

Zdzisław STELMASIAK¹
Janusz SEMIKOW¹

NIEKTÓRE ASPEKTY ZASILANIA PALIWAMI ALKOHOLOWYMI SILNIKÓW O ZAPŁONIE ISKROWYM

W artykule przedstawiono analizę produkcji alkoholi na świecie i w Polsce oraz ich zastosowanie jako paliw do silników spalinowych. Zaprezentowano również wyniki badań dwupaliwowego silnika o zapłonie iskrowym Fiat 1100MPI z wielopunktowym wtryskiem alkoholu i benzyny w okolice zaworu dolotowego. Zasilanie silnika realizowano przez prototypowy układ dolotowy posiadający podwójne wtryskiwacze sterowane elektronicznie. W artykule przedstawiono porównawcze wyniki badań wybranych parametrów silnika. Badania pokazały korzystny wpływ dodatku alkoholu na sprawność silnika i toksyczność spalin, szczególnie dla większych udziałów alkoholu i obciążeń silnika. Przedstawiono również niektóre ograniczenia w stosowaniu zasilania dwupaliwowego.

SOME ASPECTS OF FUELLING SI ENGINES WITH ALCOHOL FUELS

The paper presents an analysis of alcohol production in world and in Poland and their use as fuels for internal combustion engines. Also presented the tests results of dual fuel spark-ignition engine Fiat 1100MPI with multiple injection of alcohol and gasoline in the area inlet valve. Engine fuelling realized by the prototype intake system having doubles electronically controlled injectors. The paper presents the comparative results of selected parameters of the engine. Performed tests have shown advantageous effects of methyl alcohol addition on engine performance and exhaust emissions, particularly for larger shares of alcohol and engines loads. Also presents some limitations in the use of dual fuel supply.

1. WSTĘP

Zwiększająca się gwałtownie liczba samochodów i coraz dłuższe ich przebiegi roczne zwróciły uwagę rządów wielu państw na konieczność poszukiwania alternatywnych paliw do ciekłych paliw ropopochodnych. Zagadnienie to jest szczególnie istotne dla krajów nieposiadających zasobów ropy naftowej, w których manipulacje cenami ropy naftowej istotnie wpływają na koniunkturę gospodarczą i na tempo wzrostu gospodarczego. W sytuacji takiej jest większość rozwiniętych krajów Unii Europejskiej. Z tego powodu na początku ubiegłej dekady przyjęto w UE strategię wprowadzania paliw alternatywnych do

¹ Akademia Techniczno Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Katedra Silników Spalinowych i Pojazdów, 43-309 Bielsko-Biała, ul. Willowa 2, tel. +48 33 82-79-216

zasilania silników spalinowych, głównego źródła napędu samochodów. Przyjęto założenia stopniowego wprowadzania gazu ziemnego i bio-paliw opartych na olejach roślinnych i alkoholach. Szczególnie interesujące wydaje się zagadnienie stosowania alkoholu etylowego i metylowego jako paliw, których produkcja jest doskonale opanowana i istnieje możliwość ich wytwarzania z roślin, corocznie odtwarzalnych dzięki energii słonecznej. Szczególnie obiecujące są technologie wytwarzania alkoholu etylowego z celulozy otrzymywanej z odpadów drzewnych (rozwijane w krajach skandynawskich – Norwegia i Szwecja). Produkcja etanolu ma również duże tradycje w Polsce.

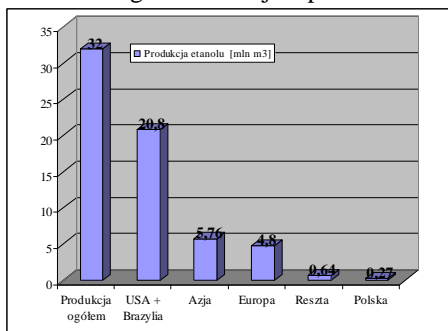
Alkohole etylowy i metylowy są stosowane w silnikach tłokowych o zapłonie iskrowym od kilkudziesięciu lat. Początkowo wykorzystywano je jako domieszki do paliw węglowodorowych ze względu na wysoką odporność przeciwstukową i wysokie ciepło parowania [1-6]. Dzięki tym własnościom możliwe było podnoszenie stopnia sprężania i osiągnięcie silnika, co miało istotne znaczenie w wysiłonych silnikach, szczególnie sportowych.

Podstawowym problem dodatku alkoholi do benzyn jest jednak zjawisko rozwarstwiania się mieszanin w niskich temperaturach w obecności wody. Z tego powodu stosowano mieszaniny trójskładnikowe benzyna-alkohol-benzol lub benzyna-alkohol-eter. Mimo dodatku stabilizatorów zawartość alkoholu w mieszaninach, w europejskich warunkach klimatycznych, nie przekraczała 8÷12%.

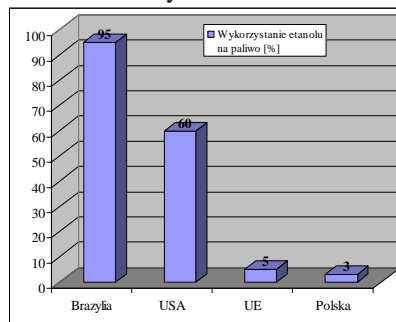
Znacznie korzystniejsze jest stosowanie alkoholu jako paliwa samoistnego, bowiem pozwala ono w pełni wykorzystać dużą odporność przeciwstukową alkoholu umożliwiającą zwiększenie stopnia sprężania i wzrost sprawności ogólnej oraz mocy jednostkowej silnika [2, 4, 13, 16]. Kierunek ten jest szczególnie rozwinięty w Brazylii gdzie eksploatuje się około 3 mln samochodów zasilanych alkoholem etylowym pozyskiwanym z manioku i trzciny cukrowej [16].

2. PRODUKCJA ALKOHOLI W POLSCE I NA ŚWIECIE

Największymi producentami alkoholu są Stany Zjednoczone i Brazylia, gdzie wytwarza się 65,0% produkowanego na świecie alkoholu etylowego rys. 1. Równocześnie alkohol ten jest w tych krajach w przeważającej ilości stosowany jako paliwo samoistne lub domieszki paliw silnikowych. Liderem w tym zakresie jest Brazylia gdzie aż 95% produkowanego alkoholu jest przeznaczane na paliwo silnikowe rys. 2.



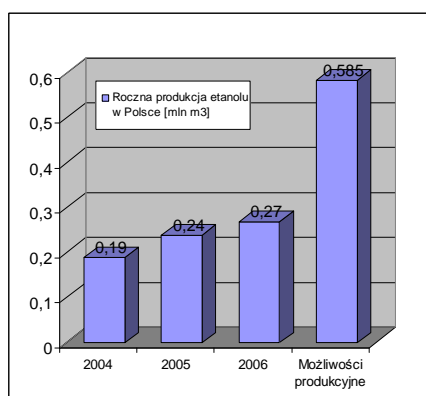
Rys.1. Światowa produkcja etanolu



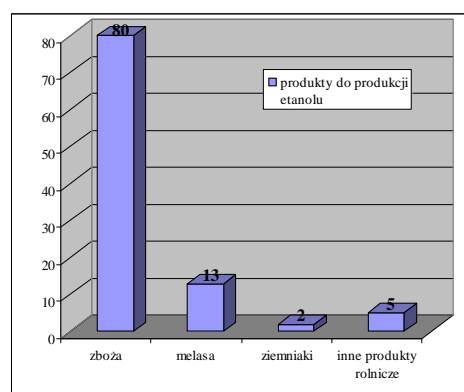
Rys. 2. Stopień wykorzystania etanolu na cele paliwowe

W Unii Europejskiej i Polsce produkowany alkohol etylowy przeznaczony jest w przeważającej większości na cele konsumpcyjne, do produkcji wódek a jedynie w niewielkim procencie na cele paliwowe (w UE ok. 5%, w Polsce ok. 3%). Przyjęta polityka UE zakłada zwiększanie udziału bio-paliw silnikowych. Należy zatem przypuszczać, że zarówno produkcja jak i udział alkoholu etylowego przeznaczanego na paliwa będzie wzrastał. Szczególnie dotyczy to takich państw jak Szwecja i Norwegia gdzie intensywnie rozwijane są technologie produkcji alkoholu etylowego z celulozy i gdzie przyjęto programy zasilania samochodów osobowych czystym alkoholem.

Brak krajowych uregulowań prawnych w zakresie stosowania etanolu na cele paliwowe wpływa na niekorzystny bilans stosowania tego paliwa w Polsce. Wpływa to również na produkcję alkoholu etylowego i stan krajowego przemysłu gorzelniczego [7], co ilustruje rys. 3. W Polsce alkohol etylowy produkowany jest w gorzelniach rozmieszczonych równomiernie w kraju i wykorzystujących produkty rolnicze. Przemysł ten w latach 80-siątych ubiegłego wieku przeżywał poważny kryzys, co doprowadziło do likwidacji wielu zakładów lub znaczącego ograniczenia produkcji. Obecnie obserwuje się nieznaczny wzrost produkcji alkoholu etylowego, ale i tak jest ona ponad dwukrotnie mniejsza od możliwości produkcyjnych istniejących zakładów.



Rys. 3. Produkcja etanolu w Polsce

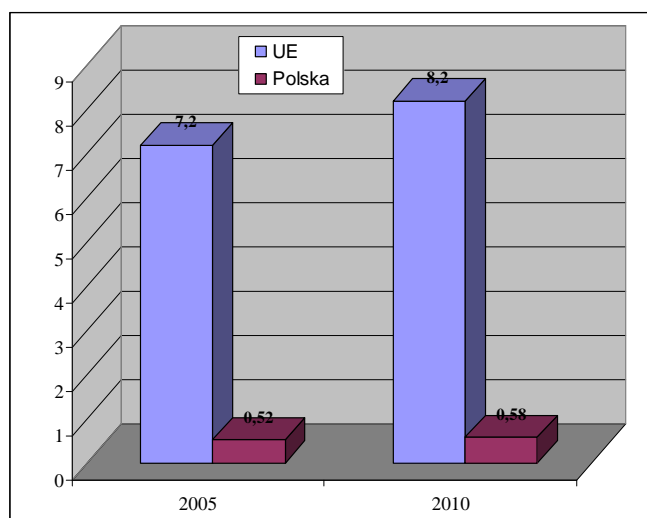


Rys. 4. Produkty stosowane w produkcji etanolu w Polsce w 2007r.

Podstawowym produktem wykorzystywanym w gorzelniach są zboża (głównie żyto) rys. 4. W nieznacznym stopniu (tylko 2%) wykorzystywane są ziemniaki, kiedyś powszechny surowiec do produkcji alkoholu etylowego. Wynika to z faktu, że koszt wyprodukowania alkoholu z ziemniaków jest prawie dwukrotnie większy od kosztu produkcji z żyta. Nie bez znaczenia jest również fakt, że znaczny procent alkoholu zużywany jest przez przemysł spożywczy, a fakt produkowania alkoholu ze zboża ma istotny aspekt gatunkowy i marketingowy. Wydaje się, że rozdzielanie zakładów na produkujących alkohol dla celów spożywczych i na wykorzystanie paliwowe mogłoby zwiększyć udział ziemniaków i melasy w surowcach wykorzystywanych w gorzelniach. Poza aspektami gospodarczymi fakt ten może istotnie wpływać na rozwój produkcji rolnej w niektórych regionach wiejskich.

W przedstawionym wyżej bilansie nie uwzględnia się możliwości produkcji przemysłowego alkoholu etylowego uzyskiwanego w procesach chemicznych. Alkohol taki jest w znacznych ilościach produkowany w niektórych państwach UE. W Polsce istnieje konieczność rozwoju tego sektora produkcji alkoholu na cele paliwowe.

Drugim ważnym z punktu widzenia paliw silnikowych jest alkohol metylowy, produkowany w przeszłości w znacznych ilościach przez Zakłady Chemiczne w Oświęcimiu. Alkohol ten jest produkowany obecnie w ilościach ok. 14-krotnie mniejszych w stosunku do państw UE i prawie w całości zużywany w procesach chemicznych rys. 5.



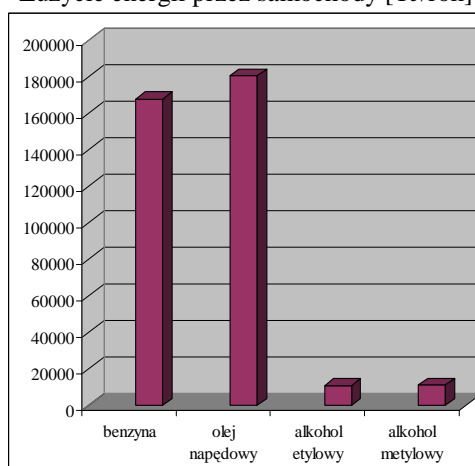
Rys. 5. Roczna produkcja metanolu

W Polsce zużywa się obecnie rocznie około 4 mln t benzyny i 4,2 mln t oleju napędowego. Zakładając, że na cele paliwowe przeznaczony jest całość produkcji etanolu i metanolu daje to niewielki procent zastępstwa energetycznego (2,9% przez alkohol etylowy i 3,1% przez alkohol metylowy) rys. 6-7. Trzeba również w tym miejscu zaznaczyć, że istotne ilości alkoholu etylowego zużywane są w przemyśle spożywczym na produkcję wódek i napojów alkoholowych natomiast alkohol metylowy zużywany jest głównie w przemyśle chemicznym. Oznacza to, że zapewnienie właściwego poziomu zastępstwa paliw ropopochodnych wymagałoby w Polsce zmiany przepisów i znaczącego wzrostu produkcji alkoholu etylowego zarówno z produktów rolnych jak i z celulozy. Możliwości takie istniały już w przeszłości, ale na skutek błędnej polityki gospodarczej były od lat 80-tych stopniowo ograniczane prowadząc do likwidacji wielu gorzelni lub ograniczenia produkcji w istniejących. Alkohol metylowy może być z kolei produkowany z węgla kamiennego, gazu ziemnego lub odpadów drzewnych. W chwili obecnej wzrost jego produkcji wymaga jednak budowy nowych zakładów.

Prognozy UE przewidywały od 2010r. 5,75% udział alkoholu w produkcji paliw silnikowych. Wymaga to w warunkach krajowych produkcji ok. 600.000 ton alkoholu etylowego [10]. Warto równocześnie zaznaczyć, że spełnienie udziału 12% stosowanego w

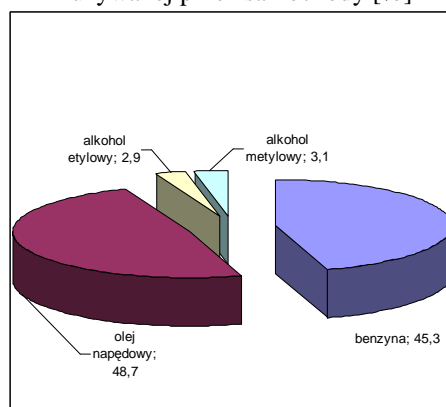
USA wymagałoby przeznaczenia na cele paliwowe ok. 1.200.000 ton/rok czystego alkoholu etylowego. Wydaje się, że w warunkach krajowych istnieje już obecnie możliwość spełnienia wymogów unijnych przez przemysł krajowy jak również w przyszłości osiągnięcia poziomu zastępstwa podobnego do USA. Poza korzyściami dla gospodarki prowadziłoby to również do stopniowego uniezależnienia się od importu ropy naftowej i wpływu jej cen na polską gospodarkę.

Zużycie energii przez samochody [TJ/rok]



Rys. 6. Możliwe roczne zużycie energii przy całkowitym wykorzystaniu produkowanych w Polsce alkoholi

Procentowy udział paliw w energii zużywanej przez samochody [%]



Rys. 7. Możliwy procentowy udział paliw ropopochodnych i alkoholi w Polsce przy całkowitym wykorzystaniu obecnie produkowanych alkoholi

3. SYSTEM ZASILANIA DWUPALIWOWEGO SILNIKA ZI

Powszechne stosowanie wielopunktowego wtrysku paliw lekkich stwarza nowe możliwości w zakresie zasilania silników o zapłonie iskrowym. W rozwiązaniu opisywanym w niniejszej pracy zastosowano dodatkowe wtryskiwacze na każdym cylindrze, przy czym oryginalne wtryskiwacze przeznaczono do wtrysku alkoholu natomiast dodatkowe do wtrysku benzyny. System ten umożliwia równoczesne zasilanie silnika benzyną i alkoholem, a udział alkoholu może zmieniać się w granicach 0÷100% zależnie od obciążenia i prędkości obrotowej silnika [11-13].

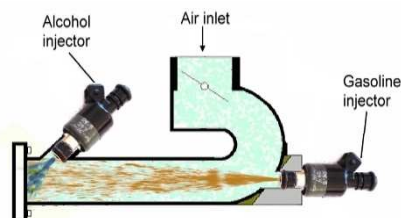


Tabela 1. Dane techniczne silnika Fiat 1100 MPI

Typ silnika	Fiat 1100 MPI
Srednica cylindra x skok	70 x 72 mm
Pojemność skokowa	1108 cm ³
Stopień sprężania	9,6
Moc znamionowa/prędkość obrotowa	40 kW/5000 obr/min
Moment obrotowy/prędkość obrotowa	88 Nm/3000 obr/min

Rys. 8. Schemat prototypowego kolektora dolotowego silnika Fiat 1100MPI

Schemat prototypowego kolektora dolotowego przedstawiono na rys. 8. Dokładniejsze opisy silnika i stanowiska badawczego przedstawiono w pracach [11-13].

Badania przeprowadzono na 4-cylindrowym silniku o zapłonie iskrowym z wielopunktowym wtryskiem paliwa typ Fiat 1100 MPI. Dane techniczne silnika zamieszczono w tabeli 1, a widok stanowiska na rys. 9.



Fig. 9. Widok stanowiska badawczego: 1 – prototypowa szyna paliwowa, 2 – wtryskiwacz dodatkowy, 3 – oryginalna szyna paliwowa

4. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ DWUPALIWOWEGO SILNIKA ZASILANEGO ALKOHOLEM METYLOWYM

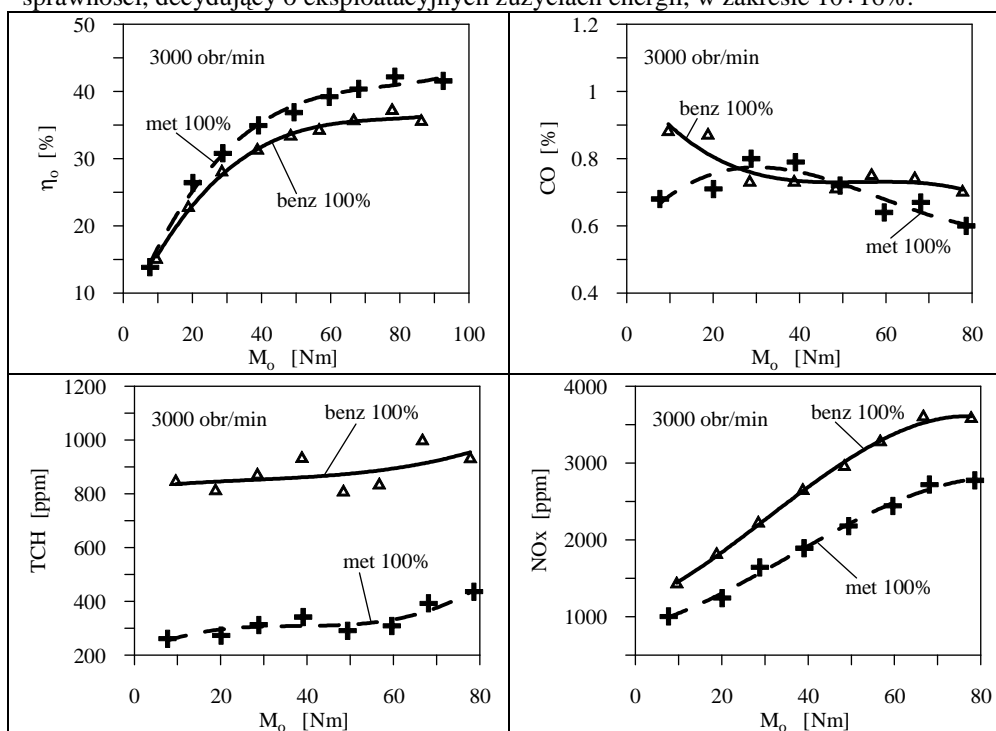
Możliwe są różne strategie zastępowania paliw tradycyjnych przez alkohole. Jedną z nich jest przemienne zasilanie silnika alkoholem i benzyną. Można wtedy wykorzystywać oryginalne wtryskiwacze benzynowe a jedyne zmiany dotyczą systemu sterowania silnika. Polegają one na zastosowaniu nakładkowego sterownika przeliczającego czasy otwarcia wtryskiwacza przez współczynnik wynikający z różnicy wartości opałowej (podobnie jak ma to miejsce przy zasilaniu LPG) lub zastosowaniu zupełnie nowego sterownika, który dokonuje również zmian innych parametrów np. kąta wyprzedzenia zapłonu. Silnik taki, często nazywany w literaturze dwupaliwowym, jest w istocie silnikiem jednopaliwowym, chociaż spala różne paliwa o odmiennych własnościach fizyko-chemicznych. W

omawianym silniku nie mogą być wykorzystane w pełni własności przeciwstukowe alkoholu, zwiększony stopień sprężania, ze względu na możliwość pracy na samej benzynie.

Właściwa dwupaliwowość silnika polega na równoczesnym spalaniu benzyny i alkoholu, przy czym proporcje udziałów obydwu paliw mogą być zmienne w czasie pracy silnika. W tym przypadku można wykorzystać podwójne wtryskiwacze (podobnie jak przy LPG) lub specjalny mieszacz paliw umożliwiający zmiany składu mieszaniny podawanej do wtryskiwaczy. Zaproponowany w niniejszej pracy prototypowy układ zasilania umożliwia obydwa tryby pracy silnika, przemienność i dwupaliwowość.

Zasilanie silnika czystym metanolem prowadzi do zwiększenia sprawności ogólnej (szczególnie w zakresie większych obciążeń) oraz zmniejszenia stężenia sumarycznych węglowodorów i tlenków azotu w spalinach przed katalizatorem rys. 10.

Porównanie sprawności ogólnej silnika wskazuje, że silnik zasilany metanolem pracuje z większą sprawnością w całym zakresie zmian obciążenia i prędkości obrotowej. Równocześnie różnice powiększają się wraz ze wzrostem obciążenia i w zakresie średnich i maksymalnych obciążeń różnice bezwzględne wynoszą 3÷5%, co daje wzrost względny sprawności, decydujący o eksploatacyjnych zużyciach energii, w zakresie 10÷16%.



Rys. 10. Porównanie sprawności ogólnej, stężenia CO, sumarycznych węglowodorów TCH oraz NOx w silniku Fiat 1100 MPI zasilanym benzyną i czystym metanolem

W całym zakresie zmian obciążenia obserwowano prawie 2÷3 krotne zmniejszenie stężenia węglowodorów TCH w stosunku do zasilania benzyną. Tak istotne zmiany mogą być tłumaczone odmiennym składem chemicznym metanolu CH_3OH w stosunku do

mieszaniny różnych węglowodorów o złożonych składach chemicznych wchodzących w skład benzyny. Czas utleniania węglowodoru wzrasta w miarę zwiększania ilości atomów węgla i wodoru, co w szybkoobrotowych silnikach ZI wpływa na stężenia węglowodorów w spalinach. Nie bez znaczenia jest również fakt, że w cząsteczce metanolu zawarty jest tlen, który uwalniany w procesie spalania przyspiesza utlenianie atomów węgla i wodoru. Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym szybkiemu utlenianiu metanolu są wyższe temperatury w czasie spalania w stosunku do występujących przy zasilaniu benzyną [12].

Z ekologicznego punktu widzenia szczególnie istotne jest zmniejszenie stężenia NOx w spalinach występujące w całym zakresie zmian obciążenia rys. 10. Różnice w stężeniach NOx powiększają się w miarę wzrostu obciążenia silnika i w zakresie średnich i maksymalnych obciążeń wynoszą 40÷60%. Fakt zmniejszenia emisji NOx przy zasilaniu metanolem sygnalizowany był również we wcześniejszych doniesieniach literaturowych [1, 2, 14, 15], natomiast analiza uzyskanych wyników badań wskazuje na znaczne rozmiary tego zjawiska. Z uwagi na duże trudności w redukcji tlenków azotu w katalizatorach, opisywana korzystna cecha spalania metanolu wymaga szczególnego podkreślenia.

Stężenia tlenku węgla CO są porównywalne lub nieco większe przy zasilaniu metanolem. Należy zaznaczyć, że na stężenia CO wpływa głównie dokładność regulacji składu mieszaniny palnej, która jak wykazały badania uległa nieznacznemu pogorszeniu przy zasilaniu metanolem. Problem ten wymaga dokładniejszych badań i być może stosowania specjalnych sond lambda dla zasilania alkoholem. Podobne wyniki uzyskano dla innych prędkości obrotowych.

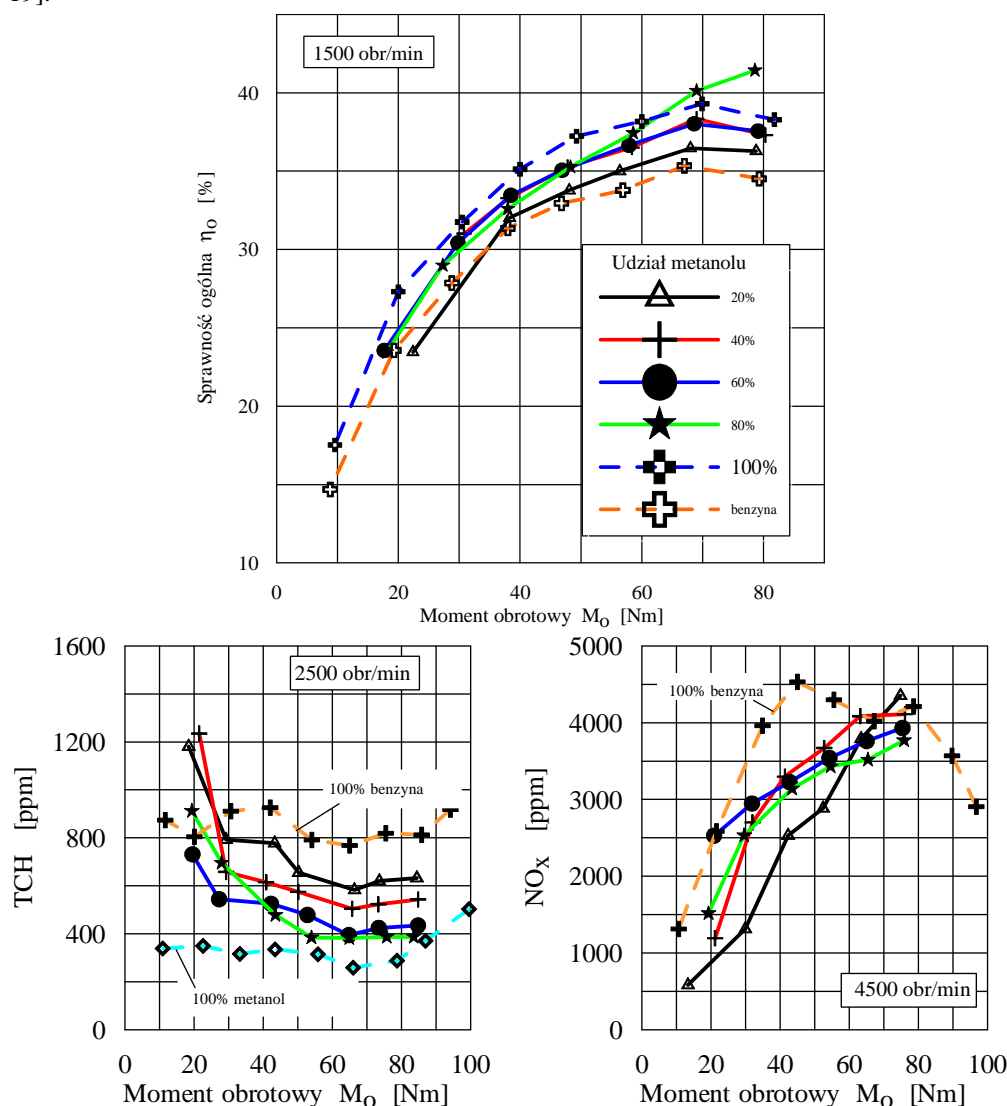
W przypadku zasilania dwupaliwowego przy niewielkich obciążeniach silnik powinien być zasilany samą benzyną, a w miarę wzrostu obciążenia dodawany alkohol. Udział alkoholu może się zwiększać aż do 100% przy obciążeniach maksymalnych. W tym przypadku można zwiększyć stopień sprężania silnika o 1,5÷2,0 jednostki. Podniesienie stopnia sprężania powinno przyczynić się do dodatkowego wzrostu sprawności ogólnej silnika w stosunku do wartości pokazanych na rys. 10. Próbną takie planowane są w dalszych badaniach.

Porównanie wybranych parametrów silnika w funkcji obciążenia silnika dla różnych udziałów metanolu przedstawiono na rys. 11. Dodatek metanolu powoduje zwiększenie sprawności ogólnej silnika w miarę powiększania udziału metanolu i obciążenia silnika. Dla większych udziałów metanolu sprawności były większe od występujących przy zasilaniu benzyną. Szczególnie duże różnice występują przy zasilaniu samym metanolem (udział 100%) o czym wspomiano wcześniej. Dla niewielkiego dodatku metanolu (udział 20%) przy małych obciążeniach sprawność przy zasilaniu dwupaliwowym była mniejsza niż przy zasilaniu tradycyjnym. Wynika to prawdopodobnie ze znacznego oddalenia wtryskiwacza benzyny od zaworu dolotowego, co ma wpływ na jakość tworzonej mieszaniny palnej. Zagadnienie to wymaga badań nad optymalizacją położenia wtryskiwacza lub zastosowania wtryskiwaczy specjalnych.

Zmiany stężenia węglowodorów i tlenków azotu są zależne od udziału metanolu w mieszaninie. Wpływa na nie również dokładność regulacji składu mieszaniny palnej, co sygnalizowano we wcześniejszych doniesieniach [11-13]. Stężenie węglowodorów w zakresie średnich i maksymalnych obciążeń silnika maleje wraz ze wzrostem udziału metanolu w mieszaninie. W zakresie małych obciążeń silnika i dodatku metanolu mniejszym od 40% stężenia węglowodorów mogą być jednak większe, co prawdopodobnie związane jest z pogorszeniem warunków tworzenia homogenicznej mieszaniny benzyna-

powietrze. Należy jednak zaznaczyć, że prawie w całym zakresie zmian obciążenia i składu obserwowano istotne zmniejszenie stężenia TCH w spalinach.

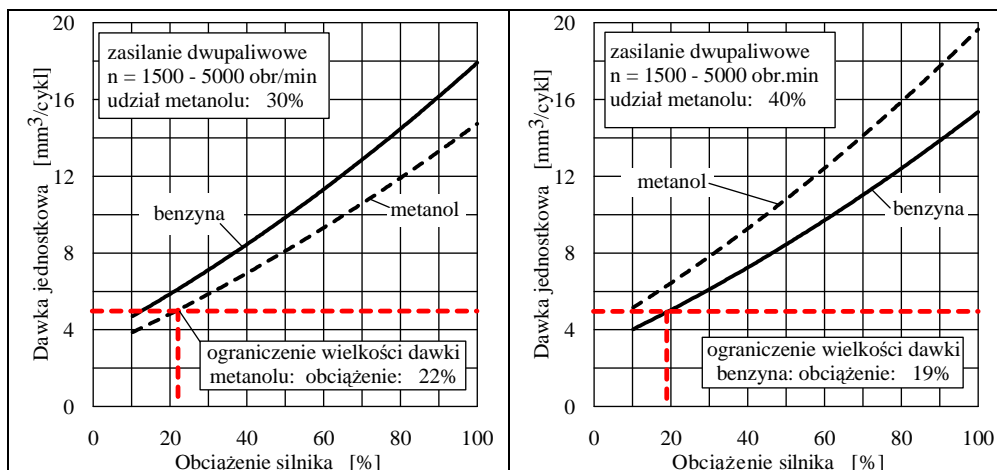
Porównanie parametrów silnika przedstawione na rys. 11 wskazuje, że silnik zasilany dwupaliwowo pracuje z większą sprawnością prawie w całym zakresie zmian obciążenia i prędkości obrotowej. Równocześnie dodatek metanolu korzystnie wpływa na właściwości ekologiczne silnika (zmniejszenie stężenia TCH i NO_x , CO_2 w spalinach) oraz zmniejszenie temperatury spalin sygnalizowane we wcześniejszych publikacjach [12, 13, 19].



Rys. 11. Porównanie sprawności ogólnej, stężenia węglowodorów TCH i tlenków azotu NO_x silnika Fiat 1100 MPI zasilanego benzyną i dwupaliwowo przy różnych udziałach metanolu

Wydaje się, że zarówno wzrost maksymalnych parametrów eksploatacyjnych jak i sprawności silnika może być spowodowany przez większą szybkość spalania metanolu, co powoduje mniejsze straty ciepłe w cyklu. Dodatkowo większe ciepło parowania metanolu wpływa na obniżenie temperatury ładunku w czasie sprężania i na początku procesu spalania, co może prowadzić do zmniejszenia strat mechanicznych w suwie sprężania i powiększenia sprawności. Dalszy wzrost parametrów silnika może być osiągnięty przez zwiększenie stopnia sprężania i optymalizację regulacji silnika. Zaproponowany system dwupaliwowego zasilania z aktywną udziału alkoholu zależnie od obciążenia silnika i prędkości obrotowej umożliwi wprowadzenie sygnalizowanych zmian.

Przeprowadzone badania silnika zasilanego benzyną, pracującego pod obciążeniem w zakresie zmian prędkości obrotowej 1000÷5000 obr/min wykazały, że dawka jednostkowa zmieniała się w zakresie 4,9÷28,3 mm³/cykl. Badania fabrycznych wtryskiwaczy benzyny na stanowisku bezsilnikowym wykazały, że można uzyskać powtarzalne wtryski dla wielkości dawek większych od 4,5 mm³/cykl. Charakterystyki większości wtryskiwaczy w zakresie 4,5÷35,0 mm³/cykl są liniowe a więc dawki mogą być precyzyjnie sterowane czasem otwarcia wtryskiwaczy. Z tego powodu przyjęto założenie, że przy zasilaniu dwupaliwowym minimalne dawki wtryskiwane przez wtryskiwacze benzyny i metanolu powinny być większe od 5,0 mm³/cykl, co wynika z warunku powtarzalności wtrysku i zachowania ekologicznych własności silnika. Przyjęcie tego założenia ogranicza zakres udziału metanolu i obciążeń silnika, przy którym może być stosowane zasilanie dwupaliwowe rys. 12. Oznacza to, że w zakresie obciążeń mniejszych od przykładowych wyznaczonych na rys. 12 silnik należy zasilac jednym paliwem lub zmniejszyć udział alkoholu.

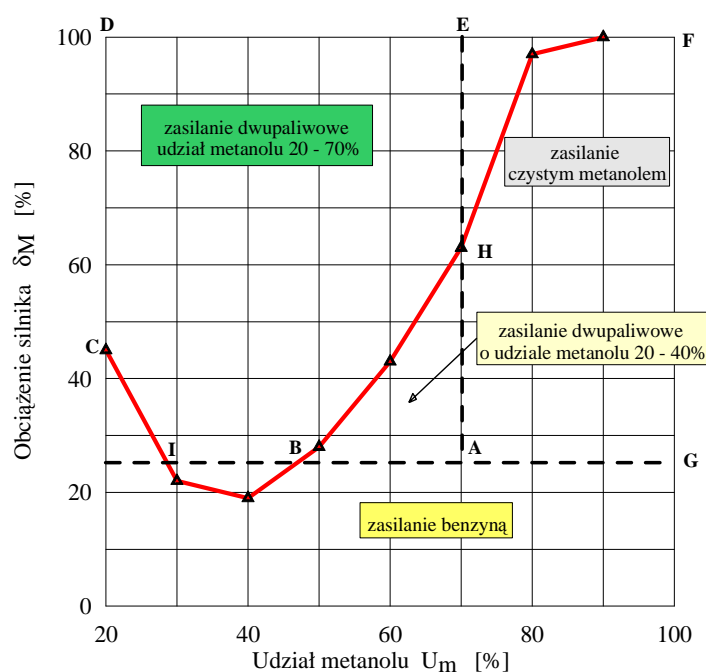


Rys. 12. Zmiany dawek jednostkowych benzyny i metanolu przy dwupaliwowym zasilaniu silnika Fiat 1100MPI

Warunek zachowania minimalnej dawki wtryskiwacza metanolu ogranicza zakres stosowania zasilania dwupaliwowego jedynie przy małych obciążeniach silnika i udziałach metanolu <30%. W pozostałych przypadkach ograniczeniem jest kryterium minimalnej dawki dla benzyny.

Na rys. 13 pokazano proponowane zakresy pracy badanego silnika z uwzględnieniem wpływu zasilania dwupaliwowego na sprawność ogólną i emisję toksycznych składników spalin badanego silnika. Punkty oznaczone trójkątami na krzywej wyznaczono z kryterium zachowania minimalnej dawki wtryskiwacza $5 \text{ mm}^3/\text{cykl}$ dla benzyny i metanolu. Z analizy rysunku wynika, że możliwe są następujące obszary pracy:

- obciążenie silnika mniejsze niż 25% (poniżej poziomej linii przerywanej) – zasilanie samą benzyną,
- pole AIEFG – zasilanie samym metanolem,
- pole ograniczone przez punkty ABH – zasilanie dwupaliwowe, z ograniczeniem udziału metanolu w zakresie $20 \div 40\%$,
- pole ograniczone przez punkty CDEHBIC – zasilanie dwupaliwowe o dowolnym udziale metanolu w zakresie $20 \div 70\%$.



Rys. 13. Proponowane zakresy zasilania tradycyjnego (samą benzyną), dwupaliwowego (benzyną i metanolem) oraz samym metanolem z uwzględnieniem sprawności silnika i emisji toksycznych składników spalin silnika Fiat 1100MPI

5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych analiz i badań hamownianych można wyciągnąć następujące wnioski o charakterze ogólnym:

1. Istnieje potrzeba zwiększenia udziału alkoholu etylowego i metylowego w całkowitej ilości paliw płynnych dla silników spalinowych. Wymaga to zmiany przepisów i długofalowej polityki państwa w zakresie stosowania paliw odnawialnych.
2. W Polsce istnieje obecnie możliwość zastąpienia płynnych paliw ropopochodnych przez alkohole na poziomie 6%. Rozwój przemysłu gorzelniczego i zakładów produkujących przemysłowy etanol oraz metanol może zapewnić zastępstwo paliw tradycyjnych na poziomie 12% podobnie jak ma to miejsce w USA.
3. Zapropnowany system zasilania silnika dwoma paliwami ciekłymi o różnych własnościach fizyko-chemicznych przeszedł pomyślnie próby funkcjonalne zarówno na stanowiskach bezsilnikowych jak i na silniku w czasie badań hamownianych.
4. Opracowany system charakteryzuje się wieloma zaletami istotnymi przy dwupaliwowym zasilaniu silnika o zapłonie iskrowym. Do zalet tych należy zaliczyć:
 - możliwość rozruchu silnika na samej benzynie, co pozwala zachować jego własności rozruchowe jak przy zasilaniu tradycyjnym,
 - możliwość rozgrzewania silnika na benzynie co nie pogorszy emisji toksycznych składników spalin przy tzw. „zimnych rozruchach”,
 - możliwość zasilania dwupaliwowego przy aktywnie zmienianym udziale alkoholu zależnie od prędkości obrotowej i obciążenia silnika,
 - możliwość stosowania dużych udziałów alkoholu bez niebezpieczeństwa rozwarstwienia się paliw,
 - możliwość podwyższenia stopnia sprężania silnika o 1,5+2,0 jednostek i automatyczne przechodzenie na zasilanie samym alkoholem przy maksymalnych obciążeniach silnika.
5. Dwupaliwowe zasilanie silnika benzyną i alkoholem metylowym korzystnie wpływa na parametry zewnętrzne silnika takie jak moc maksymalna, moment obrotowy, sprawność ogólna oraz ekologiczne powodując zmniejszenie stężenia węglowodorów, tlenku azotu i dwutlenku węgla w spalinach.
6. Przy zasilaniu dwupaliwowym należy uwzględnić kryterium poprawnej pracy wtryskiwaczy benzyny i alkoholu. W silniku pracującym pod obciążeniem minimalna dawka paliwa wtryskiwana przez wtryskiwacze nie powinna być mniejsza od 5 mm³/cykl. Wpływa to na strategię zasilania i sterowania silnikiem dwupaliwowym.
7. W badaniach porównawczych prototypowego systemu zastosowano świadomie alkohol metylowy jako jeden z alkoholi, który w najbliższych latach może mieć znaczący udział w paliwach ciekłych stosowanych zarówno w silnikach ZI jak i ZS.
8. Wydaje się, że ze względu na podobieństwo chemiczne alkoholu metylowego i etylowego podobne wyniki do opisanych można uzyskać przy dodatku alkoholu etylowego do benzyny

Badania opisywane w niniejszej pracy zostały wykonane w ramach grantu badawczego nr PB 45343/B/T02/2007/33 finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Merkisz J., Pielucha I.: *Alternatywne napędy pojazdów*. Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2006.
- [2] Baczewski K., Kołdoński T.: *Paliwa do silników o zapłonie iskrowym*. WKiŁ, W-wa 2005.
- [3] Kowalewicz A.: *Metanol jako paliwo do silników spalinowych*. Silniki Spalinowe nr 3-4, 1992.
- [4] Kotowski W., Klimiec J., Marcjasz - Siemiątkowska I.: *Możliwości wykorzystania metanolu i jego pochodnych jako paliw silnikowych*. Przemysł Chemiczny nr 80/1/2001.
- [5] Lotko W.: *Studium zastosowań paliw alternatywnych w silnikach o zapłonie samoczynnym*. Wyd. Politechniki Radomskiej, 1999.
- [6] Jakubowski J.: *Silniki samochodowe zasilane paliwami zastępczymi*. WKiŁ, 1987.
- [7] Wiceprezes Rady Ministrów, Minister Gospodarki, Waldemar Pawlak: *Odpowiedź na interpelację Posła Dariusza Lipieńskiego w sprawie sytuacji na rynku spirytusu surowego ii bioetanolu*, Marszałek Sejmu RP Bronisław Komorowski, W-wa 14.04.2008r.
- [8] Górzyński M., Osiak J., Rokicka M.: *Analiza rynku spirytusowego w Polsce*, CASE, Raporty Sektorowe, W-wa 2005.
- [9] Ministerstwo Gospodarki, Ministerstwo Skarbu: *Strategia dla przemysłu chemicznego w Polsce do 2010r.*, W-wa, 2002.
- [10] Szewczyk K.W.: *Zarys możliwości wykorzystania etanolu jako odnawialnego źródła energii*. www.mi.gov.pl, 2008.
- [11] Stelmasiak Z., Larisch J., Semikow J.: *Preliminary tests on dual fuel spark ignition engine fuelled with methanol and gasoline*. Combustion Engines No 3/2008 (134), pp. 24-33, 2008.
- [12] Stelmasiak Z., Larisch J., Semikow J.: *Analysis of a chosen combustion parameters of dual fuel SI engine fuelled with alcohol and gasoline* Combustion Engines No 2/2009 (137), pp. 29-36, 2009.
- [13] Stelmasiak Z., Larisch J., Semikow J.: *Some aspects of bifuel SI engine run on alcohol and gasoline*, 12th EAEC European Automotibe Congress Bratislava 2009.
- [14] Brinkman, N., Halsall, R., Jorgensen, S.W., Kirwan J.E.: *The Development Of Improved Fuel Specifications for Methanol (M85) and Ethanol (Ed85)*. SAE Technical Paper 940764.
- [15] Kelly, K.J., Bailey, B.K., Coburn, T.C., Clark, W., Lissiuk, P.: *Federal Test Procedure Emissions Test Results from Ethanol Variable-Fuel Vehicle Chevrolet Lumina*. SAE Technical Paper 961092.
- [16] http://en.wikipedia.org/wiki/Alcohol_fuel#Alcohol_in_Brazil, 2008.
- [17] <http://www.greencarcongress.com/2008/08/alcohol-boostin.html>, 2008.
- [18] Stelmasiak Z.: *Możliwości dwupaliwowego zasilania benzyną i alkoholem silników o zapłonie iskrowym*, Logistyka nr 6/2010.
- [19] Stelmasiak Z.: *A New Concept of Dual Fuelled SI Engines Run on Gasoline and Alcohol*, The Archives of Transport, nr 2/2011, pp. 73-85, 2011.