

## GAZ ZIEMNY JAKO PALIWO DO NAPĘDU POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH

### Streszczenie

*Gaz ziemny jako paliwo alternatywne dla paliw konwencjonalnych jest interesującym nośnikiem energii zapewniającym uzyskanie poziomu emisji toksycznych składników spalin powstałych ze spalania gazu ziemnego w silnikach spalinowych, który odpowiada wymaganiom norm EURO 2 i EURO 3.*

### Wstęp

Badania nad wykorzystaniem paliw gazowych do napędu samochodów prowadzone są od kilkunastu lat na całym świecie, koncentrując się na płynnym propanie, mieszaninie propanu-butanu (LPG), gazie ziemnym sprężonym (CNG) i skroplonym (LNG). Pomimo wielu zalet paliw gazowych, które potwierdzono zarówno w badaniach jak i w warunkach eksploatacyjnych, ich rozpowszechnianie na szeroką skalę napotyka na wiele przeciwności. Procentowy udział samochodów zasilanych paliwami gazowymi, w skali całego świata nie stanowi w dniu dzisiejszym imponującej wielkości.

Przybliżoną liczbą pojazdów wykorzystujących paliwa gazowe jako paliwa alternatywne przedstawiono w tabelicy 1.

Zasadnicze trudności w upowszechnianiu paliw gazowych wynikają między innymi:

- z braku odpowiedniej polityki finansowej, kształtującej sprzyjające warunki dla konkurencyjności tych paliw w stosunku do paliw ropopochodnych,
- z braku rozeznania ze strony władz samorządowych i regionalnych, dotyczącego zalet paliw gazowych sprzyjających środowisku naturalnemu, szczególnie wtedy gdy gaz wykorzystywany jest do napędu środków komunikacji publicznej i pojazdów komunalnych,
- z braku odpowiedniej infrastruktury (brak zainteresowania tymi paliwami powoduje, że przedsiębiorstwa odpowiedzialne za dostawy gazu nie prowadzą działań związanych z jej budową i rozwojem). Wbrew tym trudnościom paliwa gazowe LPG i CNG, które są bardzo interesującą alternatywą dla paliw ciekłych, ze względu na poziom emisji toksycznych składników spalin, znacznie niższy poziom hałasu oraz obecną ich cenę, znajdują coraz większe zastosowanie w transporcie samochodowym.

Obrazem możliwości pokonania tych trudności jest propan-butan (LPG), który w wyniku

zainteresowania ze strony użytkowników pojazdów prywatnych, a także rozbudowy infrastruktury oraz korzystnej relacji ceny w stosunku do paliwa konwencjonalnego, znalazł swoją trwałą pozycję na polskim rynku paliw w ciągu ostatnich pięciu lat.

### Charakterystyka gazu ziemnego jako paliwa silnikowego

Głównym składnikiem gazu ziemnego jest metan, którego udział objętościowy waha się w granicach od 90 do 98 %. Pozostałe składniki - to przede wszystkim etan, propan, butan i azot. Gaz ziemny, wykorzystywany najczęściej w postaci sprężonej, cechuje się niską gęstością energii. Pod ciśnieniem 17,7 MPa w temperaturze 21 °C wynosi ona 7 kJ/dm<sup>3</sup> (dla porównania benzyna 30 kJ/dm<sup>3</sup>). Porównanie właściwości energetycznych i eksploatacyjnych gazu ziemnego z wybraną grupą paliw przedstawiono w tabelicy 2.

Tabela 1

**Przybliżona liczba pojazdów zasilanych paliwami gazowymi (1997, wg Natural Gas Magazine 09/1997)**

Kraj	Liczba pojazdów		Liczba stacji napełniania CNG
	LPG	CNG	
Ameryka Pn	610000	92500	1372
Ameryka Pd	400000	423270	629
Włochy	1300000	300000	280
Holandia	610000	574	27
Niemcy	brak danych	2500	55
Austria	25000	1625	86
Egipt	brak danych	5000	18
Nowa Zelandia	brak danych	20000	225
Tajlandia	100000	82	1
Rosja	brak danych	30000	187
Czechy	brak danych	30	11
Polska	400000	50	4
Japonia	300000	1211	42

Znacznie mniejsza gęstość paliw gazowych, a w konsekwencji mniejsza energia uzyskiwana z jednostki objętości, powoduje że pojazd musi być specjalnie przystosowany do zasilania gazowego. Natomiast efektywne wykorzystanie energii zawartej w paliwie gazowym pociąga za sobą konieczność wprowadzania zmian w jednostce napędowej.

Tabela 2

**Własności konwencjonalnych i alternatywnych paliw gazowych**

	Benzyna	Metan CH <sub>4</sub>	LPG C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	Wodór	Olej napędowy
Wartość opałowa mieszanki ( $\lambda = 1$ )	3,7 MJ/m <sup>3</sup> paliwo z gaz.	3,37 MJ/m <sup>3</sup>	3,66 MJ/m <sup>3</sup>	3,2 MJ/m <sup>3</sup>	3,7 MJ/m <sup>3</sup>
Zapotrzebowanie powietrza na kg paliwa	15 kg/kg	17,2 kg/kg	15,5 kg/kg	34,6 kg/kg	14,5 kg/kg
Liczba oktanowa LO	<98	110-120	100-115	>60 (zmienna)	
Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	(0,72-0,76) kg/dm <sup>3</sup>	0,717 kg/m <sup>3</sup>	2 kg/m <sup>3</sup> C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> 2,7 kg/m <sup>3</sup> C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,09 kg/m <sup>3</sup>	0,86 kg/dm <sup>3</sup>
Temperatura zapłonu T <sub>z</sub> [°C]	Norma! 220 Super 270 Lotnicza 400	650	481 C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> 430 C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	585	220
Zakres zapalności (praktyczny) $\lambda$	0,7-1,25	0,6-1,9 (2)	0,4-1,91 C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> 0,34-1,74 C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,15-10	0,19 - 0,98
Granica wybuchowości [%]	1,3-7	5-15	2,12-9,35 C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> 1,8— 8,5 C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	4 -74,2	0,6 - 6,5
Szybkość spalania laminarnego [m/s]	0,3- 0,6 (2 $\mu$ m - 22 $\mu$ m)	0,34	0,39 Propan 0,379 Butan	3,17-10 w zależności od $\lambda$ i temp.	

Gaz ziemny jako produkt naturalny pozyskiwany z wielu źródeł na całym świecie posiada różny skład chemiczny, a tym samym odmienną charakterystykę spalania. Parametry gazu ziemnego, które w zasadniczy sposób określają możliwość jego efektywnego wykorzystania do zasilania silników spalinowych to :

- liczba Wobbe'go,
- wartość opałowa mieszaniny powietrzno gazowej,
- liczba metanowa.

Liczba Wobbe'go jest najbardziej znaczącą zmienną w ocenie przydatności gazu ziemnego, jest uzależniona od składu gazu i decyduje o jego kwalifikacji do grupy wysokokalorycznej -H lub niskokalorycznej-L.

Gaz ziemny o różnym składzie lecz tej samej liczbie Wobbe'go zapewnia, w przybliżeniu

uzyskanie podobnej ilości ciepła w procesie spalania, pod warunkiem zapewnienia właściwego przebiegu procesu spalania.

Norma EN 437 określa, że liczba Wobbe'go dla gazu wysokokalorycznego powinna mieścić się w przedziale od 48 do 57,8 MJ/m<sup>3</sup> natomiast dla gazu niskokalorycznego od 41,5 do 47,3 MJ/m<sup>3</sup>.

Wartość Opatowa mieszanki powietrzno - gazowej jest definiowana mocą użytkową możliwą do uzyskania podczas zasilania silnika spalinowego gazem ziemnym o znanym składzie. Wartość ta jest w przybliżeniu taka sama dla gazu ziemnego pochodzącego z różnych źródeł (tzn. można założyć, że niezależnie od miejsca wydobycia gaz zapewnia uzyskanie podobnych osiągnięć). Odmienne skład gazu wymaga jednak zapewnienia odpowiedniej ilości powietrza, dla wytworzenia mieszanki stechiometrycznej. Ilość ta wzrasta lub maleje w zależności od zawartości gazów obojętnych, maleje również w przypadku obniżania się zawartości propanu i butanu. W konsekwencji jeżeli system zasilania nie jest wyposażony w układ elektronicznej regulacji, kompensującej te zmiany, pogorszeniu ulegają nie tylko osiągi silnika lecz wzrasta również poziom emisji składników toksycznych w spalinach. (Mieszankę propanu butanu dodaje do gazu ziemnego znaczna ilość zakładów gazowniczych w Europie zachodniej.)

*Liczba metanowa* wyraża odporność paliwa gazowego na spalanie stukowe i jest odpowiednikiem liczby oktanowej charakteryzującej paliwa benzynowe. Odporność gazu ziemnego na spalanie stukowe znacznie przewyższa odporność benzyn. Zwiększenie jednak ilości zanieczyszczeń, a w szczególności LPG, który bardzo często wprowadzany jest do sieci w przypadkach wzrostu zapotrzebowania, obniża w znacznym stopniu liczbę metanową.

Skład chemiczny wybranych gazów przedstawiono w tabeli 3.

Dla zapewnienia stałości istotnych parametrów gazu ziemnego w krajach Unii Europejskiej wprowadzono normę EN 437, która określa wymagania dotyczące składu chemicznego oraz charakterystyki spalania, dzieląc gaz ziemny przeznaczony do zasilania pojazdów napędzanych silnikami spalinowymi na cztery grupy G 20, G 21, G 23 i G 25. Norma ta określa również dopuszczalne zanieczyszczenie gazu wodą oraz olejami, które mogą pojawić się w gazie w procesie jego sprężania.

**Skład chemiczny gazu ziemnego z kilku źródeł w porównaniu z gazem wzorcowym**

	Typ gazu	C [% obj.]	C <sub>2</sub> [% obj.]	C <sub>3</sub> [% obj.]	N <sub>2</sub> [% obj.]	CO <sub>2</sub> [% obj.]	Liczba Woobbe'go	Liczba metanowa tolerancja ±2%
Omman	L	82,3	2,85	0,44	12,90	1,28	44,40	84
Belgia Francja	L	83,20	3,72	0,80	10,40	1,36	46,29	80
Norwegia	H	83,50	11,29	2,66	1,52		54	68
Rosja (Polska)	H H	98,37 96,20	0,51 1,20	0,17 0,03	1,8	0,81 0,30	52,99 52,45	98 96
Polska Przemysł	H	98,63	0,314	0,073	1,039	0,00	83,4	100
Gaz wzorcowy	H	100					83,31	100
Gaz wzorcowy	L	87			13		43,88	103

**Dostępność gazu ziemnego**

Dla zapewnienia bezpieczeństwa odbiorców, europejskie przedsiębiorstwa przesyłowe zbudowały w ostatnim dwudziestoleciu wysoko zintegrowaną sieć gazową. Sieć ta rozciąga się od Morza Północnego i Bałtyckiego w dół w kierunku Morza Śródziemnego i od Oceanu Atlantyckiego do krajów Europy Wschodniej. Do tej zasadniczej sieci włączono liczne rurociągi do regionów przemysłowych krajów europejskich, Rosji i Afryki Północnej. Obecnie długość głównych rurociągów łączących poszczególne kraje to około 36000 km, natomiast długość włączonych do nich krajowych nitek jest liczona w milionach kilometrów. Ta ogromna sieć zapewnia dostępność gazu ziemnego w całej Europie, zaś jej zasilanie z trzech kierunków, tzn. Rosji, Skandynawii i Afryki Północnej stanowi gwarancję stałości i ciągłości dostaw.

## **Adaptacja samochodu do zasilania paliwem gazowym**

### ***Silniki spalinowe***

Współczesne silniki przystosowane do spalania paliw gazowych można podzielić na cztery zasadnicze grupy:

- silniki zaprojektowane z przeznaczeniem do zasilania wyłącznie paliwem gazowym (np. IYECO, DAF),
- silniki zaprojektowane do zasilania alternatywnego paliwem gazowym lub paliwem benzynowym (np. FIAT, VOLVO),
- adaptowane silniki o zapłonie samoczynnym,
- silniki wysokoprężne przystosowane do zasilania dwupaliwowego-jednoczesnego.

W pierwszym przypadku spalanie przebiega podobnie jak w silniku o zapłonie iskrowym, a w specjalnie zaprojektowanym układzie dolotowym umieszczony jest mieszalnik, wtryskiwacz lub zespół wtryskiwaczy. Stosowany w tych silnikach stopień sprężania zawiera się w granicach od 9 do 14. Silnik wyposażony jest w specjalny układ dolotowy i wylotowy (zwiększenie odporności termicznej gniazd zaworowych), a jego układ rozrządu posiada zoptymalizowane dla potrzeb gazu ziemnego fazy rozrządu. W układzie tłokowo korbowym najczęściej dokonuje się zmiany kształtu komory spalania oraz konfiguracji pierścieni tłokowych.

W trzecim przypadku, w którym system spalania silnika wysokoprężnego jest adaptowany do zasilania paliwem gazowym, konieczne jest wprowadzenie co najmniej następujących zmian:

- obniżenie stopnia sprężania,
- zabudowanie układu zapłonowego wraz ze świecami zapłonowymi, zmiana konstrukcji układu dolotowego,
- zmiana faz rozrządu,
- zmiana wydajności cieplnej układu chłodzenia.

Adaptacja samochodów z silnikami o zapłonie iskrowym do spalania gazu ziemnego jest szybka i bardzo prosta. Polega na zabudowie standardowego zespołu urządzeń i elementów gazowej instalacji zasilającej. Najczęściej przeprowadza się ją w taki sposób, aby umożliwić eksploatację samochodu na obu paliwach – konwencjonalnym lub gazowym. W podobny sposób przeprowadzana jest adaptacja

Marek Flekiewicz

silników wysokoprężnych do zasilania dwupaliwowego jednoczesnego, olejem napędowym i gazem.

### **Systemy zasilania**

We współczesnych instalacjach zasilających silniki paliwami gazowymi stosowane są dwa systemy zasilania.

System pierwszy zapewnia zasilanie silnika mieszaniną stechiometryczną, z kontrolą składu dokonywaną za pomocą sondy lambda oraz wielofunkcyjnym katalizatorem spalin. Katalizator ten obniża poziom emisji CO, NO<sub>x</sub> oraz węglowodorów, łącznie z zawartym w spalinach metanem. Pomimo iż sam katalizator nie jest urządzeniem doskonałym (wpływa między innymi na powstawanie efektu cieplarnianego) to jednak stosowanie go w silnikach gazowych zmniejsza wymiary tego szkodliwego oddziaływania o około 20 % w porównaniu z silnikami wysokoprężnymi. W wyniku stosowania tego systemu uzyskiwane wartości poziomów emisji CO i HC są znacznie korzystniejsze w porównaniu z paliwami konwencjonalnymi, spełniając wymagania normy EURO 3.

System drugi pozwala na zasilanie silników mieszaniną ubogą. Jest on niekorzystny pod względem emisji, lecz bardzo atrakcyjny, gdyż umożliwia zwiększenie sprawności przetwarzania energii zawartej w paliwie gazowym. Współczynnik sprawności przetwarzania energii wzrasta o około 12 do 15 % w porównaniu z systemami pracującym na mieszaninie stechiometrycznej. W wyniku stosowania tego systemu emisja NO<sub>x</sub> spełnia wymagania normy EURO 2, a poziom pozostałych składników jest relatywnie niższy. Ogólny poziom emisji toksycznych składników spalin silnika z tym systemem odpowiada wymaganiom EURO 2.

### **Magazynowanie gazu na pojazdach samochodowych**

Gaz ziemny jest wykorzystywany do napędu pojazdów samochodowych zarówno w postaci ciekłej, jak i gazowej. Stosowanie do zasilania silnika skroplonego gazu ziemnego wpływa korzystnie na poprawę stosunku ilości przechowywanej energii do objętości i masy całkowitej paliwa. Do przechowywania skroplonego gazu w samochodzie stosuje się pojemniki kriogeniczne z izolacją próżniową - próżniową. Umożliwiają one przechowywanie paliwa przez 3 do 4 dni. W tym czasie ciśnienie odprowadzanego gazu nie powinno przekroczyć wartości 0,4 MPa.

W przypadku braku możliwości pozyskania gazu w postaci ciekłej (istniejące linie skraplania, miejsca przeładunku gazu płynnego) uważa się obecnie, że nie stanowi on ekonomicznie uzasadnionej alternatywy dla sprężonego gazu ziemnego. Dlatego też znacznie popularniejsze jest wykorzystanie sprężonego gazu ziemnego w taki sposób, aby zapewnić odpowiedni zasięg pojazdu. Sprężony gaz ziemny jest magazynowany pod ciśnieniem 20 MPa - 30 MPa w butlach zamontowanych na pojeździe. Dla autobusu, w którym butle umieszcza się pod podłogą lub na dachu, następuje zwiększenie masy o 500 do 1000 kg. Natomiast czas napełniania zespołu butli zainstalowanych w autobusie trwa zwykle około 10 do 15 minut i jest porównywalny z czasem tankowania paliwa konwencjonalnego.

Wzrost masy autobusu miejskiego przystosowanego do zasilania gazem ziemnym, w stosunku do masy autobusu zasilanego olejem napędowym, przedstawiono w tablicy 4. W tablicy tej uwzględniono trzy paliwa wykorzystywane jako źródła energii w komunikacji miejskiej przy założeniu, że jest zapewniony przebieg równy około 500 km.

Tablica 4

**Porównanie wzrostu masy autobusu zasilanego paliwem gazowym**

	Olej napędowy	LPG	CNG
Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	0,86	0,54	0,14
Wartość opałowa [MJ/kg]	42,4	46,1	47,7
Objętość zespołu zbiorników lub butli [dm <sup>3</sup> ]	200	350-400	1270
Ciśnienie magazynowania [MPa]	0,1	0,5	20
Wzrost masy autobusu [kg]	-	300-400	1000 <sup>(1)</sup> 500 <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> - butle ulepszone cieplnie

<sup>(2)</sup> - butle kompozytowe lub z tworzyw sztucznych

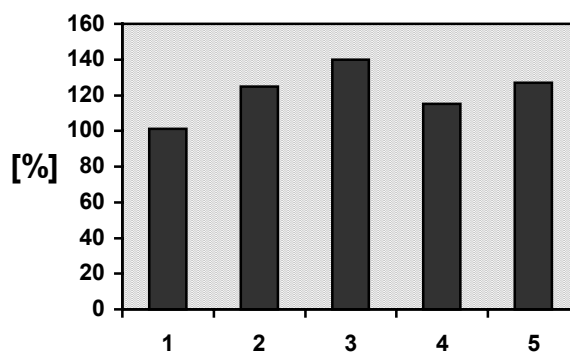


## Zużycie energii i toksyczność spalin

### Zużycie energii

Ogólne zestawienie wyników badań zużycia energii przez silniki badane w Instytucie Transportu Politechniki Śląskiej przedstawia rys.1. Na rysunku tym punktem odniesienia do porównania jest zużycie energii przez silnik wysokoprężny, spełniający wymagania normy EURO 1- zużycie to wynosiło 10,6 MJ/kWh i stanowi 100 % (silnik firmy M.A.N).

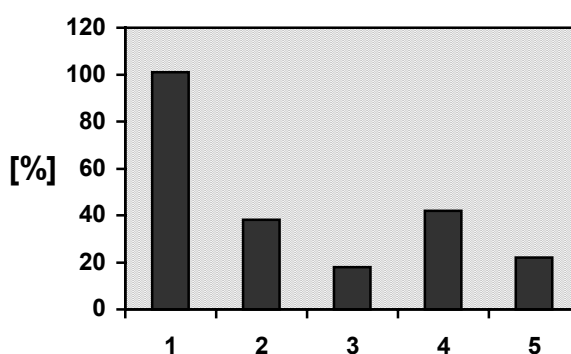
Jak wynika z wykresu, najniższe zużycie energii uzyskano dla silnika wysokoprężnego, natomiast w przypadku stosowania paliw gazowych - najkorzystniejsze zużycie zaobserwowano dla silnika zasilanego mieszankami ubogimi, przy czym zużycie to jest korzystniejsze dla CNG niż dla LPG.



Rys.1. Zużycie energii, 1- dla silnika zasilanego olejem napędowym 10,6 MJ/kWh =100 %, 2 - LPG mieszanka uboga 3 - LPG mieszanka stechiometryczna, 4 - CNG mieszanka uboga, 5 - CNG mieszanka stechiometryczna

### ***Emisja spalin***

Pomiary emisji przeprowadzono zgodnie z zaleceniami normy europejskiej, dotyczącej badań na hamowni silnikowej. Otrzymane poziomy emisji NO<sub>x</sub>, CO, MC i cząstek stałych dla trzech stosowanych w badaniach paliw przedstawiono na rysunkach od 2 do 5. Uzyskany poziom NO<sub>x</sub> jest najniższy dla silników zasilanych mieszankami stechiometrycznymi zarówno dla CNG, jak i LPG.



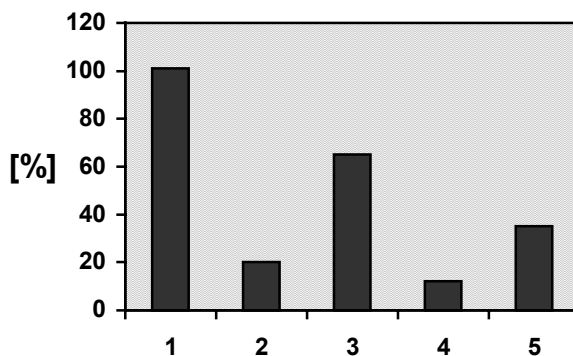
Rys. 2. Poziom emisji NO<sub>x</sub>, 1- olej napędowy 8,0 g/kWh =100 %, 2 - LPG mieszanka uboga, 3 - LPG mieszanka stechiometryczna, 4 - CNG mieszanka uboga, 5 - CNG mieszanka stechiometryczna

Analizując wyniki poziomu emisji CO, można zauważyć wzrost jego wartości dla silnika zasilanego mieszaniną ubogą.

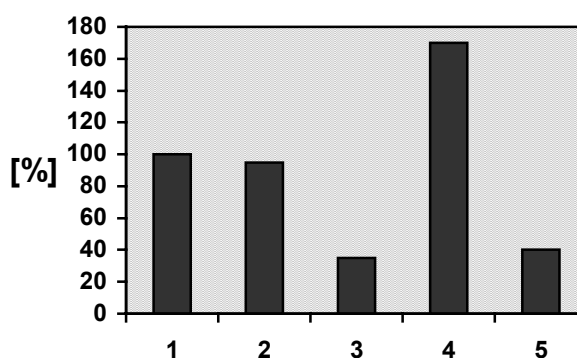
Poziom emisji węglowodorów okazuje się być wysoki podczas zasilania silnika gazem ziemnym. Wynika to z faktu, że znaczną objętość w spalinach stanowi nie spalony w silniku metan. Zwiększona emisja tego prostego węglowodoru jest jednak w ostatecznym bilansie w mniejszym stopniu niekorzystna w porównaniu ze szkodliwością bardziej złożonych węglowodorów, emitowanych w spalinach silnika wysokoprężnego, zasilanego paliwem konwencjonalnym.

### ***Ekonomiczne aspekty związane ze stosowaniem paliw gazowych***

Analiza ekonomiczna dotycząca wprowadzenia paliw alternatywnych, powinna uwzględniać takie aspekty, jak koszty budowy stacji napełniania, koszty adaptacji pojazdów oraz koszty eksploatacji samochodów napędzanych paliwami gazowymi.



Rys. 3. Poziom emisji CO, 1 - olej napędowy 1,5 g/kWh =100 %, 2 - LPG mieszanka uboga, 3 - LPG mieszanka stechiometryczna, 4 - CNG mieszanka uboga, 5 - CNG mieszanka stechiometryczna



Rys. 4. Poziom emisji HC, 1- olej napędowy 0,6 g/kWh =100 %, 2 - LPG mieszanka uboga, 3 - LPG mieszanka stechiometryczna, 4 - CNG mieszanka uboga, 5 - CNG mieszanka stechiometryczna

### **Stacje napełniania**

W praktyce stosuje się dwa sposoby zasilania pojazdów: wykorzystanie gazu z sieci rurociągów lub transport gazu w butlach, za pomocą odpowiednich naczip lub przyczep.

Koszt stacji napełniania CNG jest uzależniony od tego, czy stacja jest przystosowana do szybkiego czy też powolnego napełniania i kształtuje się od 100.000 ECU do 200.000 ECU przy zastosowaniu szybkiego napełniania. W Polsce eksploatowane są obecnie trzy duże stacje sprężarkowe firm "SAFE" i "CHERCO" w Warszawie i w Krakowie, oraz kilka małych umożliwiających napełnianie butli zbiorników montowanych na wózkach widłowych.

Marek Flekiewicz

W naszym kraju gaz ziemny dla potrzeb zasilania pojazdów jest pozyskiwany również ze źródeł o wysokim ciśnieniu, wynoszący ponad 20 MPa. Kilkuletnie doświadczenia w zakresie wykorzystania gazu ziemnego pod wysokim ciśnieniem dla potrzeb pojazdów samochodowych posiada PGNiG S.A. Oddział Sanocki Zakładu Górnictwa Nafty i Gazu. W roku 1988 Zakład ten uruchomił pilotową stację tankowania przy Kopalni Gazu Ziemnego w Rzeszowie. Zasilanie tej stacji jest oparte na poborze gazu pod wysokim ciśnieniem złożowym bezpośrednio z odwiertu eksploatacyjnego. Wykorzystanie naturalnego ciśnienia gazu panującego w złożu jest możliwe dzięki zastosowaniu absorpcyjnej metody głębokiego osuszania gazu.

Kilka lat eksploatacji tej stacji umożliwiło zebranie wielu doświadczeń dotyczących zarówno samej stacji, jak i eksploatowanych pojazdów. Pierwsze samochody obsługi kopalń wyposażone w instalacje dwupaliwowe (alternatywne), wprowadzono do eksploatacji na drogach regionu południowo wschodniego w roku 1988, a ich ilość zwiększa się z roku na rok.

Obecnie w Sanockim Zakładzie Górnictwa Nafty i Gazu eksploatowane są dwie stacje tankowania samochodów gazem ziemnym: w Rzeszowie i w Przemyślu. Stacje te zostały zaprojektowane i wybudowane systemem gospodarczym, w oparciu o zebrane wcześniej doświadczenia eksploatacyjne.

### ***Koszty adaptacji pojazdów samochodowych***

Producenci pojazdów samochodowych dysponują sprawdzonymi w eksploatacji wersjami pojazdów przystosowanych do zasilania paliwami gazowymi. Firma MAÑ wprowadziła do eksploatacji na terenie Austrii i Hiszpanii autobusy zasilane LPG. Wzrost kosztu wytworzenia takiego autobusu wzrasta o około 15.000 ECU. Firmy IVECO i VOLVO wprowadziły do eksploatacji we Włoszech, Hiszpanii, Niemczech i w USA autobusy zasilane CNG. Również wielu innych, liczących się producentów, prowadzi badania adaptacyjne prototypów autobusów, które są eksploatowane w różnych miastach na świecie. W Polsce do produkcji tych autobusów są przygotowani dwaj znani producenci:

AUTOSAN S.A. i JELCZ S.A.

Obecnie jednak najczęściej przeprowadza się adaptację umożliwiającą jednopaliwowe zasilanie gazem ziemnym lub LPG silników samochodów ciężarowych i autobusów

Marek Flekiewicz

po kilkuletniej eksploatacji, a więc w różnym stanie technicznym. Koszt takiej adaptacji nie przekracza 15% wartości nowego silnika.

### ***Koszty eksploatacji***

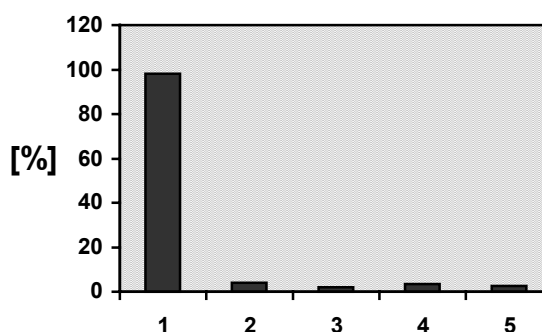
Najbardziej istotnym składnikiem kosztów eksploatacji jest cena paliwa. Określenie jednolitej ceny CNG dla całego kraju jest w chwili obecnej bardzo trudne. Na stacjach eksploatowanych przez SZGNiG 1 Nm<sup>3</sup> sprężonego gazu ziemnego kosztuje około 55 groszy. Ujednolicenie cen w skali całego kraju może nastąpić jedynie w przypadku stworzenia odpowiednich instrumentów finansowych i prawnych, uwzględniających wykorzystanie paliw gazowych w transporcie publicznym. Biorąc pod uwagę zarówno doświadczenia Sanockiego Zakładu Górnictwa Nafty i Gazu, jak i szereg analiz ekonomicznych, niskie koszty eksploatacji samochodów zasilanych CNG powinny zwrócić nakłady związane z budową infrastruktury i adaptacją samochodów w przeciągu 2 lat, przy założeniu, że eksploatowanych będzie około 100 autobusów.

### ***Wnioski***

1. Zastosowanie paliw gazowych, a w szczególności gazu ziemnego, do zasilania autobusów komunikacji miejskiej zapewnia znaczne ograniczenie poziomu emisji toksycznych składników spalin. Efekt ekonomiczny zależy bezpośrednio od ceny zakupu poszczególnych nośników energii, a w szczególności wzajemnej relacji pomiędzy paliwem bazowym a zastępczym. Przy aktualnej relacji cen koszty bezpośredniej eksploatacji stanowią około 80% kosztów eksploatacji na oleju napędowym (Stacja CNG w Krakowie). Możliwe jest więc osiągnięcie wymiernych efektów ekonomicznych, które po wprowadzeniu zasadniczych zmian w infrastrukturze zaplecza będą korzystne dla przedsiębiorstwa transportowego. W rozliczeniu tych efektów należy uwzględnić również zwolnienia od opłat za odprowadzanie zanieczyszczeń do atmosfery.
2. Szerokie upowszechnienie paliw gazowych uzależnione jest od:

- ceny gazu,
  - wprowadzenia przejrzystych przepisów prawnych i finansowych określających ogólne zasady ich stosowania,
  - rozbudowy odpowiedniej infrastruktury.
3. Wyniki badań oraz wielu wdrożeń wykazały, że w chwili obecnej nie ma żadnych barier technicznych i technologicznych, które utrudniałyby proces wdrażania paliw gazowych do napędu pojazdów samochodowych.
  4. Zasadniczym czynnikiem który powinien zdecydować o upowszechnieniu paliw gazowych jest obecnie ich najkorzystniejsze oddziaływanie na środowisko.
  5. Najwyższa sprawność przetwarzania energii zawartej w gazie ziemnym wskazuje, że zarówno w dniu dzisiejszym jak i w najbliższej przyszłości jest on najkorzystniejszym paliwem alternatywnym.

W przypadku wykorzystania gazu ziemnego występują obecnie wątpliwości tak wśród zakładów gazowniczych, samorządów lokalnych, jak i przedsiębiorstw transportowych, które wynikają z braku odpowiednich regulacji prawnych i finansowych, obejmujących między innymi takie aspekty, jak polityka kredytowa, czy ulgi podatkowe.



Rys. 5. Emisja cząstek stałych, 1-olej napędowy 0,36 g/kWh=100 %, 2 - LPG mieszanka uboga, 3 - LPG mieszanka stechiometryczna, 4 - CNG mieszanka uboga, 5 - CNG mieszanka stechiometryczna

Literatura

1. *Alternative transportation fuels an environmental and energy solution*. 1989. Westport, Connecticut, USA..
2. *Gaz ziemny paliwem silnikowym*. Materiały na Konferencji Naukowo-Techn. - Czarna 1991.
3. E. Król, M. Flekiewicz; *Gaz ziemny jako paliwo do napędu pojazdów samochodowych - doświadczenia i perspektywy*, Nafta-Gaz, Nr 7-8/1997.
4. M. Flekiewicz, M. Dykier: *Paliwa alternatywne w motoryzacji* - Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej - Katowice 1992.
5. *Gaz ziemny jako paliwo do napędu pojazdów - Stan obecny i perspektywy rozwoju* - Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK Kraków Nr 23/1998.
6. M. Dykier, M. Flekiewicz; *Przewidywane korzyści stosowania zasilania wtryskowego w silnikach gazowych*. Międzynarodowa Konferencja N-T - Silniki Gazowe 97, Częstochowa.
7. M. Flekiewicz; *Prace Instytutu Transportu Politechniki Śląskiej 1983-1999*.