

HIGH COMPRESSION RATIO ENGINE WITH DUAL FUEL SUPPLY

Krzysztof Malewicz, Jerzy Jantos, Ireneusz Hetmańczyk
Jarosław Mamala, Andrzej Augustynowicz

Opole University of Technology
Department of Road and Agricultural Vehicles
Mikołajczyka 5, 45-271 Opole, Poland
tel.: +48 77 4006272, fax: +48 77 4006272
e-mail: malewicz@klio.po.opole.pl

Abstract

Aspects of using a mechatronic system that regulates supply systems in a dual-fuel combustion engine of spark ignition and constant high compression ratio, were presented in the hereby article.

A major aim of the system in such a modified engine is to identify and prevent a potential knock combustion process in transitory and full load conditions. Synthesis of a controlling algorithm imposes treating signals (among others knock combustion, rotational speed and manifold air pressure) as variables that control not only ignition delay but, as a priority, temporary necessity of supply with fuel or fuel mixture of higher octane number. In order to effect this concept, the engine supply system was modernized in such a way that simultaneous supply with both basic fuel and fuel of high-octane number was made possible. Still, combustion stoichiometry was preserved. High-octane fuel in the subject engine is dispensed individually at every manifold with the use of a four-way valve controlled with a step motor position in a feedback loop. A programmable Mixed Fuel driver is the most important element of the supply system as it regulates when and in which conditions the engine is supplied with additional high-octane fuel. Many scientific and research centres worldwide (FEV, SAAB) have conducted tests to solve the problem. However, an effective solution must fulfil several conditions, such as technological and economical, connected with simple structure and low operation costs. Structure of the supply system in a dual-fuel compressed combustion engine of spark ignition was presented in the article. Moreover, initial tests results were presented along.

Keywords: dual fuel, high compression ratio, octane number, LPG, knock combustion

SILNIK O ZWIĘKSZONYM STOPNIU SPRĘŻANIA Z PODWÓJNYM UKŁADEM ZASILANIA

Streszczenie

W artykule przedstawiono aspekty zastosowania mechatronicznego systemu zarządzania układami zasilania dwupaliwowego silnika spalinowego o zapłonie iskrowym i stałym zwiększonym stopniu sprężania.

Nadrzędnym celem systemu, w tak zmodyfikowanym silniku, jest identyfikacja i zapobieganie możliwemu do wystąpienia procesowi spalania stukowego w warunkach przejściowych oraz pełnego obciążenia. Synteza algorytmu sterowania wymusza traktowanie sygnałów (m.in. spalania stukowego, prędkości obrotowej i podciśnienia w kolektorze dolotowym) jako zmiennych sterujących nie tylko wyprzedzeniem zapłonu, ale priorytetowo okresową potrzebą zasilania paliwem, lub mieszaniną paliw, o wyższej wartości liczby oktanowej. Dla realizacji koncepcji układ zasilania silnika został zmodernizowany tak, aby istniała możliwość równoczesnego zasilania zarówno paliwem podstawowym, jak i paliwem o zwiększonej liczbie oktanowej, przy zachowaniu stechiometrii spalania. Paliwo o zwiększonej liczbie oktanowej w przedmiotowym silniku jest dozowane indywidualnie na każdy kanał dolotowy, za pomocą zaworu czterodrożnego sterowanego silnikiem krokowym w pętli sprzężenia zwrotnego. Najważniejszym elementem układu zasilania, jest programowalny sterownik Mixed Fuel, zarządzający, kiedy i w jakich warunkach silnik ma być zasilany dodatkowym paliwem o zwiększonej liczbie oktanowej. W wielu ośrodkach naukowo-badawczych na świecie (FEV, SAAB) prowadzone są badania nad rozwiązaniem tego problemu. Jednak skuteczne rozwiązanie musi spełniać szereg warunków, m.in. technologicznych i ekonomicznych związanych z prostą konstrukcją oraz niskimi kosztami eksploatacji. W artykule przeanalizowano konstrukcję układu zasilania dwupaliwowego doprężonego silnika spalinowego o zapłonie iskrowym oraz przedstawiono wyniki wstępnych badań.

Słowa kluczowe: zasilanie dwupaliwowe, wysoki stopień sprężania, liczba oktanowa, LPG, spalanie stukowe

1. Wstęp

Stosowanie paliw alternatywnych zarówno do silników o zapłonie iskrowym jak i samoczynnym jest znane od kilkudziesięciu lat [1, 2, 3]. Przy wprowadzaniu coraz ostrzejszych wymagań odnośnie emisji substancji szkodliwych zyskują one coraz większe znaczenie.

Wykorzystanie paliw alternatywnych wymaga jednak opracowania odpowiedniego systemu zasilania wraz z algorytmami zarządzającymi, aby uzyskać wyższe lub przynajmniej porównywalne wskaźniki pracy silnika spalinowego (moc, moment obrotowy, sprawność). Znane paliwa alternatywne, stosowane do zasilania silników o zapłonie iskrowym, takie jak: mieszanina propanu i butanu oraz metan, ze względu na mniejszą wartość opałową (tab. 1), powodują obniżenie tych wskaźników pracy. Jednakże znacznie wyższa liczba oktanowa tych paliw gazowych w stosunku do benzyny daje potencjał zwiększenia sprawności silnika o zapłonie iskrowym, a co za tym idzie zmniejszenia zużycia paliwa, przy niewielkiej modyfikacji technicznej.

Podstawowe wielkości charakterystyczne paliw gazowych i benzyny przedstawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Własności paliw węglowodorowych [1, 8]

Tab. 1. Comparison of hydrocarbon fuels [1, 8]

Paliwo	Właściwości fizyko-chemiczne		
	Wartość opałowa paliwa [MJ/m ³]	Wartość opałowa mieszanki stechiom. [MJ/m ³]	Liczba oktanowa (LOB)
Benzyna	43,6-45	3,44-3,91	95-98
Propan - butan	50,4	3,35	106-110
Propan	83	3,3	110
Metan	55,5	3,4	130

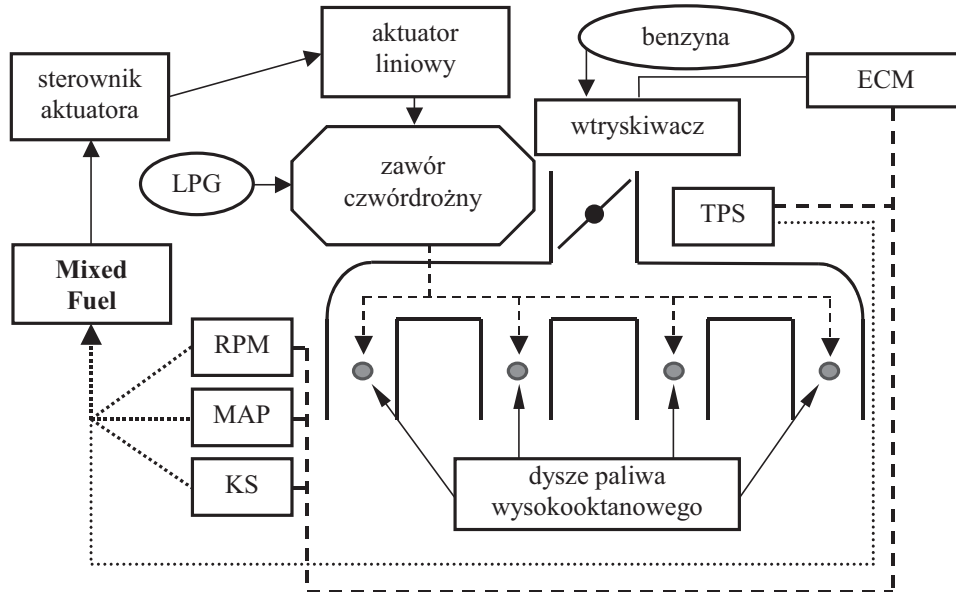
Rozwiązaniem problemu, proponowanym przez autorów artykułu, jest uzyskanie stałego wysokiego stopnia sprężania silnika o zapłonie iskrowym i stworzenie odpowiedniego systemu zasilania „Mixed Fuel” bazującego na instalacji paliwa gazowego. Stały stopień sprężania typowy dla silników seryjnych jest wynikiem kompromisu, jaki stawiają przed kierowcą pojazdu zróżnicowane warunki drogowe: (np. ruch miejski, ruch pozamiejski, ruch po autostradzie ze stałą prędkością oraz ruch po autostradzie z dużą prędkością). Istota silnika, przedstawianego w artykule, polega na tym, że stopień sprężania został podwyższony w sposób trwały, przez modyfikację geometrii komory spalania [6]. Sprzyja to zwiększeniu sprawności energetycznej silnika [5], jednak w warunkach znacznego obciążenia stwarza zagrożenie występowania spalania stukowego, uwarunkowane m.in. zbyt niską wartością liczby oktanowej paliwa.

Znane konstrukcje uzyskiwania zmiennego (sterowalnego) stopnia sprężania związane są z koniecznością stosowania skomplikowanych i drogich rozwiązań technicznych ze względu na to, że zasilane są paliwami o niezmiennych parametrach (liczba oktanowa) w całym zakresie pracy silnika [9]. Wymusza to stosowanie skomplikowanych algorytmów sterowania zmianą stopnia sprężania w warunkach przejściowych, przy możliwym do wystąpienia spalaniu stukowym. Zwiększone koszty, większa masa i gabaryty silnika oraz wzrost strat mechanicznych podważają celowość stosowania tych rozwiązań do samochodów podstawowej i średniej klasy.

2. System zasilania „Mixed Fuel”

Spalaniu stukowemu występującemu tylko i wyłącznie w określonym obszarze pracy silnika spalinowego, zapobiega się nie przez obniżanie stopnia sprężania, ale przez zasilanie silnika paliwem o zwiększonej liczbie oktanowej (LO = 106 - 130). Paliwa takie są dostępne na rynku zarówno w fazie ciekłej jak i gazowej (Shell V-power, LPG, CNG). W obszarze obciążeń

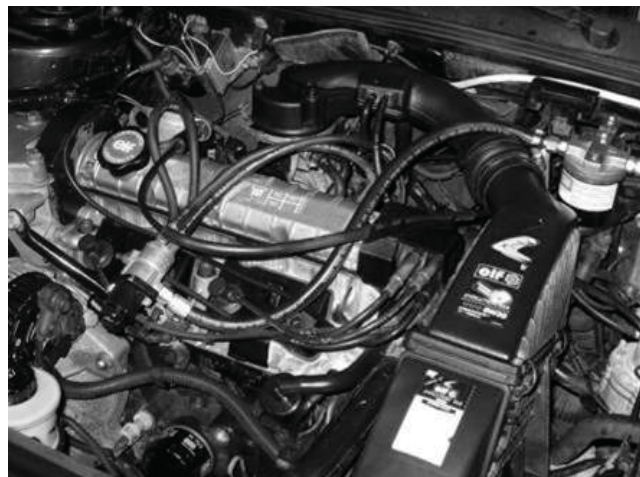
częściowych układ zasilania jest przełączany z powrotem na paliwo podstawowe (benzynę). Dla realizacji przedstawionej koncepcji konieczne było wyposażenie silnika w podwójny układ zasilania: układ zasilania paliwem podstawowym (benzyną) oraz układ zasilania paliwem dodatkowym, o wysokiej odporności na spalanie stukowe (wysoka wartość liczby oktanowej paliwa). Schemat systemu zasilania Mixed-Fuel został przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Schemat systemu zasilania Mixed-Fuel
 Fig. 1. Schema of Mixed-Fuel Supply

Głównym elementem systemu jest sterownik Mixed-Fuel, od którego zależy kiedy i w jakich warunkach silnik jest zasilany dodatkowym paliwem wysokooktanowym. Zasilanie paliwem o wyższej liczbie oktanowej ma charakter krótkookresowy i służy jedynie ochronie przeciwstukowej. Sterownik Mixed-Fuel do wysterowania odpowiedniej pozycji silnika krokowego SMP (Step Motor Position), regulującego przepływ paliwa wysokooktanowego, wymaga takich samych informacji jak dla silnika pracującego na paliwie podstawowym m.in. prędkości obrotowej silnika (RPM) jego obciążenia (MAP) oraz położenia przepustnicy (TPS). Nadrzędnym jest jednak sygnał spalania stukowego (KS).

Obiektem badań dla systemu Mixed-Fuel jest samochód seryjny Renault Laguna z silnikiem o zapłonie iskrowym oraz konstrukcyjnym stopniu sprężania $\epsilon = 9,7:1$ (rys. 2). W silniku tego pojazdu dokonano zwiększenia stopnia sprężania do wartości 11,8:1, poprzez modyfikację komory spalania.



Rys. 2. Silnik o zwiększonym stopniu sprężania z podwójnym układem zasilania
 Fig. 2. High Compression Ratio Engine with High Octane Fuel Supply

Paliwo o wyższej liczbie oktanowej w prezentowanym rozwiązaniu jest dozowane indywidualnie do każdego z czterech kanałów dolotowych silnika, za pomocą sterowanego w pętli sprzężenia zwrotnego zaworu czterodrożnego (rys. 3). Zawór sterowany jest liniowym silnikiem krokowym, który w zależności od wartości sterującej 0-55 odpowiednio zamyka lub otwiera maksymalnie rozpatrywany zawór czterodrożny, regulując przy tym stopień zasilania paliwem wysokooktanowym. Wartości sterujące silnikiem krokowym odzwierciedlające bezpośrednio udział paliwa wysokooktanowego w zasilaniu silnika spalinowego zilustrowano na rys. 4, 5, 6.

Czas pracy silnika spalinowego przy zasilaniu paliwem wysokooktanowym jest znacząco krótszy od czasu pracy przy zasilaniu samą benzyną. Tym samym zużycie paliwa o wysokiej wartości liczby oktanowej jest nieznaczne.

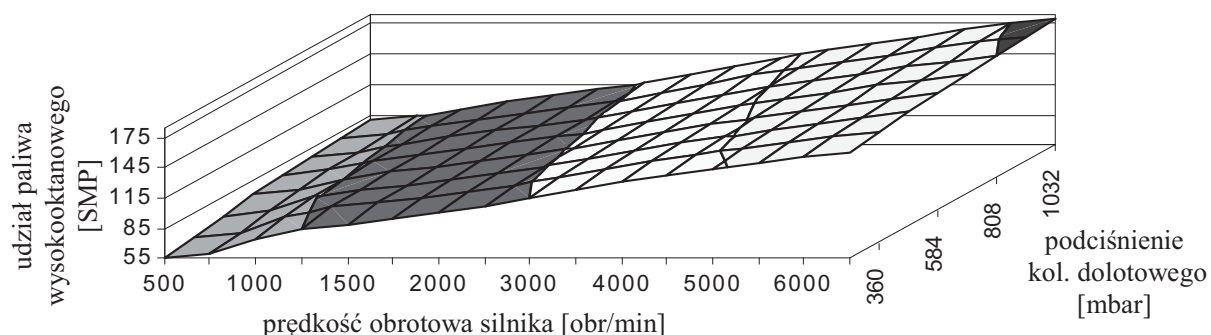


Rys. 3. Aktuator liniowy i zawór czwórdrożny paliwa wysokooktanowego
Fig. 3. Linear Actuator and Four Way Valve of High Octane Fuel

3. Sterowanie liczbą oktanową paliwa

W odróżnieniu od konwencjonalnych silników ZI, stopień sprężania jest wysoki, a dostosowywana (sterowana) jest liczba oktanowa paliwa tak, aby wskaźniki pracy silnika były jak najkorzystniejsze. Sterowanie liczbą oktanową realizowane jest poprzez dodatkowe zasilanie paliwem o wyższej liczbie oktanowej jednocześnie z paliwem podstawowym (benzyna).

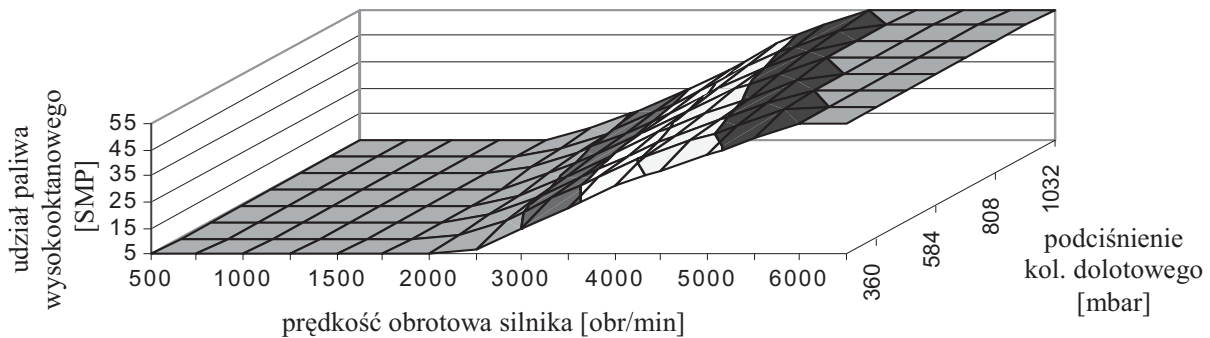
Proponowany system Mixed Fuel w sytuacji uszkodzenia benzynowego układu zasilania może pracować jak klasyczna instalacja gazowa (LPG lub CNG). Mapa wtrysku dla zasilania wyłącznie LPG została przedstawiona na rys. 4.



Rys. 4. Podstawowa mapa wtrysku paliwa wysokooktanowego przy zasilaniu wyłącznie paliwem gazowym
Fig. 4. Basic Injection Map of High Octane Fuel for only LPG Supply

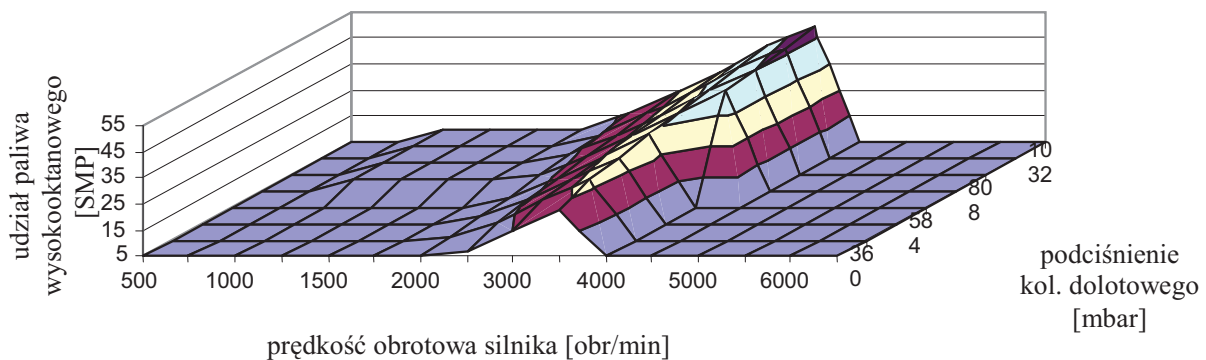
Podczas pierwszych prób zasilania silnika dwoma rodzajami paliw jednocześnie, konieczne było monitorowanie wskazań emisji substancji szkodliwych, aby utrzymać stechiometrię spalania. Podstawowy układ zasilania silnika, w wąskim obszarze, jest systemem samoadaptacyjnym.

Podczas dodatkowego zasilania paliwem wysokooktanowym sterownik silnika ECM zmniejsza czas wtrysku paliwa bazowego (benzyny) na podstawie sygnału sondy lambda. Empiryczną mapę wtrysku paliwa wysokooktanowego przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Empiryczna mapa wtrysku paliwa wysokooktanowego przy zasilaniu Mixed-Fuel (benzyna-LPG)
 Fig. 5. Empirical Injection Map of High Octane Fuel for Mixed Fuel Supply (gasoline-LPG)

Jednakże nadrzędnym celem systemu Mixed Fuel jest zapobieganie spalaniu stukowemu. Konieczna jest zatem taka optymalizacja mapy wtrysku paliwa wysokooktanowego, aby paliwo to dostarczane było wyłącznie w obszarach zagrożonych spalaniem stukowym. Obszary te są bardzo dobrze opisane w literaturze [3, 5, 7, 9] i występują przy niskich prędkościach obrotowych silnika przy jednoczesnym pełnym obciążeniu. Zoptymalizowaną mapę wtrysku paliwa wysokooktanowego przeciwdziałającą spalaniu stukowemu przedstawiono rys. 6.



Rys. 6. Zoptymalizowana mapa wtrysku paliwa wysokooktanowego do zapobiegania spalaniu stukowemu
 Fig. 6. Optimized for Knock Prevention LPG Injection Map for Mixed Fuel Operation

4. Podsumowanie

Realizacja koncepcji wiąże się z potrzebą rozwiązania wielu problemów szczegółowych. System Mixed Fuel wymaga dalszych badań. Określenia i zbadania wymagają algorytmu sterowania prototypowego silnika. Celowym jest również doświadczalne określenie przydatności paliw alternatywnych, (LPG, propan, CNG, paliwa syntetyczne), przy zasilaniu silnika z określoną wartością stopnia sprężania. Przeprowadzone badania, zarówno stanowiskowe jak i drogowe, pozwolą na określenie optymalnej wartości stopnia sprężania silnika zasilanego mieszaniną paliw. Doświadczalnie określić należy również wpływ algorytmów sterowania systemem Mixed Fuel na zużycie paliwa i emisję substancji szkodliwych.

Stosowanie dodatkowego paliwa gazowego tylko w określonych obszarach pracy silnika, zagrożonych spalaniem stukowym, utrzyma parametry energetyczne samochodu przy niewielkim koszcie paliwa gazowego, co potwierdza także ekonomiczne uzasadnienie podejmowanego tematu.

Literatura

- [1] Baczewski, K., Kałdoński, T., *Paliwa do silników o zapłonie iskrowym*, WKiŁ, Warszawa, 2005.
- [2] Lotko, W., *Studium zastosowań paliw alternatywnych do silników o zapłonie samoczynnym*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom, 2001.
- [3] Luft, S., *Dwupaliwowy silnik o zapłonie samoczynnym zasilany mieszaniną gazów propan-butan (LPG) i olejem napędowym*, Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom, 2002.
- [4] Majerczyk, A., Taubert, S., *Układy zasilania gazem propan butan*, WKiŁ, Warszawa, 2003.
- [5] Malewicz, K., Prokop, S., Szurgacz, A., *Analiza możliwości podwyższenia stopnia sprężania silnika o zapłonie iskrowym*, VII Międzynarodowa Konferencja Naukowa Silniki gazowe 2006, Hucisko, 2006.
- [6] Malewicz, K., Hetmańczyk, I., Mamala, J., Borecki, D., *High compression ratio engine with high-octane fuel supply*, Kongres PTNSS 2007, Kraków, 2007.
- [7] Mamala, J., Jantos, J., *Sterowanie przejściowym stanem pracy samochodowego silnika ZI*, Materiały konferencyjne Międzynarodowej Konferencji Motoryzacyjnej AUTOPROGRES-KONMOT 2002, Pasym, 2002.
- [8] Merkisz, J., Pielucha, I., *Alternatywne napędy pojazdów*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2006.
- [9] Schwaderlapp, M., Habermann, K., Yapici, K. I., *Variable Compression Ratio- Design Solution for Fuel Economy Concepts*, FEV Motorentechnik GmbH, Paper 2002-01-1103, 2002.