MECHANIKA
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
3-M/2012
ZESZYT 8
ROK 109
ISSUE 8
YEAR 109

JERZY CISEK*

WPŁYW MIESZANIN RME Z OLEJEM NAPĘDOWYM NA PARAMETRY PRACY SILNIKA a8C22 LOKOMOTYWY SM-42

EFFECT OF MIXTURES RME WITH DIESEL OIL ON THE OPERATION PARAMETERS OF THE ENGINE A8C22 IN THE LOCOMOTIVE SM-42

Streszczenie

Celem badań było określenie wpływu testowanych biopaliw (mieszanin estrów metylowych oleju rzepakowego RME z olejem napędowym) w porównaniu z olejem napędowym na parametry energetyczne i toksyczność spalin silnika a8C22 lokomotywy spalinowej SM42-2331, w trzech punktach pracy silnika: dla biegu jałowego, pośredniej prędkości obrotowej i częściowego obciążenia oraz nominalnej prędkości obrotowej i pełnej mocy silnika. Stwierdzono, że wzrost udziału estrów metylowych oleju rzepakowego (RME) do zawartości 50% w mieszaninie z olejem napędowym powoduje zwiększenie wartości godzinowego zużycia paliwa G_p o ok. 10% dla biegu jałowego oraz o ok. 15% dla pełnego obciążenia silnika w porównaniu z olejem napędowym. Zaobserwowano wzrost stężenia CO w spalinach wraz z ilością RME dla biegu jałowego, brak istotnych zmian stężenia CO dla pośredniego punktu pracy silnika oraz obniżenie emisji CO dla pełnego obciążenia silnika.

Słowa kluczowe: biopaliwa, RME, FAME, silnik z zapłonem samoczynnym, toksyczność spalin, ekologia

Abstract

The purpose of the research was described the influence of tested biofuels (mixture rapeseed methyl esters RME with diesel fuel) in comparison with diesel fuel on energy parameters and exhaust gases toxicity of a8C22 diesel engine of locomotive SM42, in 3 work points: for idle, medium engine speed and torque as well as full engine power. Was affirmed, among other things, that increase rapeseed ethyl esters (RME) up to 50% with mixture with diesel fuel, cause to increase hour fuel consumption G_p c.a. 10% for idle, 15% for full power in comparison with standard diesel fuel. Was observed growth concentration of CO in exhaust gases with RME amount for idle, no change for medium speed and decries of CO concentration for full power.

Keywords: biofuels, RME, FAME, diesel engine, exhaust gases emission, ecology

* Dr inż. Jerzy Cisek, Instytut Pojazdów Samochodowych i Pojazdów Samochodowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Zastosowanie oleju rzepakowego w jego naturalnej postaci jako paliwa dla silników wysokoprężnych wiąże się z szeregiem trudności technicznych, które wynikają z odmiennych od oleju napędowego własności fizyko-chemicznych. Stosunkowo prostym sposobem zminimalizowana tych trudności jest poddanie oleju roślinnego tzw. transestryfikacji przez alkoholizowanie metanolem lub etanolem. Następuje wtedy modyfikacja glicerynowych estrów kwasów tłuszczowych (glicerydów) polegająca na zastąpieniu grupy glicerynowej grupą metylową (lub etylową). Otrzymuje się w ten sposób estry metylowe lub etylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego o mniejszych cząsteczkach i własnościach fizykochemicznych bardziej zbliżonych do oleju napędowego.

Zastosowaniem biopaliw oraz innych paliw zastępczych [4–6] są szczególnie zainteresowani użytkownicy dużych silników [3] posiadający znaczącą flotę pojazdów. Wyniki badań nad zastosowaniem mieszanin oleju napędowego z estrami metylowymi oleju rzepakowego w silniku lokomotywy spalinowej zaprezentowano w niniejszym artykule.

2. Cel i zakres badań

Celem badań, których wyniki przedstawiono w artykule, było określenie wpływu testowanych biopaliw (komponentów estrów metylowych oleju rzepakowego z olejem napędowym) na parametry energetyczne oraz emisje jednostkowe toksycznych składników spalin silnika a8C22 lokomotywy spalinowej SM42-2331, zgodnie z Dyrektywą 2004/26/WE oraz Kartą UIC 624, w porównaniu z olejem napędowym.

Stosowano 4 paliwa zasilające silnik a8C22: standardowy olej napędowy ON oraz z dodatkiem 40 i 50% paliwa B100 (estrów metylowych oleju rzepakowego RME) i 50% z pakietem specjalnych dodatków) paliwa B100. Paliwa B70 i B100 zostały zdyskwalifikowane w wyniku określania stopnia zakoksowania rozpylaczy.

Badania parametrów energetycznych oraz emisji toksycznych składników spalin testowanych paliw zasilających silnik a8C22 lokomotywy spalinowej SM42-2331 przeprowadzono w Zakładzie NEWAG w Nowym Sączu. Aparatura pomiarowa: masowa miernica paliwa (firmy AVL), system pomiarowy stężeń gazowych składników spalin typu CEB II (firmy AVL), dymomierz spalin typu Bosch (firmy AVL) oraz system pomiarowy z tunelem rozcieńczającym do pomiaru emisji cząstek stałych PM z mikrowagą firmy Sartorius przetransportowany został z Laboratorium Silników Wysokoprężnych Instytutu Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych Politechniki Krakowskiej. Wszystkie systemy pomiarowe podłączono do silnika a8C22 lokomotywy spalinowej SM42-2331 pracującej na oporniku elektrycznym, który zapewniał realizację wymaganych punktów pracy silnika.

Silnik spalinowy typu a8C22 jest silnikiem wysokoprężnym, czterosuwowym, z bezpośrednim wtryskiem paliwa, w układzie widlastym o kącie rozwarcia 50°, bezwodzikowy, nienawrotny, doładowany turbosprężarką, bez chłodzenia powietrza za turbosprężarką. Podstawowe dane techniczne stosowanego silnika zamieszczono w tabeli 1.

Do pomiaru gazowych składników spalin (CO, HC, NOx), limitowanych przez wymienione normy, stosowano aparaturę pomiarową firmy AVL typu CEB II zawierającą m.in.:

– analizator absorpcji w podczerwieni NDIR, do pomiaru stężenia tlenku węgla CO,
– grzany analizator chemiluminescencyjny CLD, do pomiaru koncentracji tlenków azotu NOx,
– grzany detektor płomieniowo-jonizacyjnym FID, do pomiaru ilości niespalonych węglowodorów HC,
– analizator magnetooptyczny PMD, do pomiaru stężenia tlenu O_2,
– analizator absorpcji w podczerwieni NDIR, do pomiaru stężenia dwutlenku węgla CO_2,
– grzaną drogę próbkowania spalin z grzanym filtrem wstępnym,
– moduł określania sprawności konwersji NO_2/NO,
– dzielnik stężenia gazów kalibrujących do określania funkcji linearyzującej dla stosowanych analizatorów (używano 16 gazów linearyzujących o stężeniach od 0 do stężenia max., tj. stężenia gazu kalibrującego).

Podstawą do kalibracji analizatorów stosowanych podczas badań, deklarowanych w niniejszej procedurze, były gazy wzorcowe, o stopniu czystości oraz dokładności stężeń deklarowanych (wymaganych) przez normy ECE.

Zbudowane stanowisko pomiarowe spełniało wszystkie wymagania niezbędne do realizacji badań określających wpływ testowanych biopaliw na parametry energetyczne i toksyczność spalin silnika w punktach pracy, odpowiadających punktom testu F Dyrektywy 2004/26/WE [1, 2], określonych w tabeli 2.

3. Wyniki badań i ich analiza

Przeprowadzone pomiary pozwoliły na uzyskanie wartości parametrów energetycznych oraz stężenia toksycznych składników spalin dla badanych paliw (ON, B40, B50, B50+) dla różnych punktów pracy silnika odpowiadających realizacji testu „F" wg. Dyrektywy 2004/26/WE. Ze względu wymaganą powtarzalność i odtwarzalność zrealizowanych badań każdy punkt pomiarowy powtarzany był trzykrotnie. Obrazują to trzy słupki pomiarowe na każdym wykresie, dodatkowo wartość średnia, oraz średnie odchylenie standardowe z powtórzeń pomiarów. Graficzna interpretacja uzyskanych wyników badań przedstawiona została na wykresach (rys. 1–5).

Podstawowym parametrem energetycznym, istotnym z punktu widzenia eksploatacji silnika spalinowego zasilającego badaną lokomotywę, jest **godzinowe zużycie G_p** paliwa wyrażane w kilogramach zużytego paliwa na godzinę pracy silnika. Wartości wyników badań tego parametru przedstawione zostały na rys. 3 dla biegu jałowego, pośredniej prędkości pracy silnika oraz dla prędkości nominalnego punktu pracy silnika (tab. 2). Z danych zawartych na tych wykresach wnika wyraźnie, że wzrost udziału estrów metylowych oleju rzepakowego (RME) do 50% RME w oleju napędowym prowadzi do wzrostu godzinowego zużycia paliwa rzędu ok. 10% przy biegu jałowym oraz ok. 15% przy nominalnym punkcie pracy silnika. Należy jednak pamiętać, że olej napędowy i RME mają różne m.in. wartości opałowe W_d oraz gęstości paliwa. W związku z powyższym godzinowe zużycie paliwa G_p, również i jednostkowe paliwa g_e nie mogą być miarodajnymi parametrami oceny jakości badanych paliw. Jedynym parametrem, który w pełni odzwierciedla własności energetyczne badanych paliw, jest sprawność ogólna obiegu pracy silnika η_0, która uwzględnia zarówno jednostkowe zużycie paliwa, jak i wartość opałową paliwa, ponieważ $p_{wł} = \frac{0,52P}{d^2}$. Procentowa różnica

wartości opałowych oleju napędowego i paliwa B50 wynosi tylko ok. 4%, a godzinowe i jednostkowe zużycie paliwa różnią się aż o 15% dla pełnego obciążenia silnika. Wynika stąd, że sprawność ogólna silnika dla paliwa B50 jest niższa niż dla oleju napędowego. Związane jest to zarówno z pogorszeniem procesów wtrysku, tworzenia mieszaniny paliwowo powietrznej, samozapłonu oraz samego spalania, jak i ze składem elementarnym badanego biopaliwa w porównaniu z olejem napędowym.

Tabela 1

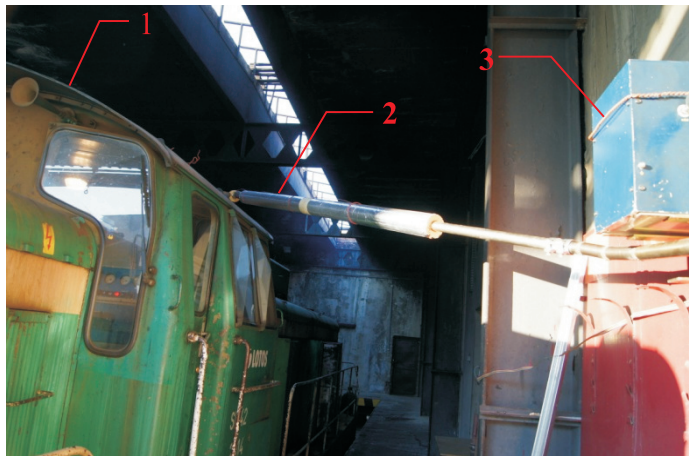
Podstawowe dane techniczne silnika a8C22

Producent	Zakłady Przemysłu Metalowego H. Cegielski – Poznań
Typ	a8C22
Liczba cylindrów	V8
Średnica cylindra	220 mm
Skok tłoka	270 mm
Pojemność skokowa 1 cylindra	10,2 dm^3
Moc znamionowa	530 kW
Obroty znamionowe	1000 obr./min
Średnie ciśnienie użyteczne Pe	0,58 Mpa
Stopień sprężania	13,5
Ciśnienie sprężania	5,6 Mpa
Max. ciśnienie spalania	10 Mpa
Średnia prędkość tłoka (przy obrotach znamionowych)	224±4 m/s
Minimalne jednostkowe zużycie paliwa	165±5 g/kWh
Ciśnienie początku wtrysku	22 Mpa
Kolejność zapłonu	1-8-2-7-4-5-3-6
Turbosprężarka	HP 210
Masa silnika suchego (z wstawką i turbosprężarką)	6730 kg
Masa kompletnego agregatu prądotwórczego (suchego)	12440 kg

Tabela 2

Stosowane punkty pomiarowe dla silnika a8C22 lokomotywy spalinowej SM42 zgodne z punktami testu F według dyrektywy 2004/26/WE

pkt. testu	n [obr./min]	Ne [kW]
1. $n_{\text{bieg luzem}}$	500	0
2. $n_{\text{pośrednie}}$	712	303
3. $n_{\text{nominalne}}$	1000	530



Fot. 1. Widok ogólny lokomotywy SM-42 z połączeniem wylotu spalin do analizatorów gazowych składników spalin, zadymienia spalin oraz do tunelu rozcieńczającego spaliny (pomiar emisji PM): 1 – badana lokomotywa spalinowa, 2 – przewód doprowadzenia spalin do analizatorów, 3 – grzany filtr wstępny gazowych analizatorów spalin

Photo 1. General view of the locomotive SM-42, with the connection between the exhaust exit and the analysers of the exhaust gaseous components, smokiness and the exhaust gas diluting tunnel (measurement of PM emission): 1 – tested diesel locomotive, 2 – supply conduit of exhaust gas to the analysers, 3 – preliminary heated filters in the gaseous analysers of exhaust gas

Fot. 2. Widok ogólny stanowiska pomiarowego do określania emisji gazowych składników spalin typu CEB II firmy AVL

Photo 2. General view of the measuring stand for determining the emission of the exhaust gaseous components like CEB II of the firm AVL

Tlenek węgla CO jest typowym produktem niezupełnego spalania. Znaczy to że, związek ten powstaje przy lokalnym niedoborze tlenu w komorze spalania. Z danych zamieszczonych na rys. 4 wynika wyraźnie, że wzrost ilości badanego biopaliwa w połączeniu w olejem napędowym powoduje:

– wzrost stężenia CO wraz z ilością RME w paliwie dla biegu jałowego,
– brak istotnych zmian stężenia CO dla pośredniego punktu pracy silnika,
– obniżenie stężenia CO dla pełnego obciążenia silnika ze wzrostem zawartości RME w oleju napędowym.

Na stężenia CO w spalinach silnika przy porównaniu efektu stosowania biopaliw w odniesieniu do oleju napędowego mają wpływ zarówno czynniki, które działają pozytywnie na przebieg procesów przygotowania mieszaniny paliwowo-powietrznej i przebieg spalania jak i czynniki, które oddziaływają negatywnie na te procesy. Zmiana równowagi pomiędzy tymi zjawiskami powoduje, iż przy małych obciążeniach silnika wpływ ilości biopaliwa w oleju napędowym oddziaływuje inaczej niż przy dużym obciążeniu silnika.

Kolejny rysunek przedstawia wyniki badań stężenia **niespalonych węglowodorów THC** w spalinach dla paliw B0, B40, B50, B50+ dla biegu jałowego, prędkości pośredniej oraz dla nominalnego punktu pracy silnika (rys. 5). Z danych tych wynika, że istnieje niewielki wpływ badanych paliw na stężenie niespalonych węglowodorów dla stosowanych paliw. Z doświadczenia wiadomo, że bieg jałowy związany z małymi dawkami paliwa, które prowadzą do dużej niepowtarzalności dawkowania paliwa, jest szczególnie wrażliwe na zmiany własności parametrów fizykochemicznych stosowanych paliw. Z tego powodu można zauważyć wpływ dodatku biopaliw (do B50) na wzrost stężenia THC przy biegu jałowym. Przy pozostałych punktach pracy silnika (prędkość pośrednia i nominalny punkt pracy silnika) stężenia THC utrzymują się na podobnym poziomie.

Następnym parametrem toksyczności spalin, który podlegał analizie jest stężenie **tlenków azotu NOx** (rys. 6) określone dla biegu jałowego, prędkości pośredniej oraz nominalnego punktu pracy silnika. Podobnie jak dla stężenia CO oraz niespalonych węglowodorów THC, również dla stężenia tlenków azotu NOx największy wpływ badane biopaliwa, w porównaniu z olejem napędowym, są rejestrowane dla biegu jałowego silnika. Jest to istotne, ponieważ lokomotywy tego typu pracują na biegu jałowym silnika najdłużej w czasie eksploatacji. Również z tego powodu współczynnik udziału wagi w teście „F" dla biegu jałowego ma największą wartość (60%). Z danych przedstawionych na rys. 4 widać, że wzrost udziału RME w oleju napędowym prowadzi do obniżenia stężenia w spalinach silnika. Jednak dla wyższych obciążeń silnika dodawanie RME do ON powoduje wzrost stężenia NOx. Niezwykle istotne jest, że pakiet dodatków do paliwa oznaczonego na wykresach jako B50+ spowodował znaczące obniżenie stężenia, ale również niewielkie obniżenie emisji związków niezupełnego i niecałkowitego spalania (CO, THC – dla biegu jałowego). Ponieważ obniżenie ilości tlenków azotu NO_x w spalinach silnika związane ze wzrostem ilości RME w oleju napędowym jest znacząco większe niż obniżenie emisji THC i CO, należy spodziewać się, że zastosowany dodatek powoduje skrócenie opóźnienia samozapłonu τ_s, definiowanego jako czas (lub kąt obrotu wału korbowego silnika) pomiędzy początkiem wtrysku paliwa i początkiem samozapłonu. Z tego powodu skrócenie τ_s zmniejsza czas pomiędzy początkiem wtrysku paliwa a początkiem samozapłonu, co powoduje zmniejszenie dawki paliwa, która gromadzi się w komorze spalania silnika przed samozapłonem. W wyniku tego samozapłon paliwa odbywa się mniej dynamicznie, maksymalna prędkość narastania ciśnie-

nia $\left(\frac{dp}{d\alpha}\right)_{max}$ $\left[\frac{\text{bar}}{^{o}\text{OWK}}\right]$ ma mniejszą wartość, w konsekwencji maksymalne temperatury spalania są niższe i stężenie NOx jest mniejsze.

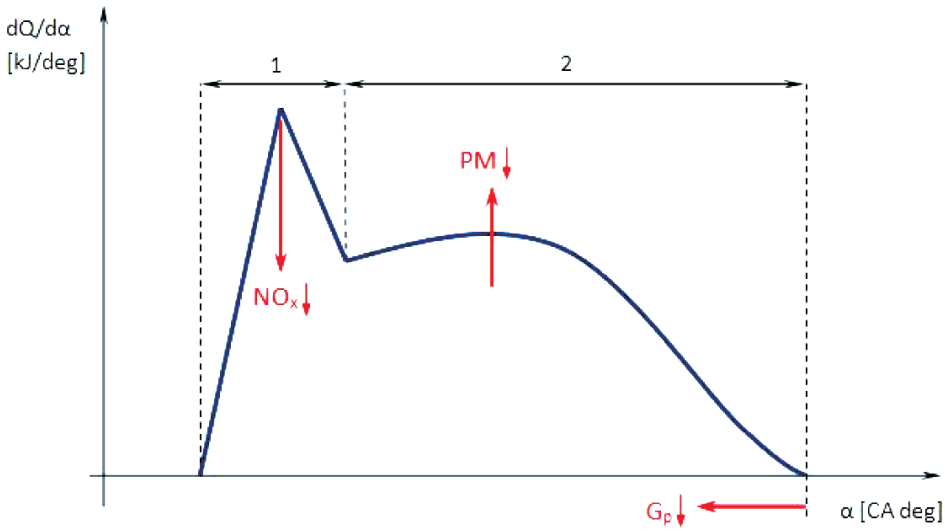
Kolejny wykres (rys. 7) przedstawia wpływ badanych biopaliw w porównaniu z olejem napędowym dla biegu jałowego, prędkości pośredniej oraz dla nominalnego punktu pracy silnika na **zadymienie spalin *D***. Z danych tych wynika że, istnieje wpływ dodatku RME do oleju napędowego na zadymienie spalin. Dla wszystkich badanych paliw wzrost udziału RME prowadzi do zwiększenia stopnia zadymienia spalin mierzonego metodą Bosch.

Powstawanie zadymienia spalin podobnie jak emisji cząstek stałych PM wiąże się w dużej mierze z krakingiem termicznym i/lub chemicznym paliwa, które prowadzą do wzrostu ilości sadzy w spalinach. Różnica pomiędzy emisją cząstek stałych i zadymieniem spalin polega głównie na fakcie, że zadymienie spalin związane jest wyłącznie z zaciemnieniem spalin, natomiast emisja cząstek stałych E_{PM} dotyczy również całej materii organicznej i nieorganicznej zgromadzonej na zewnętrznej powierzchni konglomeratów sadzy, która stworzona jest przez najbardziej toksyczne związki zawarte w spalinach. Dlatego też obecnie obowiązujące przepisy prawne, dotyczące zarówno pojazdów samochodowych, sinników stacjonarnych jak i lokomotyw spalinowych przestały bazować na pomiarach wyłącznie zadymienia spalin i dotyczą dodatkowo emisji cząstek stałych E_{PM}.

Zgodnie z zasadami termodynamiki za wielkość stężenia tlenków azotu NOx odpowiada maksymalna prędkość spalania kinetycznego w cylindrze silnika wysokoprężnego. Natomiast za emisję cząstek stałych w spalinach odpowiedzialna jest prędkość spalania dyfuzyjnego. Obniżenie prędkości spalania kinetycznego (zgodnie z rys. 1) powoduje zmniejszenie stężenia NO_x, natomiast zwiększenie prędkości spalania dyfuzyjnego prowadzi do obniżenia emisji cząstek stałych E_{PM}.

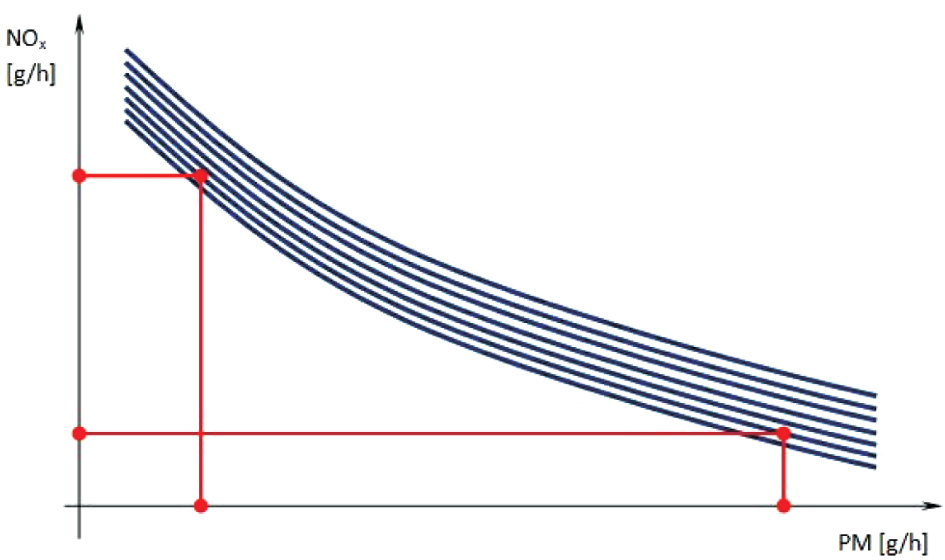
Zgodnie z rys. 2 zmiana parametrów konstrukcyjnych i/lub regulacyjnych i/lub parametrów fizyko-chemicznych paliwowych prowadzi zwykle do zmiany jednocześnie zarówno prędkości spalania kinetycznego, jak i dyfuzyjnego. W wyniku tego występuje swoista interakcja pomiędzy stężeniem i emisją tlenków azotu E_{NOx} i cząstek stałych E_{PM}. Znaczy to, że obniżenie emisji E_{NOx} prowadzi do zwiększenia emisji cząstek stałych E_{PM}. Potwierdzają to dalsze wyniki badań, nie objęte niniejszym artykułem, dotyczące wpływu stosowania biopaliwa dla silnika a8C22 na emisję cząstek stałych PM.

Ze względu na możliwość dokładniejszej analizy przyczynowo-skutkowej wskazane byłyby dokładniejsze badania, np. związane z indykowaniem cylindra silnika z pomiarem szybkozmiennym ciśnień badanych paliw oraz przemieszczenia iglicy wtryskiwacza lub też z wizualizacją oraz termowizją rejestrowane w funkcji obrotu wału korbowego silnika. Dopiero wówczas możliwa byłaby pełna analiza wpływu badanych paliw na obieg roboczy silnika oraz określenia sposobu poprawy warunków pracy silnika do stosowanych biopaliw.



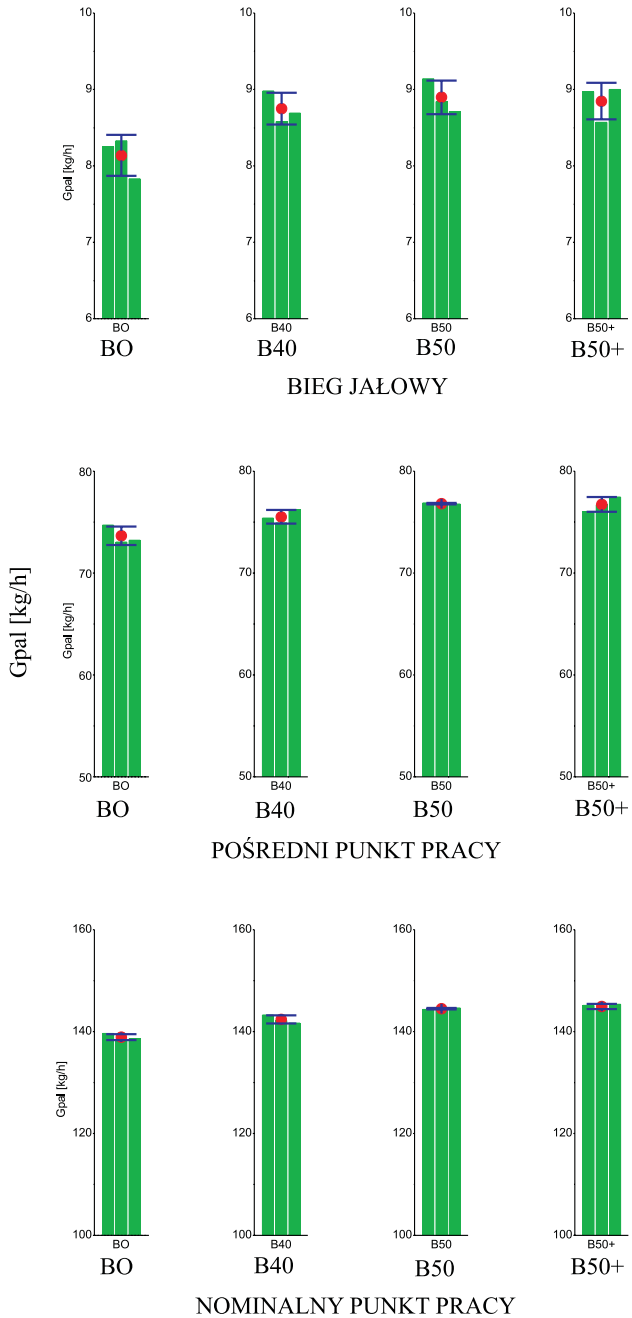
Rys. 1. Schemat przebiegu prędkości wywiązywania się ciepła w cylindrze silnika ZS: 1 – etap: prędkość spalania kinetycznego, 2 – etap: prędkość spalania dyfuzyjnego

Fig. 1. Diagram of the running velocity of the heat evolution in diesel engine cylinder: 1 – stage: kinetic combustion velocity, 2 – stage: diffusion combustion velocity



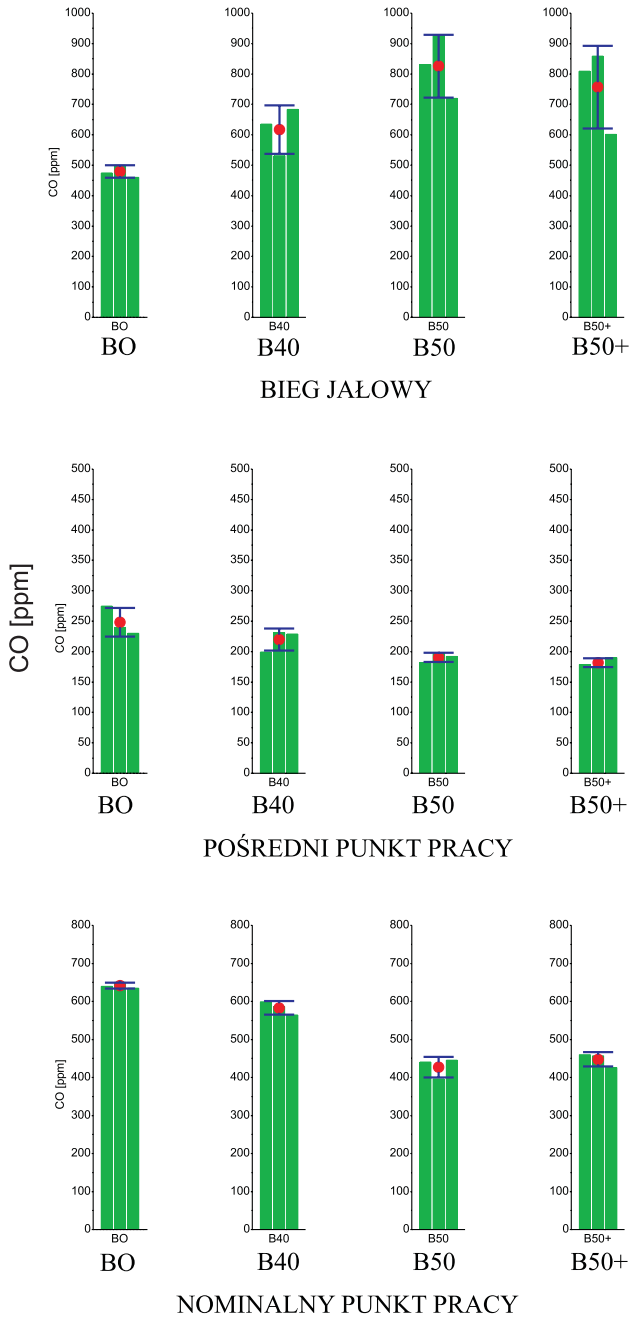
Rys. 2. Schemat zależności emisji cząstek stałych E_{PM} i tlenków azotu E_{NOx}

Fig. 2. Diagram of relationship between the emission of particulate matters E_{PM} and nitric oxides E_{NOx}



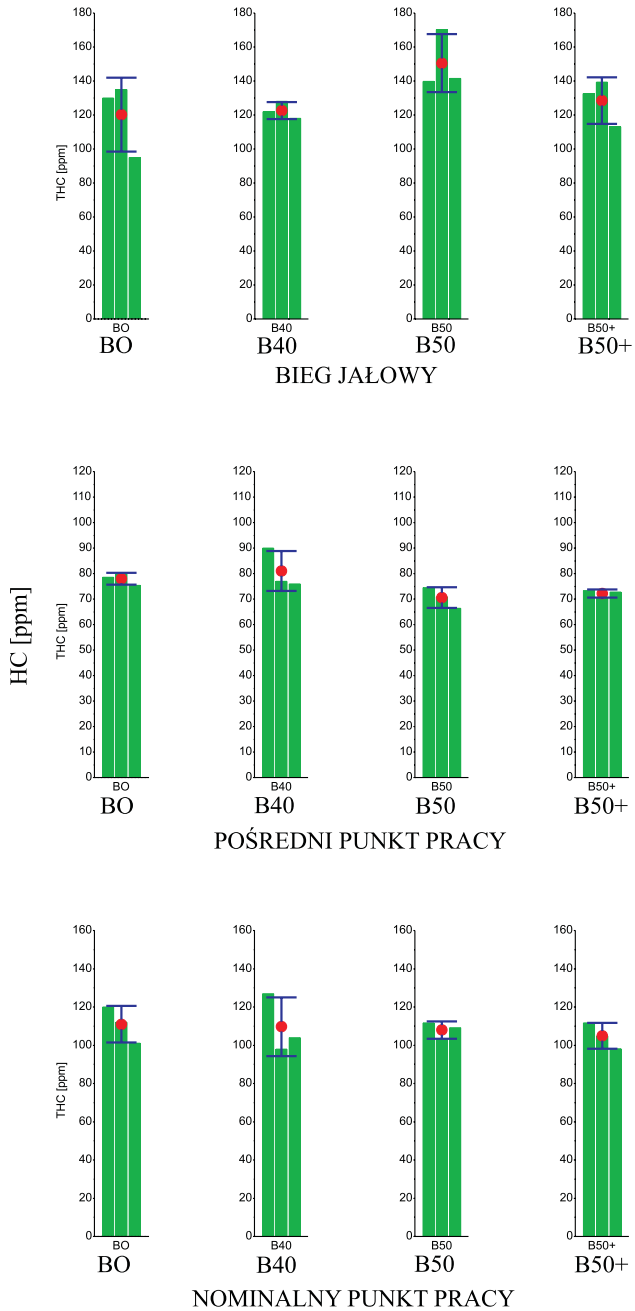
Rys. 3. Godzinowe zużycie paliwa *G*pal dla paliwa: BO, B40, B50 i B50+ dla biegu jałowego, pośredniego i nominalnego pkt. pracy silnika a8C22 lokomotywy SM-42

Fig. 3. Hourly consumption of the fuel *G*pal for the fuels: BO, B40, B50 and B50+ at idle, intermediate and nominal run of the engine a8C22 in the locomotive SM-42



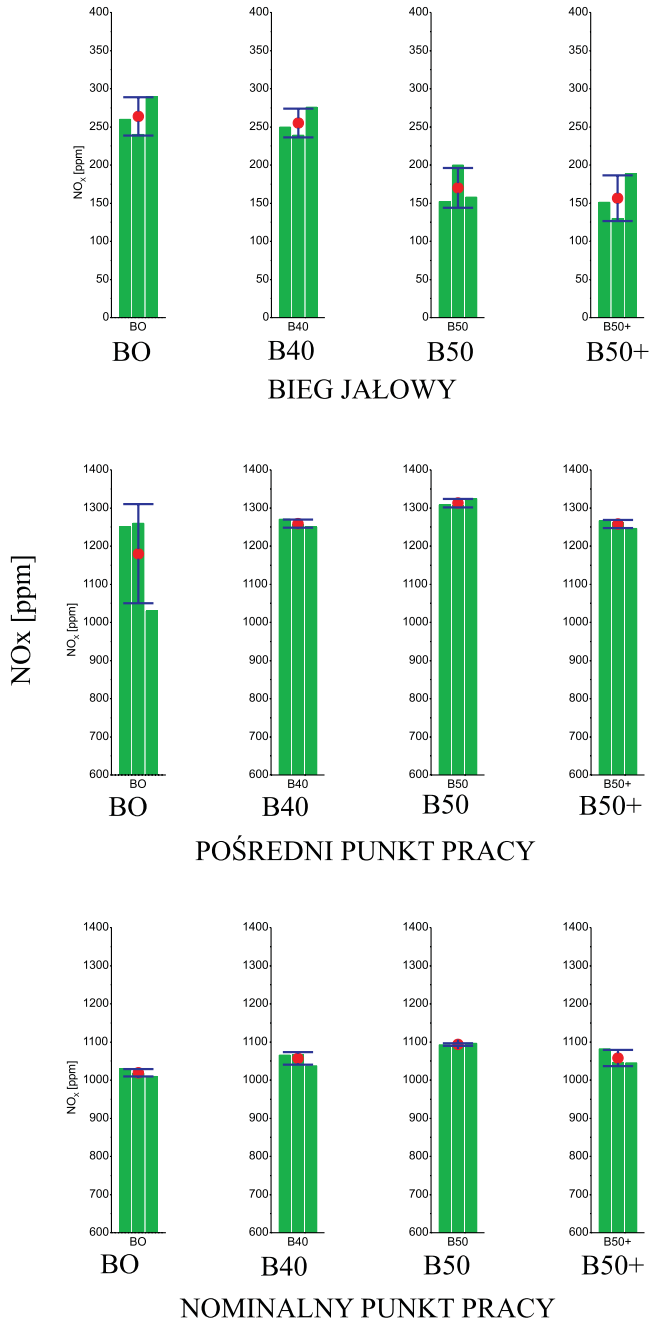
Rys. 4. Stężenie tlenku węgla CO dla paliwa: BO, B40, B50 i B50+ dla biegu jałowego, pośredniego i nominalnego pkt. pracy silnika a8C22 lokomotywy SM-42

Fig. 4. Carbon monoxide CO concentration for the fuels: BO, B40, B50 and B50+ at idle, intermediate and nominal run of the engine a8C22 in the locomotive SM-42



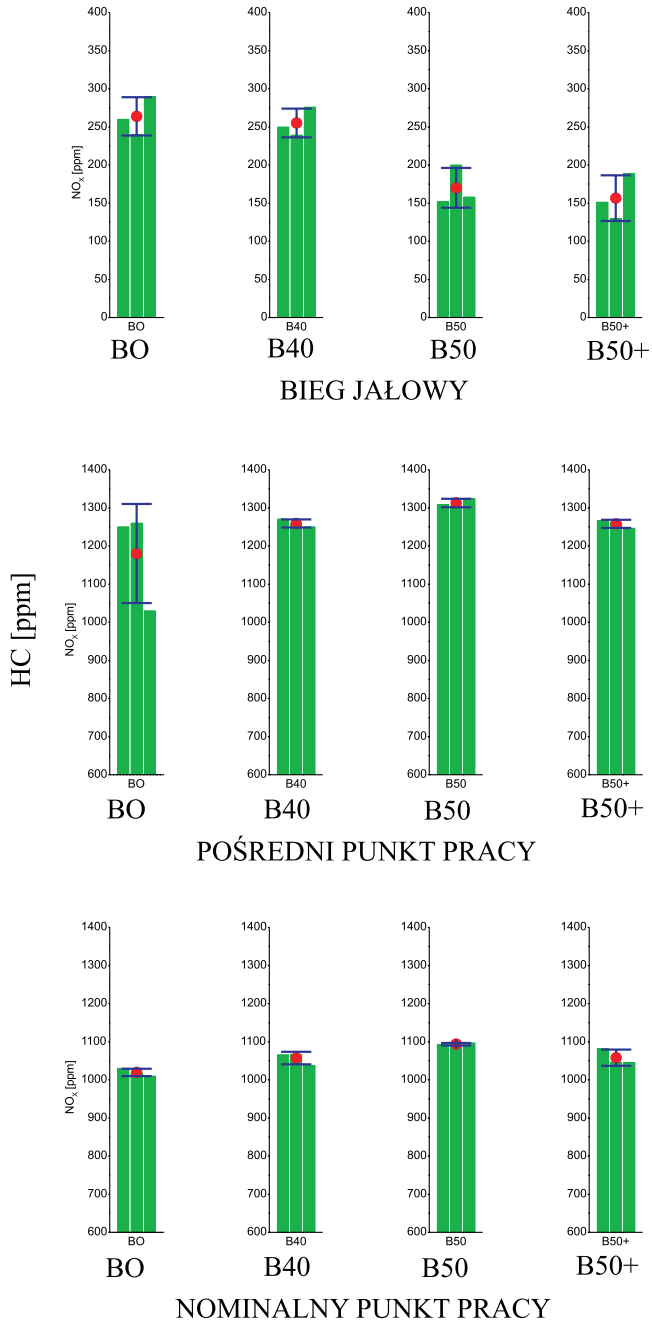
Rys. 5. Stężenie niespalonych węglowodorów HC dla paliwa: BO, B40, B50 i B50+ dla biegu jałowego, pośredniego i nominalnego pkt. pracy silnika a8C22 lokomotywy SM-42

Fig. 5. Hydrocarbons HC concentration for the fuels: BO, B40, B50 and B50+ at idle, intermediate and nominal run of the engine a8C22 in the locomotive SM-42



Rys. 6. Stężenie tlenków azotu NO_x dla paliwa: BO, B40, B50 i B50+ dla biegu jałowego, pośredniego i nominalnego pkt. pracy silnika a8C22 lokomotywy SM-42

Fig. 6. Nitric oxides NO_x concentration for the fuels: BO, B40, B50 and B50+ at idle, intermediate and nominal run of the engine a8C22 in the locomotive SM-42



Rys. 7. Zadymienie spalin silnika dla paliwa: BO, B40, B50 i B50+ dla biegu jałowego, pośredniego i nominalnego pkt. pracy silnika a8C22 lokomotywy SM-42

Fig. 7. Exhaust gas smokiness for the fuels: BO, B40, B50 and B50+ at idle, intermediate and nominal run of the engine a8C22 in the locomotive SM-42

4. Wnioski

Przeprowadzone badania pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Wzrost udziału estrów metylowych oleju rzepakowego (RME) do zawartości 50% w mieszaninie z olejem napędowym powoduje zwiększenie wartości godzinowego zużycia paliwa G_p o ok. 10% dla biegu jałowego oraz o ok. 15% dla pełnego obciążenia silnika w porównaniu z olejem napędowym;
2. Zwiększenie ilości RME w oleju napędowym prowadzi do zmniejszenia w tym przypadku wartości sprawności ogólnej silnika spalinowego η_0;
3. Natężenie przepływu powietrza G_{pow} pobieranego przez silnik nieznacznie rośnie dla paliw o większych ilościach RME w mieszaninie z ON przy dużych obciążeniach silnika,
4. Natężenie przepływu spalin G_{sp}, podobnie jak G_{pow}, jest większe dla nominalnego punktu pracy silnika zasilanego paliwem B50 w porównaniu z olejem napędowym,
5. Ze względu na znaczącą zawartość tlenu O_2 w badanych biopaliwach stężenie O_2 w spalinach jest nieco większe dla paliwa B50 niż dla ON;
6. Wpływ badanych biopaliw na stężenia gazowych składników spalin, w porównaniu z olejem napędowym, jest związany z obciążeniem silnika. Zaobserwowano wzrost stężenia CO w spalinach wraz z ilością RME dla biegu jałowego, brak istotnych zmian stężenia CO dla pośredniego punktu pracy silnika oraz obniżenie emisji CO dla pełnego obciążenia silnika;
7. Przy średnich i dużych obciążeniach silnika określono pozytywny wpływ dodawania RME do ON na zmniejszenie stężenia niespalonych węglowodorów THC;
8. Koncentracja tlenków azotu NOx zmniejsza się wraz z ilością biopaliwa w mieszaninie z ON dla biegu jałowego silnika. Jest to istotne, ponieważ silniki wysokoprężne w lokomotywach tego typu zwykle długo pracują bez obciążenia;
9. Dla wszystkich badanych paliw wzrost udziału RME prowadzi do zwiększenia stopnia zadymienia spalin *D*, mierzonego metodą Bosch.

Literatura

[1] Dyrektywa 2004/26/WE.

[2] Międzynarodowy Związek Kolei. Kodeks Kolei UIC 624, *Badania emisji gazów wydechowych silników spalinowych trakcyjnych*, Wydanie 3, luty 2006.

[3] Cisek J., *Badania wpływu naturalnego oleju rzepakowego na własności silnika wysokoprężnego Perkins 2806A-E18TAG2*, Sprawozdanie z badań dla PPUH HORUS-ENERGIA S.z o.o., Sulejówek. Vol. 556/IPSiSS/2009, Politechnika Krakowska, Kraków 2009.

[4] Cisek J., *Badania paliwa nowego typu do silnika ZS*, Sprawozdanie z badań dla Technologie Ekologiczne, Vol. Nr 557/IPSiSS/2009, Politechnika Krakowska, Kraków 2010.

[5] Cisek J., *Pomiar zakoksowania rozpylaczy paliwa dla biopaliw B100, B70, B50, B40, B30 w porównaniu z olejem napędowym ON oraz badania wpływu 3 biopaliw w porównaniu z olejem napędowym ON na parametry pracy silnika a8C22 lokomotywy spalinowej SM42-2331, zgodnie z Dyrektywą 2004/26/WE oraz Kartą UIC 624*, Sprawozdanie z badań dla LOTOS Polska S.A., Politechnika Krakowska, Kraków 2011.

[6] C i s e k J., M r u k A., *Naturalny olej rzepakowy jako paliwo do silników wysokoprężnych dużej mocy*, Systemy, Technologie i Urządzenia Energetyczne, t. 1, rozdz. 3, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2010, 377-392.
[7] C i s e k J., M r u k A., *Effect of Bio Fuels (FAME) on the Coking Level In the Diesl Engine Injectors*, Technolog nr 3, 2001.
[8] L o t k o W., *Ocena emisji składników spalin silnika wysokoprężnego zasilanego mieszaninami oleju napędowego z estrami metylowymi oleju rzepakowego*, Archiwum Motoryzacji nr 4/2006.
[9] S z l a c h t a Z., *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*, WKiŁ, Warszawa 2001.