

Marek DYKIER, Marek FLEKIEWICZ

PROBLEMY ZASILANIA POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH GAZEM ZIEMNYM

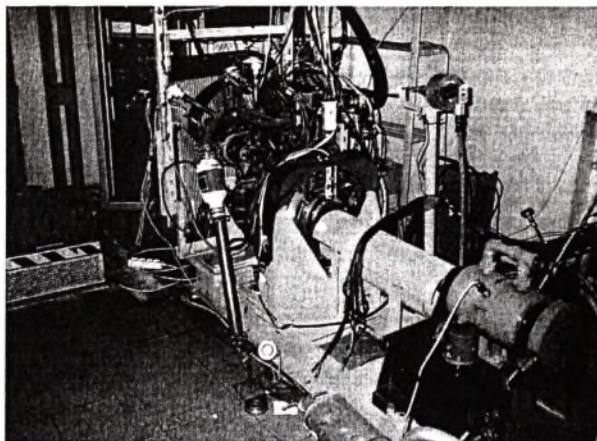
Streszczenie. Niniejszy artykuł jest próbą syntetycznego ujęcia podstawowych problemów związanych ze stosowaniem gazu ziemnego do zasilania silników spalinowych. Przedstawiono w nim zalety gazu ziemnego jako paliwa silnikowego oraz problemy związane z jego szerokim upowszechnieniem w motoryzacji, co pozwala odpowiedzieć na zasadnicze pytanie, czy gaz ziemny będzie w przyszłości w pełni alternatywnym paliwem dla benzyn i olei napędowych.

SOME PROBLEMS OF CNG ALTERNATIVE FUELLED VEHICLE

Summary. The paper presents main problems of CNG and LPG fuelled engines. Both all advantages of these alternative fuels and problems of their application for exploitation are explained.

1. WPROWADZENIE

W Katedrze Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej prowadzone są od kilkunastu lat prace związane z konstrukcją urządzeń gazowych instalacji zasilających i ich elektronicznych układów regulacji, a także prace teoretyczne dotyczące modelowania procesu spalania i wymiany ładunku. Celem nadrzędnym tych prac jest racjonalne wykorzystanie energii zawartej w paliwie gazowym.



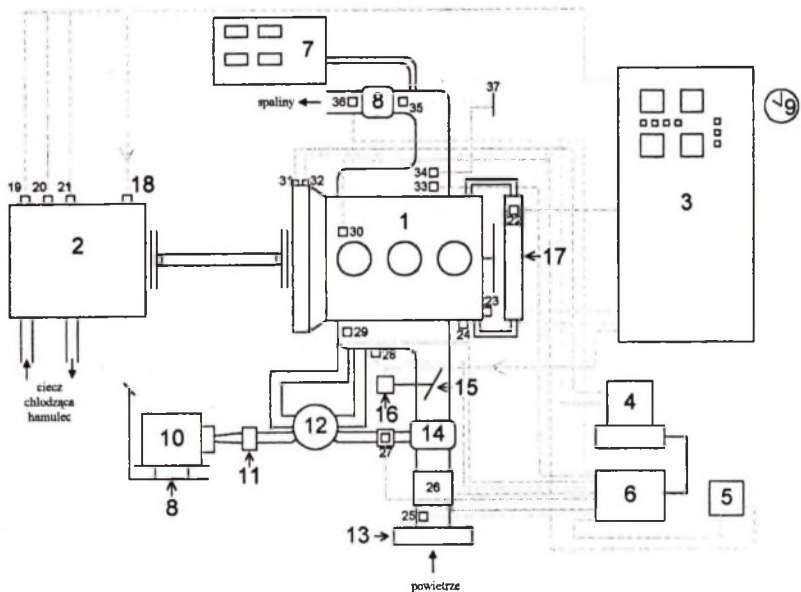
Rys. 1. Stanowisko badawcze wraz z oprzyrządowaniem

Fig. 1. Test stand

Realizacja tego celu w aspekcie stałego dynamicznego rozwoju konstrukcji silnika i jego systemów zasilania paliwami bazowymi (benzyna, olej napędowy) wymaga ciągłego prowadzenia badań stanowiskowych i symulacyjnych instalacji gazowych.

Na rysunku 1 przedstawiono widok hamowni silnikowej z badawczym silnikiem wysoko-
prężnym AD3.152 G, przystosowanym do zasilania tylko paliwami gazowymi. Wyposażenie stanowiska przedstawiono schematycznie na rysunku 2.

Właściwie oprzyrządowane stanowisko badawcze umożliwia prowadzenie badań funkcjonalności systemów zasilających silniki spalinowe paliwami gazowymi, w tym urządzeń hydrauliczno-pneumatycznych i ich elektronicznego osprzętu, oraz pomiar wszystkich parametrów pracy silnika. Uzyskane wyniki umożliwiają pełną weryfikację prowadzonych badań modelowych, minimalizując tym samym koszty i czas testów prowadzonych na hamowni silnikowej.



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego

Fig. 2. Diagram of test stand

Oznaczenia przyjęte na rysunku to:

1- silnik, 2- hamulec wodny, 3- układ kontrolno-pomiarowy, 4- komputer PC z kartą akwizycji danych, 5- wzmacniacz ładunku, 6- listwa przyłączeniowa, 7- analizator spalin, 8- waga tensometryczna, 9- zegar, 10- butla z gazem, 11- elektrozwór gazowy, 12- regulator ciśnienia gazu, 13- filtr powietrza, 14- mieszalnik, 15, 16 – zespół przepustnicy, 17- chłodnica, 18- sterowanie obciążeniem, 19- przetwornik momentu obrotowego, 20- czujnik prędkości obrotowej, 21- czujnik temperatury wody hamulca, 22- czujnik temperatury cieczy chłodzącej silnik, 23- czujnik temperatury oleju, 24- czujnik ciśnienia oleju, 25- czujnik temperatury powietrza dolotowego, 26- przepływomierz masowy, 27- czujnik temperatury gazu, 28- czujnik ciśnienia w kolektorze dolotowym, 29- czujnik temperatury mieszanki powietrzno-gazowej, 30- przetwornik ciśnienia, 31 i 32- enkoder optyczny, 33- czujnik temperatury ścianki kolektora wylotowego, 34- czujnik temperatury spalin, 35 i 36- czujniki temperatur spalin przed i za katalizatorem, 37- szerokopasmowa sonda lambda.

2. GAZ ZIEMNY JAKO PALIWO SILNIKOWE

W silniku spalinowym, konstrukcyjnie przystosowanym do spalania benzyn lub oleju napędowego, istnieje oczywiście możliwość użytkowania innych paliw, zarówno płynnych, jak i

gazowych, ale z różną efektywnością. Efektywność ta wyrażana jest zwykle technicznymi wskaźnikami pracy silnika oraz ekonomicznością eksploatacji.

Za paliwa alternatywne dla benzyn lub oleju napędowego można uznać tylko te, które spełniają trzy poniższe warunki:

- ich wartość opałowa jest tego samego rzędu, co paliwa bazowego,
- koszt paliwa jest niższy niż paliwa bazowego,
- poziom emisji składników toksycznych w spalinach jest niższy niż dla paliwa bazowego.

Mówiąc inaczej, moc silnika nie może ulec zarówno znacznemu obniżeniu, jak i zwiększeniu, do wartości $0,7 N_n$ - $1,15 N_n$. Koszty eksploatacji muszą być niższe, a pod względem ekologicznym pojazd musi być bardziej przyjazny dla środowiska.

Tabela 1

Porównanie wybranych paliw alternatywnych

Paliwo alternatywne	Emisja składników toksycznych	Emisja CO ₂	Autonomia (zasięg)	Dodatkowy koszt adaptacji	Koszt paliwa	Infrastruktura
Benzyna	0	0	0	0	0	Bardzo dobra
Olej napędowy	-	++	++	-	+	Bardzo dobra
CNG	+++	+	--	--	+	Ograniczona
Biogaz	+++	++++	--	--	-	Ograniczona
LPG	+	+	-	-	+	Bardzo dobra
Etanol	0	++	-	0	--	Ograniczona*
Ester metylowy	-	++	0	-	-	Ograniczona*
Ester dwumetylowy	+	+++	-	--	0	Ograniczona*
Metanol	0	+++	--	0	--	Bardzo ograniczona
Wodór	+++	?*	----	---	---	Nie istnieje
Elektryczność	++++	?*	----	----	+	Dobra

0 = odpowiada benzynie
 + = korzystniejszy niż dla benzyny
 - = gorszy niż dla benzyny
 Ograniczona* = możliwość wykorzystania istniejących stacji zmienia zasadniczo spełnienie tego kryterium
 ?* = zależy od technologii pozyskiwania wodoru i energii elektrycznej

Uwzględniając powyższe warunki, jak również: emisję CO₂, koszt adaptacji czy też dostępność paliwa – można ocenić, które z paliw alternatywnych zasługuje na miano paliwa przyszłości. Zestawienie różnych wskaźników dla paliw alternatywnych przedstawiono w tabeli 1. Wynika z niej, że jedynymi paliwami, które mogą znaleźć szerokie zastosowanie w motoryzacji w najbliższych latach są na razie tylko gaz ziemny (CNG) i mieszaniny propanobutanu (LPG). Paliwo propanowo-butanowe pozyskiwane jest w trakcie rafinacji ropy naftowej, podczas gdy gaz ziemny pozyskuje się bezpośrednio ze złoża. Według szacunkowych analiz znane zasoby gazu ziemnego są około dwukrotnie większe od rozpoznanych zasobów ropy naftowej. Korzystniejsze i równomierniejsze jest również rozmieszczenie złóż gazu ziemnego na naszym globie, co gwarantuje większą pewność dostaw tego paliwa i stabilniejszą jego cenę w porównaniu z ropą naftową.


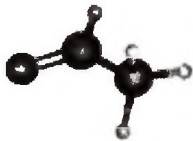


Do szczególnie interesujących zalet gazu ziemnego należą:

- niska emisja cząstek stałych i dwutlenku węgla (wynika to z budowy atomowej),
- brak emisji związanej z odparowywaniem gazu,

- niska emisja składników toksycznych w trakcie rozruchu silnika,
- szeroki zakres zapalności mieszanki, zapewniający stabilność procesu spalania mieszanek ubogich,
- niższa adiabatyczna temperatura płomienia wpływająca na niższą emisję tlenków azotu,
- wyższa temperatura zapłonu, utrudniająca samozapłon mieszanki i wpływająca tym samym na zwiększenie bezpieczeństwa eksploatacji,
- brak składników toksycznych,
- wysoka liczba oktanowa (umożliwia zwiększenie stopnia sprężania),
- niższa prędkość spalania (wpływa na obniżenie hałaśliwości silnika),
- brak siarki (uniemożliwia tworzenie się w trakcie spalania, związków siarki niebezpiecznych dla środowiska).

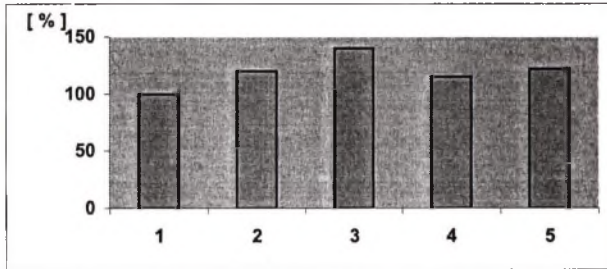
Tabela 2

Wybrane składniki spalin nie podlegające normom emisji

<p>Benzen C_6H_6</p>	<p>Emisja z pojazdów samochodowych to 25% emisji ogólnej. Koncentracja w obszarach miejskich 1 do 7 $\mu g/m^3$ (w okolicach stacji paliwowych do 250 $\mu g/m^3$)</p>	
<p>1,3 –butadien C_4H_6</p>	<p>Emisja z pojazdów samochodowych to 50% emisji ogólnej. Koncentracja w obszarach miejskich 1 $\mu g/m^3$</p>	
<p>Formaldehyd $HCHO$</p>	<p>Emisja z pojazdów samochodowych to 28% pierwszej emisji i 35% emisji wtórnej. Koncentracja w obszarach miejskich 4 $\mu g/m^3$</p>	
<p>Aldehyd octowy CH_3CHO</p>	<p>Koncentracja w powietrzu w wyniku spalania paliw silnikowych 0,2 do 0,4 $\mu g/m^3$</p>	

Paliwa gazowe są więc nie tylko interesującą alternatywą pod względem energetycznym i ekonomicznym, ale również pod względem ekologicznym, gdyż przy spalaniu emitowane są mniejsze ilości składników toksycznych, co ułatwia spełnienie norm emisji spalin EURO 3 oraz EURO 4.

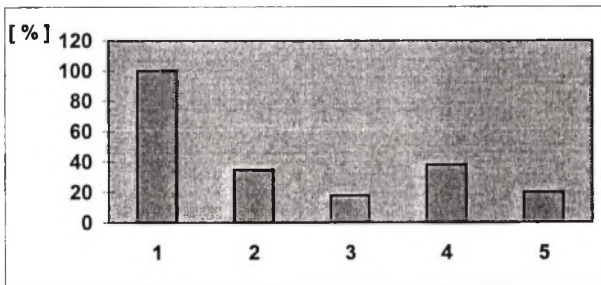
Na rysunkach 3-6 przedstawiono porównanie zużycia energii oraz emisji podstawowych składników toksycznych spalin, mieszanek ubogich i stechiometrycznych oleju napędowego oraz paliw gazowych (CNG i LPG).



Rys. 3. Porównanie zużycia energii silnika zasilanego olejem napędowym i paliwami gazowymi

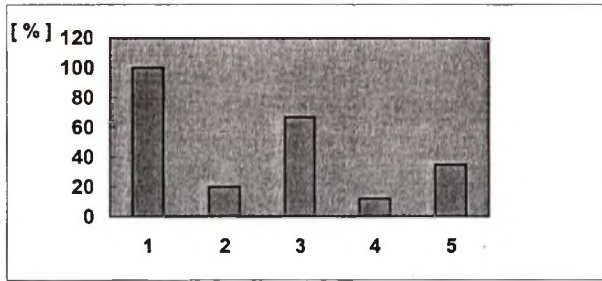
Fig. 3. Comparison energy consumption of Raba-MAN engine fuelled by diesel and CNG and LPG

1 – olej napędowy-100%, 2- LPG mieszanka uboga stechiometryczna, 3 - LPG mieszanka stechiometryczna, 4 – CNG mieszanka uboga, 5- CNG mieszanka stechiometryczna



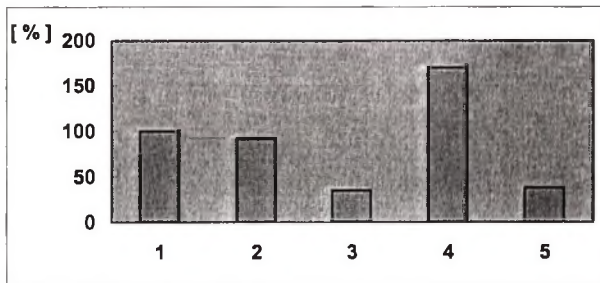
Rys. 4. Porównanie emisji NO_x silnika Raba_MAN zasilanego olejem napędowym i paliwami gazowymi

Fig. 4. Comparison NO_x emission of Raba-MAN engine fuelled by diesel and CNG and LPG
1 – olej napędowy-100%, 2- LPG mieszanka uboga stechiometryczna, 3 - LPG mieszanka stechiometryczna, 4 – CNG mieszanka uboga, 5- CNG mieszanka stechiometryczna



Rys. 5. Porównanie emisji CO silnika Raba-MAN zasilanego olejem napędowym i paliwami gazowymi

Fig. 5. Comparison CO emission of Raba-MAN engine fuelled by diesel and CNG and LPG
 1 – olej napędowy-100%, 2- LPG mieszanka uboga stechiometryczna, 3 - LPG mieszanka stechiometryczna, 4 – CNG mieszanka uboga, 5- CNG mieszanka stechiometryczna



Rys. 6. Porównanie emisji HC silnika Raba-MAN zasilanego olejem napędowym i paliwami gazowymi

Fig. 6. Comparison of HC emission of Raba-MAN engine fuelled by diesel and CNG and LPG

1 – olej napędowy-100%, 2- LPG mieszanka uboga stechiometryczna, 3 - LPG mieszanka stechiometryczna, 4 – CNG mieszanka uboga, 5- CNG mieszanka stechiometryczna

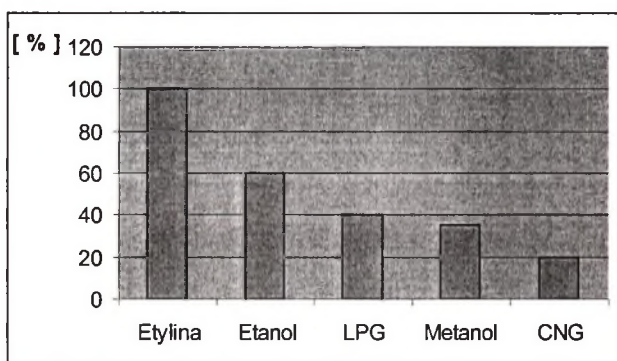
Podstawą oceny ekologiczności silników o zapłonie iskrowym, które zasilane są alternatywnie paliwem gazowym, jest zawartość tlenków azotu, tlenku węgla i węglowodorów w spalinach, a także emisja CO₂. W przypadku silników wysokoprężnych głównym parametrem oceny szkodliwości ich spalin jest emisja cząstek stałych, związków silnie rakotwórczych. Obecnie ze względów technicznych emisja ta określana jest pośrednio, tzn. przez pomiar zadymienia spalin.

Na rysunku 7 przedstawiono wyniki badań porównawczych emisji cząstek stałych silnika zasilanego olejem napędowym oraz paliwami gazowymi LPG i CNG, a w tabeli 2 zestawiono emisję kilku węglowodorów z grupy węglowodorów aromatycznych, alifatycznych oraz aldehydów.

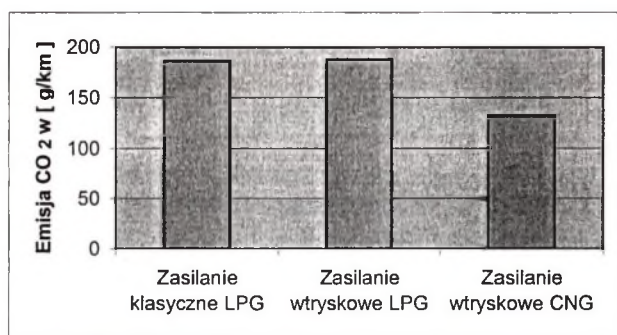
Nie bez znaczenia dla środowiska naturalnego jest także emisja ozonu przyziemnego i dwutlenku węgla, które mają wpływ na ogólny efekt cieplarniany. Emisja tych składników przedstawiona została na rysunku 8 i 9.

Przytoczone wyniki badań dotyczą silników wysokoprężnych, adaptowanych do zasilania paliwem gazowym. Silniki o zapłonie iskrowym, zasilane alternatywnie paliwami gazowymi, także emitują niższe wartości podstawowych składników toksycznych w porównaniu z zasilaniem benzyną, ale nie emitują sadzy i cząstek stałych.

Ponieważ znaczący udział w zanieczyszczeniu powietrza w dużych aglomeracjach mają autobusy i samochody ciężarowe - dostawcze, zgazyfikowanie tych środków transportu w pierwszej kolejności może umożliwić poprawę sytuacji w tym zakresie. W dalszej kolejności zasilanie gazem ziemnym powinno objąć także dyspozycyjne samochody osobowe i prywatne pojazdy.



Rys. 7. Zmniejszenie przyziemnego tworzenia ozonu przez paliwa alternatywne
Fig. 7. Decreasing of ozone formation



Rys. 8. Emisja CO₂ w zależności od systemu zasilania
Fig. 8. Fuelling system influence for CO₂ emission

3. PODSTAWOWE PROBLEMY ZWIĄZANE Z WPROWADZANIEM GAZU ZIEMNEGO DO MOTORYZACJI

Z upowszechnieniem się paliw gazowych związane są jednak problemy natury ekonomicznej i technicznej. Problemy ekonomiczne wynikają z wysokich kosztów budowy infrastruktury związanej z zasilaniem pojazdów gazem ziemnym (CNG) i wysokim kosztem adaptacji pojazdów, szczególnie pojazdów z silnikami wysokoprężnymi oraz wyposażonymi w najnowsze generacje układów zasilania paliwem bazowym.

Problemy techniczne związane są przede wszystkim z właściwą organizacją procesu spalania i jego kontrolą. Dotychczasowe doświadczenia uzyskane w wyniku realizacji wielu badań wskazują kierunki dalszego prowadzenia prac badawczych, których celem powinno być tak zmniejszenie zużycia energii, jak i emisji składników toksycznych spalin. Badania te powinny obejmować następujące problemy:

- opracowanie konstrukcji nowych komór spalania dla mieszanek ubogich i stechiometrycznych,
- opracowanie dokładnych i szybkich w działaniu czujników tlenu, tlenków azotu i metanu, czujników spalania detonacyjnego, temperatury denka tłoka i spalin, czujników ciągłości pracy układu zapłonowego w celu zapewnienia kontroli procesu spalania,
- opracowanie nowych układów zapłonowych, w tym układów laserowych,
- opracowanie nowych konstrukcji układów rozrządu i układów dolotowych,
- opracowanie nowych reaktorów katalitycznych, w tym opartych na molibdenie i sierce,
- optymalizację własności olei silnikowych,
- optymalizację materiałów na zawory i gniazda zaworowe oraz tłoki, w tym również wykorzystanie ceramiki i polimerów.

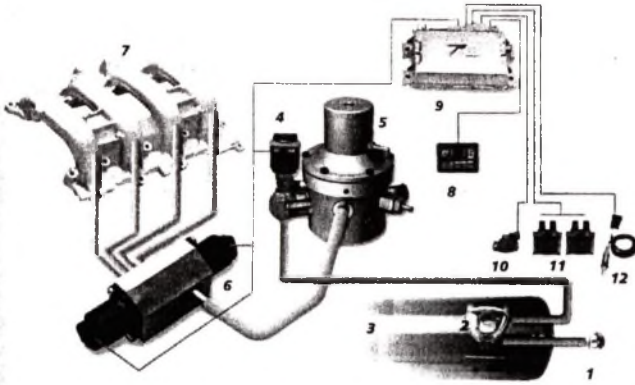
Konieczne jest również doskonalenie istniejących układów zasilania, szczególnie systemów nowej generacji tzn. nadciśnieniowego i wtryskowego zasilania (rysunek 10 i 11), które także wymagają:

- opracowania nowych algorytmów sterowania dawką paliwa,
- optymalizacji konstrukcji zaworów przepływowych i wtryskiwaczy,
- optymalizacji układów elektronicznego sterowania.

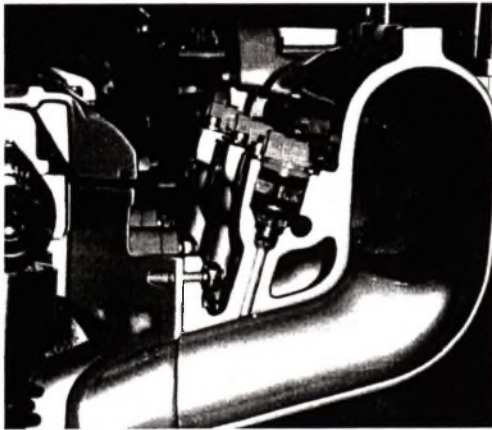
W odniesieniu do tych elementów instalacji zasilającej, które przeznaczone są do magazynowania paliw gazowych, konieczne jest poszukiwanie takich rozwiązań, które zapewnią największą gęstość energii w nich zgromadzonej. Oczywiście, przy najmniejszej ich masie.

4. PODSUMOWANIE

Mówiąc o problemach technicznych związanych z upowszechnieniem gazu ziemnego w transporcie samochodowym nie można pominąć faktu, że współczesne samochody są obligatoryjnie wyposażane w systemy OBD (On Board Diagnostics) – systemy ciągłego monitoringu stanu pracy jednostki napędowej i systemu oczyszczania spalin. Wymóg ten obejmuje również pojazdy samochodowe zasilane alternatywnie paliwem gazowym. Ponieważ podstawowe algorytmy kontrolne tych systemów są zaprojektowane dla paliwa bazowego, czyli benzyny, w trakcie zasilania paliwem gazowym (LPG, CNG) system OBD może w wielu przypadkach błędnie interpretować próbkowane, przez elektroniczne urządzenia sterujące, sygnały. Obecnie, w celu wyeliminowania takiej sytuacji, są stosowane elektroniczne mikroprocesorowe urządzenia zwane symulatorami OBD. Regulacje prawne przewidują dla jednostek zasilanych alternatywnie paliwami gazowymi możliwość stosowania do 2004 roku odmiennych strategii działania OBD, co pozwala na częściową dezaktywację algorytmów systemu diagnostycznego. Takie systemy sterowania dla paliwa



Rys. 9. Urządzenia i elementy nadciśnieniowego systemu zasilania LPG lub CNG
 Fig. 9. Overpressure CNG or LPG fuelling system



Rys. 10. Kolektor dolotowy silnika zasilanego wtryskowo gazem ziemnym
 Fig. 10. Intake manifold of engine fuelled by CNG – injection system

gazowego są w pełni kompatybilne z systemami zasilania paliwem bazowym, są jednak drogie i rozbudowują układ zasilania, wpływając na jego niezawodność.

Uzasadnionym rozwiązaniem jest budowanie zintegrowanych urządzeń sterujących zarówno systemem zasilania paliwem bazowym, jak i paliwem gazowym. Biorąc jednak pod uwagę powyższe, wydaje się celowe stosowanie w przyszłości głównie systemów zasilania jednopaliwowego (gazowego), gdyż pozwala to uniknąć problemów związanych z właściwą współpracą obu systemów zasilania.

Przedstawione problemy natury technicznej rozwiązywane są na bieżąco, na podstawie wyników badań podstawowych, a także typowo użytkowych, co owocuje nowymi generacjami gazowych systemów zasilających i sterujących. Problemy techniczne nie są jednak zasadniczą przeszkodą w upowszechnianiu się gazu ziemnego jako paliwa silnikowego. W chwili

obecnej zasadniczą barierą uniemożliwiającą szerokie stosowanie gazu ziemnego jest brak kompleksowej strategii działania, związanej z budową infrastruktury zdolnej objąć cały kraj. Tylko wspólne działania głównych dysponentów gazu ziemnego, poparte staraniami rządowymi, mogą doprowadzić do przełamania impasu w tym zakresie.

Literatura

1. Dykier M., Flekiewicz M.: Przewidywane korzyści ze stosowania zasilania wtryskowego w silnikach gazowych. Międzynarodowa Konferencja Naukowa – Silniki Gazowe 97. Częstochowa 1997.
2. Dykier M., Flekiewicz M.: Współczesne systemy zasilania paliwami gazowymi. Międzynarodowa Konferencja – Pojazd a Środowisko, Radom 1999.
3. Prace Instytutu Transportu Politechniki Śląskiej: Nadciśnieniowe zasilanie silnika gazowego 1993, Porównanie systemów zasilania silnika trakcyjnego dużej mocy paliwami gazowymi 1993.
4. Dykier M., Flekiewicz M.: Ekologiczność pojazdów samochodowych zasilanych paliwami gazowymi. Konferencja Naukowo-Techniczna – Diagnostyka Pojazdów Samochodowych 2000, Katowice 2000.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Sławomir Luft

Artykuł stanowi sprawozdanie z badań statutowych BK-241/RM-10-2/2002.