

Oleh KLYUS¹

WSTĘPNA OBRÓBKA PALIW POCHODZENIA ROŚLINNEGO W SILNIKACH Z ZAPŁONEM SAMOCZYNNYM

W artykule przedstawiono możliwości zwiększenia efektywnych parametrów pracy silnika z zapłonem samoczynnym przy jednoczesnym zmniejszeniu poziomu emisji związków toksycznych w gazach wylotowych przy zastosowaniu wstępnej obróbki paliw pochodzenia roślinnego. W tym celu proponuje się zastosowanie wstępnej obróbki – termicznej, katalitycznej i turbulizacyjnej, która odbywa się bezpośrednio w korpusie rozpylaczy paliwowych. Wyniki badań uzyskanych na silniku typu 359 wskazują na poprawę ekonomicznych i ekologicznych parametrów pracy przy zastosowaniu wstępnej obróbki paliwa.

PRELIMINARY BIOFUEL TREATMENT IN DIESEL ENGINES

*In the paper was presented a possibility to increase the effectiveness parameters of diesel engine performance as well as to decrease the emission of toxic compounds in exhaust gases by using preliminary catalytic treatment biofuel - **processing** – executed directly in the injector body. In order to enhance the impact of the catalyst on flowing fuel we propose to utilize the phenomenon of turbulization in injector passages. Results of tests on an engine of 359 type have shown an improvement of operational parameters and a decrease of toxic emission in exhaust gases.*

1. WSTĘP

Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, jak na przykład paliw pochodzenia roślinnego, implikuje przeprowadzenie badań w różnych dziedzinach nauki – biochemii i techniki. W odniesieniu do tłokowych silników spalinowych, olei wyższych kwasów tłuszczowych i ich estry, możliwych do wykorzystania w komorach spalania silników z zapłonem samoczynnym, powinny odpowiadać warunkom tłoczenia i rozpylania, a w konsekwencji – procesom utleniania z wydzieleniem tak najwyższych wartości energii cieplnej jak i możliwie minimalnych poziomów emisji związków toksycznych w gazach wylotowych – pożądanym parametrów ekonomiczności i ekologii silników. To z kolei stawia problem zarówno do powstania odpowiednich odmian roślin z zadanymi charakterystykami olejów (biochemia) jak i organizacji roboczych procesów silników

¹Akademia Morska w Szczecinie, ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, tel: +48-91-480-94-25, Fax: +48-91-480-9575, e-mail: olegklus@o2.pl

(technika). Więć od składu paliwa roślinnego lub jego mieszaniny z olejem ropopochodnym oraz konstrukcji komory spalania i aparatury wtryskowej zależy końcowy efekt – sprawność i toksyczność silników.

2. BIOPALIWA DLA SILNIKÓW WYSOKOPRĘŻNYCH

2.1 Aspekt biologiczny

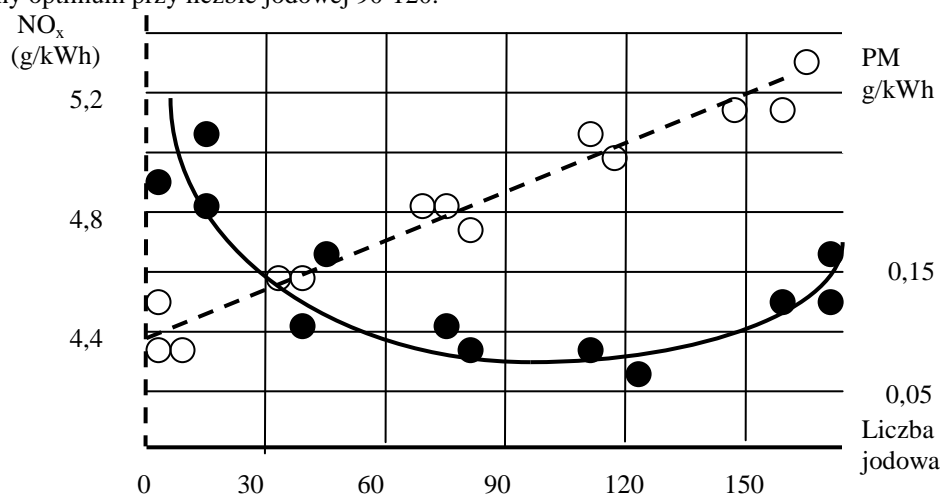
Rośliny podczas swojego rozwoju kumulują olej w swoich nasionach, co pozwala im podczas początkowej fazy przerostu, jeszcze do pojawienia liści i występowania fotosyntezy, wykorzystywać energię tłuszczową [5]. Tłuszcze te znajdują się w każdym nasieniu, przy tym skład olejów jest różny dla różnych stref klimatycznych i geograficznych. Tak na przykład dla nasion lnu zwiększa się indeks nienasylenia (który określa liczbę wiązań wielokrotnych i układów cyklicznych w danym związku) przy uprawianiu w kierunkach z południa na północ i północny wschód. Ludność wykorzystuje te oleje w celach spożywczych i w ostatnich latach obserwuje się tendencja do zwiększenia olejów w nasionach dzięki pracom genetycznym. Bliską do granicy biologicznej wartość oleistości nasion posiada słonecznik Heliantus – 72-75%, jednak wysokie wartości oleju nie sprzyjają wymaganiom dotyczącym jego przechowywania.

W ostatnich latach toczy się dyskusja na temat zastosowania olejów roślinnych jadalnych jako paliwa. Argumentem jest znaczący wzrost cen na surowce oraz przekształcenie obszarów leśnych w pola uprawne. Jednak wzrost cen w latach 2007-2008 na ryż nie może wytłumaczyć aspektu ekonomicznego problemu biopaliw, ponieważ nie produkuje się paliwa z tego surowca. Oprócz tego nasiona takich roślin jak *Jatropha Curcas* i *Pongamia Pinnata* mogą być stosowane jako paliwa, natomiast nie nadają się do spożycia ze względu na zawartość w nich trucizny. Więć istnieje możliwość przejścia na niejadalne rośliny, które mogą być wykorzystane jako „oleje paliwowe”. Dla takich roślin należy opracować odpowiednie wymagania, ponieważ zawartość w nich na przykład kwasu stearynowego zwiększa powstanie osadów na rurach wysokiego ciśnienia, czy wymagania zmniejszenia kwasu linolenowego przy zwiększeniu kwasu oleinowego odpowiada wymaganiom przechowywania, ale zwiększają jednostkowe zużycie paliwa i poziom emisji związków toksycznych w gazach wylotowych silników. Charakterystyką nienasylenia kwasów tłuszczowych olejów roślinnych jest liczba jodowa, która jest liczbą umowną i odpowiada ilości związków wyrażanych w gramach jodu ekwiwalentnych reagentowi przyłączanemu do oleju [5]. W olejach roślinnych związkami nienasyconymi są nienasycone kwasy tłuszczowe, które charakteryzują się wysoką zdolnością do utleniania. W tab. 1 podano przykładowe wartości indukcji i prędkości utleniania dla wybranych kwasów tłuszczowych.

Tab. 1. Okres indukcji i prędkość utleniania kwasów tłuszczowych [5]

Kwas		Symbol	Liczba podwójnych wiązań	Okres indukcji, h	Względna prędkość utleniania
Stearynowy	$C_{18}H_{36}O_2$	C18:0	0	—	1
Oleinowy	$C_{18}H_{34}O_2$	C18:1	1	82	100
Linolowy	$C_{18}H_{32}O_2$	C18:2	2	19	1200
Linolenowy	$C_{18}H_{30}O_2$	C18:3	3	1,34	2500

Jak przedstawiono w tab. 1, przy zwiększeniu liczby podwójnych wiązań istotnie wzrasta prędkość utleniania olejów, dlatego interesującym jest określenie wpływu kwasów nienasyconych (liczba jodowa) na parametry ekologiczne silników wysokoprężnych. Na rys.1. przedstawiono wyniki badań tłokowego silnika z zapłonem samoczynnym przy pracy na biopaliwach [1]. Przy zwiększeniu liczby jodowej poziom emisji tlenków azotu (ma charakter liniowy) wzrasta co może być wyjaśnione zwiększeniem prędkości utleniania paliwa a zatem i temperatury w komorze spalania, natomiast emisja cząstek stałych ma wyraźny optimum przy liczbie jodowej 90-120.



Rys. 1. Wpływ liczby jodowej na emisję NO_x ($y=0,0068x+4,3476$, $R^2=0,9043$) i PM ($y=3E-0,5x^2-0,005x+0,359$, $R^2=0,777$) przy zastosowaniu biodiesla [1]

2.2 Aspekt techniczny

Jak wiadomo, przebieg procesu spalania w silnikach z zapłonem samoczynnym, a zwłaszcza jego drugi etap – spalanie kinetyczne charakteryzujące gwałtownym wzrostem ciśnienia, jest współzależny z pierwszym etapem – okresem opóźnienia zapłonu. Zjawiska zachodzące w obu tych okresach są jednymi z głównych powodów ograniczenia prędkości obrotowej, obciążeń mechanicznych i termicznych silnika. Okres opóźnienia samoczynnego zapłonu wywołany jest koniecznością przygotowania paliwa do zapalenia się, które obejmuje nagrzanie kropelek do chwili częściowego lub całkowitego odparowania, podgrzania powstałych par paliwa do temperatury samozapłonu, wstępne reakcje utleniania paliwa prowadzące do samozapłonu. Więc oddziałują na paliwo podczas jego dostarczenia do komory spalania można uzyskać poprawę jak pierwszych okresów tak i całego procesu spalania.

Parametry fizyczne paliwa w silnikach z zapłonem samoczynnym przede wszystkim określone jego gęstością, lepkością i napięciem powierzchniowym które to w decydujący sposób wpływają na średnicę kropli, kształt i zasięg strugi rozpylonego paliwa, co z kolei związane jest z pierwszym okresem spalania – opóźnieniem samozapłonu. Parametry chemiczne paliwa zależą od składu strukturalnego węglowodorów, spośród których najbardziej liczną grupą przedstawiają parafiny C_nH_{2n+2}. Należy podkreślić, że w odpowiednich warunkach, a mianowicie w obecności katalizatora, mogą zachodzić reakcje,

w wyniku których parafiny przekształcają się w węglowodory grupy olefinowej C_nH_{2n} z wydzieleniem cząsteczki wodoru. Z kolei wodór dzięki dużemu współczynnikowi dyfuzji w powietrzu, dużej zdolności do zapłonu i szybkości spalania oraz szerokim granicom palności mieszanki sprzyja zmniejszeniu okresu samozapłonu.

W odniesieniu do wyższych kwasów tłuszczowych (biopaliw) te problemy nabierają nieco inną postać, ponieważ obecność cząsteczki tlenu może w istotny sposób zwiększyć prędkości wstępnych reakcji chemicznych, a zwiększenie grupy węglowodorów olefinowych, charakteryzujących się większą wartością liczby jodowej - mogą jeszcze bardziej przyspieszyć te reakcje.

Biorąc pod uwagę te fakty, można stwierdzić, że odpowiednie przygotowanie paliwa w postaci zmiany jego parametrów fizyko-chemicznych może poprawić zarówno ekonomiczne jak i ekologiczne wskaźniki pracy silników z zapłonem samoczynnym.

Korzystna zmiana parametrów fizyko-chemicznych paliwa możliwa jest przez wstępną obróbkę paliwa przeprowadzoną bezpośrednio przed jego wtrysnięciem do komory spalania przy jednoczesnym podgrzewaniu i kontakcie paliwa z materiałem o działaniu katalitycznym w korpusie wtryskiwacza. Należy podkreślić, iż obróbka paliwa przed tłoczeniem w pompie wtryskowej czy przed wtryskiwaczem może w istotny sposób zmienić przebieg charakterystyki wtryskiwania paliwa. Wiąże się to właśnie z faktem zmian parametrów fizycznych, co może przyczynić się do zwiększenia przecieków w parach precyzyjnych aparatury wtryskowej oraz zmian falowych w przewodach wysokiego ciśnienia.

Analiza literatury przedmiotu badań pokazuje, że w dotychczas prowadzonych badaniach w ośrodkach naukowych w kraju i za granicą pozytywny efekt od zastosowania wstępnej termicznej obróbki paliwa nie zawsze był uzyskany. W niektórych badaniach stwierdzono poprawę operacyjnych i ekologicznych parametrów pracy silników z zapłonem samoczynnym tylko w pewnym zakresie obciążeń [4], natomiast według badań [3] poprawa następuje do obciążeń rzędu 50% mocy nominalnych po czym następuje zwiększenie zużycia paliwa i poziomu emisji związków toksycznych do otoczenia. Uzyskane wyniki dotyczą zastosowania podgrzewaczy paliwa przed pompą wtryskową i wtryskiwaczem, co jak już było wspomniano zmienia charakterystykę wtryskiwania paliwa. Z tego powodu zastosowanie wstępnej termicznej obróbki paliwa w połączeniu z obróbką katalityczną i turbulizacyjną bezpośrednio w korpusie wtryskiwacza przy pominięciu elementów precyzyjnych eliminuje wady przedstawionych wyżej rozwiązań.

Realizacja wstępnej obróbki paliwa jest przedstawiona na rys. 2 i dotyczy zastosowania niepracującej powierzchni iglicy w celu naniesienia materiału o działaniu katalitycznym oraz krzyżujących się kanałów układu turbulizacji. Należy podkreślić, że zastosowanie właśnie tej części iglicy dla katalitycznej i turbulizacyjnej obróbki paliwa umożliwia uzyskanie i termicznej obróbki, ponieważ ta część jest najbardziej narażona na wysoką temperaturę gazów w komorze spalania.

Jak wykazują wyniki badań [2] podczas termicznej i termiczno-katalitycznej obróbki paliwa parametry napięcia powierzchniowego, gęstości i lepkości paliwa zmniejszają się w zależności od temperatury i kontaktu z katalizatorem. Jest to istotnym przy rozpatrywaniu zjawisk zachodzących podczas rozpylania, odparowania i mieszania się paliwa ze świeżym powietrzem podczas pierwszego okresu spalania jak i następnych.



Rys. 2. Schemat i przykład wykonania wtryskiwacza wielootworowego ze wstępna termiczną – katalityczną – turbulizacyjną obróbką paliwa

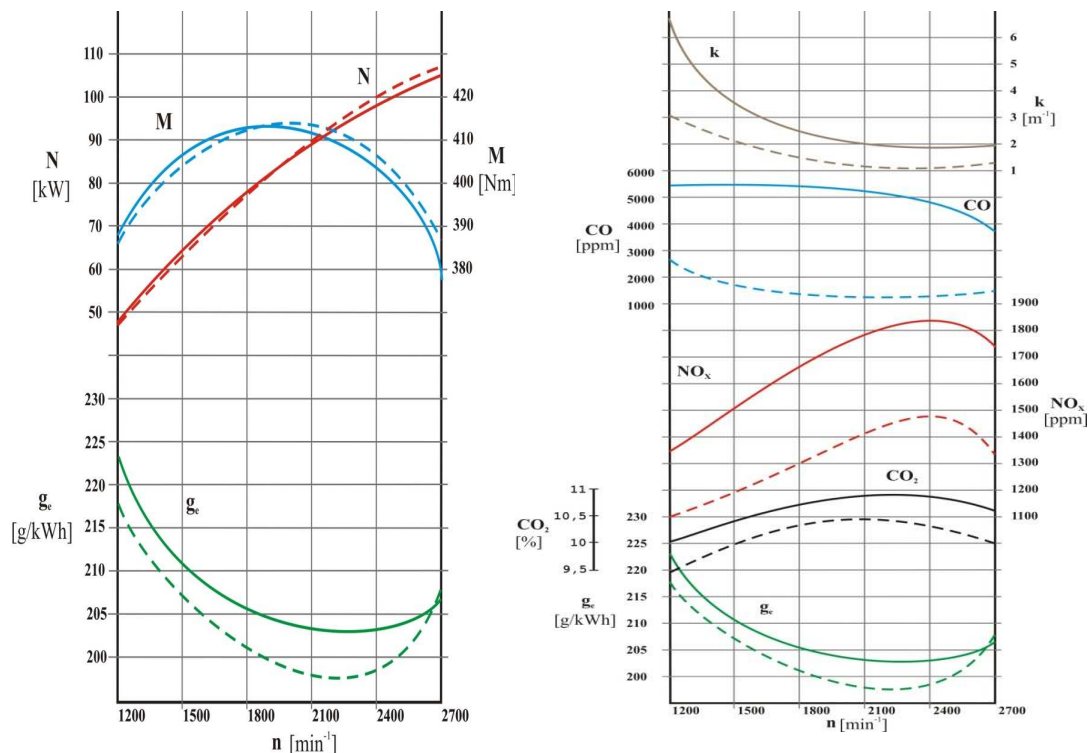
Jak już było wspomniano wcześniej, istotnym aspektem, związanym z prędkością reakcji chemicznych zachodzących w silniku spalinowym, jest określenie zmiany parametrów chemicznych paliwa podczas jego kontaktu z katalizatorem przy zwiększonych temperaturach - liczby jodowej. Wartość tej liczby charakteryzuje zawartość węglowodorów grupy olefinowej zwiększającej swoją obecność w paliwie ze względu na zachodzące reakcje odwodornienia grupy parafinowej. Jak wykazały badania, przeprowadzone w Instytucie Eksploatacji Siłowni Okrętowych Akademii Morskiej w Szczecinie, wartość liczby jodowej paliwa zwiększyła się do wartości o 3-5% praktycznie w całym zakresie temperatur podczas termiczno – katalitycznej - turbulizacyjnej obróbki paliwa.

Uzyskane wyniki świadczą o korzystnej zmianie parametrów fizyko-chemicznych paliwa, jednak ostateczną decyzję o przydatności tej metody mogą stanowić tylko wyniki badań stanowiskowych silników z zapłonem samoczynnym. Badania te zostały przeprowadzone na silniku typu 359, a uzyskane wyniki przedstawiono na rys. 3.

3. WNIOSKI

Niezależnie od poglądów na temat zastosowania paliw pochodzenia roślinnego, przydatność ich do spalania w tłokowych silnikach spalinowych jest oczywista. Wykorzystanie osiągnięć w dziedzinie genetyki umożliwi powstanie „paliwowych” odmian roślin oleistych, natomiast wymagania, dotyczące składu chemicznego wyższych kwasów tłuszczowych tych roślin należy dobierać z punktu widzenia uzyskania wyższych sprawności procesów roboczych oraz minimalnych parametrów toksyczności tych silników.

Jednym z możliwych kierunków rozwoju tego zagadnienia jest zastosowanie wstępnej termiczno – katalityczno – turbulizacyjnej obróbki paliwa, odbywającej się bezpośrednio przed rozpyleniem paliwa w komorze spalania – w korpusie wtryskiwacza. Zwiększenie liczby jodowej, a jednocześnie i zwiększenie prędkości utleniania paliwa odbywa się podczas kontaktu paliwa z katalizatorem, przy tym powstanie wolnego wodoru oraz zjawiska turbulizacji potęgują efekt, korzystnie zmniejszając tym samym okres opóźnienia samozapłonu, wartości maksymalnej temperatury i ciśnienia w komorze spalania.



Rys. 3. Prędkościowe charakterystyki silnika typu 359 podczas pracy na mieszaninie oleju ropochodnego z 10% udziałem estrów metylowych oleju rzepakowego
 — - fabryczny zestaw wtryskiwaczy; - wtryskiwacze ze wstępną obróbką paliwa

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Grabowski M.S., McCormick R.L., Alleman T.L., Herring A.M.: The Effect of Biodiesel Composition on Engine Emissions from a DDC Series 60 Diesel Engine. National Renewable Energy Laboratory. Final Report 2 in a series of 6. –SR-510-31461, February 2003, 81.
- [2] Klyus O. The use of turbulization in preliminary fuel treatment in self-ignition engines. Silniki Spalinowe, PTNSS-2009-SC-038.
- [3] Клюс О. Каталитическая обработка топлива в дизелях. Изд. КГТУ, Калининград, 2008, - 156с.
- [4] Клюс О., Васильев И., Ростовская Н.: Анализ показателей дизеля при работе на многокомпонентных смесях растительных масел с дизельным топливом // Eksploatacja Pojazdów Samochodowych – Szczecin: Politechnika Szczecińska, 2004, 1, 45- 54.
- [5] Рябцев Г.: Еще одна «беда», или куда уходит рынок. Терминал, нефтяное обозрение. 2009, №39 (469), 6-7.