

## EMISSION PROBLEMS OF THE CAR ENGINES FUELLED WITH LPG, CNG.

**Andrzej Żółtowski**

*Przemysłowy Instytut Motoryzacji*

*ul. Jagiellońska 55, Warszawa*

*fax: (0-22) 8116028, tel.:(0-22)8112897, e-mail: bls\_pimot@go2.pl*

### *Abstract*

*The reasons for the increase in emission level of the IC engine caused by switching from diesel to LPG, CNG fuelling has been experimentally investigated.*

## PROBLEMY EMISJI W POJAZDACH ZASILANYCH PALIWAMI GAZOWYMI

### *Streszczenie*

*Omówiono przyczyny, które sprawiają, że silniki pojazdów adaptowanych do zasilania paliwami gazowymi charakteryzują się większą emisją zanieczyszczeń gazowych w stosunku do układu przed adaptacją. Przedstawiono wyniki badań na hamowni podwoziowej pojazdów zasilanych paliwami gazowymi (LPG, CNG).*

### **1. Wstęp**

W powszechnie panującej opinii ropopochodne paliwa gazowe (gaz ziemny, LPG) uznaje się za bardziej ekologiczne od paliw tradycyjnych (benzyna, olej napędowy). Wynika to ze zwiększonego udziału atomowego wodoru w cząsteczce benzyny w stosunku do węgla, skutkującego mniejszą (teoretycznie) emisją CO i CO<sub>2</sub>, korzystniejszym składem emitowanych węglowodorów (np. metan w rozumieniu przepisów stosowanych w niektórych państwach nie jest uznawany za gaz toksyczny), brakiem w spalinach benzenu i węglowodorów aromatycznych, czy też najbardziej spektakularnym czynnikiem – brakiem zadymienia spalin. Szerzej właściwości paliw gazowych omówiono w [1, 2]. Czy jednak te potencjalnie korzystne właściwości paliw gazowych są w pełni wykorzystywane w pojazdach jeżdżących po naszych drogach? Próbę odpowiedzi na to pytanie stanowi niniejsza praca.

### **2. Stan prawny**

Dynamicznie rozwijający się w Polsce rynek pojazdów zasilanych gazem w większości wykorzystuje skroplony gaz propan-butan (LPG). Szacuje się, że liczba pojazdów dostosowanych do zasilania LPG przekracza 600 000. Prawie zawsze są to pojazdy adaptowane do zasilania gazem, które w swej oryginalnej wersji były pojazdami zasilanymi benzyną. Świadectwo homologacja typu takiego pojazdu jako źródło napędu wymienia w nim silnik zasilany benzyną.

Ostatnie dwie dekady rozwoju silnika samochodowego nacechowane były troską o ograniczanie jego szkodliwego oddziaływania na środowisko. Aby oddziaływanie to zminimalizować stworzono sieć przepisów homologacyjnych i krajowych przepisów kontrolnych, mających na celu zapobieganie wzrostowi szkodliwej emisji ponad ustalone limity.

Silnik samochodowy z punktu widzenia ochrony środowiska jest zamkniętą konstrukcją, zawierającą określoną myśl inżynierską służącą ograniczeniu emisji do poziomu, jaki

obowiązywał w chwili powstawania tego silnika. Doraźna adaptacja silnika do zasilania gazem, wykonana w warsztacie usługowym, niejako omija całą tę precyzyjną konstrukcję prawną, zapewniającą odpowiedni poziom emisji. Wraz z nowym paliwem pojawia się w silniku zupełnie nowy, dodatkowy układ paliwowy, ulega zmianie układ zasilania i układ sterujący dawkowaniem paliwa. Zmienia się paliwo, lecz pozostaje dotychczasowy układ oczyszczający spaliny (reaktor katalityczny).

W Polsce od pojazdu adaptowanego do zasilania gazem nie wymaga się ponownej homologacji typu w związku ze zmianą paliwa, a jedynie wymaga się zastosowania aparatury gazowej mającej świadectwo homologacji. Zastosowana aparatura gazowa powinna spełniać wymagania regulaminu 67 ECE, zaś jej dystrybutor powinien uzyskać uproszczoną homologację, polegającą na określeniu emisji z układu wylotowego wg regulaminu 83 ECE w wybranym pojeździe, w którym zastosowano daną aparaturę.

Tak skonstruowane wymagania sprawiają, że od dostawcy aparatury gazowej wymaga się przedstawienia do badań pojazdu, który może być do tego celu specjalnie przygotowany i odpowiednio wyregulowany. Słabość systemu polega na tym, że jednocześnie jednostki zajmujące się instalowaniem aparatury gazowej mogą być do tego słabo przygotowane, zarówno jeśli chodzi o wyposażenie warsztatowe jak i o fachową wiedzę, a sposób w jaki dokonują one adaptacji pojazdu i jego regulacji może być daleki od ideału.

Większość przepisów homologacyjnych (regulaminów, dyrektyw) zbudowana jest w ten sposób, że oprócz właściwych badań homologacyjnych okresowo wykonuje się kontrole stabilności produkcji. Obowiązujące w Polsce prawo nie uwzględnia tego drugiego elementu. Tak dokładnie i do końca nie wnika w to gdzie i jak aparatura gazowa jest montowana. Pierwszą - i w gruncie rzeczy dość pobieżną - weryfikację stanowi dopiero okresowy przegląd techniczny, dopuszczający pojazd do ruchu. Jak dotąd w Polsce nie udało się wypracować skutecznego systemu, który kontrolowałby jakość adaptacji pojazdów do zasilania gazem, a zwłaszcza ocenę sposobu montażu i regulacji pod względem emisji.

### **3. Źródła emisji w pojazdach adaptowanych**

Truizmem jest przypomnienie, że każdy rodzaj paliwa stosowanego do zasilania tłokowego silnika spalinowego wymaga odpowiedniego, dostosowanego do właściwości danego paliwa, systemu spalania. Dotyczy to zarówno sposobu przechowywania i dawkowania paliwa oraz sposobu przygotowywania mieszanki paliwowo-powietrznej do spalania, czy wreszcie organizacji procesu spalania i sposobu oczyszczania spalin. Ingerencja w zespoły silnika bezpośrednio odpowiedzialne za wielkość emisji może stać się źródłem niekontrolowanego wzrostu emisji. Poniżej źródła te zostaną scharakteryzowane.

#### **3.1 Układy gaźnikowe**

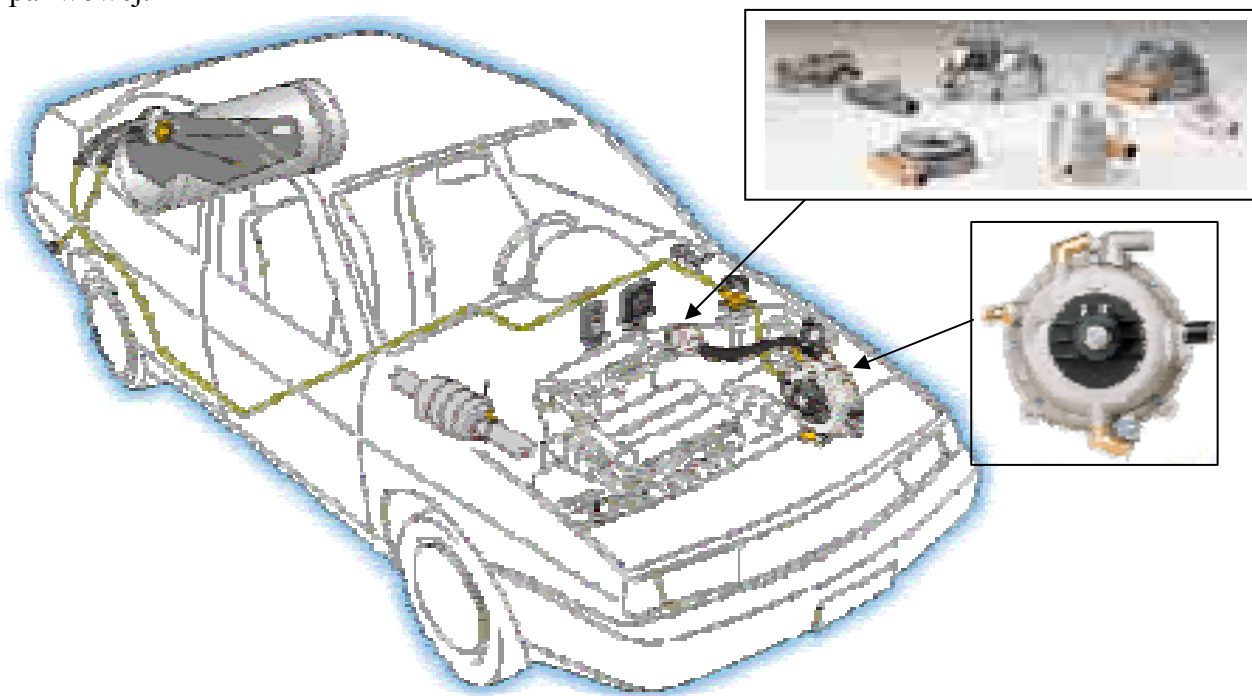
Odpowiednikiem gaźnikowych benzynowych układów zasilania jest instalacja gazowa tzw. I generacji, składająca się z reguły z dwustopniowego reduktora (parownika), zaworu dławiącego i mieszalnika. Regulowany zawór dławiący jest odpowiednikiem dyszy głównej paliwa w gaźniku. Od jego przepustowości zależy skład mieszanki paliwowo-powietrznej silnika pracującego pod obciążeniem. O ile dysza główna paliwa w gaźniku ma niezmienną przepustowość, o tyle przepustowość zaworu dławiącego może być regulowana. Jest to spowodowane szeregiem przyczyn takich jak: chęć zapewnienia uniwersalności w stosowaniu aparatury gazowej, zmienność charakterystyki reduktora w czasie (starzenie się elementów), zmienność oporów przepływu. Po zainstalowaniu aparatury gazowej zawór ten powinien być odpowiednio ustawiony w silniku pracującym pod obciążeniem. Ponieważ warsztaty montujące instalacje gazowe praktycznie nie mają sposobu na wykonanie prawidłowej regulacji polegającej na ustawieniu właściwego składu mieszanki paliwowo-powietrznej podczas jazdy samochodu, regulację tę wykonuje się metodą zastępczą, dobierając skład mieszanki na podstawie własności

dynamicznych pojazdu. Dopóki nie wyeliminuje się przypadkowości i arbitralności w doborze regulacji składu mieszanki i nie wymusi się od warsztatów stosowania właściwych technik i procedur regulacji, dopóty paliwa gazowe zamiast stać się sposobem w ograniczaniu emisji, będą stawać się przyczyną jej zwiększenia.

Oddzielnym zagadnieniem w tej grupie aparatury jest zapewnienie stałości położenia organów regulacyjnych, jakimi są wkręt regulacji składu mieszanki biegu jałowego oraz zawór dławiący. Konstruktorzy gaźników już dawno uzgodnili, że w celu zapobieżenia niepożądanego ingerencji w regulację gaźnika wpływającej na emisję, powszechnie stosowano plombowanie wkrętu regulacyjnego składu mieszanki biegu jałowego. W aparaturze gazowej nie stosuje się tego rozwiązania, a duże, radełkowane łożyska wkrętów regulacyjnych wręcz prowokują użytkowników do ich przestawiania. Wydaje się, że prosty zabieg polegający na plombowaniu ich położenia przeciwdziałałby niekontrolowanemu wzrostowi emisji.

Zastosowanie instalacji gazowej I generacji powoduje ogólny spadek mocy silnika ze względu na wzrost oporów przepływu świeżego ładunku wywołany obecnością mieszalnika (mniejszy wskaźnik napełnienia), gazową postacią paliwa doprowadzanego do układu dolotowego i większą stałą stechiometryczną od benzyny. W celu zminimalizowania spadku mocy użytkownicy z reguły stosują bogatszą regulację mieszanki paliwowo-powietrznej ( $\lambda < 1,0$ ), z czym związana jest zwiększona emisja tlenu węgla i węglowodorów. W powszechnej świadomości warsztatowej ustawienie zaworu dławiącego składu mieszanki jest kompromisem pomiędzy mocą silnika a zużyciem paliwa, zaś aspekt ekologiczny tej regulacji jest zupełnie pomijany.

Gaźnik silnika w szczytowym okresie swego rozwoju był konstrukcją zaawansowaną technicznie, niejednokrotnie wyposażoną w układy wpływające na zmniejszanie emisji (np. urządzenie ograniczające wpływ paliwa podczas hamowania silnikiem, urządzenie wzbogacające mieszankę tylko przy pełnym obciążeniu silnika). Aparatura gazowa I generacji nie może realizować tych funkcji, stąd też przy porównywaniu emisji z losowo wybranego pojazdu zasilanego benzyną i LPG z reguły mamy do czynienia ze wzrostem emisji z pojazdu zasilanego gazem. Należy podkreślić, że wzrost emisji nie wynika z właściwości paliwa gazowego, lecz jest powodowany głównie techniczną niedoskonałością zastosowanej instalacji paliwowej.



*Rys. 1 Instalacja gazowa II generacji wyposażona m. in. w reduktor, zawór dławiący napędzany silnikiem krokowym i mieszalnik*

Na specjalne omówienie zasługuje problem stałości emisji w instalacjach tego typu. Mieszalniki stosowane w tych instalacjach korzystają z o wiele niższych wartości podciśnień w układzie dolotowym silnika niż ma to miejsce w przypadku gaźników. Z tego względu charakterystyka wypływu paliwa z mieszalnika jest szczególnie wrażliwa na zmiany podciśnienia w układzie dolotowym wywołane np. zwiększeniem oporów filtra powietrza spowodowanych jego zabrudzeniem lub zawilgoceniem. Wzrost oporów filtra powietrza wpływa wyraźnie na wzbogacenie mieszanki paliwowo-powietrznej (zwłaszcza na biegu jałowym), a więc na wzrost emisji CO i CH. Przeciwdziałać temu można tylko poprzez wymianę zabrudzonego filtra powietrza w odpowiednim czasie, bowiem od stanu filtra zależeć będzie poziom emisji.

### 3.2 Układy wtryskowe

Podstawową przyczyną rozpowszechnienia się układów wtryskowych w silnikach benzynowych była konieczność dostosowania składu mieszanki paliwowo-powietrznej do wymagań trójfunkcyjnego reaktora katalitycznego, stosowanego w układach wylotowych silników w celu zmniejszania emisji zanieczyszczeń gazowych. W przypadku adaptacji tego typu silników do zasilania gazem najbardziej rozpowszechniła się instalacja gazowa tzw. II generacji (rys. 1), która od instalacji I generacji różniła się tym, że ręczne sterowanie zaworu dławiącego zainstalowanego przed mieszalnikiem zostało zastąpione elektrycznym silnikiem krokowym sterowanym mikroprocesorowym urządzeniem analizującym na bieżąco szereg sygnałów charakteryzujących pracę silnika (wskazania sondy lambda, położenie przepustnicy, prędkość obrotowa silnika itp.). Wydaje się, że ideą przewodnią powstania instalacji II generacji była chęć wykonania tanim kosztem adaptacji silnika z wtryskiem benzyny, lecz przy uzyskaniu w miarę zadowalających osiągnięć. Taka filozofia nie może dawać zadowalających wyników i generalnie układy tego typu nie mogą charakteryzować się niższą emisją od silnika benzynowego.

W układach II generacji stosowany jest ten sam typ reduktora (parownika), co w układach I generacji, z łatwo dostępnym, nie zabezpieczonym przed obcą ingerencją, wkretem regulacji składu mieszanki biegu jałowego. Ze względu na spotykaną na rynku dużą zmienność składu chemicznego LPG i różnice prężności par komponentów tego paliwa, reduktor musi pracować w temperaturze zapewniającej odparowanie paliwa. Z tego względu jest on ogrzewany czynnikiem chłodzącym silnik i panuje w nim ta sama temperatura, co w układzie chłodzenia silnika. W przypadku rozruchu w niskich temperaturach pojazdu zasilanego LPG np. z dużą zawartością butanu nieodparowane paliwo będzie wzbogacało mieszankę zwiększając emisję CO i CH.

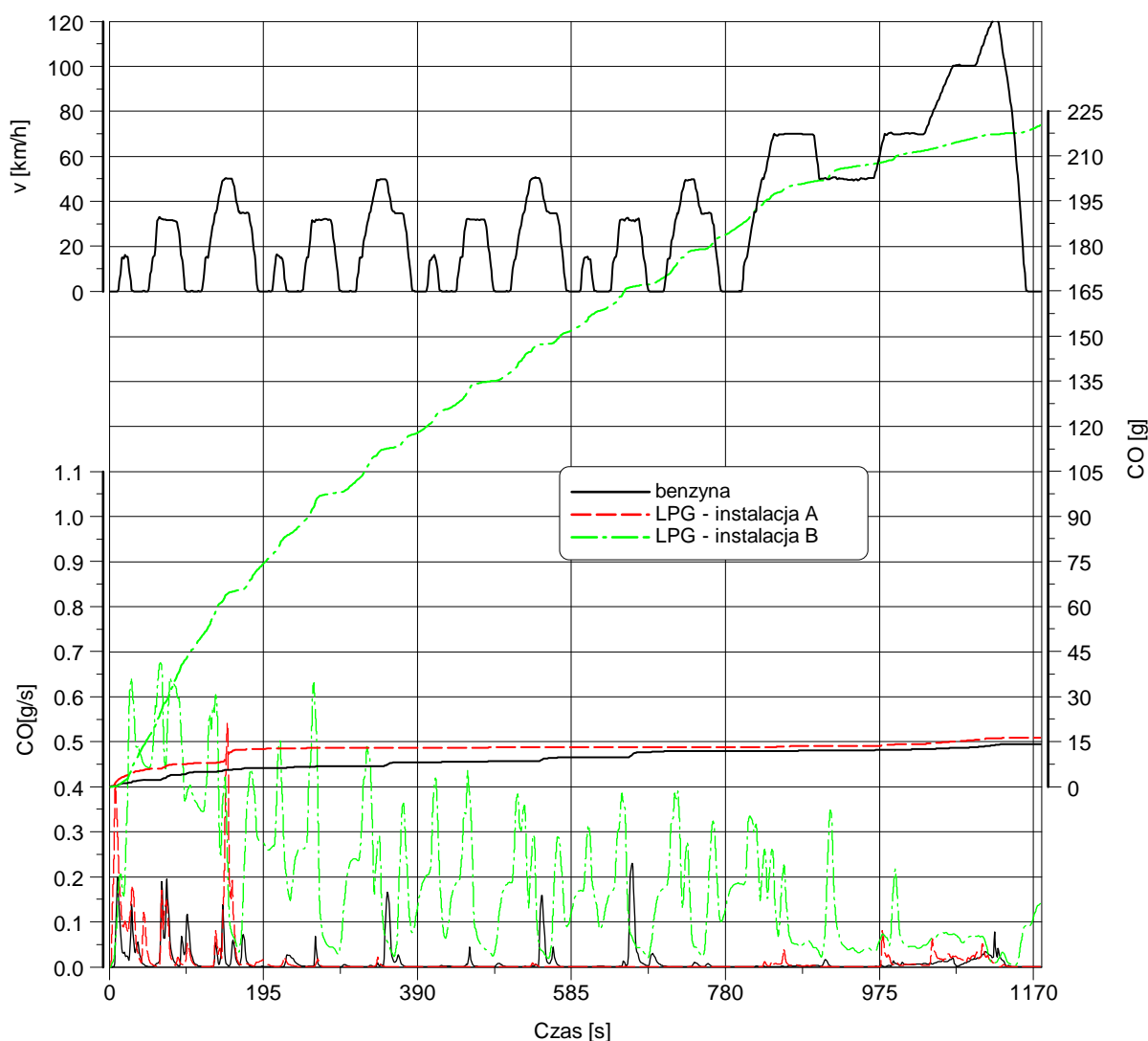
W instalacjach tego typu pominięto problem zabezpieczenia się przed zwiększoną emisją CH podczas hamowania silnikiem. Szczególnego znaczenia problem ten nabiera w rozregulowanym układzie biegu jałowego, bo - jak już wspomniano - układ regulacji składu mieszanki biegu jałowego jest w tym typie reduktora ogólnie dostępny. Na rys. 2 przedstawiono przebieg emisji masowej CO w teście jezdnym według regulaminu 83 ECE podczas badań samochodu Opel Astra wyposażonego w dwie różne instalacje gazowe II generacji. W wyniku prawdopodobnie złej regulacji biegu jałowego pojazd wyposażony w instalację gazową oznaczoną B charakteryzował się bardzo wysoką emisją CO, podczas gdy emisje masowe CO dla instalacji A i przy zasilaniu benzyną były do siebie zbliżone. Rys. 2 ilustruje jak wadliwie pracująca instalacja LPG może być przyczyną ponad dziesięciokrotnego zwiększenia emisji CO.

W pracujących instalacjach I i II generacji łatwopalna mieszanka paliwowo-powietrzna wypełnia kolektor dolotowy. Często bywa to przyczyną uszkodzeń układu dolotowego w wyniku „strzałów” w kolektorze dolotowym. Układy III generacji (rys.3) opracowano z myślą wyeliminowania tego niepożądanego zjawiska, a przy okazji poprawienia osiągnięć silnika poprzez usunięcie mieszalnika (straty dławienia). Ich istotą jest zastosowanie instalacji, w której na wyjściu regulatora (za reduktorem) panuje stałe nadciśnienie (zamiast podciśnienia obecnego

w układach I i II generacji), zaś zastosowanie dystrybutora (rys. 2) pozwala na wyeliminowanie mieszalnika. Układy te przez producentów – chyba nieco na wyrost – są nazywane układami wtryskowymi.

Oceniając stan zaawansowania technicznego instalacji gazowych III generacji można powiedzieć, że jest to dopiero pierwszy typ instalacji, której poziom techniczny pozwala na porównywanie emisji z silnikami zasilanymi benzyną, wyposażonymi w trójfunkcyjny reaktor katalityczny. W instalacji tej nie ma oddzielnej regulacji biegu jałowego w reduktorze, lecz zastosowano oddzielny kanał sterowany zaworem z silnikiem krokowym obsługujący bieg jałowy i małe obciążenia, układ nie jest wrażliwy na zabrudzenie filtra powietrza, jest w nim zawór odcinający wypływ paliwa podczas hamowania silnikiem i układ wzbogacania paliwa podczas przyspieszania. Instalacje te są jednak blisko dwukrotnie droższe od instalacji II generacji, stąd ich rozpowszechnienie przebiega nader wolno.

Kolejną generacją instalacji gazowych, które dopiero zaczynają pojawiać się na rynku, są instalacje IV generacji, swą konstrukcją przypominające wielopunktowy wtrysk paliwa (płynnego lub w postaci gazu) do kolektora dolotowego za pośrednictwem wtryskiwaczy elektromagnetycznych. Wydaje się, że dopiero silniki wyposażone fabrycznie w ten typ instalacji mogą uwydatnić w pełni zalety paliw gazowych. Możliwości tych instalacji są duże, łącznie ze spełnieniem wymagań na poziomie ULEV [3].



**Rys. 2** Prędkość pojazdu ( $v$ ) oraz emisja CO i jej natężenie w funkcji trwania testu jezdnych UDC+EUDC; samochód Opel Astra z dwiema różnymi instalacjami LPG

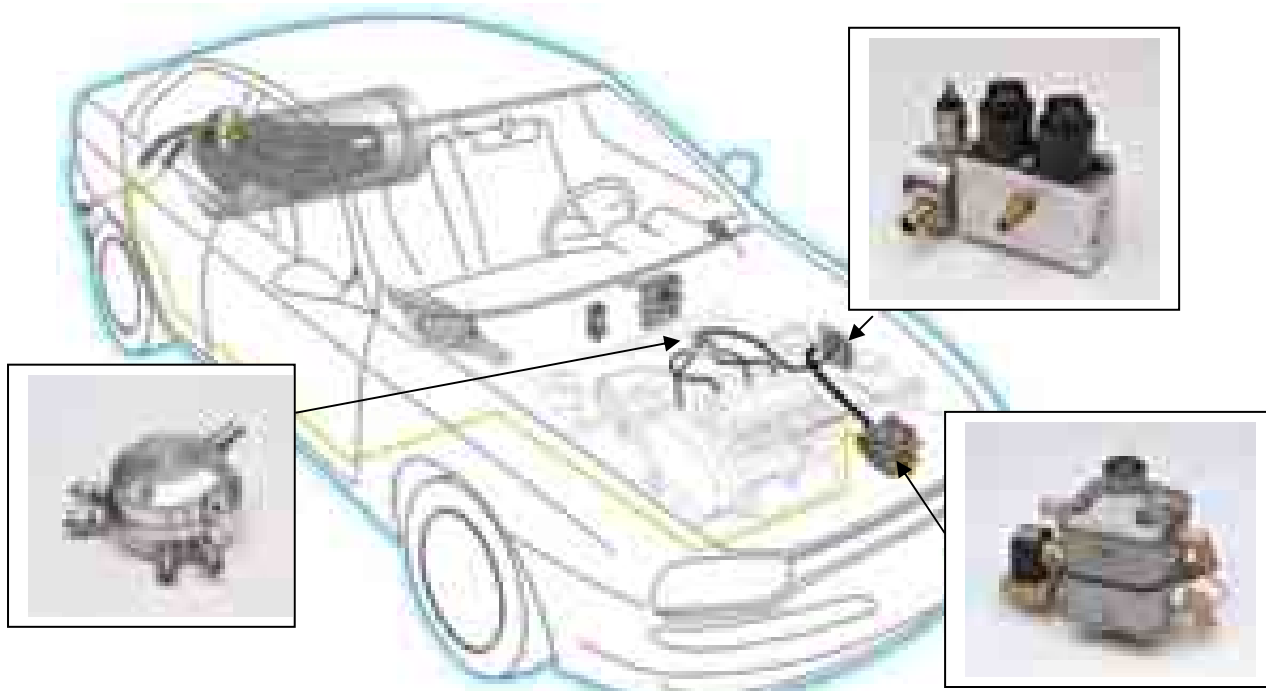
### 3.3 Silniki o zapłonie samoczynnym

Uwagi dotyczące silników o zapłonie iskrowym w pełni odnoszą się do trakcyjnych silników o zapłonie samoczynnym, adaptowanych do zasilania gazem poprzez zamianę systemu spalania z zapłonu samoczynnego na zapłon iskrowy. Jeśli od osób obsługujących i użytkujących instalacje gazowe nie będzie wymagać się większej odpowiedzialności, to silniki zasilane gazem mogą stanowić potencjalnie większe źródło zagrożenia dla środowiska od silników o ZS, bowiem rozregulowany silnik o ZI będzie charakteryzował się znacznie większą emisją od silnika o ZS.

Doraźna zamiana systemu spalania w silniku o ZS, spełniającym wymagania Euro II (wg regulaminu 49 ECE), poprzez zastosowanie instalacji gazowej II generacji oraz trójfunkcyjnego reaktora katalitycznego w układzie wylotowym pozwala na spełnienie powyższych wymagań. Z doświadczeń autora w tej dziedzinie wynika, że CO i CH nie stanowią tu problemu, problemy sprawia emisja NO<sub>x</sub>. Poprzez stosowanie umiarkowanych wartości stopni sprężania (niższych od wartości sugerowanej przez wartość liczby oktanowej paliw gazowych) i opóźnienie zapłonu możliwe jest spełnienie wymagań Euro II. Do spełnienia wymagań Euro III może okazać się konieczne zastosowanie recyrkulacji spalin.

## 4. Badania emisji

W tabeli 1 przedstawiono wyniki badań emisji, wykonanych przez autora, różnych pojazdów adaptowanych do zasilania gazem, oryginalnie wyposażonych we wtrysk benzyny i trójfunkcyjny reaktor katalityczny. Wyniki osiągane przy zastosowaniu instalacji II i III generacji są na poziomie zbliżonym do osiągniętych na benzynie dla tej klasy pojazdów. Szczególnie korzystnie na tym tle wyróżnia się FIAT Multipla Bipower. Był to pojazd jedyny wśród badanych dostosowany fabrycznie do zasilania sprężonym gazem ziemnym, przez co miał on zoptymalizowany dla zasilania sprężonym gazem ziemnym (CNG) mapę dawek paliwa i kątów wyprzedzenia zapłonu oraz układ oczyszczania spalin (reaktor katalityczny). Wyniki uzyskane przez ten pojazd bardzo zbliżają go do spełnienia wymagań, które będą obowiązywały w 2005 r.



*Rys.3 Instalacja gazowa III generacji wraz z elementami składowymi (reduktor, regulator i rozdzielacz)*

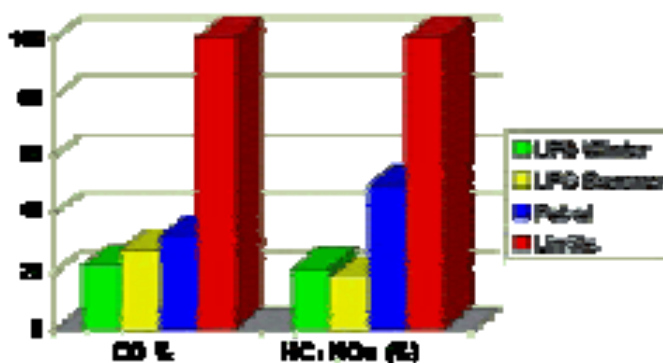
(Euro IV). Dla porównania tablicę 1 uzupełniono wynikami badań dwóch interesujących pojazdów (praktycznie spełniających wymagania Euro IV) – Renault Clio, wyposażonego w silnik o ZS z układem common rail, i Toyoty Prius o napędzie hybrydowym, spalinowo-elektrycznym.

**Tablica 1.**

*Wyniki badań emisji wg Regulaminu 83 ECE wybranych pojazdów*

Nazwa pojazdu	Rodzaj paliwa	THC [g/km]	CO [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]	Generacja instalacji gazowej
Peugeot Partner	CNG	0,79	1,79	0,01	II
Renault Traffic	CNG	2,87	4,86	0,32	II
Opel Astra	LPG	0,24	1,51	0,07	II
Daewoo Nubira	LPG	0,27	2,08	0,16	III
Renault Megane	LPG	0,18	1,41	0,02	III
FIAT Multipla	CNG	0,17	1,14	0,03	IV
Renault Clio dCi	Olej napędowy	0,03	0,35	0,26	zapłon samoczynny
Toyota Prius	Napęd hybrydowy	0,10	0,62	0,02	-

Na rys.4 przedstawiono wyniki badań emisji z samochodu Peugeot 406 1.8 V16 DGI, w którym zastosowano bezpośredni wtrysk do komory spalania LPG w postaci gazowej. Zastosowany w silniku tego pojazdu system spalania pozwolił na nieznaczne zmniejszenie emisji CO i blisko dwukrotne zmniejszenie sumy emisji HC i NO<sub>x</sub> w stosunku do benzynowej wersji silnika, zaś dzięki bezpośredniemu wtryskowi paliwa do cylindra (silnik o ZI) praktycznie nie istnieje różnica w osiągnięciach pomiędzy silnikami zasilanymi benzyną i LPG [4].



**Rys. 4** Emisje w samochodzie Peugeot 406 z bezpośrednim wtryskiem LPG [4]

## 5. Wnioski

- Pojazdy zasilane gazem (LPG, gaz ziemny) mogą charakteryzować się niższą emisją od paliw tradycyjnych, o ile do ich zastosowania użyje się odpowiednich środków technicznych umożliwiających ich właściwe wykorzystanie.
- W wyniku niedoskonałości technicznej większości spotykanych na polskim rynku instalacji paliwowych LPG (I i II generacji) emisje z pojazdów wyposażonych w te instalacje są z reguły wyższe niż przy zasilaniu benzyną.
- Sytuacja dojrzała do tego, aby polskie prawo bardziej skutecznie egzekwowało od warsztatów adaptujących pojazdy do zasilania LPG obowiązek zapewnienia emisji na wymaganym poziomie. Wydaje się, że jedynym sposobem rozwiązania tego problemu jest powszechna certyfikacja tego typu usług połączona z obowiązkowym, okresowym badaniem emisji pojazdów opuszczających takie warsztaty.

## Literatura

1. M. Jarczewski, A. Żółtowski: „Minimalizacja emisji zanieczyszczeń gazowych silnika zasilanego gazem ziemnym”, 23rd International Scientific Conference on Combustion Engines KONES, 16-19 września, Szczyrk.
2. A. Żółtowski: „Problemy adaptacji silników o ZS do zasilania paliwami gazowymi”, VI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Pojazdy samochodowe. Problemy rozwoju, jakości i eksploatacji” AUTOPROGRES '98, 6-8 maja 1998, Jachranka.
3. E. Anderson, H. Wandrie, J. Celmins i inni: “The GMI Fuel Injected Propane Conversion Vehicle” GMI Engineering & Management Institute.
4. [www.lpg-systems.co.uk](http://www.lpg-systems.co.uk).