

ORLIŃSKI Stanisław

EMISJA CZĄSTEK STAŁYCH Z SILNIKA ROLNICZEGO ZASILANEGO ESTREM Z LNIANKI

Streszczenie

W referacie przedstawiono zagadnienia dotyczące pomiaru emisji cząstek stałych z silnika o ZS typu Perkins 1104C-E44T z wtryskiem bezpośrednim, zasilanego biopaliwem estrem metylowym kwasów oleju rydzowego z lnianki oraz porównawczo niskosiarkowym olejem napędowym.

Pomiary emisji cząstek stałych wykonano na stanowisku hamownianym w stanach ustalonych pracy silnika. Stanowisko było wyposażone w system AVL-415 pracujący w trybie automatycznym do pomiaru emisji cząstek stałych..

Wykazano, że biopaliwa i paliwa węglowodorowe o różnych właściwościach fizykochemicznych mają istotny wpływ na emisję cząstek stałych. Wpływ ten przejawia się także w oddziaływaniu na wskaźniki efektywne, ekonomiczne, energetyczne oraz ekologiczne pracy badanego silnika.

WSTĘP

Zmniejszenie zawartości substancji zanieczyszczających w spalinach silników o zapłonie samoczynnym stanowi dla nowoczesnego społeczeństwa wyzwanie w trosce o ochronę środowiska naturalnego. Proces eksploatacji silników o zapłonie samoczynnym nie pozwala aktualnie na całkowite wyeliminowanie paliw węglowodorów otrzymanych z zasobów mineralnych, takich jak: ropa naftowa, węgiel czy gaz ziemny, przy czym przykładem takiej mieszaniny węglowodorów jest olej napędowy. Możliwe jest zastąpienie części węglowodorów w paliwie silnikowym, takim jak olej napędowy innymi związkami organicznymi-biopaliwa, które emitują bardziej czyste spaliny odlotowe i nie wpływają niekorzystnie na wskaźniki operacyjne pracy silników [1].

Paliwa roślinne charakteryzują się innymi właściwościami fizykochemicznymi w stosunku do paliw węglowodorowych. Powodują one występowanie różnic w procesie tłoczenia i rozpylania paliwa oraz ich spalania w przestrzeni nadłokowej cylindra silnika [2].

Postęp w zakresie konstrukcji silników o ZS (Zapłonie Samoczynnym) sprawił, że dużą uwagę zwraca się także na zasilanie tych silników różnymi paliwami o ściśle określonych, powtarzalnych właściwościach fizykochemicznych.

Paliwo przeznaczone do zasilania silników o ZS powinno zapewniać [4]:

- prawidłowe funkcjonowanie całego układu zasilania, w tym szczególnie aparatury wtryskowej,
- zupełny proces spalania,
- tworzenie możliwie jak najmniejszej ilości toksycznych składników spalin.

Obecny rozwój silników o ZS idzie w kierunku [6]:

- zmniejszenia zużycia paliwa – aspekt ekonomiczny,

- zmniejszenia emisji toksycznych i nietoksycznych składników spalin, a przede wszystkim cząstek stałych PM – aspekt ekologiczny,
- zmniejszenia emisji akustycznej (hałas) - aspekt ekologiczny.

1. BIOPALIWA

Stosowane biopaliwa możemy podzielić na biopaliwa pierwszej generacji i obecnie stosowane biopaliwa drugiej generacji, które być może niedługo zastąpią biopaliwa pierwszej generacji [7].

Biopaliwa I generacji są produkowane z roślin uprawnych, takich jak: zboża, ziemniaki, buraki cukrowe, rzepak i lnianka w klimacie umiarkowanym oraz trzcina cukrowa, olej palmowy w klimacie ciepłym.

W przypadku biopaliw I generacji bioetanol otrzymywany jest w wyniku fermentacji alkoholowej a biodiesel w wyniku estryfikacji olejów roślinnych.

Biopaliwa II generacji to pojęcie bardzo szerokie obejmujące m.in. produkcję paliwa z celulozowych odpadów organicznych jak słoma, oraz upraw roślin energetycznych. Do tej kategorii zalicza się też biogaz oraz proces upłynniania biomasy, w którym jest ona najpierw zgazowywana, a gaz następnie wykorzystuje się do produkcji paliwa [8].

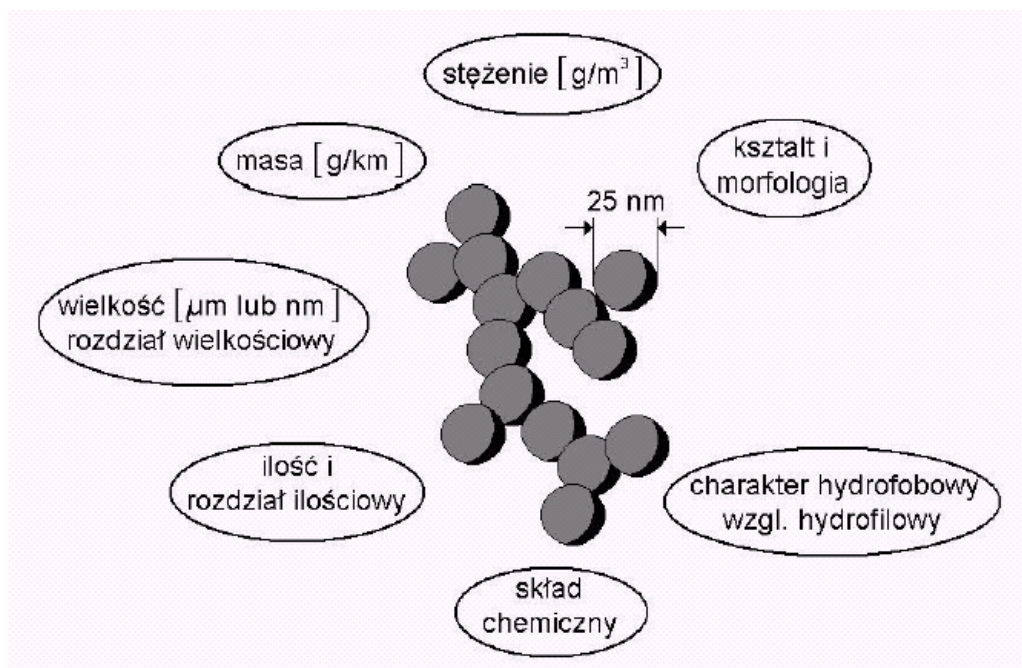
Wskaźnik EROEI (Energy Return On Energy Invested) charakteryzuje biopaliwa pod kątem energochłonności ich produkcji. Jest to stosunek uzyskanej energii lub nośnika energii do energii włożonej na jej (jego) przetworzenie [9].

2. CHARAKTERYSTYKA CZĄSTEK STAŁYCH (PM)

Cząstki stałe Particulate Matter (PM) emitowane w gazach wylotowych silników o zapłonie samoczynnym stanowią niepożądane, szkodliwe zanieczyszczenie aerosfery. Cząstki stałe posiadają zróżnicowane kształty i wymiary. Głównym ich składnikiem są produkty niepełnego spalania paliw węglowodorowych, a także oleju smarującego silnik. Można rozróżnić dwie zasadnicze fazy [2]:

- Fazę nierozpuszczalną, w tym część nierozpuszczalną organiczną (IOF – Insoluble Organic Fraction), obejmującą węgiel w postaci sadzy, produkty niepełnego spalania dodatków do paliwa czy oleju silnikowego oraz część nierozpuszczalną nieorganiczną (INSINOF – Insoluble Inorganic Fraction) obejmującą popioły, siarczany, śladowe ilości żelaza, fosforu, wapnia, krzemu, chromu, fosforu itp., także zanieczyszczenia mechaniczne przedostające się do silnika z otoczenia.
- Fazę rozpuszczalną w tym część rozpuszczalną organiczną (SOF – Soluble Organic Fraction), której głównymi składnikami są substancje organiczne adsorbowane na cząstkach sadzy stanowiące produkty niepełnego spalania paliwa i oleju smarującego silnik, głównie węglowodory oraz część rozpuszczalną nieorganiczną (SINOF – Soluble Inorganic Fraction) powstająca głównie w przypadku obecności w paliwie siarki, której produkty spalania, dołączając się do procesu wykraplania węglowodorów, tworzą z parą wodną kwas siarkowy.

Na rys.1 pokazano podstawowe właściwości fizykochemiczne charakteryzujące cząstki stałe PM emitowane przez silniki o ZS.



Rys. 1. Właściwości fizykochemiczne charakteryzujące cząstki stałe emitowane przez silniki o ZS
Źródło: [2]

Metody usuwania cząstek stałych [2]

Filtry cząstek stałych:

- Wall flow monolith.
- Pianki ceramiczne.
- Filtry świecowe.
- Filtr z siatką metalową.
- Filtry siatkowe druciane.

Niekatalityczne metody usuwania cząstek stałych:

- Palniki.
- Podgrzewacze elektryczne.
- Dławienie spalin na wyjściu lub na wejściu paliwa.

Katalityczne usuwanie cząstek stałych z filtrów:

- Warstwa katalityczna.
- Katalityczne dodatki do paliw.
- Iniekcja prekursorów katalizatora przed filtrem.
- Przepływ przez złożę katalizatora utleniającego.

3. TENDENCJE ROZWOJOWE SILNIKÓW STOSOWANYCH W CIĄGNIKACH ROLNICZYCH

Kierunki innowacyjnych rozwiązań silników z zapłonem samoczynnym wyznaczone są zarówno wymogami obowiązujących norm toksyczności spalin Stage-III*B, jak również potrzebą uzyskania wysokich parametrów energetycznych. Występuje równoczesna modyfikacja silników ze względu na stosowanie dodatków biopaliwowych na bazie estrów do oleju napędowego (ON), z możliwością zasilania niektórych silników czystymi olejami roślinnymi [2].

Optymalizacja procesu spalania ładunku homogenicznego przy wieloetapowym wtrysku paliwa z udziałem biokomponentów w systemie Common Rail (CR) wyznacza główne kierunki prac badawczych w zakresie rozwoju silników stosowanych w ciągnikach rolniczych. Modyfikacje te są realizowane poprzez zmiany konstrukcyjne pozwalające

zachować limity emisji toksycznych składników spalin, głównie: CO, HC, NO_x oraz cząstek stałych PM.

Zmiany konstrukcyjne oraz zagadnienia adaptacyjne realizowane poprzez elektronizację procesu wtrysku i spalania oraz sterowania układem doładowania silnika poprzez turbosprężarkę ze zmienną geometrią łopatek kierownic wlotu gazów do turbiny VGT (Variable Geometry Turbocharger). Powszechnie stosuje się chłodnicę powietrza w układzie dolotowym silnika a także układ EGR z chłodnicą spalin. Dodatkowej poprawy należy oczekiwać wraz z upowszechnieniem wtryskiwaczy sterowanych piezoelektrycznie cechujących się krótkim czasem reakcji na impuls napięciowy (ok. 0,1 ms) [2].

Znacznie uproszczonym rozwiązaniem technicznym jest układ zasilania silnika ciągnika rolniczego biopaliwem lub jego mieszaninami z ON. Biopaliwa powinny posiadać pakiety uszlachetniające dostosowane do zróżnicowanych warunków eksploatacji silnika rolniczego. Pomimo przeprowadzenia wielu prac badawczych z zakresu zasilania silników biopaliwem, w dalszym ciągu istnieją kontrowersje, dotyczące eksploatacji nowoczesnych jednostek wyposażonych w układ wtrysku paliwa typu CR [4].

Stałe dążenie do polepszania trwałości silników spalinowych, w tym zasilanych biopaliwem, wymaga konieczności prowadzenia badań eksploatacyjnych w zakresie trwałości silnika w układzie paliwo-olej smarujący. Badania te w znacznym stopniu mogą przybliżyć i opisać mechanizm procesu degradacji oleju smarującego.

Upowszechniany jest obecnie w silnikach ciągników rolniczych system inteligentnego zarządzania mocą Power Control DPC głównie dla silników z układem zasilania Common Rail. Chwilowe zwiększenie momentu obrotowego silnika w przypadku wzrostu oporów trakcyjnych ciągnika związane jest z koniecznością przesterowania maksymalnej dawki paliwa przez sterownik ECU i zwiększenia ciśnienia doładowania [4].

Jednym z głównych problemów dotyczących eksploatacji silników ciągników rolniczych zasilanych estrami jest zapewnienie właściwego rozruchu w temperaturze -5°C . Właściwości niskotemperaturowe estrów różnią się od właściwości ON, co wynika z jednolitości związków chemicznych wchodzących w skład biopaliwa powodując zwiększoną skłonność do tworzenia struktur o charakterze zawiesin (szlamów). Ich obecność ogranicza przepływ paliwa i prowadzi do stopniowej blokady filtra paliwa i unieruchomienia silnika.

4. CEL BADAŃ

Celem badań było wykazanie, że rodzaj paliwa o różnych właściwościach fizykochemicznych ma istotny wpływ na stężenia cząstek stałych PM spalin emitowanych z silnika Perkins 1104C-E44T (EU Stage II G) umieszczonego na stanowisku hamownianym wyposażonym w systemy pomiarowe AVL CEB II oraz AVL-415 pracujące w trybie automatycznym na bazie prędkościowej-zewnętrznej charakterystyki silnika.

W czasie realizacji badań silnik Perkins 1104C-E44T był zasilany niskosiarkowym olejem napędowym EKODIESEL ULTRA B (ON) oraz porównawczo estrem metylowym kwasów oleju z lniarki EST-LN.

5. WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE PALIW, STANOWISKO BADAWCZE, METODA BADAŃ

5.1. Charakterystyka badanych paliw

Zastosowany w badaniach ester metylowy kwasów oleju rydzowego stanowi samoistne biopaliwo. Jest paliwem w pełni odnawialnym, a użytkując go ograniczamy emisję składników toksycznych spalin powstających w procesie eksploatacji ciągników rolniczych napędzanych silnikiem Perkins 1104C-E44T.

Ester EST-LN nie zawiera siarki, ani węglowodorów aromatycznych (WWA), a zasilanie nim pojazdów powoduje redukcję emisji węglowodorów (HC), tlenków węgla (CO) i cząstek stałych (PM).

Paliwo to ulega biodegradacji dwa razy szybciej, niż ropopochodny olej napędowy (ON) oraz jest całkowicie bezpieczne w transporcie i w procesie magazynowaniu.

Wyboru badanych paliw dokonano ze względu na ich dostępność na rynku oraz na niejednorodne właściwości fizykochemiczne tj. gęstość, lepkość, napięcie powierzchniowe oraz wartość opałowa, które wpływające na proces przetwarzania, rozpylania i spalania. W tabeli 1. przedstawiono wybrane właściwości fizykochemicznych badanych paliw.

Tab. 1. Wybrane właściwości fizykochemicznych badanych paliw

Właściwości Fizykochemiczne	Ester metylowy kwasów oleju rydzowego (lnianka) (EST-LN)	EkoDiesel ULTRA - B Ekologiczny Letni (ON)
Gęstość [kg/m ³]	891,7	848
Lepkość kinematyczna [mm ² /s]	4,50	3,12
Liczba cetanowa	49	51,5

Źródło: [10]

5.2. Stanowisko badawcze oraz metoda badań

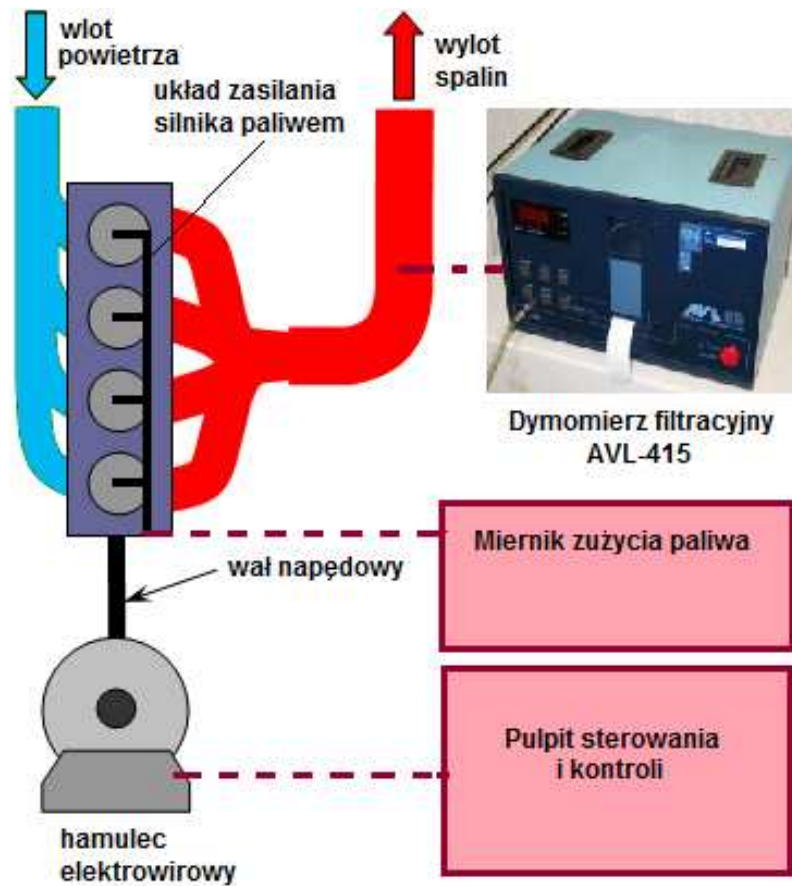
Badania przeprowadzono na typowym, zbudowanym wg PN-88/S-02005 stanowisku hamownianym z zamontowanym rolniczym silnikiem o zapłonie samoczynnym typu Perkins 1104C-E44T z bezpośrednim wtryskiem paliwa.

Stanowisko wyposażone było w system pomiarowy umożliwiający pomiar parametrów wolno, szybkozmiennych oraz analizatory spalin firmy AVL. Schemat blokowy stanowiska badawczego pokazano na rys. 2.

Wybrane parametry techniczne obiektu badań [3]:

- typ - ekologiczny Perkins 1104C-E44T,
- rodzaj wysokoprężny, czterosuwowy, rzędowy, z bezpośrednim wtryskiem paliwa, chłodzony cieczą, turbodoładowany,
- pojemność silnika - 4400 cm³,
- średnica cylindra/skok tłoka - 105/127 mm,
- liczba cylindrów - 4,
- stopień sprężania -19,3,
- prędkość biegu jałowego 750 ± 50, obr/min,
- kąt dynamicznego początku tłoczenia paliwa 17 °OWK,
- jednostkowe zużycie paliwa przy mocy znamionowej - 233 g/kWh,
- jednostkowe zużycie paliwa przy max. momencie obrotowym - 219 g/kWh,
- pompa wtryskowa rozdzielaczowa z regulatorem mechanicznym - Bosch R927.

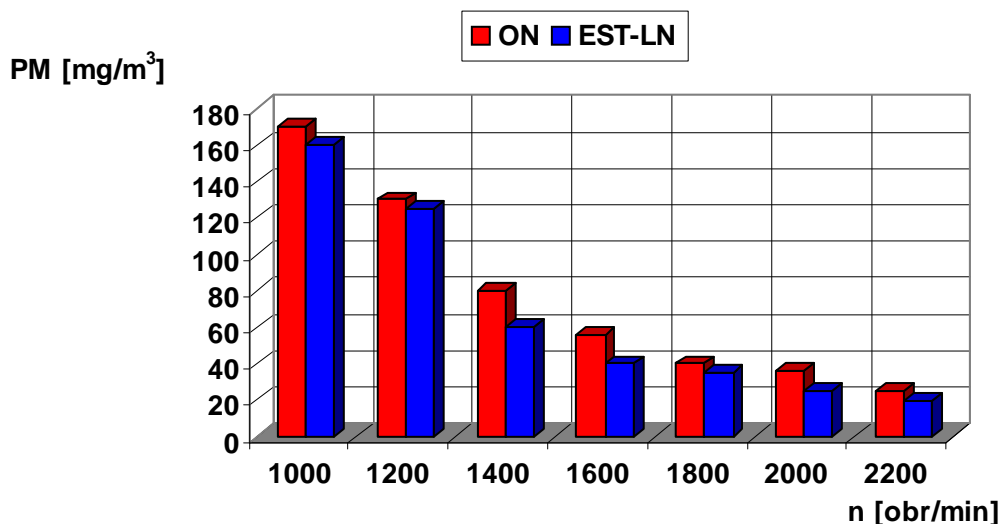
Podczas sporządzania zewnętrznej prędkościowej charakterystyki silnika w przedziale od 1000-2200 obr/min, rejestrowano, co 200 obr/min: obciążenie, zużycie paliwa i emisję cząstek stałych Particulate-Mater (PM).



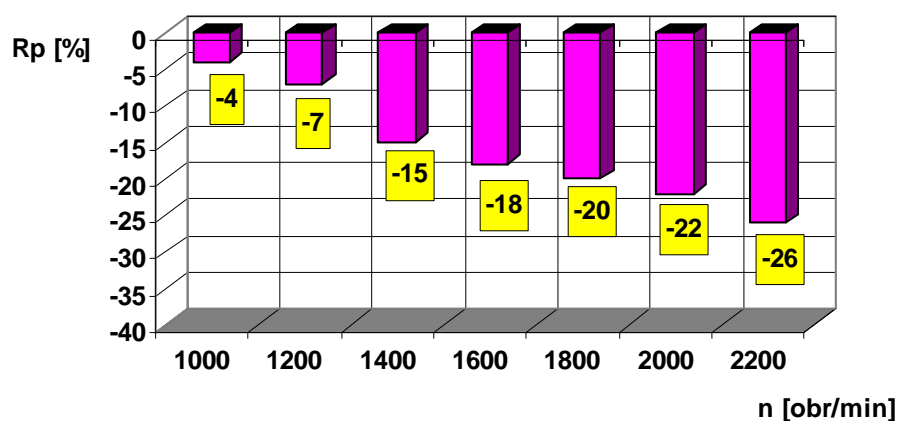
Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego
Źródło: [3]

6. GRAFICZNE PORÓWNANIE WYNIKI BADAŃ

Na rys. 3 pokazano graficzne porównanie emisji cząstek stałych (PM) z silnika turbodoładowanego Perkins 1104C-44 dla dwóch badanych paliw sporządzone w oparciu o charakterystykę prędkościową zewnętrzną, rys. 4. zbiorcze porównanie bezwzględnych różnic procentowych R_p [%] emisji cząstek stałych PM na bazie prędkościowej charakterystyki zewnętrznej w przedziale prędkości obrotowych silnika od 1000-2200 obr/min dla badanych paliw.



Rys. 3. Zbiorcze porównanie emisji cząstek stałych PM na bazie prędkościowej charakterystyki zewnętrznej
 Źródło: [wyk. autora]



Rys. 4. Zbiorcze porównanie bezwzględnych różnic procentowych Rp [%] emisji cząstek stałych PM na bazie prędkościowej charakterystyki zewnętrznej
 Źródło: [wyk. autora]

WNIOSKI

Na podstawie otrzymanych wyników z badań można sformułować następujące wnioski dotyczące emisji cząstek stałych (PM, mg/m³) dla silnika Perkins 1104C-44 zasilanego badanymi paliwami.

- przy sporządzaniu prędkościowej charakterystyki zewnętrznej zastosowanie estru z lniarki EST-LN jako paliwa zastępczego spowodowało znaczne zmniejszenie emisji cząstek stałych (PM) w całym przedziale prędkości obrotowych silnika od 1000-2200 obr/min względem paliwa bazowego ON (rys.3),
- poziomy emisji PM zbliżyły się do wartości uzyskiwanych dla paliwa standardowego EKODIESEL PLUS-50B względem paliwa EST-LN przy dużych obciążeniach w przedziale prędkości obrotowych silnika od 1000-1400 obr/min (rys.3).

- poziomy emisji PM okazały się większe dla paliwa węglowodorowego ON względem biopaliwa EST-LN przy zmniejszaniu obciążeń co powodowało wzrost prędkości obrotowych silnika, zwiększenie emisji występowało w przedziale od 1400-2200 obr/min (rys.3).
- zbiorcze porównanie bezwzględnych różnic procentowych R_p [%] emisji cząstek stałych PM na bazie prędkościowej charakterystyki zewnętrznej w przedziale prędkości obrotowych silnika od 1000-2200 obr/min dla badanych paliw wykazało zmniejszenie emisji PM dla paliwa EST-LN od 4-26% (rys.4),
- wyniki badań emisji cząstek stałych PM wykazały, że przy sporządzaniu charakterystyki prędkościowej zewnętrznej występuje analogia: ze wzrostem prędkości obrotowych silnika poprzez zmniejszenie obciążenia zmniejsza się emisja PM w stosunku do badanych paliw spowodowane to jest dysocjacją termiczną występującą w procesie spalania paliwa węglowodorowego jak i roślinnego.
Wnioski podsumowujące:
- przy ocenie ekonomicznego aspektu stosowania biopaliw oraz ich estrów, jest zmniejszenie kosztów ich wytwarzania i dystrybucji poprzez dotacje państwowe tak aby ceny tych paliw były porównywalne do cen paliw pochodzenia węglowodorowego,
- celowe jest dalsze prowadzenie badań związanych z zasilaniem silnika biopaliwami oraz ich wpływu na trwałość układu zasilania silnika w tym aparatury wtryskowej oraz skorzarzenia (TPC) tłok-pierścień-cylinder.

BIBLIOGRAFIA

1. Ambrozik A., Ambrozik T., Orliński P., Orliński S.: *Wpływ mieszanin etanolu z olejem napędowym na emisję wybranych składników spalin*. LogiTrans – VIII Konferencja Naukowo-Techniczna, Logistyka, Systemy Transportowe, Bezpieczeństwo w Transporcie, Szczyrk – 12-15 kwietnia 2011, opublikowane: LOGISTYKA 3/2011, ISSN 1231-5478, tekst na CD, s. 45-51.
2. Cieślakowski B.: *Kierunki badań i najnowsze trendy rozwojowe w konstrukcji ciągników rolniczych*. AGROINŻYNIERIA GOSPODARCE. Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki Uniwersytet Rolniczy w Krakowie Kraków 2011
3. Dokumentacja techniczna stanowiska badawczego. Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych. Politechnika Warszawska, Warszawa 2012.
4. Jakóbiec J, Ambrozik A.: *Badania FAME w zakresie oceny właściwości fizykochemicznych i użytkowych*. III Konferencja Naukowa EKOENERGIA, Akademia Rolnicza w Lublinie, Instytut Agrofizyki PAN – Lublin – Krasnobród. 2007
5. Merkisz J.: *Tendencje rozwojowe silników spalinowych maszyn i agregatów rolniczych*. Technika Rolnicza, Ogrodnicza, Leśna 2, 2010.
6. Orliński P.: *Wybrane zagadnienia procesu spalania paliw pochodzenia roślinnego w silnikach o zapłonie samoczynnym*. Instytut Naukowo Wydawniczy SPATIUM, Radom 2013.
7. Orliński S.: *Wpływ składu paliwa mikroemulsyjnego węglowodorowo-estrowo-etanolowego na efektywne wskaźniki pracy silnika Perkins-1104C-44*, Zeszyty naukowe Instytutu Pojazdów Politechniki Warszawskiej Wydział SiMR, Warszawa, 2(78)/2010, str.73-86. ISSN 1642-347X.
8. Orliński S., *Wpływ zasilania silnika rolniczego Perkins 1104C-44 paliwami estrowo-etanolowymi na wybrane parametry procesu wtrysku i spalania w aspekcie ekologicznym*, IX Konferencja N-T Logistyka Systemy Transportowe Bezpieczeństwo w Transporcie. Wydział Transportu i Elektrotechniki Politechniki Radomskiej. Komitet Transportu

Polskiej Akademii Nauk. Szczyrk, 17-20 kwietnia 2012 r. str. 1761-1768. LOGISTYKA 3/12.

9. Orliński S., Orliński P., Wojs A.: *The effect of diesel fuel mixture and camelina oil ester on the process of fuel injection in traction engine*. 39th International Scientific Congress on Powertrain and Transport Means, European KONES-2013. JURATA 8-11.10.2013. Vol. 20 Nr 1, s. 255-261.
10. Świadectwo jakości badanych paliw, Zakład Produktów Naftowych, WMTiW, Politechnika Radomska, Radom 2011.

EMISSION OF PARTICULATES FROM THE AGRICULTURAL ENGINE FED WITH THE ESTER FROM CAMELINA

Abstract

In the paper problems concerning the measurement were presented to the broadcasting of particulates from the engine about ZS of the type 1104C-E44T Perkins with direct injection, fed with biofuel with methyl ester of acids of oil saffron milk cap around Camelina and comparatively with low-sulphuric diesel.

Measurements of the broadcasting of particulates were made on the post hamownianym in equilibria of the work of an engine. The post was equipped with the AVL-415 system working at the automatic mode for the measurement of broadcasting of particulates..

They demonstrated, that biofuels and hydrocarbon fuels about different properties physicochemical have the essential influence on the broadcasting of particulates. This influence is showing also in the influence on effective, economic, energy and ecological signs of functioning of the examined engine.

Autorzy:

dr inż. Stanisław ORLIŃSKI, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Wydział Mechaniczny, Radom