

## ANALYSIS OF POSSIBILITY OF DUAL FUELLING OF TURBOCHARGED CI ENGINE WITH ETHANOL AND DIESEL OIL

Grzegorz Pawlak

Radom Technical University  
Institute of Maintenance of Vehicles and Machines  
Al. Chrobrego 45, 26-600 Radom, Poland  
tel.: +48 3617642, fax: +48 3617644

### Abstract

Bi-fuel supply of CI engine could become in a short time the one of ways to the replacement of the considerable share of diesel fuel by alternative fuels with the low cetane number to which, among others, the ethyl alcohol belongs. Ethanol has been already applied as a fuel for CI engine. Scania 9 liters engine with risen compression ratio are fuelled with ethanol with some additives which enable its self-ignition. Dual fuelling of CI engine could be applied for older and contemporary construction of CI engine as a way to make them more flexible as far as alternative fuels application is concerned. Two ways of fuelling of CI engine with ethanol and diesel oil are proposed. Both of them allow for conventional fuelling adapted turbocharged CI engine with diesel oil or dual fuelling with ethanol and diesel oil. First: the ethanol injection to the engine induction channel during the opening of inlet valve and after the exhaust valve closing (in order to make impossible to escape of a fresh charge during valve overlap). Second: mixing of ethanol with diesel fuel in the „common rail” fuel system and the injection of both fuels through the engine factory fuel system. Diesel fuel and ethyl alcohol are not mixing in itself, but their mutual mixing will be possible in the fuel pump of the „common rail” engine fuel system.

**Keywords:** ethanol, dual fuel engine, alternative fueling of CI engine, change of mode of fuelling

## ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZASILANIA TURBODOŁADOWANEGO SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM DWUPALIOWO ETANOLEM I OLEJEM NAPĘDOWYM

### Streszczenie

Dwupaliwowe zasilanie silnika o zapłonie samoczynnym mogłoby w niedługim czasie stać się jednym ze sposobów na zastąpienie znacznej części oleju napędowego paliwami alternatywnymi o niskiej liczbie cetanowej do których między innymi należy alkohol etylowy. Etanol już znalazł zastosowanie jako paliwo do silnika o zapłonie samoczynnym. Dziewięciolitrowy silnik Scania ze zwiększonym stopniem sprężania jest zasilany etanolem z dodatkami umożliwiającymi jego samozapłon. Dwupaliwowe zasilanie silnika wysokoprężnego może być sposobem na zróżnicowanie paliw jakimi można będzie zasilać starsze i obecnie produkowane silniki wysokoprężne. Zaproponowane zostały dwa sposoby zasilania silnika dwupaliwowo etanolem i olejem napędowym. Obydwa z nich pozwalają, w zależności od potrzeb, na zasilanie silnika dwupaliwowo lub w sposób konwencjonalny tylko olejem napędowym. Pierwszy: wtrysk etanolu do kanału dolotowego silnika w czasie otwarcia zaworu dolotowego i po zamknięciu zaworu wylotowego (aby uniemożliwić ucieczkę świeżego ładunku w czasie przekrycia zaworów). Drugi: mieszanie etanolu z olejem napędowym w układzie zasilania „common rail” i wtrysk obu paliw z wykorzystaniem fabrycznego układu zasilania silnika. Olej napędowy i alkohol etylowy nie rozpuszczają się w sobie, a wzajemne ich mieszanie będzie możliwe dzięki działaniu pompy paliwa w układzie „common rail”.

**Słowa kluczowe:** etanol, silnik dwupaliwowy, alternatywne zasilanie silnika o zapłonie samoczynnym, zmiana sposobu zasilania

## 1. Wstęp

Etanol znalazł już w praktyce zastosowanie jako paliwo do silników o zapłonie samoczynnym w dziewięciolitrowych wysokoprężnych silnikach Scania przeznaczonych do napędu autobusów, jednak stosowanie etanolu jako paliwa do silników wysokoprężnych wymaga dodatków, które umożliwiają powtarzalny samozapłon etanolu oraz zmian w konstrukcji silnika. Zmiany te dotyczą układu zasilania silnika, układu dolotowego, a przede wszystkim stopnia sprężania, który w etanolowym silniku Scania jest dużo wyższy w porównaniu z konwencjonalnym silnikiem wysokoprężnym zasilanym olejem napędowym.

Dwupaliwowe zasilanie silnika o zapłonie samoczynnym mogłoby w niedługim czasie stać się jednym ze sposobów na zastąpienie znacznej części oleju napędowego paliwami alternatywnymi o niskiej liczbie cetanowej do których między innymi należy alkohol etylowy. Bardzo istotne jest aby adaptacja silnika wysokoprężnego do zasilania dwupaliwowego była przeprowadzona tak, aby w zależności od potrzeb możliwe było zasilanie silnika tylko paliwem konwencjonalnym lub alternatywnie dwupaliwowo tj. etanolem podawanym wraz z olejem napędowym jako paliwem umożliwiającym powtarzalny samozapłon mieszanki w cylindrze silnika. W sytuacji narastającego kryzysu paliwowego takie rozwiązanie dałoby możliwość wykorzystywania starszych i obecnie produkowanych silników, które po adaptacji stałyby się uniwersalnymi jednostkami napędowymi.

## 2. Etanol jako paliwo do silnika o zapłonie samoczynnym

Alkohol etylowy jako paliwo odnawialne należy obok estrów oleju napędowego do paliw odnawialnych, które coraz szerzej będą stosowane w najbliższej przyszłości. Najważniejsze z punktu widzenia zasilania i procesu spalania właściwości alkoholu etylowego w zestawieniu z właściwościami oleju napędowego przedstawia Tab. 1.

Tab. 1. Porównanie właściwości alkoholu etylowego i oleju napędowego [1],[2]  
Tab. 1. Comparison of properties of ethanol and diesel oil [1],[2]

Właściwość	Alkohol etylowy	Olej napędowy
Masowy udział węgla w cząsteczce [%]	52,2	85,9
Masowy udział wodoru w cząsteczce [%]	13,0	14,0
Masowy udział tlenu w cząsteczce [%]	34,8	~0,05
Gęstość w temperaturze 20 C [kg/m <sup>3</sup> ]	789	840-880
Temperatura samozapłonu [K]	665	~500
Liczba cetanowa [-]	8	45-55
Liczba oktanowa /badawcza/ [-]	111	3
Stechiometryczny stosunek powietrze/paliwo [-]	9,06	14,5
Dolna granica palności [-]	2,06	0,98
Górna granica palności [-]	0,3	0,19
Wartość opałowa paliwa [MJ/kg]	26,8	42,5
Ciepło parowania [kJ/kg]	840	270
Lepkość kinematyczna [cP]	2,0	3,3-4,2

Bardzo niska zdolność alkoholu etylowego do samozapłonu powoduje, że musi on być zapalany od obcego źródła, tak jak to ma miejsce w silnikach o zapłonie iskrowym lub

doprowadzony do temperatury samozapłonu (przez wysoki stopień sprężania) zapala się powtarzalnie dzięki dodatkom umożliwiającym jego samozapłon. W przypadku stosowania etanolu jako paliwa do zasilania silnika o zapłonie samoczynnym z typowym stopniem sprężania do jego zapłonu niezbędna jest dawka oleju napędowego dostarczona wraz z etanolem do cylindra silnika. Biorąc pod uwagę granice palności etanolu można wyodrębnić dwa możliwe stany związane z zapłonem i spalaniem etanolu w komorze spalania silnika zasilanego dwupaliwowo i w pewnym uproszczeniu opisać je w następujący sposób:

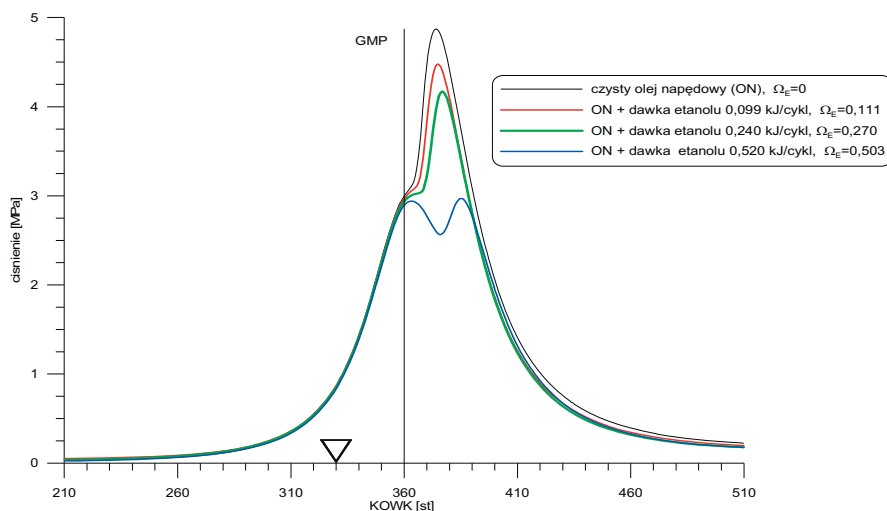
- Mieszanka etanolu z powietrzem jest poza granicami palności etanolu ( $\lambda > 2,06$ ) i nie może ulec zapłonowi w całej swojej objętości. W uproszczeniu mechanizm spalania w tym przypadku można opisać w następujący sposób: spalanie etanolu zależne jest od lokalnego płomienia powstałego w wyniku samozapłonu oleju napędowego i prawdopodobnie zachodzi w jego okolicy lecz nie rozprzestrzenia się na mieszanke etanolowo - powietrzną gdyż jest ona poza granicami palności. W okolicy płomienia część nadmiarowego tlenu zużywana jest do spalania oleju napędowego i w ten sposób uboga mieszanka etanolowo-powietrzna wchodzi w granice palności lecz jest rozcieńczona produktami spalania oleju napędowego. Wysoka temperatura doprowadza do zapłonu etanolu tam gdzie lokalnie w komorze spalania proporcje etanolu i powietrza umożliwiają jego spalanie.
- Mieszanka etanolu z powietrzem jest w granicach palności etanolu ( $0,3 < \lambda < 2,06$ ). Taki skład mieszanki etanol-powietrze po częściowym odparowaniu oleju napędowego i jego samozapłonie daje możliwość zapłonu i rozprzestrzeniania się płomienia w całej objętości komory spalania. Z uwagi na to, że po zapłonie oleju napędowego powstaje bardzo wiele źródeł zapłonu i jednocześnie ze względu na skład mieszanki istnieje możliwość zapłonu etanolu w każdym miejscu komory spalania, spalanie etanolu przebiega w sposób gwałtowny i wywołuje duże przyrosty ciśnienia w komorze spalania. Nim jednak dojdzie do szybkiego wypalenia etanolu ma miejsce długa zwłoka samozapłonu mieszanki w cylindrze silnika. Jedną z prawdopodobnych przyczyn takiej zwłoki jest mniejsze stężenie par oleju napędowego i powietrza wokół parujących kropelek oleju napędowego. Odparowany olej napędowy w otoczeniu kropli miesza się z parami alkoholu etylowego cylindrze powietrza. Mieszanka ta ma oczywiście niższą zdolność do samozapłonu, ze względu na obecność w niej par etanolu, a to wydłuża zwłokę samozapłonu. Ten mechanizm może tłumaczyć dobrze widoczną zwłokę w zapłonie dwupaliwowej mieszanki etanolu i oleju napędowego zauważalną na wykresach indykatorowych, które otrzymano w czasie badań wolnossącego silnika 1HC102, który zasilany był etanolem wtryskiwanym do rury ssącej silnika i zapalany dawką pilotującą oleju napędowego (Rys. 1).

W obydwu przypadkach bardzo duże znaczenie ma wielkość dawki oleju napędowego podanej do komory spalania, wzajemne proporcje obu paliw oraz ilość powietrza dostarczona do cylindra w różnych warunkach pracy silnika. Wzajemne proporcje wszystkich składników mieszanki oraz ich ilość mają zasadnicze znaczenie dla procesu spalania, a co za tym idzie wpływają na emisję oraz sprawność silnika [4].

### **3. Koncepcje zasilania silnika o zapłonie samoczynnym dwupaliwowo etanolem i olejem napędowym**

Przewidziano dwa sposoby dostarczania etanolu do komory spalania silnika:

- wtrysk etanolu do kanału dolotowego silnika w czasie otwarcia zaworu dolotowego i po zamknięciu zaworu wylotowego (aby uniemożliwić ucieczkę świeżego ładunku w czasie przekroczenia zaworów).
- zmieszanie etanolu z olejem napędowym w układzie zasilania „common rail” i wtrysk obu paliw z wykorzystaniem fabrycznego układu zasilania silnika. Olej napędowy i alkohol etylowy nie rozpuszczają się w sobie, a wzajemne ich mieszanie będzie możliwe dzięki działaniu pompy paliwa w układzie „common rail”.



Rys. 1. Przebiegi ciśnienia w cylindrze wolnossącego silnika IHC102 zasilanego dwupaliwowo etanolem i olejem napędowym ( $M=20$  Nm,  $n=2200$  obr/min, kąt wtrysku oleju napędowego 30 stopni przed GMP) [3]

Fig. 1. Cylinder pressure diagrams of IHC102 engine fuelled with etanol and diesel oil ( $T=20$  Nm,  $n=2200$ rpm, injection timing of diesel oil – 30 deg BTDC)[3]

Zaproponowane warianty różni przede wszystkim to, że w przypadku pierwszego z nich istnieje możliwość regulacji wzajemnych proporcji etanolu i oleju napędowego w drugim wariantcie proporcje te są z góry ustalone i są stałe. Obydwa warianty wymagają zmiany kąta wtrysku i czasu otwarcia wtryskiwaczy w stosunku do zasilania konwencjonalnego. W drugim wariantcie szczególne znaczenie ma możliwość modyfikacji procesu wtrysku, w tym, możliwość kilkukrotnego wtrysku dawki zmieszanych paliw w jednym cyklu, co przy odpowiednim doborze kątów wtrysku i wielkości poszczególnych wtryskiwanych po sobie dawek pozwoli w znacznym stopniu ograniczyć zjawisko szybkiego narastania ciśnienia w komorze spalania w czasie spalania etanolu.

#### 4. Opis badań silnika

Planowane badania silnika obejmować będą próby zasilania silnika według dwóch wariantów zasilania. Obiektem badań będzie turbodoładowany silnik o zapłonie samoczynnym ADCR produkowany w firmie Andoria S.A. i wyposażony w układ zasilania „common rail” oraz recyrkulację spalin. Planowana jest modyfikacja silnika tak aby możliwe było sterowanie wielkością wtryskiwanych dawek obu paliw podawanych oddzielnie (wariant 1) oraz zmieszanych razem (wariant 2). W obydwu przypadkach planowane jest zastosowanie przepustnicy ograniczającej dopływ powietrza ze względu na zmniejszone zapotrzebowanie powietrza potrzebnego do spalania etanolu. Silnik ADCR jest silnikiem turbodoładowanym. Z tego względu że zarówno ilość powietrza dostarczana do komory spalania jak również skład, ilość i temperatura spalin ulegną zmianie zachodzi potrzeba zastosowania zmodyfikowanych upustów spalin przed turbiną oraz ewentualnie dodania upustów powietrza lub obejścia sprężarki. W ramach pracy wykonane zostaną serie charakterystyk obciążeniowych silnika bazowego oraz charakterystyki silnika zasilanego dwupaliwowo dla dwóch przyjętych wariantów zasilania.

#### 5. Spodziewane efekty badań

W wyniku badań powstanie układ pozwalający na adaptację istniejącego silnika o zapłonie samoczynnym do zasilania dwupaliwowym olejem napędowym i alkoholem etylowym. Układ ten oparty zostanie o jedną z zaproponowanych koncepcji zasilania silnika. Po wstępnym wyborze koncepcji wykonany zostanie układ sterowania silnikiem, który zapewni jego pracę zarówno w warunkach zasilania konwencjonalnego jak również przy zasilaniu dwupaliwowym. Zostanie

przeprowadzona optymalizacja ze względu na sprawność cieplną silnika oraz emisję spalin. Podstawą dla optymalizacji parametrów pracy układu zasilania będą dane dotyczące przebiegu ciśnienia w komorze spalania silnika oraz wyznaczone na ich podstawie przebiegi wywiązywania się ciepła. Analiza tych danych oraz obliczenia modelowe dadzą możliwość zweryfikowania opisu procesu spalania paliw dostarczonych do komory spalania w różnych proporcjach i ilościach przy różnym nadmiarze powietrza.

## **6. Wnioski**

Obecnie konieczne wydaje się podejmowanie prac, które pozwolą na uniezależnienie się od paliw konwencjonalnych i spowodują że dotychczasowe konstrukcje silników staną się elastycznie dostosowane do zasilania paliwami alternatywnymi dostępnymi w coraz większym zakresie na rynku. Taką możliwość daje przystosowanie silnika o zapłonie samoczynnym do zasilania dwupaliwowego, w tym przypadku olejem napędowym i alkoholem etylowym, którego produkcja i dostępność z roku na rok będzie wzrastać. Wykonanie badań silnika zasilanego dwupaliwowo według przedstawionych koncepcji pozwoli na znalezienie optymalnego sposobu zasilania turbodoładowanego silnika o zapłonie samoczynnym etanolem i olejem napędowym.

## **Literatura**

- [1] Kowalewicz, A., *Podstawy procesów spalania*, WNT, Warszawa 2000.
- [2] Kowalewicz, A., *Systemy spalania szybkoobrotowych silników spalinowych*, WKiŁ, Warszawa 1994.
- [3] Pajączek, Z., *Analiza cyklu roboczego silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego olejem napędowym z dodatkowym wtryskiem etanolu do kanału dolotowego*, Rozprawa doktorska, Politechnika Radomska, Radom 2007.
- [4] Kowalewicz, A., Pawlak, G., Pajączek, Z., *Preliminary investigation of diesel engine with additional injection of ethyl alcohol*, Journal of KONES Vol. 9, No. 3-4, Warszawa Gdańsk 2002.

