

Dual fuelling SI engine by mixing alcohol and gasoline

Abstract: The Department of Internal Combustion Engines and Vehicles, Technical University of Bielsko-Biala are carried out work on alternative fuels in the area of feeding of dual-fuel SI engines. The article presents the concept of dual fuel engine with MPI injection of alcohol and gasoline fuels using a mixing device. The solution consists in mixing fuel (gasoline and alcohol) close the fuel manifold which provides variable share of alcohol in fuel, depending on engine operating conditions (engine revolution and load), and its thermal state. Fuels are delivered to the mixer which allow the suitable selection of the proportion of alcohol and gasoline. Pre-prepared mixture is injected through the original injectors to engine manifold, around the inlet valve. This paper presents a preliminary analysis of the control algorithm, for a spark ignition engine fueled by the proposed mixing device.

Keywords: dual fuel engine, alcohol, mixer, toxicity, thermal efficiency, thermal load

Dwupaliwowe zasilanie silnika o zapłonie iskrowym z udziałem mieszalnika alkoholu i benzyny

Streszczenie: W Katedrze Silników Spalinowych i Pojazdów Akademii Techniczno Humanistycznej w Bielsku-Białej prowadzone są prace dotyczące wykorzystania paliw alternatywnych w ramach dwupaliwowego zasilania silników ZI. W artykule przedstawiono koncepcję dwupaliwowego zasilania silnika o zapłonie iskrowym z wielopunktowym wtryskiem alkoholu i benzyny za pomocą mieszalnika paliw. Przedstawione rozwiązanie polega na mieszaniu paliw (benzyny i alkoholu) przed kolektorem paliwowym, co zapewnia zmienne udziały alkoholu w paliwie zależnie od warunków pracy silnika (prędkości obrotowej i obciążenia) oraz jego stanu cieplnego. Paliwa dostarczane są do mieszalnika, który umożliwia odpowiedni dobór proporcji alkoholu i benzyny. Przygotowana wstępnie mieszanina paliw wtryskiwana jest przez oryginalne wtryskiwacze silnika do kolektora, w okolicie zaworu dolotowego. W niniejszej pracy przedstawiono wstępną analizę algorytmu sterowania silnikiem zasilanym dwupaliwowo za pomocą proponowanego mieszalnika paliw.

Słowa kluczowe: silnik dwupaliwowy, alkohol, mieszalnik, toksyczność spalin, sprawność ogólna, obciążenie cieplne

1. Wstęp

Powszechne stosowanie wielopunktowego wtrysku paliw lekkich stwarza nowe możliwości stosowania różnych strategii zasilania wykorzystujących paliwa alternatywne, takich jak alkohole. Alkohol metylowy i etylowy mogą być stosowane zarówno w silnikach o zapłonie iskrowym jak i samoczynnym [1-9]. Pozwala to w pełni wykorzystać dużą odporność przeciwstukową alkoholi i w silnikach ZI umożliwia zwiększenie stopnia sprężania [12-16]. Powoduje to wzrost sprawności ogólnej i mocy jednostkowej silnika, zmniejszenie emisji składników toksycznych w spalinach i obniżenie temperatury spalin [4, 13, 14]. Korzystny wpływ stosowania alkoholu jako paliwa w stosunku do benzyny przedstawiono na rys. 1-4, na których porównano wybrane parametry pracy silnika o zapłonie iskrowym o pojemności skokowej 1100 cm³, zasilanego niezależnie benzyną i metanolem. Badania wykonano dla prędkości obrotowej 3000 obr/min. Podobne efekty otrzymano również dla innych prędkości obrotowych [15, 16].

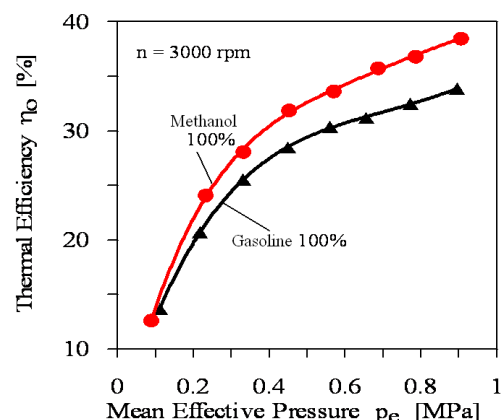


Fig. 1. The thermal efficiency of the engine 1100 Fiat powered by gasoline or methanol

Rys. 1. Sprawność cieplna silnika FIAT 1100 zasilanego metanolem i benzyną

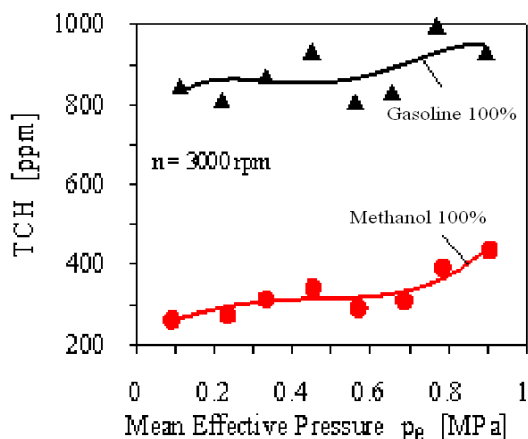


Fig. 2. Concentration of THC in the exhaust gases of the Fiat 1100 engine fueled gasoline or methanol
Rys. 2. Stężenia THC w spalinach silnika FIAT 1100 zasilanego metanolem i benzyną

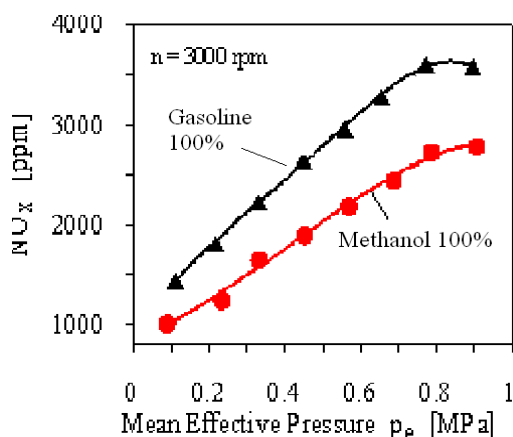


Fig. 3. Concentration of NO_x in the exhaust gases of the Fiat 1100 engine fueled gasoline or methanol
Rys.3. Stężenia NO_x w spalinach silnika FIAT 1100 zasilanego metanolem i benzyną

Stosowanie czystych alkoholi w tych silnikach stwarza jednak pewne trudności eksploatacyjne polegające na utrudnionym rozruchu oraz konieczności podgrzewania kolektora dolotowego w silniku pracującym w temperaturach niższych od $10^{\circ}C$, szczególnie w fazie nagrzewania silnika [12]. Z tego powodu wydaje się uzasadnionym stosowanie w silnikach z zapłonem iskrowym układów dwupaliwowego zasilania benzyną i alkoholem. Przy podejmowaniu decyzji o zastosowaniu tych paliw należy uwzględnić specyficzne własności alkoholi istotne dla pracy silników:

- wysoką odporność przeciw stukową: metanol $LO=115$, etanol $LO=110$;
- znacznie większe ciepło parowania w stosunku do benzyny;
- dwukrotnie mniejsze zapotrzebowanie powietrza, co mimo mniejszej wartości opałowej powoduje, że wartość opałowa alkoholowych mieszanin stechiometrycznych jest większa od benzynowych;

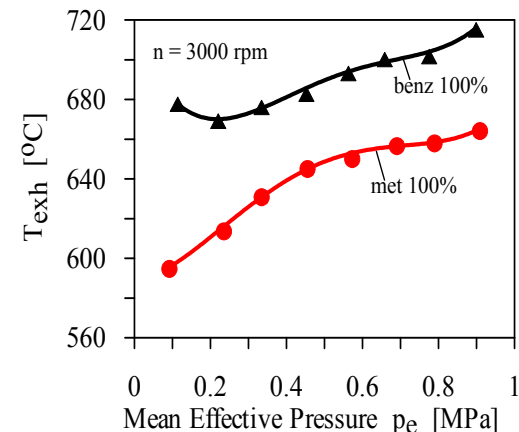
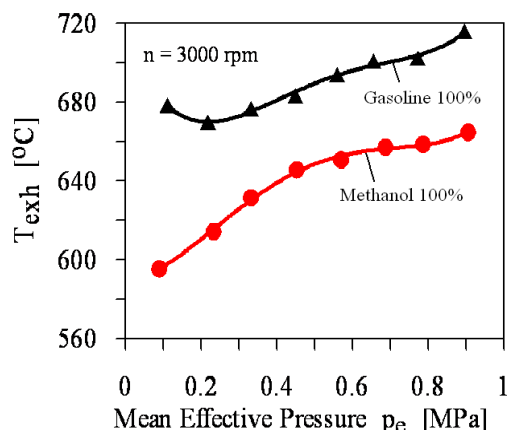


Fig.4 Exhaust temperature of the Fiat 1100 engine fueled gasoline or methanol

Rys.4 Temperatura spalin silnika FIAT 1100 zasilanego metanolem i benzyną

- utrudniony rozruch w niskich temperaturach;
- zjawisko rozwarstwiania się mieszanin benzyna-alkohol w niskich temperaturach (skłonność tę zwiększa zawartość wody w paliwie, nie do uniknięcia w eksploatacji ze względu na doskonałą rozpuszczalność wody w alkoholu).

2. Opis systemu zasilania silnika

W Katedrze Silników Spalinowych i Pojazdów Akademii Techniczno- Humanistycznej w Bielsku-Białej prowadzone są badania nad zastosowaniem paliw alternatywnych [12-16]. Dotychczas proponowane rozwiązanie zasilania silnika dwupaliwowego o zapłonie iskrowym polegało na zamontowaniu do kolektora dolotowego dodatkowych wtryskiwaczy do alkoholu [12, 14]. Wymaga to jednak poważnych zmian konstrukcyjnych w silniku. Dane techniczne silnika, którym zamontowano system dwupaliwowy przedstawia tabela 1.

Tab. 1. Technical data of Fiat 1100 MPI engine
 Tab. 1 Dane techniczne silnika Fiat 1100 MPI

| | |
|--|----------------------|
| Typ silnika Engine Type | Fiat 1100 MPI |
| Srednica cylindra x skok Bore x Stroke | 70 x 72 mm |
| Pojemność skokowa Dispacement volume | 1108 cm ³ |
| Stopień sprężania Compression Ratio | 9,6 |
| Moc znamionowa/prędkość obrotowa Power/RPM | 40 kW 5000 rpm |
| Maksymalny moment obrotowy/prędkość obrotowa Max Torque/RPM | 88 Nm 3000 rpm |

Przedstawione w niniejszej pracy rozwiązanie dotyczy alternatywnego w stosunku do powyższego sposobu zasilania silników i powstało w wyniku doświadczeń zdobytych w trakcie badań czterocylindrowego wolnossącego silnika o zapłonie iskrowym zasilanego jednocześnie, benzyną i alkoholem za pomocą dwóch systemów wtrysku MPI. Przedstawione rozwiązanie, polega na mieszaniu paliw (benzyny i alkoholu) przed kolektorem paliwowym. Takie rozwiązanie jest bardziej uniwersalne w stosunku do rozwiązania z dwoma kompletami wtryskiwaczy. Koncepcję i prototyp funkcjonalny mieszalnika paliw, który jest zasadniczym elementem układu zasilania dwupaliwowego przygotowano dla 4-cylindrowego silnika o zapłonie iskrowym z wielopunktowym wtryskiem paliwa typ Fiat 1100 MPI (tabela 1). W silniku regulacja ciśnienia wtrysku realizowana jest za pomocą zaworu regulacyjnego znajdującego się przy pompie zasilającej. Nie stosuje się w tym przypadku zaworu regulacyjnego ciśnienia wtrysku umieszczonego przy kolektorze paliwowym. Przy zasilaniu dwoma różnymi paliwami, paliwa muszą być mieszane w warunkach ciśnienia roboczego panującego w układzie wtryskowym (3,5 bar). Na rys. 5 przedstawiono schemat układu paliwowego silnika badawczego zasilanego benzyną i metanolem

Proponowane rozwiązanie układu zasilania polegające na zastosowaniu wspólnego mieszalnika dla benzyny i alkoholu, oraz wielopunktowy wtrysk mieszanki paliw do kolektora dolotowego przez fabryczne wtryskiwacze, całkowicie likwiduje problem rozwarstwienia mieszanin alkoholowo-benzynowych. W konstrukcji mieszalnika przewidziano zasadę mieszania przeciwnieprądowego, z wykorzystaniem komory mieszającej, powodującej zawirowanie mieszanki, co pozwala uzyskać odpowiednią jakość mieszanki obydwu paliw. W proponowanym rozwiązaniu układu zasilania, równorzędnymi paliwami silnika dwupaliwowego są benzyna i alkohol metylowy lub etylowy. Spalanie benzyny i alkoholu może być oddzielne, lub rów-

noczesne, zależnie od warunków pracy silnika i jego stanu cieplnego. Doprowadzenie mieszanki paliw bezpośrednio do kolektora paliwowego układu wtryskowego, ogranicza w znacznym stopniu zwłokę wynikającą ze zmiany składu paliwa doprowadzonego do cylindra, jednocześnie zapobiega jego rozwarstwianiu. Udział alkoholu może być przy tym zmienny w zakresie od 0% do 100% całkowitej dawki energii dostarczanej do silnika, zależnie od warunków pracy silnika (prędkości obrotowej i obciążenia) oraz jego stanu cieplnego. Zasadą pracy urządzenia jest regulacja mieszanki paliw za pomocą zaworów elektromagnetycznych sterowanych szerokością prostokątnego impulsu PWM (*Pulse With Modulation*).

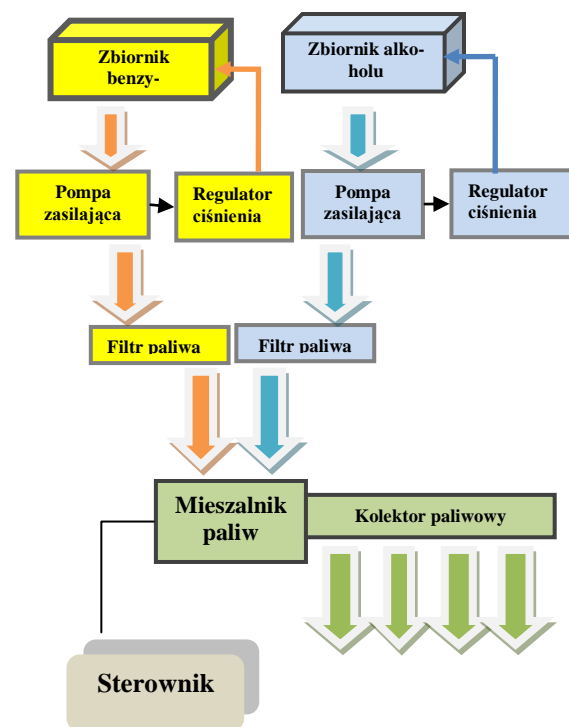


Fig. 5. Scheme of bi-fuel system
 Rys. 5. Schemat zasilania dwupaliwowego

W przypadku tego rozwiązania, zastosowano impulsy o częstotliwości 45 Hz, generując szerokość impulsu proporcjonalnie do mierzonego natężenia przepływu paliw (w skali procentowej). Obydwa zawory elektromagnetyczne są otwierane jednocześnie. Przemienne otwierania zaworów nie zastosowano z uwagi na wyniki badań prototypu. Wykonane pomiary i uzyskane na prototypie funkcjonalnym mieszalnika wyniki, potwierdzają koncepcję takiego sposobu zasilania silnika. Uzasadniają tezę, że możliwe jest doprowadzenie homogenicznej mieszanki paliw bezpośrednio do kolektora paliwowego układu wtryskowego. Możliwa jest również regulacja dowolnego składu paliwa (benzyny i alkoholu), w zależności od sposobu sterowa-

nia zaworami elektromagnetycznymi mieszalnika, co zapewnia zmienne udziały alkoholu lub benzyny. Na rysunku nr 6 przedstawiono wizualizację mieszalnika paliw wraz z połączeniami z systemem zasilania. Mieszalnik montuje się bezpośrednio do kolektora paliwowego silnika FIAT 1100 za pomocą oryginalnego złącza. Na rysunkach nr 7 do 8

przedstawiono podstawowe parametry pracy mieszalnika w funkcji impulsów sterujących PWM dla obydwu paliw, w tym możliwe do uzyskania udziały paliw i wymagane wydatki zaworów elektromagnetycznych w zależności od sygnałów sterujących tymi zaworami.

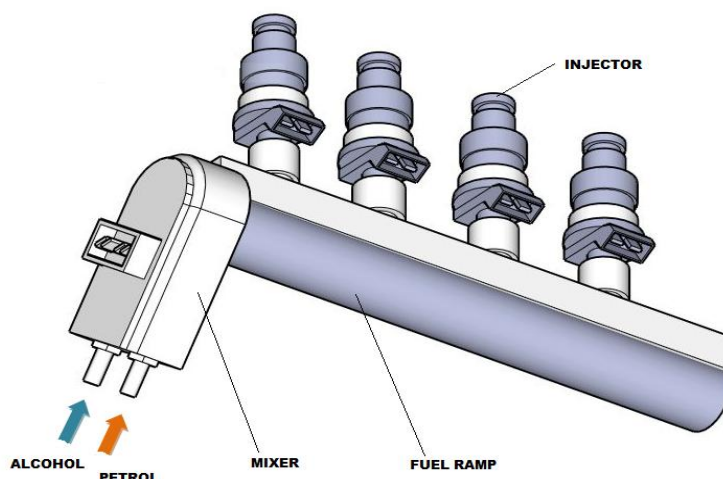


Fig. 6. Scheme of the fuels mixer
Rys. 6. Schemat mieszalnika paliw

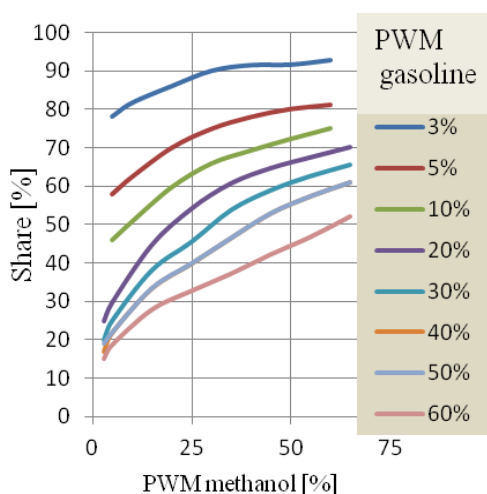


Fig. 7. Comparison of methanol share for various gasoline and methanol PWM impulse
Rys. 7. Porównanie udziału metanolu dla różnych warunków sterowania benzyny i metanolu

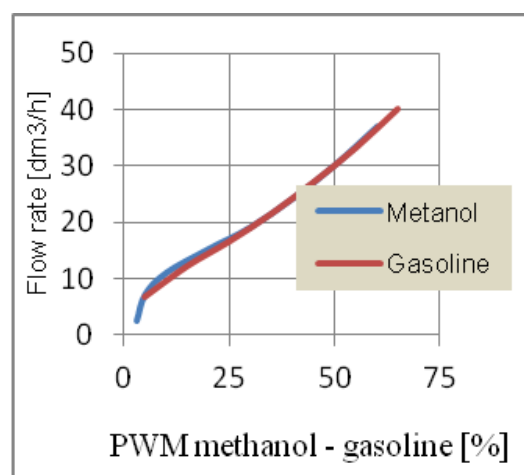


Fig. 8. Flows of gasoline and methanol versus changes PWM
Rys. 8. Porównanie wydatku benzyny i metanolu w zależności od wartości impulsu PWM

3. Wstępne analizy sterowania silnikiem dwupaliwowym z zastosowanym mieszalnikiem paliw

W pracy przedstawiono wstępne analizy dotyczące algorytmów sterowania mieszalnikiem paliw. W oparciu o aproksymowane charakterystyki wtryskiwaczy benzyny i metanolu wykonano tablice nr 2 i 3 czasów otwarcia wtryskiwaczy benzyny i

metanolu wynikających ze zmiennego udziału energetycznego metanolu w mieszance paliwowo-powietrznej. W tablicach widoczny w pierwszej kolumnie czas wtrysku benzyny dotyczy zerowego udziału metanolu w paliwie. W tablicy nr.2 przedstawiono czasy otwarcia wtryskiwaczy metanolu dla zmiennych udziałów metanolu w paliwie a w tablicy nr 3 czasy otwarcia wtryskiwaczy benzyny dla zmiennych udziałów metanolu. Czasy otwarcia wtryskiwaczy dobierano tak, aby dawki wtryskiwanych paliw spełniały zależność:

$$Q_b \times W_b = Q'_b \times W_b + Q_a \times W_a$$

gdzie: Q_b – dawka benzyny przy zasilaniu samą benzyną,

W_b – wartość opałowa benzyny,
 Q'_b – dawka benzyny mieszanej,
 Q_a – dawka alkoholu,
 W_a – wartość opałowa alkoholu.

Tab. nr 2 Methanol injector opening times for the variables of the shares of methanol in the fuel
 Tab. nr 2 Czasy otwarcia wtryskiwaczy metanolu dla zmiennych udziałów metanolu w paliwie

| Czas wtrysku [ms] Zasilanie wyłącznie benzyną | Udziały metanolu [%] | | | | | | | | |
|--|---|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| | Czasy wtrysku metanolu dla zmiennych udziałów metanolu [ms] | | | | | | | | |
| 2,8 | 1,7 | 2,1 | 2,4 | 2,8 | 3,1 | 3,5 | 3,8 | 4,2 | 4,5 |
| 3,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 3,9 | 4,4 | 4,9 | 5,4 | 5,9 |
| 4,3 | 2,3 | 2,9 | 3,5 | 4,2 | 4,8 | 5,4 | 6,0 | 6,7 | 7,3 |
| 5,0 | 2,5 | 3,3 | 4,1 | 4,8 | 5,6 | 6,4 | 7,1 | 7,9 | 8,7 |
| 5,7 | 2,8 | 3,7 | 4,6 | 5,5 | 6,5 | 7,4 | 8,3 | 9,2 | 10,1 |
| 6,4 | 3,1 | 4,2 | 5,2 | 6,2 | 7,3 | 8,3 | 9,4 | 10,4 | 11,5 |
| 7,2 | 3,4 | 4,6 | 5,8 | 6,9 | 8,1 | 9,3 | 10,5 | 11,7 | 12,9 |
| 7,9 | 3,7 | 5,0 | 6,3 | 7,6 | 9,0 | 10,3 | 11,6 | 12,9 | 14,3 |
| 8,6 | 3,9 | 5,4 | 6,9 | 8,3 | 9,8 | 11,3 | 12,7 | 14,2 | 15,7 |
| 9,3 | 4,2 | 5,8 | 7,4 | 9,0 | 10,6 | 12,2 | 13,8 | 15,4 | 17,0 |
| 10,1 | 4,5 | 6,2 | 8,0 | 9,7 | 11,5 | 13,2 | 15,0 | 16,7 | 18,4 |
| 10,8 | 4,8 | 6,7 | 8,5 | 10,4 | 12,3 | 14,2 | 16,1 | 18,0 | 19,8 |
| 11,5 | 5,1 | 7,1 | 9,1 | 11,1 | 13,1 | 15,2 | 17,2 | 19,2 | 21,2 |

Tab. nr 3 Gasoline injector opening times for the variables of the shares of methanol in the fuel
 Tab. nr 3 Czasy otwarcia wtryskiwaczy benzyny dla zmiennych udziałów metanolu w paliwie

| Czas wtrysku [ms] Zasilanie wyłącznie benzyną | Udziały metanolu [%] | | | | | | | | |
|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| | Czasy wtrysku benzyny dla zmiennych udziałów metanolu [ms] | | | | | | | | |
| 2,8 | 2,5 | 2,3 | 2,1 | 1,9 | 1,7 | 1,6 | 1,4 | 1,2 | 0 |
| 3,6 | 3,0 | 2,8 | 2,5 | 2,3 | 2,0 | 1,8 | 1,5 | 1,3 | 0 |
| 4,3 | 3,6 | 3,3 | 3,0 | 2,6 | 2,3 | 2,0 | 1,7 | 1,3 | 0 |
| 5,0 | 4,2 | 3,8 | 3,4 | 3,0 | 2,6 | 2,2 | 1,8 | 1,4 | 0 |
| 5,7 | 4,8 | 4,3 | 3,8 | 3,4 | 2,9 | 2,4 | 2,0 | 1,5 | 0 |
| 6,5 | 5,4 | 4,8 | 4,3 | 3,7 | 3,2 | 2,6 | 2,1 | 1,6 | 0 |
| 7,2 | 6,0 | 5,3 | 4,7 | 4,1 | 3,5 | 2,9 | 2,2 | 1,6 | 0 |
| 7,9 | 6,5 | 5,8 | 5,2 | 4,5 | 3,8 | 3,1 | 2,4 | 1,7 | 0 |
| 8,6 | 7,1 | 6,4 | 5,6 | 4,8 | 4,1 | 3,3 | 2,5 | 1,8 | 0 |
| 9,4 | 7,7 | 6,9 | 6,0 | 5,2 | 4,4 | 3,5 | 2,7 | 1,8 | 0 |
| 10,1 | 8,3 | 7,4 | 6,5 | 5,6 | 4,6 | 3,7 | 2,8 | 1,9 | 0 |
| 10,8 | 8,9 | 7,9 | 6,9 | 5,9 | 4,9 | 4,0 | 3,0 | 2,0 | 0 |
| 11,5 | 9,4 | 8,4 | 7,3 | 6,3 | 5,2 | 4,2 | 3,1 | 2,1 | 0 |

Przedstawione wyniki czasu pracy wtryskiwaczy wskazują że dla dużych udziałów metanolu mogą wystąpić zakłócenia w pracy wtryskiwaczy benzyny wynikające z wtrysku małych dawek benzyny w dużym zakresie obciążeń silnika, wyniki wskazują również, że dla pewnych udziałów metanolu mogą wystąpić zakłócenia w pracy silnika wynikające z wtrysku małych dawek metanolu w zakresie małych obciążeń i prędkości obrotowych. Niekorzystne czasy pracy wtryskiwaczy z punktu widzenia sterowania silnikiem zaznaczono kolorami. W wyniku przeprowadzonych wcześniej badań na tym silniku, gdzie wykorzystano fabryczne

wtryskiwacze, wskazano, że udziały wtryskiwanej mieszaniny paliw powinny zmieniać się odpowiednio:
 - udział metanolu 20%, dla obciążenia powyżej 22% obciążenia maksymalnego
 - udział metanolu 30%, dla obciążenia powyżej 26% obciążenia maksymalnego
 - udział metanolu 40%, dla obciążenia powyżej 30% obciążenia maksymalnego
 - udział metanolu 50%, dla obciążenia powyżej 36% obciążenia maksymalnego
 - udział metanolu 60%, dla obciążenia powyżej 45% obciążenia maksymalnego
 - udział metanolu 70% , dla obciążenia powyżej 60% obciążenia maksymalnego

Dla obciążeń mniejszych od wskazanych wyżej należy obniżyć udział metanolu. Ogranicza to stosowanie zasilania dwupaliwowego w tym zakresie dla udziałów metanolu mniejszych od 30 %. Dla obciążeń mniejszych od wskazanych wyżej należy zasilać silnik samą benzyną. Wykonane tablice stanowią podstawę do określenia odpowiednich charakterystyk operacyjnych o postaci tabelarycznej.

W tablicy nr 4 przedstawiono w formie charakterystyki uniwersalnej czasy otwarcia wtryskiwaczy zasilanych paliwem z mieszalnika. Z uwagi na charakterystykę stosowanych w tym silniku wtryskiwaczy, oraz podane wyżej zalecenia odnośnie udziałów obydwu paliw, odpowiednimi kolorami zaznaczono obszary zalecanego i możliwego do

zastosowania w tym silniku udziału metanolu. Jak można zauważyć, przy stosowanych czasach otwarcia wtryskiwaczy w tym silniku, nie jest możliwe zastosowanie w obszarach najbardziej zalecanych (dla maksymalnego obciążenia) dużego udziału metanolu. Zmiana przekroju czynnego wtryskiwaczy pozwoliłaby na zwiększenie udziału metanolu w całym obszarze pracy silnika uwzględniając jednak wcześniejsze zalecenia.

W tablicach nr 5 i 6 przedstawiono wartości impulsów PWM sterujących mieszaniem paliw. W tablicy nr 5 parametry sterowania zaworem elektromagnetycznym metanolu i w tablicy nr 6 parametry sterowania zaworem elektromagnetycznym benzyny, co zapewnia możliwe udziały metanolu w paliwie.

Tab. nr 4 Mixed fuel injector opening times for the variables of the shares of methanol in the fuel
Tab. nr 4 Czasy otwarcia wtryskiwaczy paliwa zmieszanego dla zmiennych udziałów metanolu w paliwie

| Czasy otwarcia wtryskiwaczy [ms] | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|
| 96,9 | 13,2 | 12 | 12,3 | 12,85 | 13,65 | 13,8 | 13,7 | 10,4 | 12 |
| 91 | 13,4 | 12,5 | 12,7 | 13,1 | 13,4 | 13,3 | 12,9 | 12,82 | 12,9 |
| 81,1 | 12,2 | 12,3 | 12,42 | 12,61 | 12,9 | 13,1 | 12,7 | 12,41 | 12,3 |
| 70,2 | 9,5 | 10,52 | 10,65 | 10,8 | 11,1 | 11,3 | 10,9 | 10,8 | 10,47 |
| 61,3 | 9,1 | 8,7 | 8,8 | 9,4 | 9,68 | 9,72 | 8,9 | 8,85 | 8,7 |
| 52,4 | 6,8 | 7,3 | 7,4 | 7,6 | 7,69 | 7,71 | 7,55 | 7,42 | 7,2 |
| 43,5 | 3,06 | 3,17 | 3,31 | 3,33 | 3,41 | 3,43 | 3,38 | 3,34 | 3,12 |
| 35,6 | 2,3 | 2,4 | 2,51 | 2,51 | 2,53 | 2,54 | 2,53 | 2,46 | 2,39 |
| 22,7 | 1,17 | 1,275 | 1,285 | 1,29 | 1,295 | 1,29 | 1,285 | 1,28 | 1,275 |
| MAP [kPa] | 900 | 1200 | 1800 | 2400 | 3000 | 3600 | 4200 | 4800 | 5400 |
| | Prędkość obrotowa [obr/min] | | | | | | | | |
| 10% metanol | | 20% metanol | | 50% metanol | | 70% metanol | | 100% benzyna | |

Tab. nr 5 Value of the pulse width control solenoid valve for methanol
Tab. nr 5 Stopień wypełnienia impulsów sterujących zaworem elektromagnetycznym dla metanolu

| PWM metanol [%] | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|--------------|------|
| 96,9 | 20 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 5 | 5 |
| 91 | 40 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 81,1 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 70,2 | 20 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 61,3 | 20 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 52,4 | 20 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 43,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| MAP [kPa] | 900 | 1200 | 1800 | 2400 | 3000 | 3600 | 4200 | 4800 | 5400 |
| | Prędkość obrotowa [obr/min] | | | | | | | | |
| 10% metanol | | 20% metanol | | 50% metanol | | 70% metanol | | 100% benzyna | |

Tab. nr 6 Value of the pulse width control solenoid valve gasoline

Tab. nr 6 Stopień wypełnienia impulsów sterujących zaworem elektromagnetycznym dla benzyny

| PWM benzyna [%] | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|-------------|------|-------------|------|--------------|------|---------------|------|
| 96,9 | 20 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 65 | 65 |
| 91 | 10 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 81,1 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 70,2 | 20 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 61,3 | 20 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 52,4 | 20 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 43,5 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 35,6 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 22,7 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| MAP [kPa] | 900 | 1200 | 1800 | 2400 | 3000 | 3600 | 4200 | 4800 | 5400 |
| | Prędkość obrotowa [obr/min] | | | | | | | | |
| 10% metanol | | 20% metanol | | 50% metanol | | 70 % metanol | | 100 % benzyna | |

Zastosowane w badaniach procedury regulacyjne wymagały kontroli współczynnika nadmiaru powietrza i kontroli prędkości obrotowej biegu jałowego. W badaniach wykorzystano sterownik IC5460 wyposażony w podstawowy algorytm regulacji dotyczący regulatora całkującego, w którym zadawane jest tempo wzbogacania bądź zubożania dawki wtrysku. W badaniach przyjęto strategię współczynnika regulacji lambda w oparciu o stale wzrastający udział metanolu i zmniejszający się udział benzyny. Do kontroli biegu jałowego silnika wybrano tryb tablicowy umożliwiający sterowanie biegiem jałowym z pomocą PWM w zakresie od 0-99,9%. Rozruch silnika odbywał przy zasilaniu benzynowym. Po rozgrzaniu silnika następowało przełączenie na układ dodatkowego zasilania alkoholem.

4. Podsumowanie

Mieszalnik pozwala równocześnie na dowolne strategie sterowania pod warunkiem optymalizacji układu wtryskowego. Możliwe jest zasilanie samą benzyną przy rozruchu i nagrzewaniu silnika, oraz dwupaliwowe zasilanie o zmiennym udziale alkoholu przy częściowych obciążeniach. Zasilanie samym alkoholem przy maksymalnych obciążeniach silnika jest możliwe kosztem znacznego wydłużenia czasu wtrysku. Z tego powodu korzystniejsze wydaje się zastosowanie wtryskiwaczy o większym przekroju czynnym. Koszt adaptacji pojazdu na ten system zasilania jest porównywalny do adaptacji zasilania silników na LPG, co pozytywnie rokuje na praktyczne wykorzystanie wyników proponowanego rozwiązania. Dodatkowym argumentem pozytywnym jest możliwość wykonania instalacji z materiałów całkowicie odpornych na alkohole, oraz krótki czaso-

kres kontaktu alkoholi z tradycyjnymi materiałami silnikowymi, co ograniczy ich oddziaływanie korozyjne. Argumenty te w przeszłości były często podnoszone przez przeciwników zasilania alkoholami. Wydaje się również, że zastosowanie dodatkowego alkoholowego zasilania silnika ułatwi spełnienie limitu emisji spalin. Zastosowanie dwóch instalacji paliwowych dla benzyny i alkoholu oraz mieszalnika, wraz z właściwym doбором wtryskiwaczy dla mieszaniny paliw niesie wiele istotnych korzyści w eksploatacji silnika, są to:

- niezmienione własności rozruchowe silnika, bowiem rozruch i nagrzewanie może odbywać się przy zasilaniu benzynowym;
- po osiągnięciu odpowiedniej temperatury silnik może być równocześnie zasilany benzyną i alkoholem, przy czym udział alkoholu może być dowolnie zmienny od 0%...100%), według dowolnie przyjętego kryterium optymalizacji;
- doprowadzenie mieszaniny paliw bezpośrednio do kolektora paliwowego układu wtryskowego, ogranicza w znacznym stopniu zwłokę wynikającą ze zmiany składu paliwa doprowadzonego do cylindra, jednocześnie zapobiega jego rozwarstwianiu;
- w zakresie średnich i maksymalnych obciążeń silnik może być zasilany samym alkoholem, co pozwala zwiększyć stopień sprężania silnika do wartości 12÷14;
- możliwość zwiększenia mocy maksymalnej silnika ze względu na wzrost sprawności napełnienia i większą wartość opałową mieszaniny stechiometrycznej;
- wzrost sprawności ogólnej silnika przez obniżenie pracy sprężania chłodniejszej mieszaniny,

skrócenie zwłoki zapłonu i czasu spalania oraz zmniejszenie strat ciepła ze strefy płomienia;

- poprawę toksyczności spalin głównie przez zmniejszenie stężenia węglowodorów i tlenków azotu w spalinach (mniejsze temperatury ładunku i temperatur w strefach spalania).

Do zasilania może być również stosowany alkohol etylowy. Choć nieco droższy, może być poważnie rozważany, jako zastępcze paliwo silnikowe. Związane jest to z okresowymi nadwyżkami w produkcji tego alkoholu występującymi w Polsce.

Proponowane w pracy rozwiązanie daje efekty ekologiczne i ekonomiczne, umożliwiając tym samym wykorzystanie paliwa alkoholowego zgodnie z wytycznymi ustawowymi dotyczącymi wykorzystania paliw alternatywnych.

Potencjalne korzyści z zastosowania proponowanego systemu zasilania silnika o zapłonie iskrowym są następujące:

- korzyści ekologiczne wynikające z zastosowania zwiększonego udziału alkoholu w paliwie i

związaną z tym mniejszą emisją składników toksycznych,

- wykorzystanie potencjału paliw alternatywnych,
- z uwagi na koszty dodatkowej instalacji zasilania alkoholem w pojeździe samochodowym, które są porównywalne z instalacją LPG, możliwe jest zastosowanie takiego sposobu zasilania, nie tylko, w samochodach osobowych nowych, ale również starszych, które, z uwagi na trwałość silników, będą jeszcze długo eksploatowane,
- możliwość opracowania takiego algorytmu sterowania silnikiem, aby umożliwić jednoczesne całkowite opróżnianie zbiorników alkoholu i benzyny,
- korzyści ekonomiczne, zależne jednak od skali produkcji metanolu, lub etanolu,
- wraz z rosnącymi cenami benzyny wzrośnie zainteresowanie montażem instalacji takiego sposobu zasilania,
- wzrost potencjału producentów komponentów instalacji paliwowych, zbiorników, elektroniki, itp.

Literatura

1. Baczewski K., Kałdoński T.: Paliwa do silników o zapłonie iskrowym. WKiŁ 2005.
2. Stell Lexikon, Folge 30, MTZ nr 12/1997.
3. Kotowski W., Klimiec J., Marcjasz-Sięmiątkowski I.: Możliwości wykorzystania metanolu i jego pochodnych jako paliw silnikowych. Przemysł Chemiczny nr 80/1/2001.
4. Metanol/gasoline blends and emissions. Automotive Engineering nr 4/1992 (cz. 1), nr 5/1992 (cz. 2).
5. Mayer L.: Etanol jako komponent benzyn silnikowych. Auto Technika Motoryzacyjna nr. 6/1992 (kwartalnik N-T II/1992).
6. Bednarek E., Małyska J., Kosowicz L.: Wykorzystanie alkoholu etylowego w paliwach silnikowych reformulowanych. Przemysł Chemiczny nr 76/3/1997.
7. Clarke I.: Waste not, want not. Engine Technology International nr 1/2003.
8. Maćkowski J.: Emisja aldehydów z silników o ZI zasilanych paliwami zawierającymi związki tlenowe. Paliwa, oleje i smary w eksploatacji nr 91/2001 (cz. 1), nr 92/2001 (cz. 2).
9. Frączek K., Rzeczkowski S., Chojecki J., Ciok J.: Eter etylo-tert-butyłowy wysokojakościowy komponent benzynowy z surowca

odnawialnego. Przemysł Chemiczny, nr 82/5/2003.

10. <http://biopaliwa.com>.
11. <http://www.atcobr.pl>.
12. Stelmasiak Z., Larisch J., Semikow J.: „Badania wstępne dwupaliwowego silnika o zapłonie iskrowym zasilanego alkoholem metylowym i benzyną”. Silniki Spalinowe 3/2008.
13. Stelmasiak Z., Larisch J., Semikow J.: Analiza wybranych parametrów spalania dwupaliwowego silnika o zapłonie iskrowym zasilanego alkoholem i benzyną. Silniki Spalinowe 1/2009.
14. Stelmasiak Z., Larisch J., Semikow J.: Some aspects of bifuel SI engine run on alcohol and gasoline. 12th EAEC European Automotive Congress Bratislava 2009.
15. Stelmasiak Z., Semikow J.: The possibilities of improvement of spark ignition engine efficiency through dual fuelling of methanol and gasoline. Combustion Engines 3/2010.
16. Stelmasiak Z.: Możliwości dwupaliwowego zasilania benzyną i alkoholem silników o zapłonie iskrowym. Logistyka nr 6/2010.
17. rb-kwin.bosch.com/en/powerconsumptionemissions/.../flexfuel.

Mr Jerzy Larisch, DSc., –
Adiunkt in the Faculty of Mechanical Engineering at University of Bielsko-Biała.

Dr inż, Jerzy Larisch – adiunkt na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej.



Mr Zdzisław Stelmasiak, DSc.,
DEng. – Professor in the Faculty of Mechanical Engineering at University of Bielsko-Biała
Dr hab. inż. Zdzisław Stelmasiak. – profesor na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej.

