na stanowisku hamowanianym znajdował się również analizator cząstek stałych MEXA-1230PM i analizator spalin MEXA-1600 DEGR (rys. 6.27-6.28). W tabeli 6.17 przedstawiono specyfikację techniczną analizatora spalin MEXA-1600DEGR. Składał się on z szafy głównej zawierającej analizator sadzy, analizator rozpuszczalnych związków organicznych SOF i urządzenie do poboru próbek gazów spalinowych, kondycjonera prób obejmującego diluter eżektorowy oraz komputera sterującego.

Analizator MEXA-1600DEGR umożliwił ciągły pomiar stężeń w czasie rzeczywistym pięciu składników spalin tłokowych silników spalinowych: tlenku węgla CO, dwutlenku węgla CO_2, węglowodorów THC, tlenków azotu NO_x i tlenu O_2. Analizator MEXA-1230 PM firmy

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Horiba umożliwił ciągły pomiar masowego stężenia składników cząstek stałych: rozpuszczalnych związków organicznych (SOF), sadzy (Soot) oraz sumy masy sadzy i rozpuszczalnych związków organicznych (Total PM). Tory poboru spalin analizatorów są zgodne z wymaganiami normy PN-EN ISO-8178 [90].



Rys. 6.27. Schemat systemu pomiarowego cząstek stałych MEXA-1230PM

Analizator umożliwił pomiar masowego stężenia składników cząstek stałych: rozpuszczalnych związków organicznych (SOF), sadzy (Soot), oraz sumy masy sadzy i rozpuszczalnych związków organicznych (Total PM). Pobierane przez analizator spaliny mogły być zarówno „surowe", bezpośrednio z instalacji wylotowej, jak i po rozcieńczeniu w tunelu pomiarowym. Zakresy pomiarowe systemu pomiarowego MEXA-1230PM obejmowały:

- sadza (Soot): 0 – 15/75/150 mg/m^3,
- rozpuszczalne związki organiczne (SOF): 0 – 150 mg/m^3,
- całkowita ilość cząstek stałych (Total PM): 0 – 300 mg/m^3.

Rozpuszczalne związki organiczne (SOF) mierzono przy wykorzystaniu metody płomieniowo-jonizacyjnej, za pomocą dwóch ogrzewanych detektorów FID, jako różnica ich sygnałów dla badanych spalin przy temperaturach 47ºC oraz 191ºC.

Pomiar masowego stężenia sadzy dla cząstek o wymiarach od 10 nanometrów do powyżej 1 mikrona w analizatorze MEXA-1230PM dokonany został w oparciu o metodę dyfuzyjnego ładowania przy wykorzystaniu elektrycznego detektora aerozolu (EAD) Model 3070A. Wartości

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

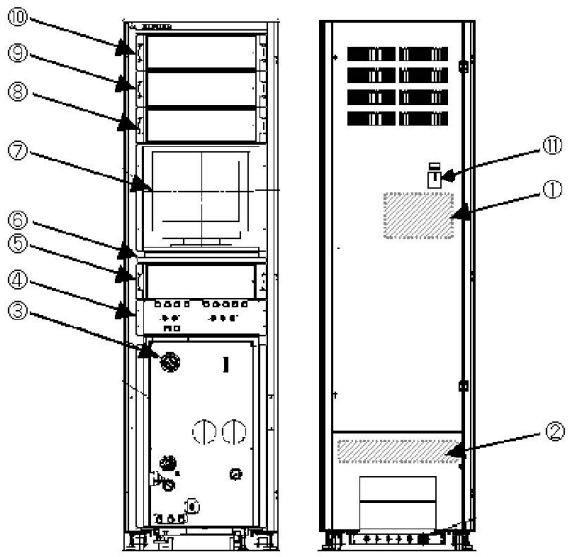
mierzone, były podawane w czasie rzeczywistym. Wszystkie pomiary wykonane zostały zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO-8178 [90].

Do pomiaru zawartości w spalinach tlenku węgla CO i dwutlenku węgla CO_2 w systemie pomiarowym służył analizator działający według metody niedyspersyjnego pochłaniania promieniowania podczerwonego NDIR.

Do pomiaru sumarycznej ilości węglowodorów THC służył analizator płomieniowo-jonizacyjny FID.

Do pomiarów tlenków azotu NO_x w systemie pomiarowym wykorzystany był analizator działający w oparciu o metodę chemiluminescencyjną CLD.

Pomiar zawartości tlenu O_2 w spalinach zrealizowano za pomocą analizatora paramagnetycznego PMD.



Rys. 6.28. Schemat systemu pomiarowego spalin silnikowych MEXA-1600DEGR:

1 – jednostka interfejsu sterująca analizatorami, 2 – przyłącze na panelu tylnym w skład którego wchodzi przyłącze dopływu spalin, złącze rejestratora, złącze zdalnego kontrolera, 3 – urządzenie do poboru próbek służące do poboru i osuszania próbek spalin, 4 – moduł SV włączający dopływ gazu kalibracyjnego do analizatora, 5 – analizator THC/NO_x FCA-266, 6 – miejsce na klawiaturę i mysz, 7 – monitor, 8 – analizator CO/CO_2 AIA-260, 9 – analizator O_2/EGR-CO_2 IMA-260, 10 – kontroler przepływu sterujący analizatorami, 11 – gniazdo zasilania

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Tabela 6.17. Specyfikacja techniczna analizatora spalin MEXA-1600DEGR

Mierzony gaz	Typ modułu	Metoda pomiaru	Zakres pomiarowy min/max	Czas odpowiedzi T_{90}
CO-L	AIA-260	NDIR	100ppm/3000ppm	3,0 s
CO-H	AIA-260	NDIR	1%/10%	2,0 s
CO_2	AIA-260	NDIR	1%/16%	2,0 s
T-HC	FCA-266	H-FID	100ppm/20000ppm	2,0 s
NO_x	FCA-266	H-CLD	100ppm/5000ppm	3,0s
O_2	IMA-262	MPD	10%/25%	2,5 s
EGR-CO_2	IMA-262	NDIR	1%/10%	2,0 s

Pomiary zadymienia spalin badanego silnika o zapłonie samoczynnym były wykonywane podczas badań za pomocą analizatora AVL DiCom 4000 PL. Analizator ten umożliwił pomiar zadymienia spalin przy wykorzystaniu metody optycznej. Mierzone zadymienie spalin wyrażono w procentach zmniejszenia przezroczystości spalin, na skali od 0 do 100 %, z rozdzielczością 0,1 % oraz za pomocą współczynnika absorpcji promieniowania „k" na skali od 0 do 99,99 m^{-1}, z rozdzielczością 0,01 m^{-1}.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

7. Wyniki badań i ich analiza

7.1. Skład i układ estrów wyższych kwasów tłuszczowych w biodieslach BBuE oraz RME

W niniejszym rozdziale zostaną zaprezentowane wyniki badań parametrów biodiesla BBuE oraz dla porównania drugiego biodiesla RME i handlowego oleju napędowego. W pierwszej części zaprezentowano i poddano analizie parametry normatywne biopaliw zgodnie z wymogami normy PN-EN 14214 oraz pokrewnych obowiązujących norm. Natomiast w drugiej części przedstawiono wyniki badań wpływu zasilania silnika badanym biodieslem BBuE oraz dla porównania referencyjnym biodieslem RME i handlowym olejem napędowym. W ramach badań zaprezentowano charakterystyki zewnętrzne mocy i momentu obrotowego silnika oraz oznaczono toksyczność spalin i jednostkowe i godzinowe zużycie paliwa dla charakterystyk obciążeniowych dla dwu charakterystycznych prędkości mianowicie maksymalnego momentu obrotowego oraz maksymalnej mocy.

W celu określenia stopnia przereagowania oleju babassu w procesie transestryfikacji przeprowadzono badania chromatograficzne zgodnie z normą. Miały one potwierdzić wysoką czystość uzyskanego w procesie transestryfikacji biodiesla BBuE. Aby estry można było uznać za biodiesel, to m. in. stopień przereagowania oleju w estry wyższych kwasów tłuszczowych danego oleju zgodnie z PN-EN 14214:2014 musi wynosić co najmniej 96,5% [m/m]. Uzyskany BBuE zawierał 98,7% [m/m] estrów kwasów tłuszczowych i jest biodieslem II generacji. Przeprowadzone badania pokazały, że uzyskano ester o wyższej czystości niż minimalne wymogi, a zatem zostało potwierdzone, że mamy do czynienia rzeczywiście z biodieslem BBuE, a nie tylko ogólnie z biopaliwem. Ponadto uzyskane chromatogramy pozwoliły na określenie składu i udziału poszczególnych estrów kwasów tłuszczowych w wytworzonym BBuE.

W tabeli 7.18 zaprezentowano wyniki uzyskane dla biopaliw: estrów butylowych kwasów tłuszczowych z oleju babassu BBuE i estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego RME. Jak wynika z zestawionych składów i układów kwasów tłuszczowych obydwa estry różnią się w sposób zasadniczy. W przypadku BBuE przeważają kwasy tłuszczowe od C6-C14 (68% [m/m] wszystkich kwasów tłuszczowych, a w RME nie ma ich w ogóle). Natomiast skład kwasów tłuszczowych w przypadku RME, powszechnie występującego w Europie, to przede wszystkich kwasy tłuszczowe od C18:1, C18:2 i C18:3 (około 90% [m/m]

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

wszystkich kwasów tłuszczowych), natomiast w BBuE ich zawartość wyniosła tylko około 15% [m/m], co potwierdzają też badania innych autorów [136].

Tabela 7.18. Porównanie składu kwasów tłuszczowych biodiesli z: oleju babassu (BBuE), oleju rzepakowego (RME)

Kwas tłuszczowy	**Wzór chemiczny**	**RME**	**BBuE**
Kapronowy	C6:0	-	**0,47**
Kaprylowy	C8:0	-	**6,00**
Kaprynowy	C10:0	-	**4,85**
Laurynowy	C12:0	-	**39,19**
Mirystynowy	C14:0	-	**17,52**
Palmitynowy	C16:0	4,49	10,05
Palmitoleinowy	C16:1	0,26	-
Stearynowy	C18:0	1,81	6,17
Oleinowy	C18:1	60,91	12,26
Linolowy	C18:2	19,25	2,19
α-Linolenowy	C18:3	8,98	-
Arachidowy	C20:0	0,65	-
cis-Δ^{11}-ikozenowy	C20:1	1,72	-
Behenowy	C22:0	0,36	-
Erukowy	C22:1	0,72	-
Lignocerynowy	C24:0	0,12	-
Nerwonowy	C24:1	0,17	-
Stopień identyfikacji estrów metylowych kwasów tłuszczowych [%, m/m]		***Σ=99,74***	***Σ=98,70***

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

7.2. Parametry fizykochemiczne wytworzonego w procesie transestryfikacji biodiesla BBuE oraz dla porównania RME

Przedstawione w tabeli 7.19 wyniki oznaczania liczb: nadtlenkowej, anizydynowej oraz obliczenia współczynnika Totox, jako parametrów mówiących o stabilności oksydatywnej, wskazują na bardzo wysoką trwałość badanego biopaliwa. Biodiesel BBuE uzyskał lepsze wartości w porównaniu do biodiesla oleju rzepakowego (RME). Potwierdza to również liczba jodowa, mówiąca o stopniu nienasycenia kwasów tłuszczowych, które to kwasy odpowiadają za stopień utlenienia biopaliwa. Pozostałe parametry również spełniają wymagania normy PN-EN 14214:2014 [94].

Tabela 7.19. Porównanie parametrów fizykochemicznych BBuE w porównaniu do oleju RME

Parametr	Biodiesel BBuE	Biodiesel RME
Liczba jodowa LI [g/100g]	12,5	108,8
Liczba kwasowa LK [mg KOH/g]	0,48	0,45
Liczba nadtlenkowa LN [meqO_2/kg]	0,89	16,2
Liczba anizydynowa	2,4	9,1
Współczynnik Totox	4,18	41,5
Gęstość w temperaturze 15^{o}C [g/cm^{3}]	0,884	0,872

7.3. Oznaczanie ciepła spalania i wyznaczenie wartości opałowej wytworzonego BBuE oraz dla porównania RME i oleju napędowego

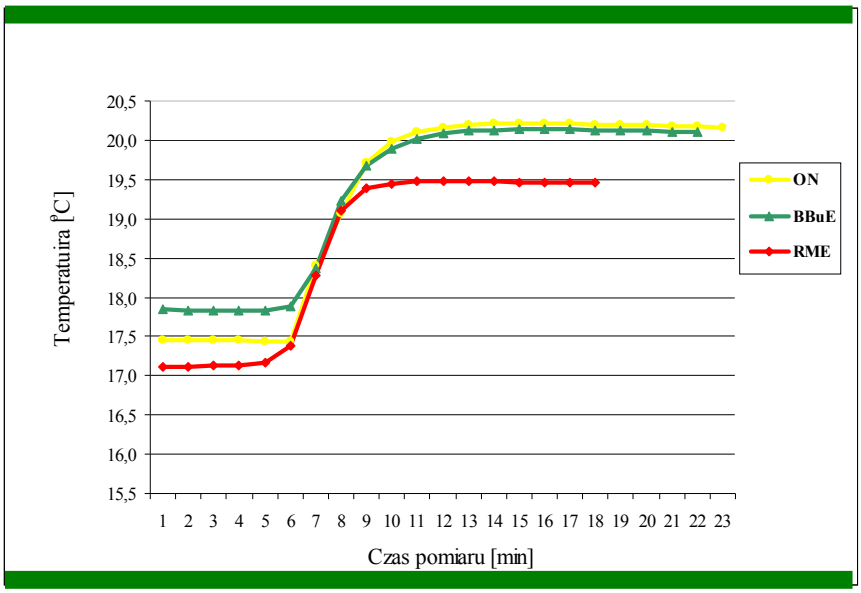
Jak wynika z danych zawartych w tabeli 7.20, ciepło spalania i wartość opałowa biopaliwa z oleju babassu były zbliżone wartości do biopaliwa RME i były niższe w stosunku do oleju napędowego. Wynika to zapewne z faktu, że biopaliwo zawiera tlen i mniej wodoru i węgla, który można spalić w sposób energetyczny. To świadczy o tym, że dla tej samej mocy, momentu obrotowego trzeba zużyć o ok. 5-8% więcej paliwa. Na rysunku 7.29 zaprezentowano wykresy przyrostu ciepła spalania (temperatury) w funkcji czasu podczas spalania w bombie

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

kalorymetrycznej (oznaczenie ciepła spalania metodą kalorymetryczną) wytworzonego biopaliwa BBuE oraz RME i referencyjnego oleju napędowego.

Tabela 7.20. Porównanie ciepła spalania i wartości opałowej biopaliw BBuE, RME w porównaniu do oleju napędowego

Paliwo	Ciepło spalania [MJ/kg]	Wartość opałowa [MJ/kg]
Biodiesel BBuE	40,2	38,2
Biodiesel RME	39,8	37,8
Olej napędowy ON	46,3	42,7



Rys. 7.29. Wykres przyrostu temperatury podczas spalania w kalorymetrze BBuE, RME i oleju napędowego

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

7.4. Oznaczanie parametrów fizycznych wytworzonego biopaliwa BBuE oraz dla porównania RME i oleju napędowego

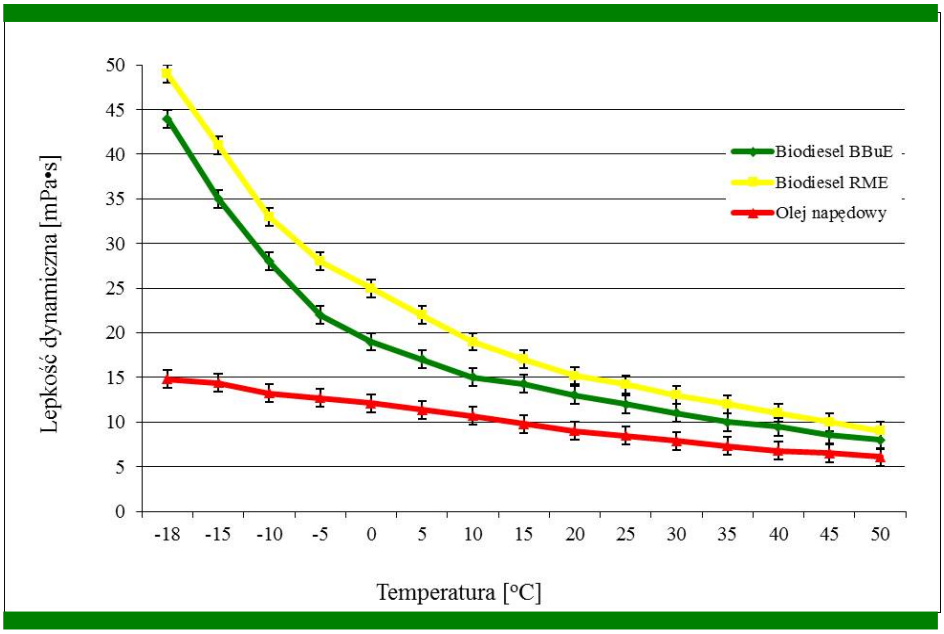
Do podstawowych parametrów decydujących o przydatności biopaliw do zasilania silników z zapłonem samoczynnym zalicza się gęstość i lepkość. Lepkość kinematyczna jest parametrem określającym opór przepływu, na jaki napotyka ciecz pod wpływem sił grawitacyjnych. Dla oznaczania estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (FAME) została wprowadzona norma określająca lepkość kinematyczną (EN ISO 3104). Norma ta określa temperaturę w jakiej ten parametr powinien być oznaczany, a mianowicie w 40^{o}C. Od tego parametru zależy stopień rozpylania paliwa i jakość jego spalania. Zbyt mała lepkość paliwa powoduje utratę właściwości smarnych i problemy z zacieraniem pomp wtryskowych, natomiast zbyt duża lepkość powoduje wolniejsze i niecałkowite spalanie.

Oprócz lepkości kinematycznej wyznacza się również lepkość dynamiczną. Jest ona lepszym parametrem do oceny zachowania paliwa w układzie wtryskowym, ponieważ dotyczy rzeczywistych warunków dynamicznych, a więc przepływu paliwa przy dużych ciśnieniach i prędkościach przepływu. Lepkość dynamiczna jest miarą oporu przepływu lub deformacji cieczy, która ma wpływ na przebieg wtrysku, rozpylanie paliwa i zasięg strugi w komorze spalania silnika. Lepkość dynamiczna ma również wpływ na właściwości smarne, szczególnie istotne jest to przy stosowaniu rotacyjnych pomp wtryskowych lub nowoczesnych układach wtrysku common rail, gdzie rzeczywiste ciśnienie dynamiczne wtrysku dochodzi do 2500 bar [136].

Lepkość dynamiczna została wyznaczona w przedziale temperatur od –18^{o}C do +50^{o}C. Szczególnie istotne są niskie temperatury, ponieważ po przekroczeniu pewnej temperatury wartość lepkość gwałtownie rośnie. Używana w niniejszych badaniach, do schładzania temperatury paliwa w reometrze wanna termostatyczna, pozwoliła na obniżenie temperatury do -18^{o}C.

Na rysunku 7.30 zaprezentowano zależność zmian lepkości dynamicznej biopaliw BBuE i RME i oleju napędowego w funkcji temperatury.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.



Rys. 7.30. Wyniki badań określających wpływ temperatury na lepkość dynamiczną biodiesli BBuE, RME oraz oleju napędowego

Jak wynika z danych zawartych na rysunku 7.30 generalnie lepkość dynamiczna oleju napędowego, jak należało się spodziewać była generalnie niższa. Zakres zmian lepkości dla tego paliwa ma w całym zakresie jest liniowy. Zakres zmian w funkcji temperatury obydwu biodiesli jest podobny, choć generalnie niższą lepkością charakteryzuje się biodiesel BBuE II generacji. Zakres zmian obydwu biopaliw w funkcji temperatury można podzielić w uproszczeniu na dwie części. W zakresie temperatur powyżej 15^{o}C wartości zmian lepkości biodiesla BBuE i RME miały w zasadzie charakter liniowy. Natomiast od 10^{o}C do -18^{o}C miały charakter paraboli.

Jak widać z danych stosowanie czystego (bez uszlachetniaczy) biodiesla w okresie letnim, czy wiosenno-jesiennym nie powinno spowodować znacznego wzrostu oporów przepływu paliwa w układzie paliwowym oraz znacznego pogorszenia warunków wtrysku, rozpylania i spalania. Natomiast zimą, może utrudniać bądź uniemożliwić rozruch silnika. Z tego względu, wydaje się konieczne zastosowanie dodatków, tak zwanych depresatorów, obniżających temperaturę krzepnięcia paliwa.

Z rysunku 7.30 widać, że lepkość dynamiczna oleju napędowego w temperaturze 40^{o}C wyniosła 6,9 [mPa·s]. Wraz z obniżaniem temperatury lepkość rosła, by w temperaturze -18^{o}C osiągnąć wartość 14,7 [mPa·s]. Podczas gdy lepkość dynamiczna biodiesla BBuE w temperaturze

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

40°C przyjmowała wartość 9,7 [mPa·s], natomiast po obniżeniu temperatury do -18°C wynosiła już 44 [mPa·s]. Natomiast lepkość dynamiczna biodiesla RME w temperaturze 40°C przyjmowała wartość 11,1 [mPa·s], natomiast po obniżeniu temperatury do -18°C wynosiła już 49 [mPa·s].

W tabeli 7.21 zostały przedstawione wyniki badań lepkości kinematycznej i dynamicznej w 40°C badanych biodiesla BBuE i RME i oleju napędowego.

Tabela 7.21. Lepkość i dynamiczna dla biopaliw i oleju napędowego w temperaturze 40°C

Parametr	Biodiesel BBuE	Biodiesel RME	Olej napędowy ON
Lepkość dynamiczna 40°C [mPa·s]	9,7	11,1	6,9

7.5. Oznaczenie składu frakcyjnego wytworzonego biodiesla BBuE oraz dla porównania RME i oleju napędowego

Istotnym parametrem służącym do oceny paliw pod kątem eksploatacyjnym jest ich skład frakcyjny. Określa zdolność paliwa do przechodzenia w stan pary i wpływa na lotność paliwa. Na podstawie wyznaczonej krzywej destylacji można stwierdzić, jak zachowa się paliwo w czasie eksploatacji, to jest: rozruch silnika, ekonomika zużycia paliwa, powstawanie nagarów w wyniku niecałkowitego spalania, itp.

Zgodnie z wymogami normy dotyczącej oleju napędowego, do 250°C powinno odparować nie więcej niż 65% [v/v] paliwa. Oznacza to wystarczającą lotność paliwa powodującą dobre właściwości rozruchowe paliwa. Z kolei temperatura końca destylacji określa ilość ciężkich frakcji, które ujemnie wpływają na tworzenie jednorodnej mieszanki paliwowej, a co za tym idzie niecałkowite spalanie. Skutkiem tego może być tworzenie nagarów w komorze spalania oraz na końcówkach wtryskiwaczy, a także wzrost zadymienia spalin [116,136].

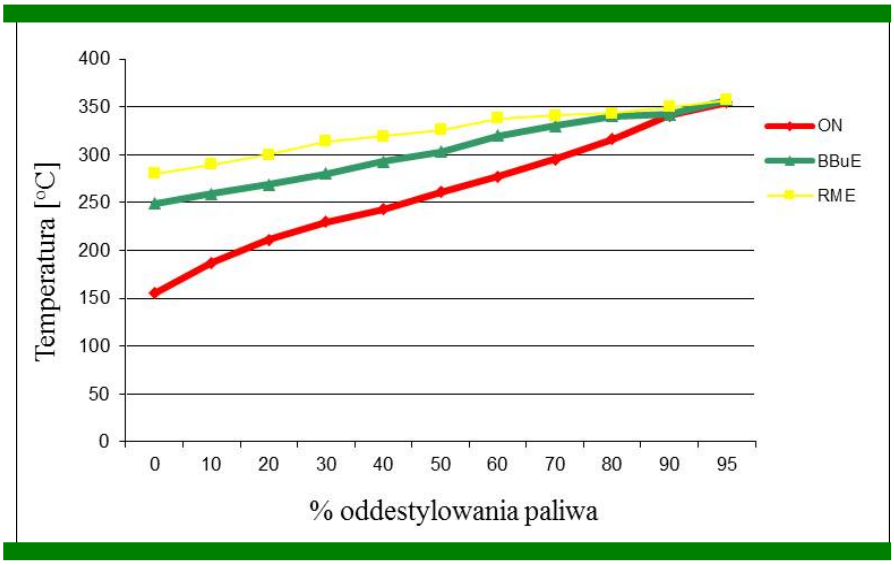
Wymogi dotyczące składu frakcyjnego paliw, wynikające z Rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 9 października 2015 r. w sprawie wymagań jakościowych dla paliw ciekłych przedstawiono w tabeli 7.22 [96].

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Tabela 7.22. Wymagania jakościowe składu frakcyjnego dla oleju napędowego [96, 136]

Parametr	Olej napędowy			
	standardowy		o polepszonych właściwościach niskotemperaturowych	
	minimum	maksimum	minimum	maksimum
do 250°C destyluje % [v/v]	-	<65	-	-
do 350°C destyluje % [v/v]	85	-	-	-
95% obj. destyluje do temperatury [°C]	-	360	-	-
do 180°C destyluje % [v/v]	-	-	-	10
do 340°C destyluje % [v/v]	-	-	95	-

Na rysunku 7.31 zaprezentowano krzywe destylacji biopaliw BBuE i RME oraz ON.



Rys. 7.31. Krzywa destylacji biopaliw BBuE i RME oraz ON

Analizując krzywe destylacji poszczególnych paliw (rys. 7.31), okazuje się, że biopaliwo estrów butylowych oleju babassu, podobnie jak biopaliwo estrów metylowych oleju rzepakowego, charakteryzowało się odmienną krzywą destylacji niż olej napędowy ON. Biopaliwa BBuE, RME pod względem chemicznym są podobne, co powoduje, że ich

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

temperatury wrzenia zmieniają się w niewielkim przedziale wartości. Estry butylowe oleju babassu zaczęły wrzeć dopiero powyżej 240°C, a estry metylowe oleju rzepakowego w temperaturze powyżej 270°C, co świadczy o znikomym udziale frakcji o niskiej temperaturze wrzenia, a w konsekwencji przyczynia się to do gorszych właściwości rozruchowych paliwa w porównaniu z olejem napędowym. Jak należało się spodziewać, najszybciej zaczynął destylować olej napędowy. Ale co istotne, koniec destylacji był podobny zarówno dla biopaliwa BBuE jak i RME, to znaczy, że paliwo w całości odparowało poniżej temperatury granicznej 360°C, określonej w normie przedmiotowej. Gdyby biodiesel BBuE nie odparował w całości, to oznaczałoby, że w paliwie znajdują się ciężkie frakcje (głównie pozostałe po transestryfikacji momo i di-glicerydy), które nie dopalały by się i osiadały w postaci koksików na końcówkach wtryskiwaczy oraz w komorze spalania. Po pewnym czasie doszłoby do zakoksowania wtryskiwaczy, co groziłoby pogorszeniem rozpylenia paliwa oraz zmianą wielkości i charakteru strugi wtryskiwanego paliwa. Obydwa przypadki powodowały by najpierw pogorszenie poprawności pracy silnika, a w konsekwencji do powstania awarii.

W tabeli 7.23 zestawiono najważniejsze punkty krzywej destylacji badanego biopaliwa z oleju babassu (BBuE) w porównaniu do biopaliwa z oleju rzepakowego (RME) i oleju napędowego (ON), czyli temperaturę początku i końca destylacji oraz zawartość procentową oddestylowanych paliw w zakresie temperatur do 250°C i 350°C.

Tabela 7.23. Najistotniejsze punkty krzywej destylacji biopaliw i paliwa referencyjnego ON

Paliwo	**Początek destylacji [°C]**	**Do 250°C destyluje [%v/v]**	**Do 350°C destyluje [%v/v]**	**Oddestylowało v/v [%]**
Biodiesel BBuE	249	1	96	100 (98)
Biodiesel RME	280	0	92	100 (98)
Olej napędowy ON	155	45	98	100 (98)

Jak wynika z danych zawartych w tabeli 7.23 olej napędowy zaczął destylować w niższych temperaturach niż obydwa biopaliwa, czego należało się spodziewać. Spośród biopaliw, BBuE wcześniej zaczął parować od RME. Charakteryzował się również niższymi temperaturami

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

destylacji w całym zakresie parowania, co jest bardzo korzystne. Temperatura początku destylacji BBuE wyniosła 242^{o}C, biodiesla RME była znacznie wyższa i wyniosła 283^{o}C. Natomiast dla porównania olej napędowy zaczął destylować w temperaturze 164^{o}C. Z powyższego widać, że BBuE zawiera bardziej lotne cząsteczki niż RME jest to bardzo korzystne, szczególne podczas zapłonu zimnego silnika i pracy silnika w niższych temperaturach. Do 350^{o}C oddestylowało 96% biodiesla BBuE, 92% biodiesla RME oraz 98% oleju napędowego.

7.6. Oznaczenie temperatury zapłonu wytworzonego biodiesla BBuE oraz dla porównania RME i oleju napędowego

Temperatura zapłonu została wyznaczona zgodnie z normą PN-EN ISO 3679 [98]. Temperatura zapłonu biodiesla BBuE była dwukrotnie wyższa od temperatury zapłonu oleju napędowego. Równocześnie była niższa niż obecnie stosowany w Europie RME, o 15^{o}C. Paliwa typu biodiesel, niezależnie z jakiego surowca zostały wytworzone, generalnie charakteryzują się wyższą temperaturą zapłonu. Dokładne wartości temperatur zapłonu badanych paliw zestawiono w tabeli 7.24.

Tabela 7.24. Porównanie liczby cetanowej i temperatury zapłonu biopaliwa BBuE i oleju napędowego

Paliwo	**Temperatura zapłonu [^{o}C]**
Biopaliwo BBuE	94
Biopaliwo RME	100,5
Olej napędowy ON	56

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

7.7. Oznaczenie liczby cetanowej wytworzonego biodiesla BBuE oraz dla porównania RME i oleju napędowego

W tabeli 7.25. zaprezentowano wyniki badań oznaczenia liczby cetanowej badanych paliw przeprowadzone przy użyciu aparatu CID 510 firmy Herzog [64, 142, 143].

Tabela 7.25 Oznaczenie liczby cetanowej biodiesli BBuE i dla porównania RME oraz oleju napędowego

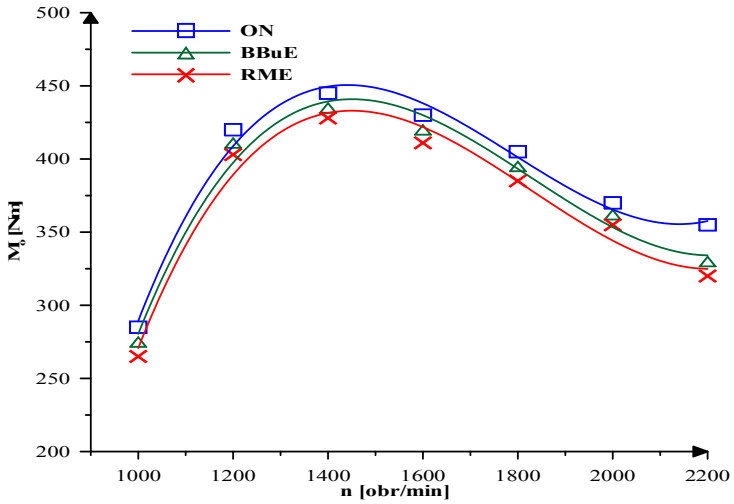
Paliwo	Liczba Cetanowa
Biopaliwo BBuE	57,4
Biopaliwo RME	56,1
Olej napędowy ON	52,2

Liczba cetanowa biodiesla BBuE wyniosła 57,4 i była wyższa o 1,3 od oznaczonej liczby cetanowej biodiesla RME. Jednocześnie obydwa biopaliwa miały wyższą wartość LC, co jest korzystne, w stosunku do oleju napędowego, którego LC była niższa od LC BBuE o 5,2 jednostki. Jest to o tyle ważne, że podczas wtrysku, opóźnienia fizycznego i chemicznego zapłonu, wyższa wartość liczby cetanowej rekompensuje częściowo niekorzystne właściwości biodiesla polegające na wyższych temperaturach początku parowania. W praktyce, w okresie poza zimowym, zasilając silnik czystym (bez pakietu dodatków) biodieslem B100 nie powinno się zaobserwować znacznego pogorszenia rozruchu silnika. Silnik powinien pracować równo oraz nieznacznie ciszej. Oczywiście, uwzględniając mniejszą wartość opałową będzie zużywał więcej paliwa.

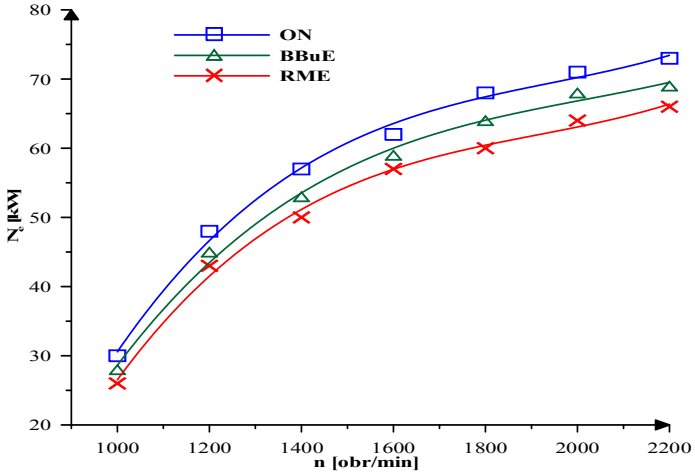
This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

7.8. Badanie parametrów efektywnych silnika Perkins 1104D-44TA oraz toksyczności spalin

Wyniki badań parametrów efektywnych silnika Perkins 1104D-44TA zasilanego badanym biodieslem BBuE oraz dla porównania z biodieslem RME i olejem napędowym zestawiono na rysunkach 7.32 i 7.33. Badania wykonano na charakterystyce zewnętrznej, na której zaprezentowano odpowiednio moc efektywną N_e jak i moment efektywny M_o w zależności od prędkości obrotowej wału korbowego.



Rys. 7.32. Charakterystyka zewnętrzna silnika - zależność momentu obrotowego od prędkości obrotowej silnika

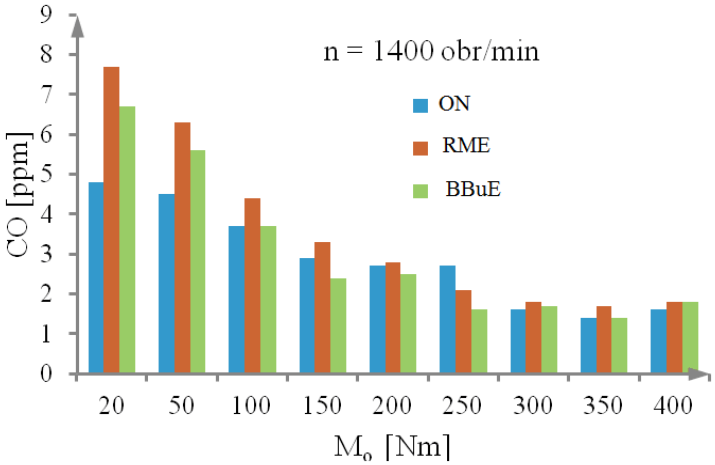


Rys. 7.33. Charakterystyka zewnętrzna silnika - zależność mocy efektywnej od prędkości obrotowej silnika

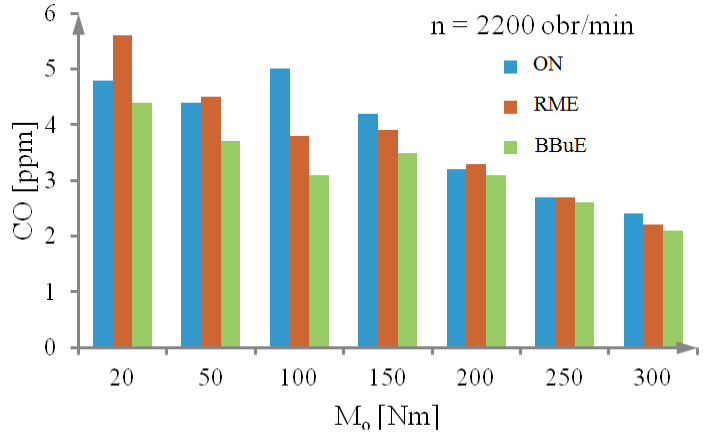
This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Na rysunku 7.34. a i b zestawiono wielkości stężeń tlenku węgla CO emitowane przez silnik Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n = 1400 obr/min oraz b) n = 2200 obr/min.

a



b



Rys. 7.34 a, b. Porównanie stężeń tlenku węgla CO w spalinach silnika Perkins 1104D - 44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n = 1400 obr/min oraz b) n = 2200 obr/min

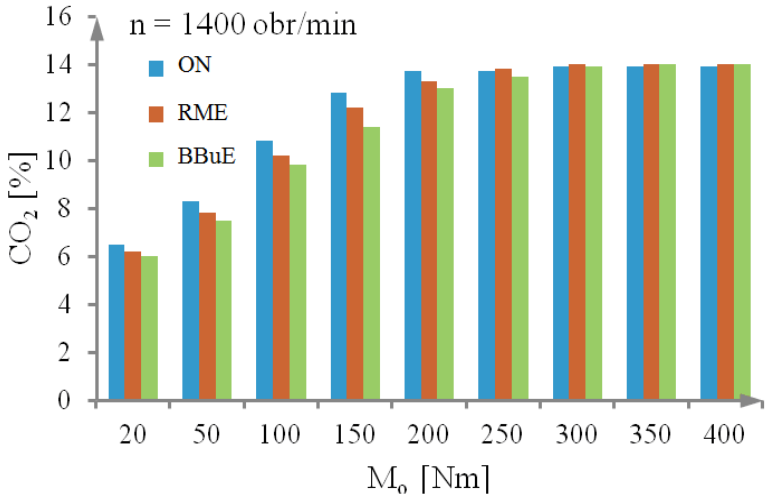
Zastosowanie biopaliwa z oleju babassu korzystnie wpłynęło na stężenie tlenku węgla w spalinach, które dla prędkości obrotowej wału korbowego n=2200 obr/min było około 15% niższe od oleju napędowego. Zaobserwowano również, że zasilanie biopaliwem BBuE

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

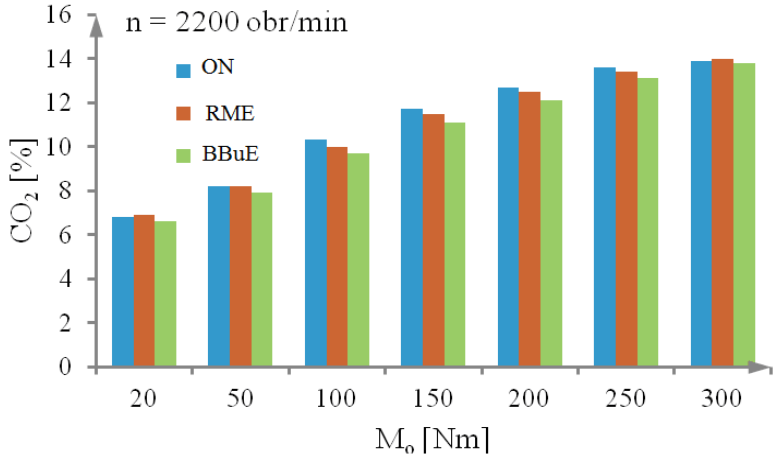
korzystniej wpłynęło na stężenie tlenku węgla w porównaniu z biopaliwem RME, zarówno dla prędkości obrotowej 1400 obr/min i 2200 obr/min. Natomiast przy prędkości obrotowej 1400 obr/min stężenie tlenku węgla w spalinach było wyższe dla biopaliwa BBuE w porównaniu do ON (rys. 7.34 a, b).

Udział dwutlenku węgla w spalinach przy zasilaniu silnika biodieslem oleju babassu było korzystniejsze w porównaniu do pozostałych badanych paliw, zarówno przy prędkości obrotowej wału korbowego 1400 obr/min i 2200 obr/min (rys. 7.35 a, b).

a



b

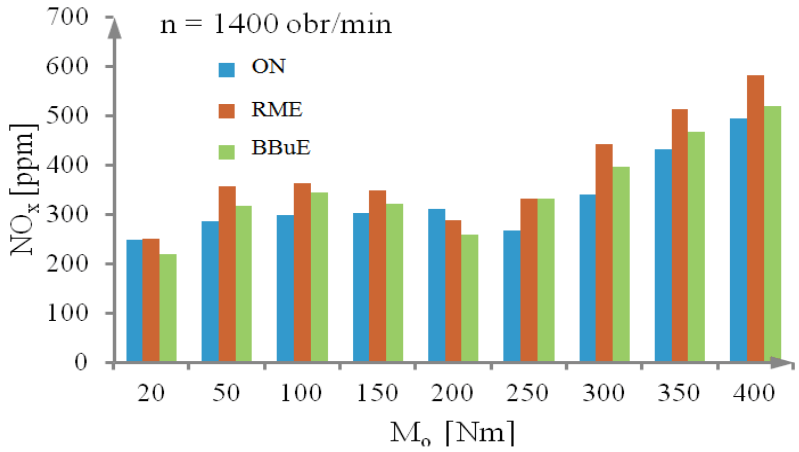


Rys. 7.35 a i b. Porównanie stężeń dwutlenku węgla CO2 w spalinach silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n = 1400 obr/min oraz b) n = 2200 obr/min

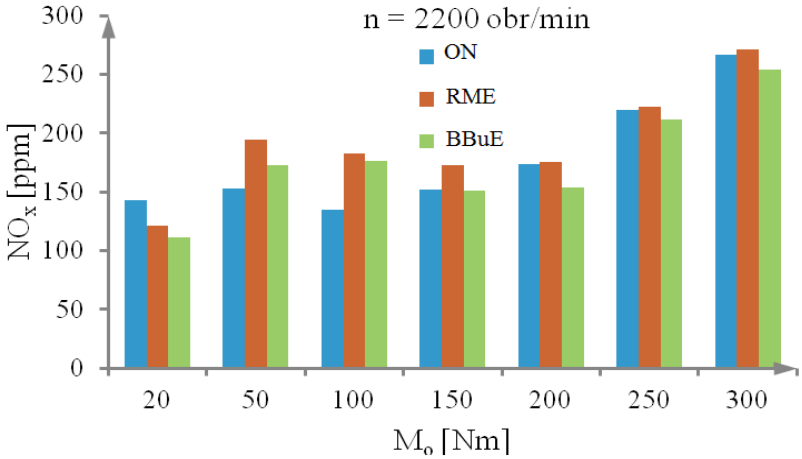
This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Zasilanie silnika biopaliwem BBuE przy prędkości obrotowej 2200 obr/min spowodowało mniejszą emisję tlenków azotu (rys. 7.36 a, b). Zaobserwowano niewielki spadek emisji tych składników spalin w stosunku do oleju napędowego, średnio o ok. 1%. W przypadku prędkości obrotowej 1400 obr/min udział tlenków azotu w spalinach podczas spalania biodiesla BBuE był nieznacznie wyższy w porównaniu do oleju napędowego. Podobnie, jak w przypadku zawartości tlenków węgla, mniejszą emisją tlenków azotu charakteryzował się biodiesel oleju babassu (BBuE) w porównaniu do biodiesla oleju rzepakowego (RME).

a



b

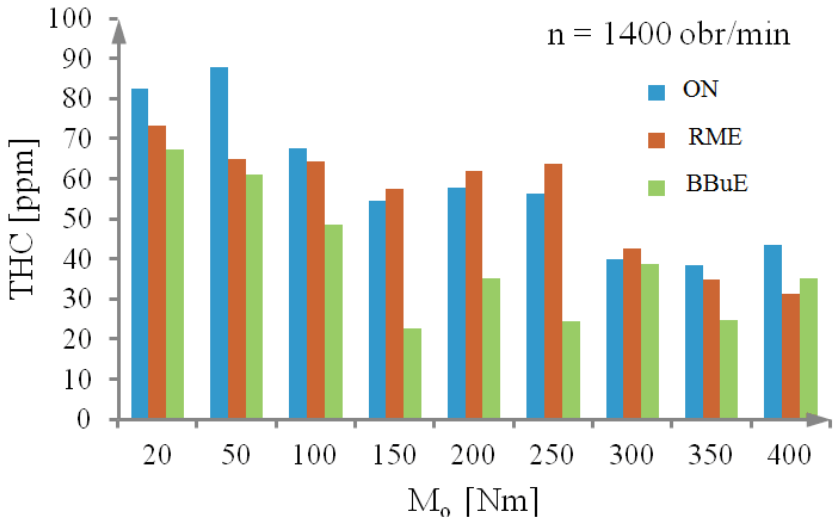


Rys. 7.36 a, b. Porównanie stężeń tlenków azotu NO_x w spalinach silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n = 1400 obr/min oraz b) n = 2200 obr/min

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

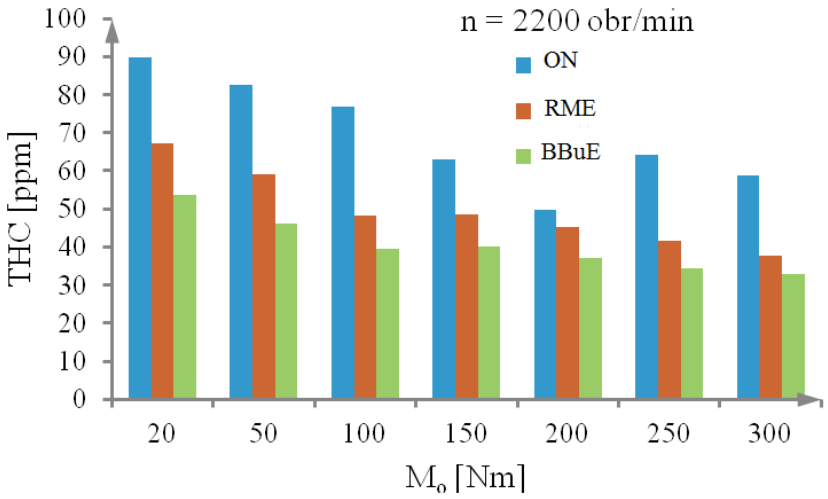
Przeprowadzone badania wykazały, że zasilanie silnika Perkins, estrami butylowymi oleju babassu (BBuE), spowodowało zmniejszenie emisji węglowodorów, cząstek stałych oraz spowodowało spadek zadymienia spalin. Zawartość węglowodorów była zdecydowanie niższa przy zasilaniu silnika estrami butylowymi oleju babassu w stosunku do oleju napędowego, zarówno przy prędkości obrotowej 1400 obr/min i 2200 obr/min (rys. 7.37 a, b). Zadymienie spalin (D) wyraźnie spadło dla biopaliwa BBuE, średnio 2-krotnie dla prędkości obrotowej 1400 obr/min i średnio 2,5-krotny dla prędkości obrotowej 2200 obr/min (rys. 7.38 a, b). W przypadku emisji cząstek stałych (PM) zaobserwowano średnio 2-krotny ich spadek, zarówno dla prędkości obrotowej 1400 obr/min i 2200 obr/min. (rys. 7.39 a, b). Jednocześnie, zaobserwowano niższą emisję tych składników spalin zasilanych estrami butylowymi oleju babassu w stosunku do zasilania bioestrami RME. Tylko, w przypadku zadymienia spalin przy prędkości obrotowej 2200 obr/min, zaobserwowano nieznacznie wyższe ich stężenie dla biopaliwa BBuE w stosunku do biopaliwa RME.

a



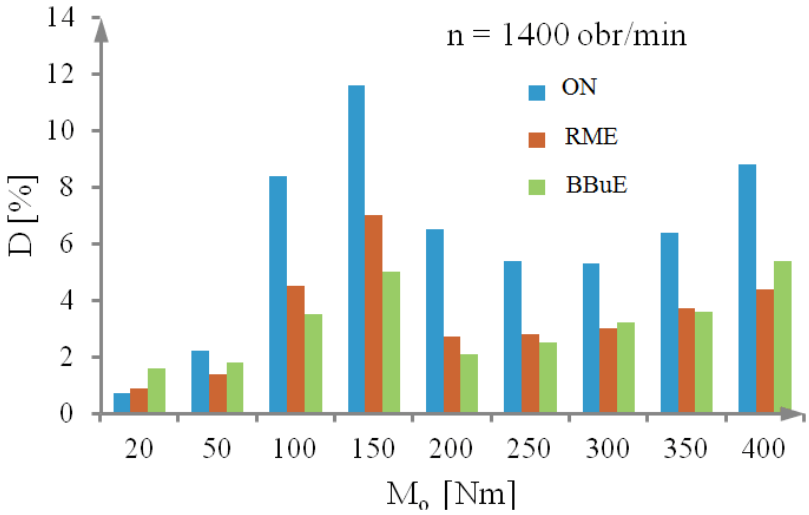
This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

b



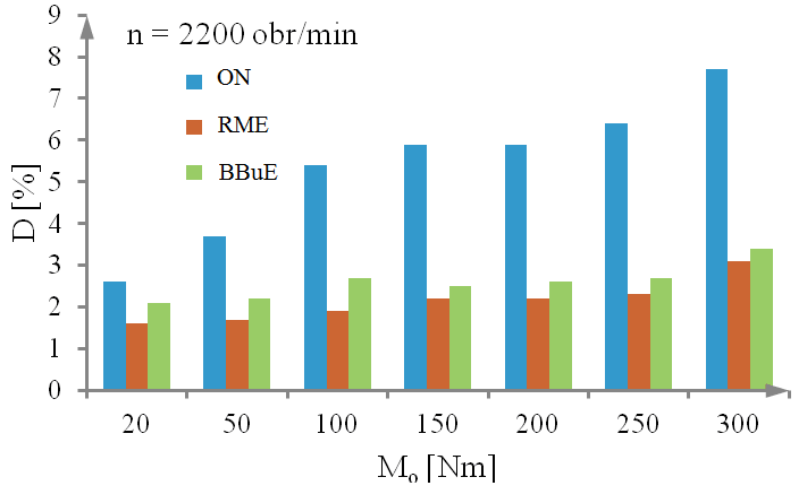
Rys. 7.37 a, b. Porównanie stężenia THC w spalinach silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n = 1400 obr/min oraz b) n = 2200 obr/min.

a



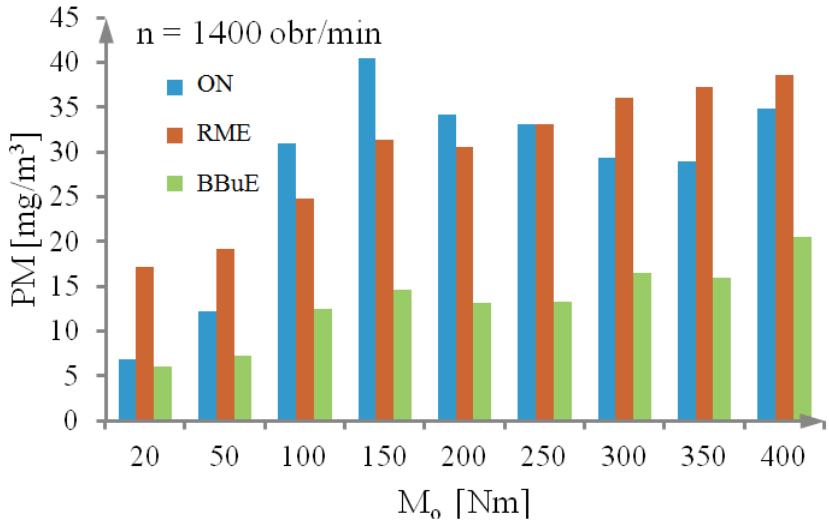
This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

b



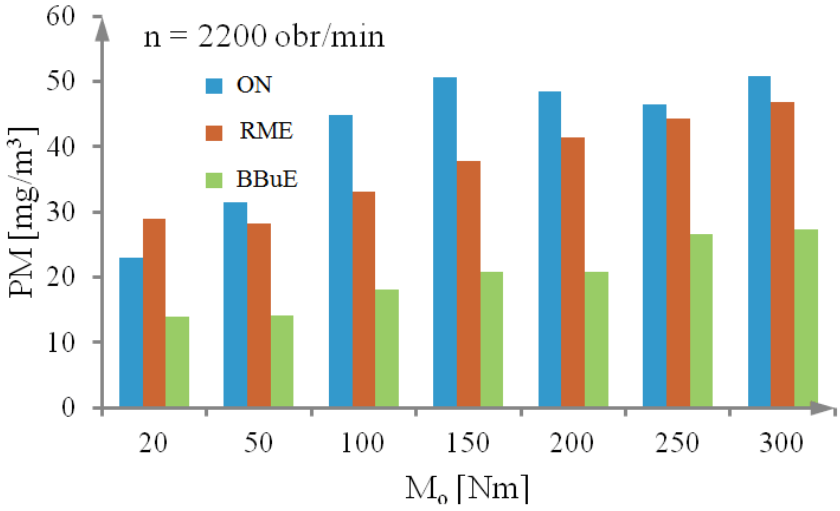
Rys. 7.38 a, b. Porównanie zadymienia spalin silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n = 1400 obr/min oraz b) n = 2200 obr/min

a



This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

b

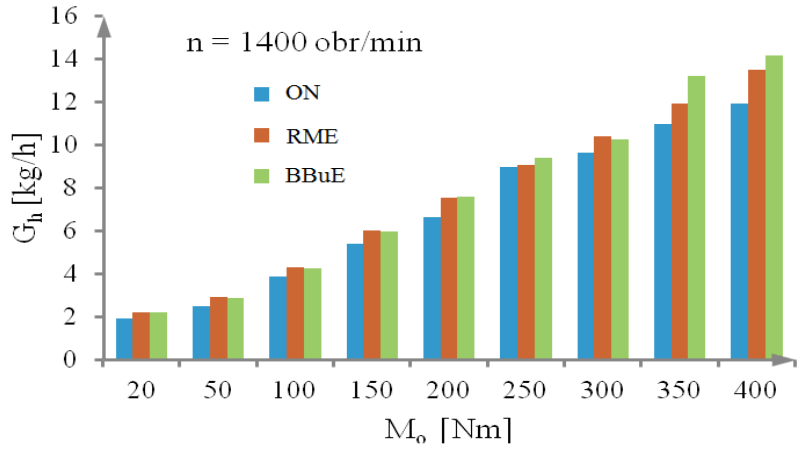


Rys. 7.39 a, b. Porównanie stężeń cząstek stałych PM w spalinach silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n = 1400 obr/min oraz b) n = 2200 obr/min

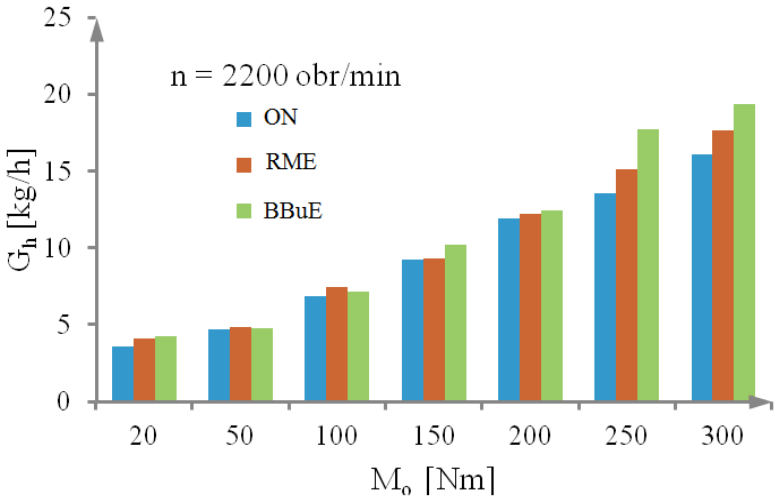
Analizując zmiany godzinowego G_e i jednostkowego g_h zużycia paliwa zaobserwowano wzrost zużycia biopaliwa BBuE, podobnie jak RME w stosunku do oleju napędowego, przy obu prędkościach obrotowych silnika, tj. 1400 obr/min oraz 2200 obr/min (rys. 7.40 a, b, 7.41 a, b). Dla BBuE, godzinowe zużycie paliwa wzrosło średnio o 10,4% przy prędkości obrotowej 1400 obr/min i 13,4% przy prędkości obrotowej 2200 obr/min. W przypadku biopaliwa z oleju babassu jednostkowe zużycie paliwa wzrosło w stosunku do oleju napędowego średnio o 12,6% przy prędkości obrotowej wału korbowego 1400 obr/min oraz średnio 13% przy prędkości obrotowej wału korbowego 2200 obr/min.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

a



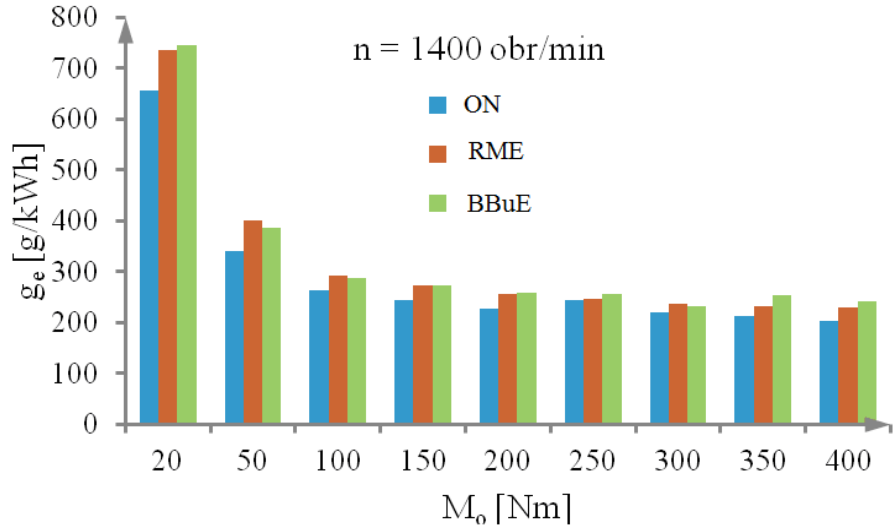
b



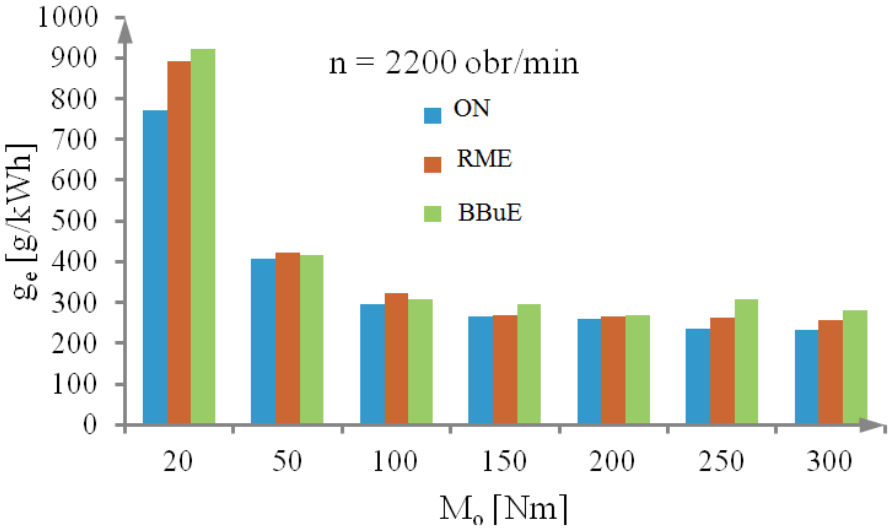
Rys. 7.40 a, b. Porównanie godzinowego zużycia paliwa silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n=1400 obr/min oraz b) n = 2200 obr/min, zasilanego olejem napędowym ON, estrami metylowymi oleju rzepakowego RME i estrami butylowymi oleju babassu BBuE

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

a



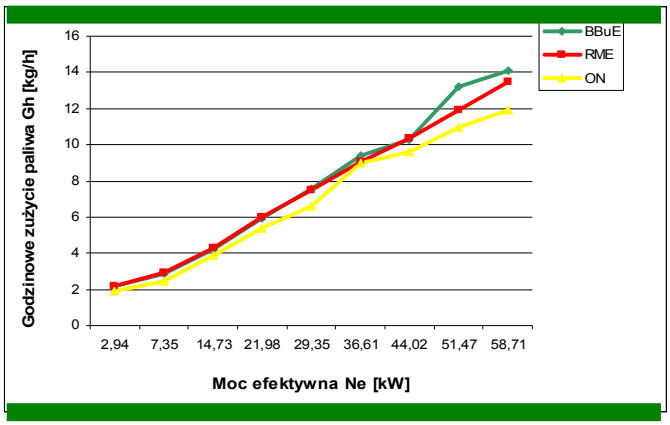
b



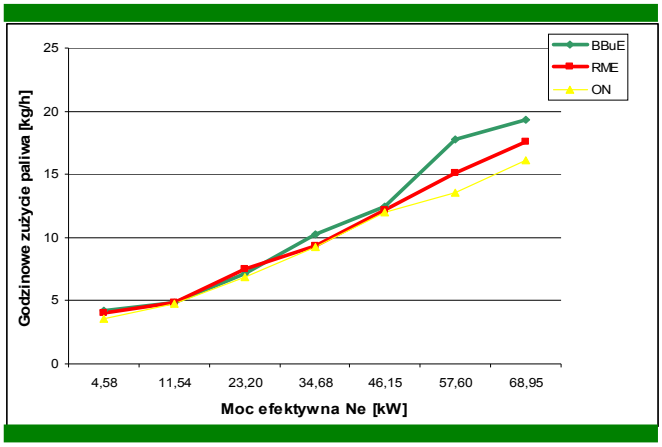
Rys. 7.41 a, b. Porównanie jednostkowego zużycia paliwa silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n = 1400 obr/min oraz b) n=2200obr/min, zasilanego olejem napędowym ON, estrami metylowymi oleju rzepakowego RME i estrami butylowymi oleju babassu BBuE

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Na rysunkach 7.42 - 7.45 przedstawiono krzywe godzinnego (G_h) i jednostkowego (g_e) zużycia badanych paliw w funkcji mocy efektywnej (N_e). Zaobserwowano spadek mocy efektywnej N_e o 12,8% przy prędkości obrotowej 1400 obr/min i 13% przy prędkości obrotowej 2200 obr/min dla silnika zasilanego biopaliwem BBuE w stosunku do oleju napędowego. Moc efektywna N_e silnika zasilanego biopaliwem BBuE w stosunku do biopaliwa RME była porównywalna dla prędkości obrotowej 1400 obr/min, natomiast nieznacznie była większa przy prędkości obrotowej 2200 obr/min i wyniosła ok. 5%.

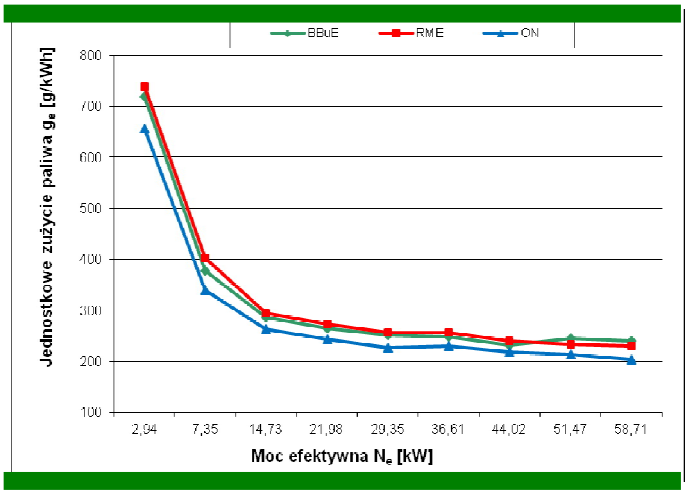


Rys. 7.42. Przebieg zmian godzinowego zużycia paliwa G_h w funkcji mocy efektywnej N_e silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego n = 1400 obr/min, zasilanego paliwami BBuE, RME i ON

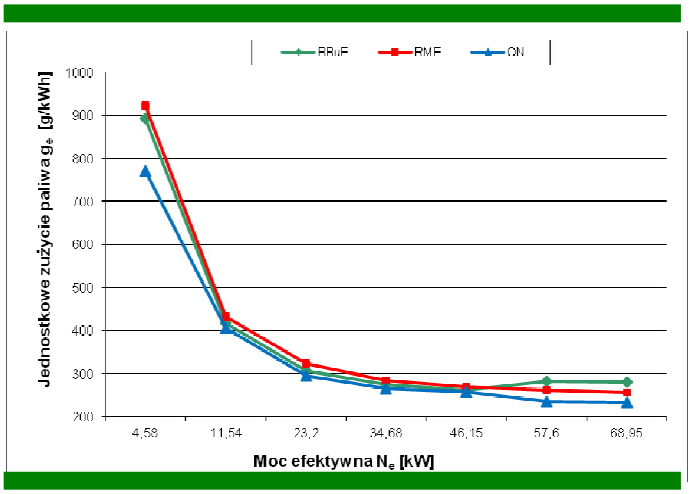


Rys. 7.43. Przebieg zmian godzinowego zużycia paliwa G_h w funkcji mocy efektywnej N_e silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego n = 2200 obr/min, zasilanego paliwami BBuE, RME i ON

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.



Rys. 7.44. Przebieg zmian jednostkowego zużycia paliwa g_e w funkcji mocy efektywnej N_e silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego n = 1400 obr/min, zasilanego paliwami BBuE, RME i ON



Rys. 7.45. Przebieg zmian jednostkowego zużycia paliwa ge w funkcji mocy efektywnej Ne silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego n = 2200 obr/min, zasilanego paliwami BBuE, RME i ON

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

8. Podsumowanie przeprowadzonych badań i analiz

8.1. Podsumowanie analiz

Dysertacja dotyczyła określenia wpływu zasilania biodieslem II generacji wytworzonego z oleju rośliny nieżywieniowej, o odmiennym składzie i układzie kwasów tłuszczowych, na parametry pracy i toksyczność spalin silnika Perkins 1104D-44TA. Po analizie literaturowej do badań wybrano olej palmy babassu. Ponadto, postawiono sobie za cel wytworzenie estrów o lepszych właściwościach niż estry metylowe. W tym celu, po próbach wstępnych przeprowadzonego procesu transestrfikacji, zamiast metanolu zastosowano alkohol n-butylowy. Przeprowadzone badania miały odpowiedzieć na pytania, czy biodiesel BBuE uzyskany z oleju różniącego się w około 60% [m/m] składem i układem kwasów tłuszczowych w stosunku do rzepakowego i referencyjnego RME wpłynie, a jeżeli tak to w jaki sposób, na właściwości fizykochemiczne i parametry pracy silnika oraz toksyczność spalin. Przed przystąpieniem do właściwych badań silnikowych postawiono sobie za cel uzyskanie biodiesla, który spełni wymogi normy PN-EN 14214 na palio typu FAME, a więc będzie paliwem o wysokiej czystości.

W celu zweryfikowania postawionych hipotez badawczych pracy, wytworzono z oleju palmy babassu biodiesel BBuE. W procesie transestryfikacji wykorzystano katalizatory zarówno zasadowe jak i kwasowy. Najczęściej stosowanym alkoholem w procesie transestryfikacji jest metanol, natomiast w pracy po wstępnych badaniach wybrano alkohol n-butylowy. Charakteryzuje się on wyższą temperaturą wrzenia wynoszącą 117^{o}C, co jest korzystne w porównaniu do metanolu (t.w. 65^{o}C), ponieważ w estrach po transestryfikacji pozostaje pewna ilość alkoholu w paliwie i gdy ma on niską temperaturę parowania, to może zapalać się wcześniej niż powinno i powodować anomalie spalania. Następnie przeprowadzono badania fizykochemiczne wytworzonych biodiesli zgodnie z wymogami normy PN-EN 14214:2014 oraz pokrewnych norm, określające przydatność wytworzonego biopaliwa w transporcie. W celu określenia wpływu zasilania silnika Perkins 1104D-44TA na parametry pracy i toksyczność spalin wykonano badania silnika na hamowni silnikowej. Na podstawie opracowanej metodyki, wykonanych prac badawczych i analiz dokonano weryfikacji przedstawionych hipotez. Dla lepszej oceny wytworzonego biodiesla II generacji wszystkie wyniki badań zostały porównane z odpowiednimi parametrami paliwa referencyjnego RME oraz handlowego oleju napędowego.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

8.2. Ważniejsze wnioski z badań własnych

Zaprezentowane w pracy rezultaty podjętej tematyki dotyczącej wytworzonego biopaliwa II generacji i analizy właściwości fizykochemicznych oraz efektywnych parametrów i ekologicznych silnika, pozwoliły na sformułowanie następujących ważniejszych wniosków szczegółowych.

Wnioski z analiz jakościowych biodiesla BBuE i dla porównania RME i oleju napędowego:

1. Przeprowadzone badania pokazały, że można uzyskać biodiesel II generacji z oleju rośliny babassu. Wytworzone paliwo spełniło wymogi normy na zawartość estrów w estrach, czyli ze względu na czystość jest paliwem odpowiadaajcym wymogm normy PN-EN 14214:2014.
2. Parametry mówiące o stabilności oksydacyjnej, wskazują na bardzo wysoką trwałość badanego biodiesla. BBuE uzyskał znacznie lepsze wartości liczb: nadtlenkowej i anizydynowej w porównaniu do biodiesla oleju rzepakowego RME. Potwierdza to również liczba jodowa, mówiąca o stopniu nienasycenia kwasów tłuszczowych, które to kwasy odpowiadają za stopień utlenienia biopaliwa.
3. Ciepło spalania i wartość opałowa biodiesla BBuE miała wyższe wartości o ponad 2% [m/m] niż biodiesel RME, co przemawia na korzyść BBuE, ponieważ im paliwo ma wyższe ww. wartości tym silnik mniej zużyje dla tej samej wartości momentu obrotowego, czy mocy. Olej napędowy charakteryzował się, czego należało się spodziewać, wyższymi wartościami obu parametrów w porównaniu do obu biodiesli. Wynika to z faktu, że biodiesel zawiera w swojej strukturze cząsteczki tlenu, a w związku z tym, mniej wodoru i węgla, który można spalić w sposób energetyczny.
4. Lepkość dynamiczna BBuE w badanym zakresie, czyli od -18^{o}C do +50^{o}C przyjmowała mniejsze wartości niż dla RME, co jest korzystne, oraz jednocześnie wyższe niż dla oleju napędowego. Wraz z obniżaniem temperatury od +50^{o}C do 0^{o}C, lepkość dynamiczna BBuE i RME wzrastała w zasadzie liniowo i była tylko nieznacznie wyższa niż oleju napędowego. Niestety wraz z obniżaniem temperatura poniżej 0^{o}C lepkość biodiesli gwałtownie wzrosła. Z tego względu, wydaje się konieczne zastosowanie dodatków obniżających temperaturę krzepnięcia paliwa przy zasilaniu silników biopaliwem typu B100 w warunkach zimowych.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

5. Lepkość dynamiczna w 40°C biodiesla BBuE wyniosła 9,7 [mPa·s] i była niższa niż RME którego wartość wyniosła 11.1 [mPa·s]. Olej napędowy charakteryzował się najniższą wartością lepkości dynamicznej wynoszącą 6,9 [mPa·s] spośród badanych paliw.
6. Przy porównywaniu właściwości destylacyjnych okazało się, że biodiesel BBuE w całym zakresie destyluje w temperaturach niższych niż RME. Jednocześnie w temperaturach wyższych niż olej napędowy. Z uwagi na to, że szczególnie istotna jest temperatura początku destylacji, to zwraca uwagę fakt, że BBuE zaczyna parować, o 20°C wcześniej niż RME. To pokazuje, że zawarte w oleju babassu kwasy tłuszczowe o krótkich łańcuchach, korzystnie wpłynęły na początek destylacji, a zatem również na opóźnienie fizyczne i chemiczne samozapłonu i spalanie. Ważnym jest również to, że całość paliwa odparowała, podobnie jak to miało miejsce dla RME i oleju napędowego, do temperatury 360°C.
7. Temperatura zapłonu biodiesla BBuE charakteryzowała się niższą wartością 94°C, niż temperatura zapłonu RME, która wynosiła 100,5°C. Dla porównania temperatury zapłonu oleju napędowego wynosiła 56°C.
8. Liczba cetanowa biodiesla BBuE wyniosła 57,4 i była wyższa o 1,3 jednostki od oznaczonej liczby cetanowej biodiesla RME oraz o 5,2 jednostki od oleju napędowego. Wyższa wartość liczby cetanowej BBuE częściowo rekompensuje niekorzystne właściwości biodiesla, czyli wyższe temperatury parowania.

Wnioski z badań parametrów efektywnych silnika Perkins 1104D-44TA oraz toksyczności spalin:

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że względna emisja spalin silnika zasilanego biodieslem z oleju babassu w porównaniu do zasilania biodieslel z oleju rzepakowego RME była:

- dla charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej wału korbowego n=1400 obr/min:

- mniejsza emisja CO 0 13,9%
- mniejsza emisja CO_2 o 2,5%
- mniejsza emisja NO_2 o 8,5%
- mniejsza emisja cząstek stałych PM o 56%
- mniejsza emisja THC o 25,5%
- większe zadymienie o 5,5%
- większe godzinowe zużycie paliwa G_h o 1,6%

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

- większe jednostkowe zużycie paliwa g_e o 1,3%

- dla charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej wału korbowego n=2200 obr/min:
- mniejsza emisja CO 0 11,7%
- mniejsza emisja CO_2 o 3,1%
- mniejsza emisja NO_2 o 8,5%
- mniejsza emisja cząstek stałych PM o 46,1%
- mniejsza emisja THC o 17,9%
- większe zadymienie o 23,1%
- większe godzinowe zużycie paliwa G_h o 5,4%
- większe jednostkowe zużycie paliwa g_e o 5,3%

Względna emisja spalin silnika zasilanego biodieslem z oleju babassu w porównaniu do zasilania olejem napędowym była:

- dla charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej wału korbowego n=1400 obr/min:
- większa emisja CO 0 1,9%
- mniejsza emisja CO_2 o 4,7%
- większa emisja NO_2 o 6,5%
- mniejsza emisja cząstek stałych PM o 47,2%
- mniejsza emisja THC o 32,1%
- mniejsze zadymienie o 27,%
- większe godzinowe zużycie paliwa G_h o 12,8%
- większe jednostkowe zużycie paliwa g_e o 12,2%

- dla charakterystyki obciążeniowej przy prędkości obrotowej wału korbowego n=2200 obr/min:
- mniejsza emisja CO 0 14%
- mniejsza emisja CO_2 o 3,8%
- mniejsza emisja NO_2 o 0,14%
- mniejsza emisja cząstek stałych PM o 51,2%
- mniejsza emisja THC o 40,8%
- mniejsze zadymienie o 48,1%
- większe godzinowe zużycie paliwa G_h o 5,4%
- większe jednostkowe zużycie paliwa g_e o 5,3%

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

9.Wnioski i kierunki dalszych badań

9.1. Wnioski z przeprowadzonych badań

Poniżej zaprezentowano wnioski z przeprowadzonych badań i analiz, które mają zweryfikować postawione trzy hipotezy, a tym samym, czy cel pracy został osiągnięty:

1. Przeprowadzone badania chromatograficzne pokazały, że wytworzony biodiesel BBuE spełnił wymogi na zawartość estrów w estrach, a więc mamy pewność, że uzyskano biodiesel, a nie tylko biopaliwo. Zgodnie z wymogami normy PN-EN 14214:2014 zawartość estrów w estrach musi wynosić co najmniej 96,5%[m/m]. Wytworzony w ramach badań BBuE charakteryzował się zawartością estrów wynoszącą 98,7% [m/m], a więc uzyskano paliwo o wysokiej czystości.
2. W ramach założeń określono, że jeśli wiekszość parametrów fizykochemicznych BBuE będzie charakteryzowało się lepszymi parametrami fizykochemicznymi od RME, to znaczy że zostanie spełniony jeden z celów postawionych w rozprawie doktorskiej. Przeprowadzone badania pokazały, że wytworzony biodiesel BBuE w wiekszości parametrów charakteryzował się lepszymi właściwościami od biodiesla I generacji RME, co należy uznać za bardzo korzystne. Tylko gęstość biodiesla BBuE, która w temperaturze 15^{o}C, wynosiła 884 [g/dm^{3}], była mniej korzystna, ponieważ gęstość biodiesla RME wynosiła 872 [g/dm^{3}]. Okazało się więc, że udział estrów kwasów tłuszczowych o krótkim łańcuchu od C6 - C14 w BBuE wpłynął korzystnie na parametry paliwowe.
3. Przeprowadzone badania pokazały, że zasilanie silnika biodieslem BBuE w stosunku do zasilania RME wpłynęło korzystnie na parametry efektywne pracy silnika, czyli wzrost momentu obrotowego i mocy wykonane na zewnętrznej charakterystyce prędkościowej, czyli tzw. charakterystyce pełnej mocy. Główny wpływ na to, miała wyższa wartość opałowa BBuE w stosunku do RME. Wartość opałowa biodiesla BBuE wyniosła 38,2 [MJ/kg], podczas gdy RME 37,8 [MJ/kg]. Oczywiście silnik uzyskiwał niższą moc i moment obrotowy niż przy zasilaniu olejem napędowym, który charakteryzował się najwyższą wartością opałową wynoszącą 42,7 [MJ/kg]. Kolejnym argumentem, świadczącym o udowodnieniu postawionej hipotezy była toksyczność spalin silnika. Pomiaru stężeń gazów spalinach silnika Perkins 1104D-44TA dokonano według

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego 1400 obr/min i 2200 obr/min. Były to punkty odpowiadające odpowiednio prędkości maksymalnego momentu obrotowego i maksymalnej mocy. Okazało się że w spalinach silnika zasilanego biodieslem BBuE było zdecydowanie mniej CO, CO_2, THC oraz cząstek stałych PM spośród trzech paliw, dla których wykonano badania. Ponadto silnik zasilany biodieslem II generacji BBuE emitował mniej, bardzo niepożądanych dla środowiska NO_x w porównaniu do zasilania biodieslem I generacji RME. Jednocześnie dla charakterystyki obciążeniowej wykonanej przy prędkości 2200 obr/min silnik emitował porównywalną ilośćj NO_x niż przy zasilaniu olejem napędowym.

Wszystkie trzy ww. wnioski pozwalają na jednoznacznie stwierdzenie, że cel pracy został osiągnięty.

9.2. Proponowane kierunki dalszych badań

Przeprowadzone badania, chociaż wykazały, że zastosowanie alternatywnego oleju z rośliny babassu do wytworzenia biodiesla, wpłynęło generalnie korzystnie na parametry paliwowe BBuE, wzrost mocy i momentu obrotowego oraz ograniczenie emisji składników spalin w stosunku do zasilania referencyjnym biodieslem RME, nie kończą tematu i należy je traktować jako wstępne. Badania silnikowe zostały przeprowadzone tylko na hamowni silnikowej wyposażonej w silnik Perkins 1104D-44TA, który jest silnikiem starszej generacji. Dlatego, w celu lepszego i szerszego poznania wpływu składu i układu kwasów tłuszczowych na parametry pracy silnika oraz toksyczność spalin, potrzebne są kolejne badania, które ewentualnie potwierdziły by uzyskane wyniki z użyciem najnowszej generacji silników. Wnioski wysnute z niniejszej pracy motywują do realizacji dalszych prac badawczych, dotyczących wykorzystania oleju roślin nieżywnościowych jako surowca do produkcji biopaliw nowej generacji. W związku z tym sformułowano kierunki dalszych działań:

1. Badania wpływu zasilania silników biodieslem II i wyższych generacji oraz pierwszej ulepszonej generacji na parametry pracy silników i emisję składników spalin. Badania należy przeprowadzić z udziałem silników najnowszej generacji obecnie używanych w samochodach osobowych oraz transporcie.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

2. Badania nad określeniem wpływ składu i układu kwasów tłuszczowych w biodieslu nowej generacji BBuE na efektywne parametry pracy nowoczesnych silników oraz ekologię w warunkach rzeczywistych.
3. Prace nad zmniejszeniem stosunku tlenu do wodoru i węgla w strukturze kwasów tłuszczowych, co wpłynie na zwiększenie wartości opałowej biodiesla oraz uzyskiwaną moc i moment obrotowy. Prace polegać będą na wprowadzaniu do struktury oleju pozyskiwanego z roślin takich kwasów tłuszczowych, które zawierają mniej tlenu przy jednoczesnym zachowaniu i/lub poprawie pozostałych parametrów paliwowych biodiesla. Badania nad poprawą właściwości niskotemperaturowych oraz związanych z utlenianiem biodiesla, polegające na rugowaniu ze struktury oleju niekorzystnych kwasów tłuszczowych w postaci: palimitynowego oraz linolowego i linolenowego. Kwas palmitynowy, którego jest w oleju rzepakowym około 5% [m/m] odpowiada za krzepnięcie RME w temperaturach około -15^{o}C, co jest niekorzystne. Natomiast kwas tłuszczowy linolowy i linolenowy mają tendencje do utleniania, a tym samym pogarszają zdolność przechowywania paliwa bez pogorszenia parametrów w dłuższym okresie. Kwasu linolowego i linolenowego w strukturze np. oleju rzepakowego jest w sumie około 30% [m/m]. Wymienione kwasy były przez lata wprowadzane do struktury oleju, ponieważ są kwasami nienasyconymi należącym do grupy omega-6 i zaliczają do tzw. egzogennych kwasów tłuszczowych, czyli są niezbędne dla organizmu ludzkiego.
4. Opracowanie pierwszej w Europie dedykowanej pod biopaliwa nowej generacji rośliny o ulepszonym składzie i układzie kwasów tłuszczowych w stosunku do roślin oleistych obecnie uprawianych. Będzie to polegało na wprowadzeniu do struktury kwasów tłuszczowych rośliny (np. rzepaku) wybranych kwasów tłuszczowych o krótkich łańcuchach węglowych (od C6 do C14). Do tej pory, rośliny w Europie nie posiadają w swojej strukturze takich kwasów tłuszczowych. Celem, jest zatem wytworzenie nowej rośliny, której olej będzie cechował się polepszonymi parametrami w stosunku do istniejących. Po analizie tematyki zagadnienia wraz z genetykami i hodowcami określono, że prace nad taką rośliną potrwają około 8 lat.

Jeżeli chodzi o prace nad ulepszaniem roślin pod kątem poprawy parametrów biopaliw oraz nad biopaliwami nowej generacji to kontynuowaniem prac jest zainteresowana Grupa Lotos S.A., z którą zostało w tej sprawie podpisane porozumienie.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Literatura

[1] Aaksh S., Ardhapurkar P. M., Bobade S. N.: Biodiesel from Thumba oil characterization and performance testing in internal combustion engine. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 3/2016, 511-517.

[2] Aalam C. S., Saravanan C. G., Anand B. P.: Impact of high fuel injection pressure on the characteristics of CRDI diesel engine powered by mahua methyl ester blend. Applied Thermal Engineering, 106/2016, 702-711.

[3] Abu-Hamdeh N. H., Alnefaie K. A.: A comparative study of almond biodiesel-diesel blends for diesel engine in terms of performance and emissions. BioMed Research International, 2015, 1-8.

[4] Agarwal A. K, Katiyar V., K.: Optimisation of Karanja/Jatropha-Methanol emulsification variables and their engine evaluation. Renewable Energy, 96/2016, Part A, 433-441.

[5] Aldhaidhawi M., Chiriac R., Badescu V.: Ignition delay, combustion and emission characteristics of Diesel engine fueled with rapeseed biodiesel. Renewable and Sustainable Energy Review, 73/2018, 178-186.

[6] Allocca L., Mancaruso E., Montanaro A., Sequino L., Vaglieco B.: Evaluation of RME (rapeseed methyl ester) and mineral diesel fuels behavior in quiescent vessel and euro 5 engine. Energy, 77/2014, 783-790.

[7] Amarnath H.K., Prabbakataran P.: A study on the thermal performance and emissions of a variable compression ratio diesel engine fuelled with karanja biodiesel and the optimization of parameters based on experimental data. International Journal Green Energy, 9/2012, 841-863.

[8] Ambarish D., Bijan K. M.: A comprehensive review of biodiesel as an alternative fuel for compression ignition engine. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 57/2016, 799- 821.

[9] Ambarish D., Bijan K. M.: Engine performance, combustion and emission characteristocs of a compression ignition engine operating on different biodiesel-alcohol blends. Energy, 125/2017, 470-483.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

[10] Ambrozik A., Ambrozik T., Kruczyński D., Łagowski P.: Podstawowe parametry strugi wtryskiwanego biopaliwa w silniku o zapłonie samoczynnym. 1(97)/ 2014, 51-59.

[11] Anand K., Sharma R.P., Mehta P.S.: Experimental investigation on combustion, performance and emission characteristics of near karanja biodiesel and its methanol blend in a diesel engine. Biomass Bioenergy, 35/2011, 533-542.

[12] Aneks nr 1 Komunikatu Komisji Europejskiej nr 34 z 2006 roku COM(2006)34.

[13] Atmanli A.: Effects of a cetane improver on fuel properties and engine characteristics of a diesel engine fueled with the blends of diesel, hazelnut oil and higher carbon alcohol. Fuel, 172/2016, 209-217.

[14] Azad A. K., Rasul M. M. K., Khan M. M. K., Omri A., Bhuiya M. M. K., Ali M. H.: Modelling of renewable energy economy in Australia. Energy Procedia. 61/2014, 1902-1906.

[15] Baczewski K., Kałdoński T.: Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2004,2008.

[16] Bajdor K, Biernat K.: Biopaliwa jako alternatywne nośniki energii w silnikach spalinowych, klasyfikacja i perspektywy rozwoju. Archiwum Motoryzacji, 1/2011**,** pp. 5-19.

[17] Banapurmath NR, Tewari PG, Hosmath RS.: Combustion and emission characteristics of adirect injection, compression - ignition engine when operated on Hongeoil, HOME and blends of HOME and diesel. International Journal Sustainable Energy, 1(2)/2008, 80–93.

[18] Banapurmath NR, Tewari PG, Hosmath RS.: Performance and emission characteristics of a DI compression ignition engine operatedon Honge, Jatropha and sesame oil methyl esters. Renewable Energy, 33/2008, 1982–8.

[19] Banapurmath NR, Tewari PG, Kumar VV.: Combustion and emission characteristics of a direct injection CI engine when operated on Marotti oil methyl este and blends of Marotti oil methyl ester and diesel. International Journal Sustainable Energy, 2(3)/2009, 192–200.

[20] Banerjee A., Sharma R., Christi Y., Banerjee U. C.: Botrycoccus braunii: a renewable source of hydrocabons and other chemicals. Critical Reviews in Biotechnology, 22/2002, 245-279.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

[21] Benemann J. R.: Hydrogen production by microalgae. Journal Applied Phycology, 2000, 291 – 300.

[22] Bergtorson J., Thomson M.: A review of the combustion and emissions properties of advanced transportation biofuels and their impast on existing and future engines. Renewable Sustainable Energy Review, 42/2015, 1393-1417.

[23] Bhuiya M. M. K., Rasul M. M. K., Khan M. M. K. Ashwath N., Azad A. K., Mofijur M.: Optimisation of Oil Extraction Process from Australia Native Beauty Leaf Seed (Calophyllium inophyllium). Energy Procedia, 75/2015, 56-61.

[24] Bocheński C. L.: Biodiesel, paliwo rolnicze. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2003.

[25] BP Statistikal Review of Word Energy, lipiec 2017.

[26] Bueno A.V., Velasquez J.A., Milanez L.F.: Heat release and engine performance effects of soybean oil ethyl ester blending into diesel fuel, Energy. 36(6)/2011, 3907-3916.

[27] Buyukkaya E.: Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. Fuel, 89(10)/2010, 3099–105.

[28] Canakci M.: Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel. Bioresources Technology, 98/2007,1167–75.

[29] Celikten I., Mutlu E., Solmaz H.: Variation of performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with diesel, rapeseed oil and hazelnut oil methyl ester blends, Renewable Energy, 48/2012, 122-126.

[30] Chauhan B.S., Kumar N., Cho H.M.: A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with Jathropa biodiesel oil and its blends. Energy, 37/2012, 616-622.

[31] Christi Y.: Biodiesel from microalgae. Biotechnology, 25/2007, 294-306.

[32] Datta A., Palit S., Mandal B.K.: A comprehensive review of biodiesel as an alternative fuel for compression ignition engine. Renevable and Sustainable Energy Reviews, 57, 2016, 791-821.

[33] Demirbas A.: Biodiesel: a realistic fuel alternative for diesel engines. London Springer, 2008.

[34] Demirabas A.: Progress and recent trends in biodiesel fuels. Energy Conversion and Management, 50/2009, 14-34.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

[35] Deore ER, Jahagirdar RS.: Effect of compression ratio on energy and emission performance of single cylinder diesel engine fueled with jatropha and karanja biodiesel. International Journal Thermodyn, 16(3)/2013, 132–44.

[36] Devarajan Y., Munuswamy D. B., Mahalingam A.: Performance, combustion and emission analysisi on the effect of ferrofluid on neat biodiesel. Process Safety and Environmental Protection, III/2017, 283-291.

[37] Dragone G., Fernandes B, Vicente A. A., Teixeira J. A.: Third generation biofuels from microalgae. Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology, Mendez-Vilas A. (red.), Formatex, Portugalia, 2010.

[38] Dyrektywa Green Paper Towards a European Strategy for the security of energy supply (COM(2000)769.

[39] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2003/30/WE z dnia 8 maja 2003 roku w sprawie wspierania użycia w transporcie biopaliw lub innych paliw odnawialnych.

[40] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 roku w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.

[41] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/1513 z dnia 9 września 2015 rokuzmieniająca dyrektywę 98/70/WE odnoszącą się do jakości benzyny i olejów napędowych oraz zmieniająca dyrektywę 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych.

[42] EurObserv'ER. Biuletyn energii odnawialnej. Biopaliwa transportowe. Badanie przeprowadzone przez konsorcjum, 2015.

[43] European Commission, 1997, Communication from the Commission – Energy for the Future: Renewable Sources of Energy – White Paper for a Community Strategy and Action Plan. No. Document: COM(97)599 Final. European Commission, Brussela, Belgium.

[44] Gavrilescu M., Christi Y.: Biotechnology - a sustainable alternative for chemical industry. Biotechnology Advances, 23/2005, 477-499.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

[45] Ghazali W.N.M., Mamat R, Masajuki H.H., Najafi G.: Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 51/2015, 585-602.

[46] Godiganur S., Murthy C.H.S., Reddy R.P.: 6GBTA 5-9, G2-1 Cummins engine performance and emission tests using methyl esters mahua (Madhuca indica) oil /diesel blends. Renewable Energy, 34/2009, 2172-2177.

[47] Gray K. A., Zhao L., Emptage M.: Bioethanol. Current opinion in chemical biology, 10/2006, 141-146.

[48] Gumus M.: A comprehensive experimental investigation of combustion and heat release characteristics of a biodiesel (hazelnut kernel oil methyl ester) fueled direct injection compression ignition engine. Fuel, 89(10)/2010,2802-2814.

[49] Habibullah M., Masjuki H. H., Kalam M. A., Fattah R. I. M., Ashraful A. M., Mobarak H. M.: Biodiesel production and performance evaluation of coconut, palm and their combinet blend with diesel in a single- cylinder diesel engine. Energy Conversion and Management, 87/2014, 250-257.

[50] Hariram V., Kumar G.M.: Combustion analysis of algal oil methyl ester in a direct injection compression ignition engine. Journal Engineering Science Technology, 8(1)/2013, 77-92.

[51] Hombach L. E., Cambero C., Sowlati T.: Walther G., Optimal design of supply chains for second generation biofuels incorporating European biofuel regulations, Journal of Cleaner Production, 133/2016, 565-575.

[52] Jabłońska M. M.: Ocena wpływu wdrożeniakoncepcji ILUC na rozwój przemysłu biopaliw. Nafta-Gaz, 2014, Nr 4, 242-255.

[53] Jawoski A., Kuszewski H. i in.: Oznaczanie liczby cetanowej wybranych paliwa podstawie spalania w komorze o stałej objętości w aspekcie zastosowania w silniku o zmiennym stopniu sprężania VCR, Mechanika. Czasopismo techniczne, 2012, 8, 275-284.

[54] Jazair W., Kubo S., Takayasu M., Yatsufusa T., Kidoguchi Y.: Performance and emission characteristicsof a dieseln engine fueled by rapeseed oil bio-fuel. Journal Mek., 33/2011, 32-39.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

[55] Karabektas M.: The effects of turbocharger on the performance and exhaust emissions of a diesel engine fueled with biodiesel. Renewable Energy, 34/2009, 989-993.

[56] Karabektas M., Ergen G., Hosoz M.: Effects of the blends containing low ratios of alternative fuels on the performance and emission characteristics of a diesel engine. Fuel, 112/2013, 537-541.

[57] Klimiuk E., Pawłowska M, Pokój T.: Biopaliwa. Technologie dla zrównoważonego rozwoju, PWN, 6/2013,Warszawa.

[58] Krajowy Plan Działania w zakresie OZE, Ministerstwo Gospodarki.

[59] Kriszna Reddy A. V., Shiva M. Shankar, Apparao K.: Experimental determination of brake thermal efficiency and brake specific fuel consumption of diesel engine fuelled with biodiesel. International Journal of Engineering and Technology, 2(5)/2010, 305-309.

[60] Kumar S., Dinesha P., Bran I.: Influence of nanoparticles on the performance and emission characteristics of a biodiesel fuelled engine: An experimental analysis. Energy 140, 2017, 98-105.

[61] Kumar R.S., Kumar K.S.: Effect of methanol blending with Pongamia pinnata biodiesl and diesel blends on engine performance and exhaust emission characteristics of an unmodiefied compression ignition engine. International Journal Ambient Energy, 36(2)2013, 70-75.

[62] Kumar N., Varun S. R., Chauhan: Performance and emission characteristics of biodiesel from different origins. A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 21/2013, 633-658.

[63] Kupczyk. A.: Rynek biopaliw transportowych w Polsce na tle wymagań UE. Chemia Przemysłowa, 4, 32-35.

[64] Kuszewski H., Jaworski A. i in.: The study of derived cetane number for ethanol-diesel blends. Combustion Engines. 2015, 162(3).

[65] Labeckas, G., Slavinskas S.: Performance of direct-injection off-road diesel engine on rapeseed oil. Renewable Energy, 31/2006, 849-863.

[66] Lebiecka K., Konsekwencje rozwoju globalnej produkcji biopaliw. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej – PIB, Warszawa.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

[67] Lemaire R., Bejaoui S., Therssen E.: Study of soot formation during the combustion of diesel rapeseed methyl ester andtheir surrogates in turbulent spray flames. Fuel, 107/2013, 147-161.

[68] Agnieszka Leśniak, Lidia Ostasz: Zmiany właściwości fizykochemicznych oleju rzepakowego poddanego obróbce termicznej i ich kinetyczna analiza, Zeszyty Naukowe, 710, 2006, Kraków, str. 81 - 96.

[69] Lewandowski W. M., Ryms M.: Biopaliwa. Proekologiczne odnawialne źródła energii, Wydawnictwo WNT, Warszawa, 2013.

[70] Lin Y.C., Hsu K.H., Chen C.B.: Experimental investigation of the performance and emissions of a heavy-duty diesel engine fueled with waste cooking oil biodiesel/ultra-low sulfur diesel blends. Energy, 36/2011, 241-248.

[71] Merkisz J.: Ekologiczne problemy silników spalinowych. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2/1999.

[72] Merkisz J., Kozak M. i in..: Wpływ zastosowania mieszanin oleju napędowego i RME o różnym składzie na emisję cząstek stałych z silnika ZS, Combustion Engines, 1/2012, 35-39.

[73] Międzynarodowa Agencja Energii IEA, 2012 CO_2 Emissions from Fuel Combustion – Highlights. Report. International Energy Agency Statistics, Paris, France.

[74] Międzynarodowa Agencja Energii IEA, 2013 Emissions International Energy Outlook Report. Report U.S. Information Administration, Washington, US.

[75] Millo F., Debnath B.K., Vlachos T., Ciaravino C., Postrioti L., Buitoni G,.:Effects of fifferent biofuels blends on performance and emissions of an automotive diesel engine. Fuel, 159/2015, 614-627.

[76] Mofijur M., Masjuki H.H., Kalam M.A., Atabani A.E.: Evaluation of biodiesel blending, engine performance and emissions characteristics of Jatropha curcas methyl ester: Malaysian Perspective. Energy, 55/2013, 879-887.

[77] Mofijur Rahman, Masjuki H. H., Kalam A., Atabani A. E., Memon L. A, Rahman A. M. A.: Performance and emission analysis of Jatropha curcas *and* Moringa oleifera methyl ester fuel blends in a multi-cylinder diesel engine. Journal of Cleaner Production, 65/2014, 304-310.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

[78] N. Panneerselvam, M. Ramesh, A. Murugesan, C. Vijayakumar, D. Subramaniam, A. Kumaravel. Effect on direct injection naturally aspirated diesel engine characteristics fuelled by pine oil, ceiba pentandra methyl ester compared with diesel. Transportation Research, Part D, 48/2016, 225-234.

[79] Nagarajan S., Ilangkumaran M., Gaikwad A.: Comparative analysisi of performance, emission and combustion parameters of diesel engine fueled with methyl ester of fish oil and its diesel blends. Fuel, 132/2014, 116-124.

[80] Nayak S. K., Pattanaik B.P.: Experimental investigation on performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with Mahua biodiesel using additive. Energy Procedia, 54/2014, 569-579.

[81] No S-Y.: Inedible vegetable oils and their derivatives diesel fuels in CIengines. A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15/2011, 131-149.

[82] Nwafor O.: Emission characteristcs of diesel engine operating on rapeseed methyl ester. Renewable Energy, 29/2004, 19-129.

[83] Obiukwua O., Nwafora M., Igbokwe J.: The use of rapeseed methyl ester biodiesel in disel engines, International Journal Ambient Energy, 36/2015, 8-10.

[84] Ozcanli M., Serin H., Saribiyik O.Y., Aydin K., Serin S.: Performance and emission studies of castrol bean (Ricinus communis) oil biodiesel and its blends with diesel fuel. Energy Sources, Part A, 34/2012, 1808-1814.

[85] Ozsezen AN, Canakci M, Turkcan A, Sayin C.: Performance and combustion characteristics of a DI diesel engine fueled with waste palm oil and canola oil methyl esters. Fuel 88/2009, 629–36.

[86] Pal A., Verma A., Kachhwaha S.S., Maji S.: Biodiesel production through hydrodynamic cavitation and performance testing. Renewable Energy, 35(3)/2010, 619-624.

[87] Perumal V. i in.: Experimental analysis of engine performance, combustion and emission using pongamia biodiesel as fuel in CI engine. Energy, 129/2017, 228-236.

[88] Petersom C. L.: Commercialization of biodiesel: Enviromental and Health Benefis. Proceedings of a biodiesel conference, National Center for Advanced Transoprtation Technology, University of Idaho, 1997.

[89] PN-86/C-04062:1986. Przetwory naftowe - Oznaczanie ciepła spalania paliw ciekłych w bombie kalorymetrycznej i obliczanie wartości opałowej.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

[90] PN-EN ISO 8178-1:1999: Silniki spalinowe tłokowe - Pomiar emisji spalin -- Pomiar emisji składników gazowych i cząstek stałych na stanowisku badawczym.

[91] PN-EN 6885:2001: Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce - Oznaczanie liczby anizydynowej.

[92] PN-EN 14104:2004. Produkty przetwarzania olejów i tłuszczów - Estry metylowe kwasów tłuszczowych (FAME) - Oznaczanie liczby kwasowej

[93] PN-EN 14111:2004: Produkty przetwarzania olejów i tłuszczów - Estry metylowe kwasów tłuszczowych (FAME) - Oznaczanie liczby jodowej.

[94] PN-EN 14214:2008: Ciekłe przetwory naftowe - Estry metylowe kwasów tłuszczowych (FAME) do użytku w silnikach samochodowych o zapłonie samoczynnym (Diesla) i zastosowań grzewczych.

[95] PN-EN ISO 5508:1996 Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce - Analiza estrów metylowych kwasów tłuszczowych metodą chromatografii gazowej.

[96] PN-EN ISO 3405 Przetwory naftowe - Oznaczanie składu frakcyjnego metodą destylacji pod ciśnieniem atmosferycznym.

[97] PN-EN ISO 3960:2012: Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce - Oznaczanie liczby nadtlenkowej -- Jodometryczne (wizualne) oznaczanie punktu końcowego.

[98] PN-EN ISO 3679: Oznaczanie zapłonu lub braku zapłonu oraz temperatury zapłonu - Szybka metoda równowagowa w tyglu zamkniętym.

[99] PN-EN ISO 3675:2004: Ropa naftowa i ciekłe przetwory naftowe - Laboratoryjne oznaczanie gęstości.

[100] Polityka Energetyczna Polski do roku 2030. Załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10.11.2009 r.

[101] Posten C., Shaub G.,: Microalgae and terrestrial biomass as source for fuel - A process review, Journal of Biotechnology, 142/2009, 64-69.

[102] Prakash R., Singh R. K., Murugan S.: Experimental studies on combustion, performance and emission characteristics of diesel engine using different biodiesel bio oil emulsions. Journal of the Energy Institute, 88/2015, 64-75.

[103] Puhan S, Jegan R, Bala Subbramanian K, Nagarajan G.: Effect of injection pressure on performance, emission and combustion characteristics of high linolenic linseed oil methyl ester ina DI diesel engine. Renewable Energy, 34/2009,1227–33.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

[104] Puhan S, Nagarajan G.: NO_x reduction in a DI diesel engine using biodiesel as renewable fuel. International Journal Sustainable Energy, 27(3)/2008, 143–154.

[105] Qi D.H., Bae C., Feng Y., Jia C., Bian Y.: Combustion and emission characteristics of a direct injection compression ignition engine using rapeseed biodiesel oil based microemulssions. Fuel, 107/2013, 570-577.

[106] Qi D.H., Chen H., Geng L.M., Y. Bian Z. H.: Experimental studies on the combustion characteristics and performance of a direct injection engine fueled with biodiesel/diesel blends. Energy Conversion and Management, 51/2010. 2985-2992.

[107] Qi D.H., Chen H., Geng L.M., Y. Bian Z. H., Liu J., Ren X.C.: Combustion characteristics and performance evaluation of a diesel engine fueled with biodiesel produced from soybean crude oil. Renewable Energy, 34(12)/2009,), 2713.

[108] Raamalingam S., Silambarasan R., Pranesh G., Govindasamy M.: Effect of operating and antioxidant additives with biodiesels to improve the performance and reducing the emissions in a compression ignition engine. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81/2018, 775-788.

[109] Raheman H, Ghadge SV.: Performance of diesel engine with biodiesel at varying compression ratio and ignition timing. Fuel, 87/2008, 2659–66.

[110] Raheman H., Ghadge S. V.: Performance of compression ignition engine with mahua (Madhuca indica) biodiesel. Fuel, 86/2007, 2568-2573.

[111] Rakopoulos C.D., Rakopoulos D.C., Hountalas D.T., Giakoumis E.G., Andritsakis E.C.: Performamnce and emissions of bus engine using blends of diesel fuel with bio-diesel of sunflower or cottonseed oils derived from Greek feedstock. Fuel, 87(2)/2008, 147-157.

[112] Randazzo M.I., Sodre J.R.: Exhaust emissions from a diesel powered vehicle fuelled by soybean biodiesel blends (B3-B20) with ethanol as an additive (B20E2-B20E5). Fuel, 90/2011, 98-103.

[113] Rao GLN, Prasad BD, Sampath S, Rajagopa K.: Combustion analysis of diesel engine fueled with jatropha oil methyl ester-diesel blends. International Journal Green Energy 4/2007, 645–58.

[114] Rao Y.V.H, Violeti R.S., Raju A.V.S. Reddy P.N.: The effect of cottonseed oil methyl ester on the performance and exhaust emissions of a diesel engine. International Journal Ambient Energy, 31(4)/2010, 203-210.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

[115] Raport Biofuels in the European Vision, a Vision 2030 and Beyond.

[116] Rashedul H. K., Masjuki H. H., Kalam M. A., Teoh Y. H., How H. G., Rizwanuh Fattah I. M.: Effect of antioxidant on the oxidation stability and combustion-performance-emission characteristics of a dieselengine fueled with diesel-biodiesel blend. Energy Conversion and Management, 106/2015, 849-858.

[117] Roessler P. G., Brown L. M., Dunahay T. G., Heacox D. A., Jarvis E. E., Schneider J. C.: Genetic - engineering approaches for enhanced production of biodiesel fuel from microalgae. ACS Symp. Ser., 566/1994, 255-270.

[118] Roszkowski A.: Biodiesel w UE i Polsce - obecne uwarunkowania i perspektywy. Problemy inżynierii rolniczej, 3(77)/2012, 65-78.

[119] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 15 grudnia 2000 r. w sprawie obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła ze źródeł niekonwencjonalnych i odnawialnych oraz wytwarzanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła, a także ciepła ze źródeł niekonwencjonalnych i odnawialnych oraz zakresu tego obowiązku - Dz. U. z 2000 r., Nr 122, poz. 1336.

[120] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 2 lutego 1999 r. w sprawie obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła ze źródeł niekonwencjonalnych oraz zakresu tego obowiązku Dz. U. z 1999 r., Nr 13, poz. 119.

[121] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 maja 2003 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązku zakupu energii elektrycznej i ciepła z odnawialnych źródeł energii oraz energii elektrycznej wytwarzanej w skojarzeniu z wytwarzaniem ciepła, Dz. U. z 2003 r., Nr 104, poz. 971.

[122] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 23 lipca 2013 r. w sprawie Narodowych Celów Wskaźnikowych na lata 2008 – 2013 (Dz. U. nr 110, poz. 918).

[123] Sajjadi B., Raman A. A. A., Arandiyan H.: A comprehensive review on properties of edible and non-edible vegetable oil-based biodiesel: Composition, specifications and prediction models. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 63/2016, 62-92.

[124] Saktivel R., Ramesh K., Prermachandran R., Skameer M.: A review on the properties performance and emission aspects of the third generation biodiesels. Renewable and Sustainable Energy Review, 2017, 1-23.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

[125] Schumacher L.G, Borgelt S.C., Fosseen D., Goetz W., Hires W.G.: Heavy-duty engine exhaust emission tests using methyl ester soybean oil/diesel fuel blends. Bioresource Technology, 57(1)/1996, 31-36.

[126] Shehata M.S., Razak S.M.A.: Experimental investigation of diesel engine performance and emission characteristics using jojoba/diesel blend and sunflower oil. Fuel, 90(2)/2011, 886-97.

[127] Singer P., Ruhe J.: On the mechanism of deposit formation during thermal oxidation of mineral diesel and diesel/biodiesel blends under accelerated conditions. Fuel, 133/2014, 245-252.

[128] Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E., Isambert A.: Commercial applications of microalgae. Journal of Bioscience and Bioengineering, 101/2006, 87-96.

[129] Struś M.: Ocena wpływu biopaliw na wybrane właściwości eksploatacyjne silników o zapłonie samoczynnym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2012.

[130] Sureshkumara C., Sarangan J.: A comparison study of performance and emission characteristisc of biodiesel blends with diethyleneglycol dimethyl ether as additive. Energy Sources, Part A, 35/2013, 778-788.

[131] Sureshkumara K., Verlajb R., Ganesan R.: Performance and exhaust emission characteristics of a CI engine fueled with Pongamia pinnata methyl ester (PPME) and its blends with diesel. Renewable Energy, 33/2008, 2294-2302.

[132] Szlachta S.: Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. WKŁ, Warszawa, 2002.

[133] Ustawa o biokomponentach i biopaliwach ciekłych z dn. 25 sierpnia 2006 r. - Dz. U. Nr 169, poz. 1199.

[134] Ustawa o zmianie ustawy o biokomponentach i biopaliwach ciekłych oraz niektórych innych ustaw z dn. 24 listopada 2017 r. - Dz. U. Nr 2017 poz. 2290.

[135] Wasilewicz-Niedbalska W., Kijeński J., (2004) Czynniki surowcowe i technologiczne wpływające na jakość estrów metylowych kwasów tłuszczowych. Chemik, 3-4, 117-121.

[136] Wcisło G.: Analiza wpływu odmian rzepaku na własności biopaliw RME oraz parametry pracy silnika o zapłonie samoczynnym, Monografia habilitacyjna, Wydawnictwo FALL, Kraków, 213.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

[137] Wcisło G.: Determining Rheological Properties of CSME biodiesel Type Biofuels, „Combustion Engines“, 2009-SC1, 20–25.

[138] Wcisło D., Kurczyński D., Łagowski P., Pracuch B., Leśniak A., Tomyuk V. Influence of Perkins 1104D-44TA motor powered with SME supply on the CO, NO_x, THC and O_2 emissions, ECONTECHMOD. An International Quarterly Journal – 2018, Vol. 07, No. 4, 49 – 52.

[139] Wilk R.K. i inni, Laboratorium techniki spalania, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.

[140] Zamojski H.: Perspektywy rozwoju produkcji biopaliw płynnych w Polsce do roku 2020. III Konferencja Naukowo Techniczna Biopaliwa płynne, perspektywy rozwoju, Sosnowiec, 16-17 września 2008.

[141] Zhu L,Cheung CS, Zhang WG, Huang Z.: Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol–biodiesel blends. Fuel 90/2011, 1743–50.

[142] http://www.kowr.gov.pl.

[143] https://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/17479.pdf.

[144] http://www.paclp.com.

[145] http://www.inkom.com.pl - INKOM Instruments.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Spis rysunków

Rys. 1.1. Narodowy Cel Wskaźnikowy na lata 2010-2020 10
Rys. 1.2. Światowa produkcja biopaliw 12
Rys. 1.3. Produkcja biopaliw w Europie w latach 2010 – 2017 13
Rys. 1.4. Produkcja biopaliw w Europie w latach 2007 – 2016 13
Rys. 1.5. Ilość wyprodukowanych w Polsce biopaliw w postaci bioetanolu i estrów metylowych FAME 14
Rys. 2.6. Składniki komórkowe alg wykorzystywane w produkcji biopaliw 23
Rys. 5.7. Porównanie wpływu różnych rodzajów biopaliw na sprawność termiczną silnika 43
Rys. 5.8. Porównanie wpływu różnych rodzajów biopaliw na sprawność termiczną silnika 44
Rys. 5.9. Porównanie wpływu różnych rodzajów biopaliw na jednostkowe zużycie paliwa 47
Rys. 5.10. Wpływ biodiesla z oleju pongamia i mieszanek z olejem napędowym na temperaturę gazów spalinowych 50
Rys. 5.11. Emisja CO w spalinach silnika Kirloskar zasilanego badanymi paliwami 53
Rys. 5.12. Emisja NO_x w silniku wysokoprężnym Kirloskar AV1 zasilanym w biodiesel pongamia i jego mieszanek z olejem napędowym 57
Rys. 6.13. Schemat blokowy przeprowadzonych badań 61
Rys. 6.14. Mechanizm reakcji transestryfikacji triacyloglicerolu z alkoholem metylowym 65
Rys. 6.15. Mechanizm reakcji transestryfikacji oleju rzepakowego wobec kwasowych katalizatorów homogennych 67
Rys 6.16. Stanowisko badawcze wytwarzania biodiesla oleju palmy babassu 68
Rys. 6.17. Stanowisko badawcze wyposażone w chromatograf gazowy SRI 8610C 71
Rys. 6.18. Schemat ideowy kalorymetru KL10 73
Rys. 6.19. Stanowisko badawcze do wyznaczania lepkości dynamicznej, wyposażone w reometr firmy Anton Paar oraz wannę termostatyczna firmy Grant 74
Rys. 6.20. Układ pomiarowy o cylindrach współosiowych 74
Rys. 6.21. Stanowisko wyposażone w półautomatyczny aparat Herzog HFP 380 76
Rys. 6.22. Stanowisko badawcze wyposażone w destylarkę firmy Herzog HAD 620/1 76
Rys. 6.23. Analizator CID 510 do oznaczenia liczby cetanowej 77
Rys. 6.24. Układ wtryskowy aparatu CID 510 do oznaczenia liczby cetanowej 78
Rys. 6.25. Komora spalania CID 510 do oznaczenia liczby cetanowej 78

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Rys. 6.26. Schemat stanowiska badawczego silnika Perkins 1104D - 44TA 81
Rys. 6.27. Schemat systemu pomiarowego cząstek stałych MEXA-1230PM 83
Rys. 6.28. Schemat systemu pomiarowego spalin silnikowych MEXA-1600DEGR: 84
Rys. 7.29. Wykres przyrostu temperatury podczas spalania w kalorymetrze biodiesli: BBuE, RME i oleju napędowego 89
Rys. 7.30. Wyniki badań określających wpływ temperatury na lepkość dynamiczną biodiesli BBuE, RME oraz oleju napędowego 91
Rys. 7.31. Krzywa destylacji biopaliw BBuE i RME oraz ON 93
Rys. 7.32. Charakterystyka zewnętrzna silnika - zależność momentu obrotowego od prędkości. 97
Rys. 7.33. Charakterystyka zewnętrzna silnika - zależność mocy efektywnej od prędkości obrotowej silnika 97
Rys. 7.34 a, b. Porównanie stężeń tlenku węgla CO w spalinach silnika Perkins 1104D -44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n = 1400 obr/min oraz b) n = 2200 obr/min 98
Rys. 7.35 a i b. Porównanie stężeń dwutlenku węgla CO2 w spalinach silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n = 1400 obr/min oraz b) n = 2200 obr/min 99
Rys. 7.36 a, b. Porównanie stężeń tlenków azotu NO_x w spalinach silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n = 1400 obr/min oraz b) n = 2200 obr/min 100
Rys. 7.37 a, b. Porównanie stężenia THC w spalinach silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n = 1400 obr/min oraz b) n = 2200 obr/min 101,102
Rys. 7.38 a, b. Porównanie zadymienia spalin silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n = 1400 obr/min oraz b) n = 2200 obr/min 102,103
Rys. 7.39 a, b. Porównanie stężeń cząstek stałych PM w spalinach silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n = 1400 obr/min oraz b) n = 2200 obr/min 103,104
Rys. 7.40 a, b. Porównanie godzinowego zużycia paliwa silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

a) n=1400 obr/min oraz b) n = 2200 obr/min, zasilanego olejem napędowym ON, estrami metylowymi oleju rzepakowego RME i estrami butylowymi oleju babassu BBuE.....105
Rys. 7.41 a, b. Porównanie jednostkowego zużycia paliwa silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego a) n = 1400 obr/min oraz b) n=2200obr/min, zasilanego olejem napędowym ON, estrami metylowymi oleju rzepakowego RME i estrami butylowymi oleju babassu BBuE.....106
Rys. 7.42. Przebieg zmian godzinowego zużycia paliwa G_h w funkcji mocy efektywnej N_e silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego n = 1400 obr/min, zasilanego paliwami BBuE, RME i ON 107
Rys. 7.43. Przebieg zmian godzinowego zużycia paliwa G_h w funkcji mocy efektywnej N_e silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego n = 2200 obr/min, zasilanego paliwami BBuE, RME i ON 107
Rys. 7.44. Przebieg zmian jednostkowego zużycia paliwa g_e w funkcji mocy efektywnej N_e silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego n = 1400 obr/min, zasilanego paliwami BBuE, RME i ON 108
Rys. 7.45. Przebieg zmian jednostkowego zużycia paliwa ge w funkcji mocy efektywnej Ne silnika Perkins 1104D-44TA pracującego według charakterystyki obciążeniowej dla prędkości obrotowej wału korbowego n = 2200 obr/min, zasilanego paliwami BBuE, RME i ON 108

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Spis tabel

Tabela 2.1. Podział roślin ze względu na ich potencjalną przydatność do produkcji biopaliw I, II generacji....18
Tabela 2.2. Wymagane parametry dla biopaliw wg normy PN-EN 14214....20
Tabela 2.3. Skład chemiczny kwasów tłuszczowych wybranych glonów……..24
Tabela 2.4. Stężenie oleju u wybranych gatunków/rodzajów glonów....25
Tabela 3.5. Rozwój regulacji europejskich w zakresie stosowania biopaliw....27
Tabela 3.6. Obowiązujące wskaźniki NCW w wartości energetycznej na lata 2008 - 2020....29
Tabela 5.7. Dopuszczalne wartości emisji spalin w poszczególnych normach EURO dla pojazdów z silnikiem wysokoprężnym o zapłonie samoczynnym....37
Tabela 5.8. Porównanie właściwości wybranych biodiesli FAME wyprodukowanych z różnych surowców....39
Tabela 5.9. Porównanie wpływu na parametry silnika różnych rodzajów biodiesli i ich mieszanek z olejem napędowym....51
Tabela. 5.10. Porównanie wpływu na toksyczność różnych rodzajów biodiesli i ich mieszanek z olejem napędowym....60
Tabela 6.11. Właściwości fizykochemiczne oleju babassu....62
Tabela 6.12. Profil kwasów tłuszczowych oleju babassu....63
Tabela 6.13. Wybrane wyniki prób wstępnych reakcji transestryfikacji oleju babassu z udziałem metanolu i wodorotlenkiem potasu....69
Tabela 6.14. Wybrane wyniki prób wstępnych reakcji transestryfikacji oleju babassu z udziałem metanolu, etanolu butanolu i ich mieszanin z wodorotlenkiem potasu i kwasem siarkowym(VI)70
Tabela 6.15. Podstawowe dane techniczne hamulca elektrowirowego typu AMX – 200/6000 firmy Elektromex Centrum....81
Tabela 6.16. Podstawowe dane techniczne silnika o zapłonie samoczynnym Perkins 1104D-44TA....82
Tabela 6.17. Specyfikacja techniczna analizatora spalin MEXA-1600DEGR....85
Tabela 7.18. Porównanie składu kwasów tłuszczowych biodiesla oleju Babass (BBuE), oleju rzepakowego (RME)....87
Tabela 7.19. Porównanie parametrów fizykochemicznych BBuE w porównaniu do oleju RME.88

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Tabela 7.20. Porównanie ciepła spalania i wartości opałowej biopaliw BBuE, RME w porównaniu do oleju napędowego 89
Tabela 7.21. Lepkość kinematyczna i dynamiczna dla badanych biopaliw i oleju napędowego w temperaturze 40^{o}C 92
Tabela 7.22. Wymagania jakościowe składu frakcyjnego dla oleju napędowego wg normy 93
Tabela 7.23. Najistotniejsze punkty krzywej destylacji biopaliw i paliwa referencyjnego ON 94
Tabela 7.24. Porównanie liczby cetanowej i temperatury zapłonu biopaliwa BBuE i oleju napędowego 95
Tabela 7.25 Oznaczenie liczby cetanowej Biodiesli BBuE i dla porównania RME oraz oleju napędowego 96

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

Determination of the impact of the fatty acid composition of the babassu oil on the properties the second generation biodiesel and the parameters of the self-ignition engine

Summary

High oil prices and a steady increase in the demand for liquid fuels and, on the other hand, the progressive global greenhouse effect caused by the emission of carbon dioxide results in a growing interest in the use of biological raw materials as motor fuels. The problem of environmental pollution as well as the necessity to look for alternative solutions in the field of liquid fuels has become an argument for undertaking the presented dissertation, whose main goal is to determine the impact of the fatty acid system on the physicochemical properties of second generation biodiesel from babassu oil and on ignition engine parameters engines.

At the beginning of the work a list of the most important abbreviations and markings presented in the dissertation was presented. The work has been divided into eight chapters and contains a total of 135 pages. The introduction presents a description of issues related to the origin of the subject matter. The second chapter divides biofuels, their needs and uses in the world as well as in Poland. Next, legal regulations concerning the implementation of new generation fuels as well as emission of harmful compounds in the aspect of standards, Euro, are discussed. The next chapter is devoted to the analysis of literature data for ecological indicators and fuel consumption of engines powered by fatty acid esters.

The research was carried out on oil obtained from babassu palm, a plant growing in South America. The main criterion for choosing this oil was to examine whether a different chemical structure, ie the babassu oil fatty acid system, is potentially applicable to diesel engines.

In the chapter on the research methodology, an analysis was made of the raw material for the production of non-nutritious vegetable biodiesel - babassu palm oil. Methods for the transesterification process of babassu oil were described and the methodology for the analysis of qualitative properties and emissions of toxic compounds of produced biodiesel were presented. The apparatus made it possible to assess the physico-chemical parameters of the produced biofuel as well as the engine's effective parameters, the engine load and emissions of the babass palm oil fueled with biofuel compared to the rapeseed oil and diesel fuel.

The next chapter presents the results of the research, which were analyzed. The results of the carried out process of transesterification of babassu palm oil were presented. Emission

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.

characteristics of biofuel from Babassu oil and emission qualities of the obtained biofuel were determined. They were compared with qualitative parameters with rapeseed oil biofuels and diesel fuel. The presented research results were related to the ecological aspects of the use of babassu palm oil in the possible design of biofuel non-food plants.

This document was created by an application that isn't licensed to use novaPDF.
Purchase a license to generate PDF files without this notice.