

Marek FLEKIEWICZ

SEKWENCYJNY WTRYSK PALIWA GAZOWEGO W SILNIKACH O ZAPŁONIE ISKROWYM

Streszczenie. W artykule przedstawiono uwarunkowania zapewniające prawidłowe funkcjonowanie sekwencyjnego systemu wtrysku paliwa gazowego. Szczególną uwagę zwrócono na parametry wtryskiwacza gazowego oraz temperaturę czynnika podgrzewającego regulator ciśnienia gazu.

SEQUENTIAL GAS INJECTION SYSTEM FOR IC SPARK ENGINES

Summary. Main requirements for sequential gas injection system were presented in this article. The requirements of flow rate of injectors and temperature of vaporizer regulator were precisely explained.

1. WPROWADZENIE

Systemy zasilania wtryskowego paliwami gazowymi są coraz szerszej wykorzystywane do adaptacji pojazdów samochodowych do zasilania paliwami gazowymi, w szczególności mieszaniną propanu i butanu. Dlatego też w niniejszym opracowaniu przedstawiono dwa istotne zagadnienia warunkujące prawidłowe funkcjonowanie tych systemów. Po pierwsze scharakteryzowano wtryskiwacze paliwa gazowego oraz sposoby ich sterowania oraz określono zmiany w urządzeniach regulujących ciśnienie paliwa gazowego.

Podział systemów zasilania wtryskowego paliwami gazowymi

Systemy zasilania wtryskowego alternatywnymi paliwami gazowymi nie są nowością, a obecne, zwiększone zainteresowanie ich stosowaniem ma swoją przyczynę we wprowadzeniu nowych regulacji prawnych. Regulacje te obejmują zarówno konieczność spełnienia wymogów dopuszczalnego poziomu emisji składników toksycznych w spalinach, systemy diagnostyki pokładowej – OBD, jak i warunki wykorzystania alternatywnych paliw gazowych do zasilania współczesnych silników spalinowych.

Systemy zasilania wtryskowego alternatywnych paliw gazowych ze względu na stan skupienia gazu można podzielić następująco:

- systemy wtrysku gazu skroplonego,
- systemy wtrysku gazu odparowanego.

W grupie systemów wtrysku gazu odparowanego rozróżnia się systemy:

- wysokociśnieniowe, pracujące przy ciśnieniu gazu od 700 do 1000 kPa,
- niskociśnieniowe, pracujące przy ciśnieniu gazu od 90 do 200 kPa.

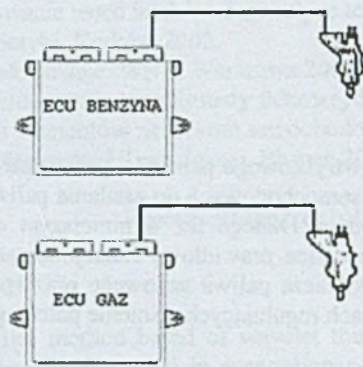
Sterowanie czasem otwarcia wtryskiwacza

W systemach wtrysku paliwa gazowego stosowane są trzy rodzaje sterowania czasem otwarcia wtryskiwacza, wykorzystujące odpowiednio:

- 1) jedno urządzenie sterujące; konstrukcja oraz oprogramowanie tego urządzenia umożliwia kontrolę procesu spalania obu paliw, np. Magneti Marelli IAW 4GF-2M,
- 2) dwa połączone równolegle urządzenia, z których jedno zarządza dawką paliwa bazowego, natomiast drugie dawką paliwa gazowego (rys. 1). W praktyce wykorzystywane są dwa rozwiązania, np. dwa urządzenia sterujące pracujące niezależnie i realizujące odmienne strategie zarządzania dawką paliwa oraz takie, w którym praca urządzenia sterującego dawką paliwa gazowego jest kontrolowana przez urządzenie bazowe,
- 3) dwa połączone szeregowo urządzenia, z których jedno spełnia jedynie funkcję przełączająco-korekcyjną (rys. 2).

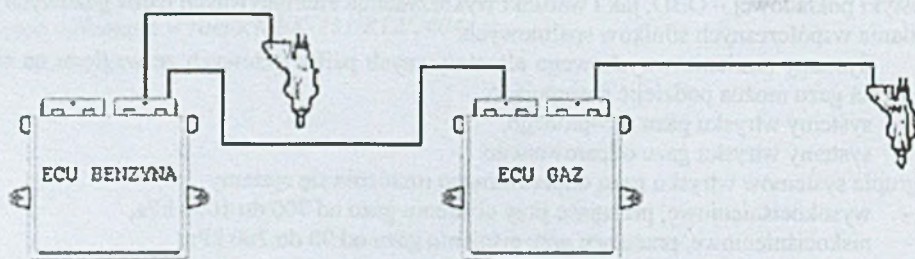
Przetawione w punktach 1 i 2 rozwiązania sterowania są najkorzystniejsze, zapewniając strategię kontroli procesu spalania odpowiednie dla każdego z paliw, między innymi poprzez:

- zoptymalizowanie dawki wtryskiwanego paliwa,
- zoptymalizowanie kąta wyprzedzenia zapłonu,
- ustalenie właściwego kąta obrotu wału korbowego, przy którym następuje otwarcie wtryskiwacza,
- ustalenie odmiennych dla każdego z paliw faz działania układu EGR i dostarczania powietrza dodatkowego, (jeśli układ taki występuje).



Rys. 1. Schemat połączenia równoległego urządzeń sterujących czasem wtrysku w trakcie zasilania benzyną i gazem

Fig.1. Scheme of parallel connection of the controlling arrangements timing injection fueled by petrol or gas



Rys. 2. Uproszczony schemat elektryczny szeregowego połączenia urządzeń sterujących

Fig.2. Scheme of connexion of series of the controlling ECU

Ponadto, jeśli wyposażono silnik w czujnik fazy, możliwe jest sekwencyjne sterowanie wtryskiwaczami paliwa gazowego, pomimo iż w przypadku paliwa benzynowego może ono nie występować.

Najbardziej rozpowszechnione obecnie w praktyce eksploatacyjnej jest tzw. połączenie szeregowo wykorzystujące strategie zarządzania czasem otwarcia wtryskiwaczy urządzenia bazowego i przekształcające je w dodatkowym urządzeniu, przełączająco-korygującym. Uproszczony schemat takiego połączenia przedstawiono na rys. 2.

O znacznej popularności tego rozwiązania zdecydowały między innymi takie czynniki, jak:

- łatwość montażu,
- możliwość wykorzystania w każdym samochodzie, tak z silnikiem wolnossącym jak i doładowanym,
- wyeliminowanie symulacji w przypadku spełnienia wymagań układu OBD,
- proste i czytelne oprogramowanie zapewniające komunikację komputera PC z układem sterowania.

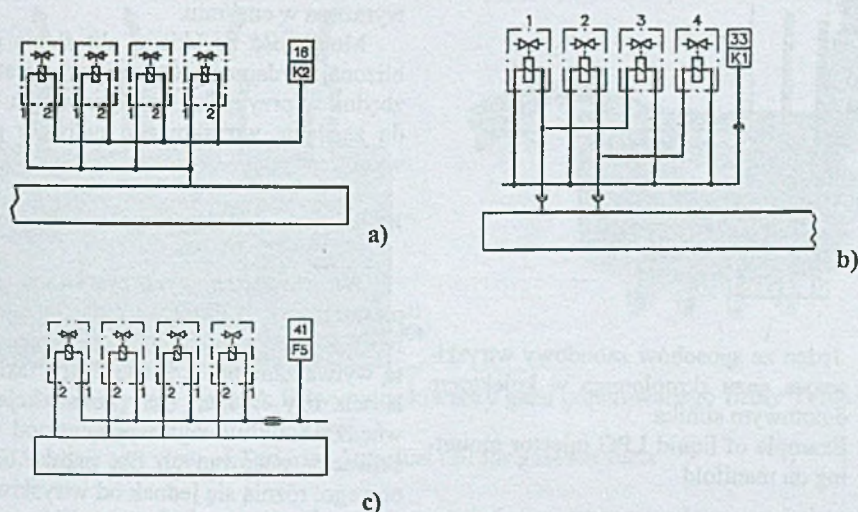
Wtryskiwacze

Wtryskiwacze benzynowe

W systemach wtrysku paliwa benzynowego ze względu na ilość wyjściowych stopni mocy w urządzeniu sterującym, wyróżnia się trzy rodzaje sterowania pracą wtryskiwaczy. Urządzenie sterujące może uruchamiać:

- wszystkie wtryskiwacze równocześnie (rys. 3a),
- parami, trójkami itd. (rys. 3b),
- każdy z wtryskiwaczy oddzielnie, ustalając początek otwarcia każdego z nich w taki sposób, iż pokrywa się on z suwem ssania w każdym z cylindrów (rys. 3c).

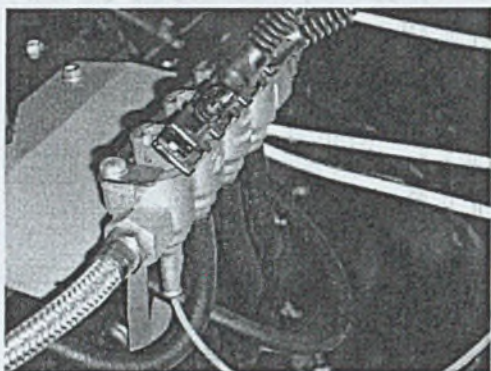
W przypadku ostatnim system taki nazywamy wtryskiem sekwencyjnym, który w razie konieczności, spowodowanej np. zmianą obciążenia silnika, zapewnia możliwość szybkich



Rys. 3. Połączenia wtryskiwaczy, przy sterowaniu jednym stopniem mocy (a), dwoma stopniami mocy (b), czterema stopniami mocy (c)

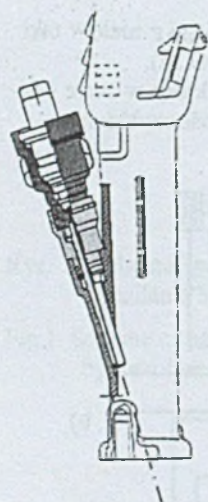
Fig. 3. Full group (a), dual port (b) and four port (sequential) injectors controlling

zmian czasu otwarcia wtryskiwacza. W systemy te wyposażane są wszystkie pojazdy spełniające wymogi OBD.



Rys. 4. Listwa z wtryskiwaczami gazu skroplonego zabudowana na silniku badawczym z silnikiem gazowym Perkins (System Metafuel firmy Tartarini Auto)

Fig. 4. Fuel rail for liquid LPG on Perkins gas engine



Rys. 5. Jeden ze sposobów zabudowy wtryskiwacza gazu skroplonego w kolektorze dolotowym silnika

Fig. 5. Example of liquid LPG injector mounting on manifold

przeznaczonych dla benzyny wydajnością i parametrami elektrycznymi. Ponieważ wtryskiwacze te

- wytwarzane są w niewielkich ilościach,
- wymagają odpowiedniej zabudowy,

Wtryskiwacze stosowane w układach wtrysku paliwa benzynowego charakteryzuje nie tylko ich konstrukcja, ale również znaczna ilość parametrów, tak elektrycznych jak i tych, które związane są z dynamiką przepływu. W praktyce eksploatacyjnej najczęściej określone są jednak dwa parametry, rezystancja oraz wydajność przy stałej wartości ciśnienia. Wydajność wtryskiwaczy produkowanych przez firmy takie jak: Bosch, Nippon Denso, Lucas, Weber kształtuje się w zakresie od 133 do 500 cm³/min, przy ciśnieniu zasilania 300 kPa. Jeżeli znana jest katalogowa wartość wydajności wtryskiwacza, to korzystając z prostej zależności możliwe jest określenie maksymalnej mocy, jaką możemy pozyskać z jednego cylindra lub znając moc silnika obliczyć niezbędną wydajność wtryskiwacza. Zależność, na podstawie której można obliczyć moc jednego cylindra, przedstawiono poniżej:

$$N \approx \text{wydajność} / 3,72 \quad [\text{kW}], \quad (1)$$

przy czym wydajność wtryskiwaczy jest wyrażona w cm³/min.

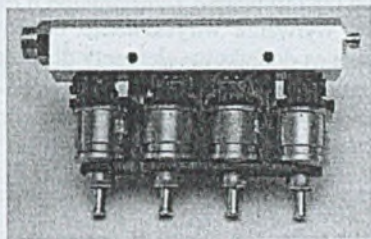
Możliwość szybkiego określenia przybliżonej wydajności wtryskiwacza jest niezbędna w przypadku konfigurowania układu zasilania wtryskowego paliwem gazowym.

Wtryskiwacze paliwa gazowego

Wtryskiwacze wykorzystywane przez producentów pojazdów przystosowanych fabrycznie do zasilania paliwami gazowymi są wytwarzane przez znane firmy, takie jak Bosch czy Weber. Ich konstrukcja zewnętrznie nie odbiega wyglądem od wtryskiwaczy stosowanych dla paliwa benzynowego, różnią się jednak od wtryskiwaczy

- mają określoną wydajność, odpowiadającą najczęściej zapotrzebowaniu na paliwo gazowe przez ściśle określoną jednostkę napędową, a aktualne koszty ich wytwarzania są znaczne, producenci systemów zasilania paliwami gazowymi zdecydowali się na opracowanie własnych konstrukcji. Celem tej decyzji było wytworzenie wtryskiwacza „uniwersalnego”, stwarzającego możliwość stosowania go w silnikach o różnych pojemnościach skokowych i mocach, jak również obniżenie kosztu ich wytwarzania, a tym samym kosztu kompletnej instalacji. Kilka najbardziej znanych rozwiązań przedstawiono na rys. od 4 do 6.

Wydajności tych wtryskiwaczy nie są określane jednoznacznie, gdyż parametr ten jest najczęściej wielkością odmienną od przyjętej standardowo, nie określa się również ciśnienia i temperatury czynnika użytego do pomiaru jak i jego rodzaju.

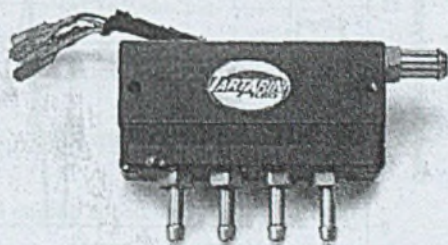
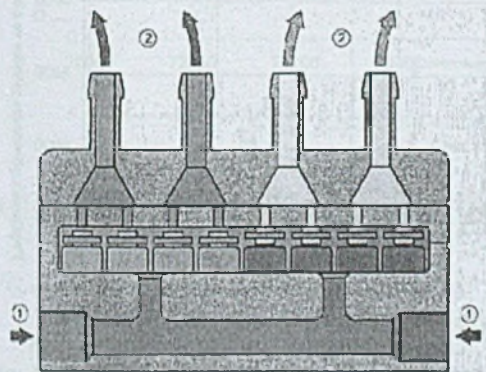


Rys. 6. Wtryskiwacz gazu odparowanego firmy Keihin oraz listwa paliwowa z zabudowanymi trzema wtryskiwaczami

Fig. 6. Keihin injector and fuel rail for gaseous fuel

ciśnieniem gazu i ciśnieniem w kolektorze dolotowym $\Delta p = 0,8$ bar.

Firma Keihin określa wydajność dla trzech typów produkowanych wtryskiwaczy w zależności od czasu ich otwarcia. Wydajność ta dla czasu otwarcia 20 ms zmienia się w zakresie od 32 do 50 cm³, dla standardowego cyklu pracy. Nie określa jednak czynnika, jego ciśnienia, jak i wypełnienia impulsu sterującego. Firma AG Autogassystem, określa wydajność wtryskiwacza dla tego samego czasu otwarcia na poziomie 44mg, przy różnicy ciśnień pomiędzy



Rys. 7. Schematyczny rysunek listwy wtryskiwaczy gazu odparowanego firmy Tartarini Auto oraz widok listwy prototypowej

Fig. 7. Scheme and view of Tartarini Auto fuel rail for gaseous fuels

Badania kilku egzemplarzy wtryskiwaczy znanej firmy, przeprowadzone w Laboratoriach Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej, wykazały, że wydajność wtryskiwaczy przy czasie otwarcia 15 ms, wypełnieniu impulsu 80%, ciśnieniu mieszaniny propanu butanu (o składzie wg atestu, odpowiednio ~30/70 i temperaturze 60°C) wynoszącym 100 kPa, wynosi 26 mg. Liniowość charakterystyki uzyskano dla czasu otwarcia wtryskiwacza w zakresie od 2,7 do 15 ms. Ponadto charakterystyki badanych wtryskiwaczy nie różniły się znacząco od siebie. Uży-

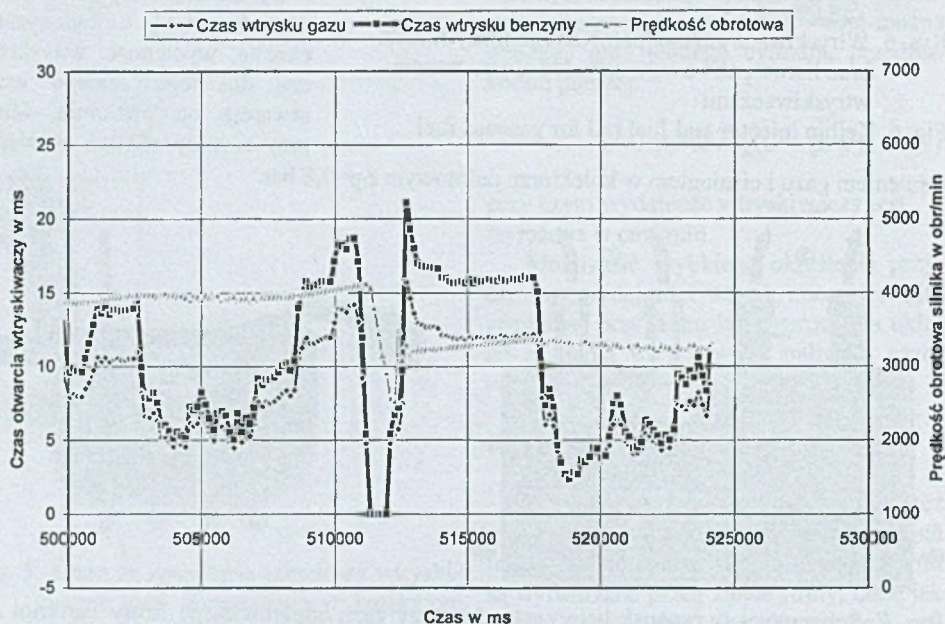
skane różnice wydajności nie przekraczały bowiem 1%. Zwiększając czas otwarcia wtryskiwaczy powyżej 16 ms wydatek wtryskiwacza wzrastał nadmiernie, nie zapewniając liniowości jego charakterystyki. Ponadto w zakresie czasu otwarcia od 1,8 do 2,4 ms rozrzut wartości wydajności badanych wtryskiwaczy wynosił 11%.

Dla praktyki montażowej bardzo ważna jest wiedza o tym, że:

- wydajność wtryskiwacza gazowego jest dobrana przez producenta w taki sposób, aby była zachowana uniwersalność jego stosowania,
- wydajność wtryskiwacza zależy nie tylko od jego parametrów geometrycznych, tj. czynnej powierzchni, przez którą przepływa gaz, ale również od ciśnienia gazu i czasu otwarcia,
- nieliniowość charakterystyki dla małych i dużych czasów otwarcia wtryskiwacza będzie w zasadniczy sposób wpływała na poprawność pracy silnika na biegu jałowym oraz przy jego maksymalnych obciążeniach.

Ponieważ niewielu producentów wytwarza wtryskiwacze o różnych wydajnościach w praktyce montażowej wykorzystywane są dodatkowe elementy dławiące przepływ gazu, takie jak dysze o różnych średnicach wewnętrznych (najczęściej od 1,8 do 4 mm). Pozwalają one na skorygowanie charakterystyki wtryskiwacza, zmniejszając jego wydajność i zachowując liniowość jego charakterystyki.

Czas otwarcia wtryskiwacza paliwa gazowego



Rys. 8. Fragment przebiegu zmian czasu otwarcia wtryskiwaczy i prędkości obrotowej silnika w trakcie badań

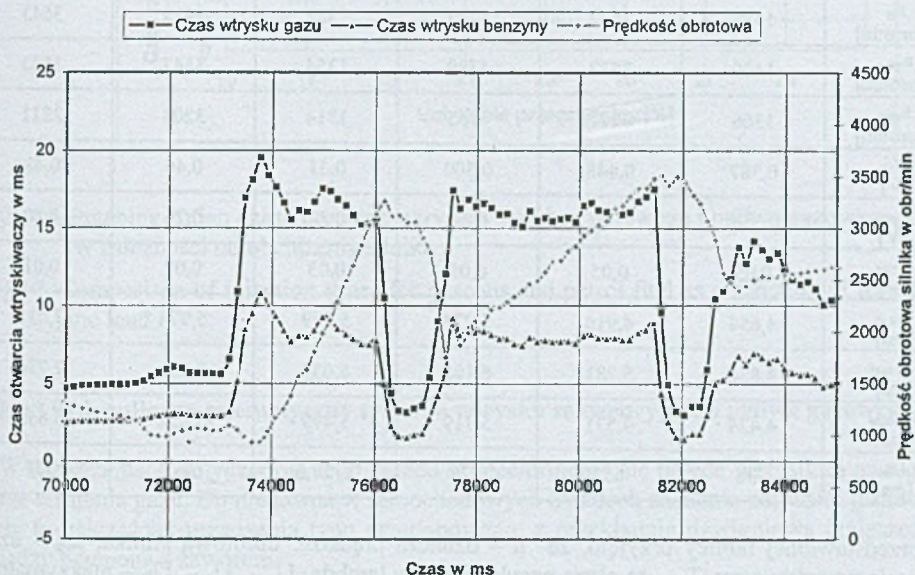
Fig. 8. Injection time and engine speed as a function of time for tested engine (Honda 1.4)

Zagadnienie doboru czasu otwarcia wtryskiwacza paliwa gazowego można podsumować jednym zdaniem. Dawka paliwa gazowego wtrysnięta przez wtryskiwacz powinna odpowiadać

dać aktualnemu zapotrzebowaniu na paliwo przez silnik. Biorąc jednak pod uwagę przedstawione informacje jak i najczęściej powtarzane twierdzenie, „że czas otwarcia wtryskiwacza paliwa gazowego powinien być większy od czasu otwarcia wtryskiwacza benzynowego”, zagadnienie to wymaga krótkiego komentarza odnoszącego się tak do charakterystyki wtryskiwacza jak i ciśnienia i temperatury gazu w listwie wtryskiwaczy.

Dobierając wtryskiwacz paliwa gazowego należy zapewnić dawkowanie odpowiadające zapotrzebowaniu silnika na paliwo w całym zakresie jego pracy, a więc takie czasy jego otwarcia, które są położone na liniowej części charakterystyki. Spełnienie tego warunku związane będzie zarówno z uwzględnieniem ciśnienia paliwa gazowego, jak i prawidłowym doborem wtryskiwacza lub dyszy dławiącej.

Na rysunkach 8 i 9 przedstawiono, w jaki sposób ciśnienie paliwa gazowego wpływa na czas otwarcia wtryskiwacza. Przebiegi zarejestrowano w trakcie badań drogowych samochodu osobowego z silnikiem o pojemności $1,6 \text{ dm}^3$.



Rys. 9. Fragment przebiegu zmian czasów otwarcia wtryskiwaczy i prędkości obrotowej silnika w czasie badań

Fig. 9. Injection time of gaseous and petrol fuel and engine speed as a function of time

Pierwszy z rysunków przedstawia przebieg czasu otwarcia wtryskiwaczy paliwa gazowego, którego wartości są wyższe od charakterystycznych dla wtryskiwacza benzynowego. Niemniej widoczna jest prawidłowość przesunięcia czasowego obu przebiegów o pewną stałą wartość. Drugi rysunek prezentuje natomiast przypadek odwrotny, czas otwarcia wtryskiwaczy gazowych jest większy od czasu otwarcia wtryskiwaczy benzynowych, a różnica pomiędzy zarejestrowanymi wartościami ma również charakter stałego przesunięcia czasowego.

W obu przypadkach widoczna jest zasada działania urządzenia przełączającego-korygującego, które ustala czas otwarcia wtryskiwaczy gazowych tak, aby:

- silnik otrzymał dawkę paliwa wynikającą z aktualnego zapotrzebowania,
- dawka paliwa dostarczona do silnika odpowiadała właściwej wartości A/F.

Znacznie korzystniej różnice w czasie wtrysku paliwa benzynowego i gazowego prezentują wyniki uzyskane na hamowni podwoziowej, zestawione w tabl. 1 i zilustrowane na rys. 10. Wyniki te dotyczą samochodu Honda Civic 1.4.

Tablica 1

Wybrane wyniki badań samochodu Honda Civic 1.4 na hamowni podwoziowej Bosch FLA 203 (zestawiono na podstawie [L.4])

	Zasilanie benzyną			Zasilanie gazem, LPG		
	Uchylenie przepustnicy			Uchylenie przepustnicy		
	α_p [%]			α_p [%]		
	18	25	30	18	25	30
Moc [kW]	4,5	11	21,3	4,3	10,7	20,3
V [km/h]	28,7	76	103,4	28,1	75,2	97,9
n_{sr} [obr/min]	1388	3622	4769	1322	3429	3643
n_{max} [obr/min]	1400	3832	4789	1354	3547	3883
n_{min} [obr/min]	1366	3277	4755	1314	3203	2811
U_{sr} [V]	0,387	0,448	0,500	0,51	0,46	0,48
U_{max} [V]	0,82	0,86	0,84	0,80	0,76	0,80
U_{min} [V]	0,05	0,05	0,05	0,03	0,07	0,01
$t_{wtr\ sr}$ [ms]	4,654	4,916	5,975	5,779	5,974	7,031
$t_{wtr\ max}$ [ms]	4,856	5,281	6,195	6,036	6,131	7,736
$t_{wtr\ min}$ [ms]	4,424	4,531	5,719	5,499	5,852	5,852
T_{osc} [ms]	736	659	676	1127,6	766,1	722

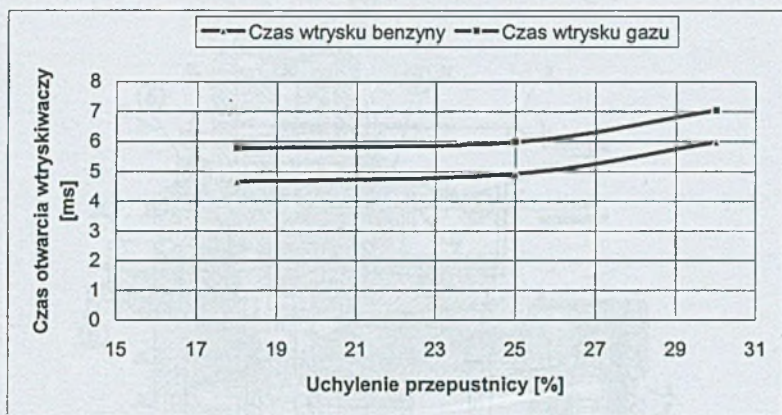
W przedstawionej tablicy przyjęto, że n – oznacza prędkość obrotową silnika, t_{wtr} – czas otwarcia wtryskiwacza, T_{osc} – to okres oscylacji sondy lambda, U_{max} , U_{min} , U_{sr} – maksymalne, minime i średnie napięcie czujnika tlenu.

Zaprezentowane powyżej wyniki pozwalają nie tylko na porównanie czasów wtrysku, mocy rozwijanej na kołach badanego samochodu, ale również na zorientowanie się, jakie zmiany zachodzą w pracy sondy lambda w zależności od paliwa zasilającego silnik badanego samochodu.

Przedstawiony na rysunku 10 przebieg zmian czasu otwarcia wtryskiwacza benzynowego i paliwa gazowego w zależności od obciążenia silnika uwiadcza proporcjonalność przysunięcia charakterystyki przez urządzenie przełączająco-korygujące. To wzajemne przesunięcie charakterystyk jak wykazano powyżej może odbywać się zarówno w kierunku zwiększenia, jak i skrócenia czasu otwarcia wtryskiwacza paliwa gazowego względem czasu otwarcia wtryskiwacza benzynowego. W praktyce znacznie korzystniejsze jest zwiększenie czasu otwarcia wtryskiwacza paliwa gazowego względem wtryskiwacza benzynowego, gdyż zapewnia pracę wtryskiwacza na liniowej części charakterystyki wydajności. Dlatego też w przypadku stwierdzenia, że uzyskane po adaptacji samochodu do zasilania paliwem gazowym wartości czasu wtrysku są mniejsze od czasu wtrysku benzyny, należy:

- 1 - sprawdzić ciśnienie gazu w listwie wtryskiwaczy,
- 2 - wymienić wtryskiwacze na wtryskiwacze o mniejszej wydajności lub zastosować dysze dławiące.

Działania te powinny zapewnić właściwą relację pomiędzy czasami wtrysku obu paliw.



Rys. 10. Przebieg zmian czasu otwarcia wtryskiwacza benzynowego i paliwa gazowego, LPG w zależności od obciążenia silnika

Fig.10. Comparison of injection times for gaseous and petrol fuel as a function of tested engine load

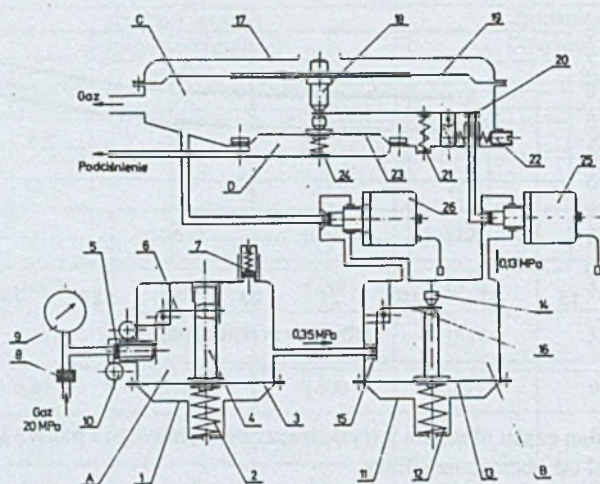
Układ hydrauliczno-pneumatyczny systemu wtrysku sekuencyjnego paliwa gazowego

W rozważaniach dotyczących tego układu skoncentrujemy się przede wszystkim na regulacji ciśnienia gazu. Do niedawna w samochodowych układach zasilania paliwami gazowymi były to najczęściej urządzenia typu przeponowego, z przekładnią dźwigniową umieszczoną między przeponą a zaworem.

W układach zasilania skroploną mieszaniną propanu i butanu stosowane są z reguły reduktory dwustopniowe, natomiast w instalacjach sprężonego gazu ziemnego, wobec znacznego zakresu zmian ciśnienia gazu w butlach, występującego w czasie eksploatacji pojazdu, stosowane są reduktory trójstopniowe. Głównym zadaniem tego urządzenia jest redukcja ciśnienia gazu przechowywanego w butlach lub zbiornikach, dostosowywanie ilości gazu opuszczającego reduktor do wymagań wynikających ze zmian obciążenia i prędkości obrotowej silnika, jak również samoczynne odcięcie wypływu gazu z chwilą zatrzymania silnika. Wszystkie współcześnie produkowane reduktory są wyposażone w wymienniki ciepła, stanowiące wspólną całość z komorami redukcijnymi. Wymienniki te spełniają funkcję odparowania gazu skroplonego. Natomiast w przypadku zasilania gazem ziemnym nie dopuszczają do nadmiernego ochłodzenia komory redukcyjnej pierwszego stopnia. Wykorzystuje się w tym celu ciepło zawarte w cieczy chłodzącej silnik.

- W przypadku regulacji przeponowo-dźwigniowej o czułości regulatora decydują powierzchnia membrany i przełożenie dźwigni sterującej zaworem, ustalające ilość gazu wypływającego z regulatora. Zmniejszenie powierzchni tej membrany powoduje znaczne obniżenie czułości regulatora, przy małych podciśnieniach w kolektorze ssącym, stąd też konieczne jest wprowadzenie dodatkowego kanału umożliwiającego wystarczającą ilośćowo i

stabilny wypływ gazu, zapewniający pracę silnika na biegu jałowym. Wprowadzenie nowych systemów zasilania wtryskowego paliwem benzynowym jak i zwiększenie ilości urządzeń wypełniających komorę silnika uniemożliwiających zabudowę dużego urządzenia, przyczyniło się w znaczącym stopniu do zmniejszenia gabarytów tych urządzeń jak i skorygowania ich charakterystyk.



Rys. 11. Schemat funkcjonalny trójstopniowego regulatora przeponowo-dźwigniowego skonstruowanego i wykonanego na Wydziale Transportu Politechniki Śląskiej w roku 1986

A- komora pierwszego stopnia, B- komora drugiego stopnia, C- komora trzeciego stopnia, D- komora odciążająca, 1, 11, 17- pokrywa, 2, 12, 21, 24- sprężyna, 3, 13, 23 - membrana, 4, 14, 18- trzpień, 5, 15, 20 - zawór dławiący, 6, 16 - dźwignia kątowa, 7- zawór bezpieczeństwa, 8- filtr gazu, 9- manometr, 10- wymiennik ciepła, 22- śruba regulacyjna napięcia sprężyny, 25, 26 zawory elektromagnetyczne

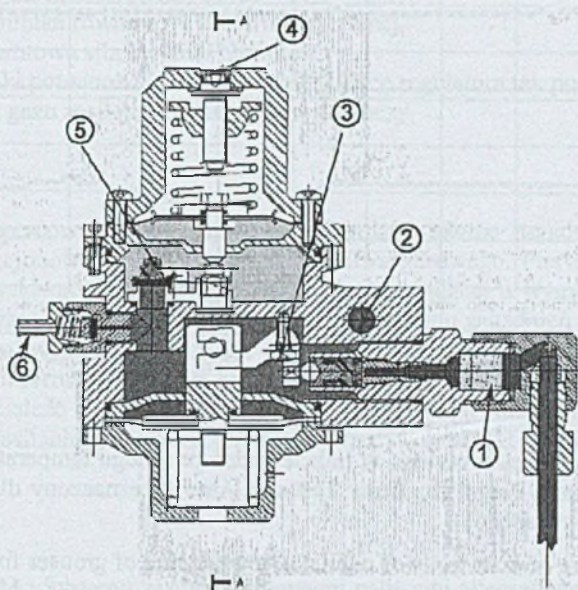
Fig. 11. Scheme of three stage diaphragm-lever regulator made in The Silesian University of Technology in 1986

W konsekwencji wprowadzone przez producentów zmiany przyczyniły się do:

- zwiększenia ciśnienia redukcji,
- wprowadzenia układów zapewniających stabilny wypływ gazu dla silnika pracującego na biegu jałowym,
- zmniejszenia średnicy zewnętrznej z około 15-18 cm do 10 cm.

Systemy wtrysku paliwa gazowego stosowane obecnie coraz częściej zmieniły w zasadniczym stopniu funkcję tego urządzenia, gdyż ich działanie zostało zbliżone do działania regulatora ciśnienia w układzie zasilania paliwem benzynowym. Wzrosły ciśnienia redukcji i zakres ich zmian, a w pracy tego urządzenia najbardziej istotną funkcją stało się zapewnienie stałego ciśnienia (zasilanie gazem skroplonym) lub stałej różnicy ciśnienia pomiędzy ciśnieniem gazu a ciśnieniem w kolektorze dolotowym (zasilanie gazem odparowanym lub gazem ziemnym). Realizację funkcji utrzymania stałej różnicy ciśnień w odniesieniu do zasilania wtryskowego gazem odparowanym przedstawia rys. 13. Uzyskanie tego zupełnie odmiennego celu, jaki postawiono regulatorom w tych systemach zasilania, zdecydowało o tym, że część producentów wykorzystwała dotychczas produkowane urządzenia, ograniczając jedynie ilość stopni redukcji do jednego, w przypadku skroplonej mieszaniny propanu butanu i dwóch, w

przypadku sprężonego gazu ziemnego. Inni producenci przygotowali natomiast nowe rozwiązania konstrukcyjne tych urządzeń, typu przeponowo-dźwigniowego lub przeponowo-tłoczkowego, znane i stosowane od wielu lat w praktyce przemysłowej.



Rys. 12. Przekrój przez współczesny dwustopniowy regulator przeponowo-dźwigniowy przeznaczony do zasilania wtryskowego gazem ziemnym (firma Tartarini Auto)

- 1- filtr, 2- kanał cieczy chłodzącej, 3- komora pierwszego stopnia, 4 – śruba regulacyjna, ustalająca naprężenie sprężyny drugiego stopnia, 5- komora drugiego stopnia, 6- zawór bezpieczeństwa

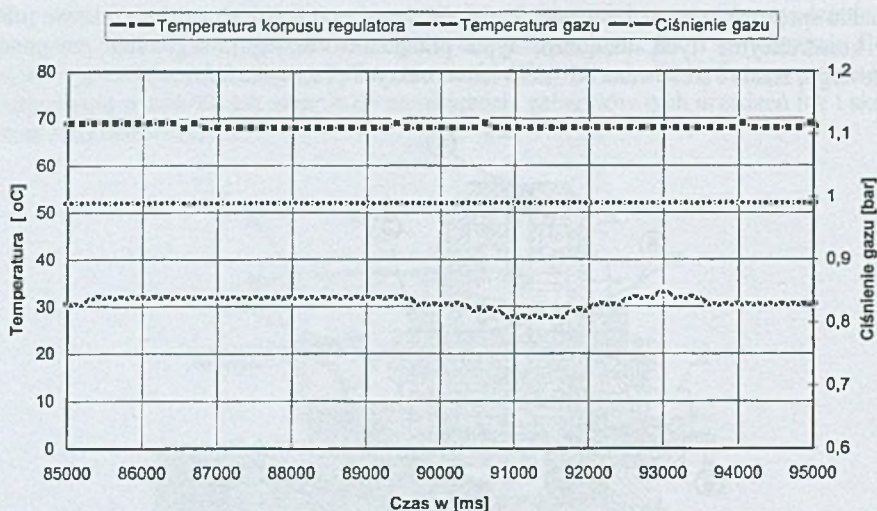
Fig. 12. Suction of Tartarini Auto two stages regulator

Nowe rozwiązania nie tylko w znacznym stopniu zmniejszyły gabaryty tych urządzeń, ale pozwoliły również na:

- uzyskanie liniowych charakterystyk ciśnienia w wymaganym zakresie pracy,
- zmniejszenie do minimum wpływu zmian ciśnienia gazu dopływającego do reduktora na ciśnienie w komorze regulacyjnej.

Zmniejszenie gabarytów regulatora ciśnienia stosowanych w instalacjach umożliwiających zasilanie skroploną mieszaniną propanu butanu pociągnęło za sobą również zmniejszenie gabarytów zespolonego z nim parownika. Zmiana ta nie wpływa negatywnie na warunki wymiany ciepła, szczególnie w warunkach niskich temperatur otoczenia. Wynika to między innymi z następujących faktów:

- dla każdego parownika w fazie jego projektowania przeprowadza się bilans cieplny,
- prototyp regulatora wraz z parownikiem jest poddawany badaniom stanowiskowym w temperaturach otoczenia od -20 do 120°C ; w tej fazie badań na podstawie uzyskanych wyników badań przeprowadzane są również obliczenia spadku temperatury na parowniku,
- prototyp poddawany jest również badaniom stanowiskowym na hamowni podwozowej oraz badaniom eksploatacyjnym.



Rys. 13. Fragment zarejestrowanego w trakcie badań przebiegu temperatur i ciśnienia gazu odparowanego (regulator firmy Tartarini Auto przeznaczony dla systemu wtrysku gazu odparowanego)

Fig. 13. Temperature of main body of regulator, temperature of grousers fuel and gas pressure as a function of time

W badaniach, a przede wszystkim w obliczeniach zmienny skład mieszaniny propanu butanu uwzględniany jest poprzez wskaźnik Wobbe, W_o obliczany z następującej zależności:

$$W_o = \frac{Q_H}{\sqrt{\rho}}, \quad (2)$$

gdzie : Q_H - Wartość opałowa, ρ - gęstość paliwa.

Rozważając proces wymiany ciepła w tym urządzeniu należy pamiętać o tym, że w przypadku mieszaniny propanu butanu jej udział procentowy w ładunku zasysanym przez silnik to jedynie około 4%, natomiast w przypadku gazu ziemnego 6%. W konsekwencji o temperaturze ładunku decyduje temperatura mieszającego się z gazem powietrza. Wpływ temperatury gazu na temperaturę mieszaniny powietrzno-gazowej prześledzono w trakcie badań prowadzonych na Wydziale Transportu Politechniki Śląskiej, a przykładowe wyniki zestawiono w [L.4]. Wskazują one, że temperatura gazu opuszczającego regulator zależy w niewielkim stopniu od obciążenia silnika, a obniżanie temperatury gazu wpływa na poprawę takich parametrów silnika, jak jego moc i moment obrotowy (dla ΔT określającego spadek temperatury cieczy chłodzącej pomiędzy wlotem i wylotem parownika uzyskano maksymalną wartość równą 6 K, dla maksymalnej mocy na kołach 85 kW, w temperaturze -20°C).

Analizując to zagadnienie od strony praktycznej, wielu doświadczonym montażystom znane są fakty związane z:

- koniecznością dławienia przepływu cieczy chłodzącej przez parownik w celu obniżenia zbyt wysokiej temperatury gazu,
- tworzeniem się korków lodowych lub oszronieniem regulatora w wyniku zbyt małej cyrkulacji cieczy chłodzącej lub zapowietrzenia się komory parownika.

Na rysunku 13 przedstawiono wybrane wyniki pomiarów temperatury korpusu regulatora i temperatury odparowanego gazu w czasie badań drogowych, które przeprowadzono w następujących warunkach:

temperatura otoczenia równa -10°C ,

obciążenie silnika równe 75% mocy maksymalnej,

prędkość obrotowa silnika 4500 obr/min.

Uzyskane wyniki potwierdzają bardzo stabilną pracę regulatora tak pod względem temperatury jak i ciśnienia gazu zasilającego listwę wtryskiwaczy.

Podsumowanie

Niniejsze opracowanie wskazuje dwa najbardziej istotne zagadnienia warunkujące prawidłowość funkcjonowania systemu wtrysku paliwa gazowego. Pierwsze z nich dotyczy czasu otwarcia wtryskiwacza, drugie wymiany ciepła następującej w wymienniku ciepła regulatora. Omówione zagadnienia powinny pomóc w zrozumieniu zagadnień dotyczących zasilania wtryskowego paliwami gazowymi, jak i uprościć procedury diagnostyczne omawianych systemów. Więcej informacji na temat każdego z systemów zasilania wtryskowego paliwem gazowym można znaleźć w opracowaniu przygotowanym na Wydziale Transportu zatytułowanym „Systemy zasilania gazowymi paliwami alternatywnymi” [L.1].

Literatura

1. Flekiewicz M.: Systemy zasilania gazowymi paliwami alternatywnymi, Katowice Poradnik Techniczny Nr 1, Auto Moto Serwis 2002.
2. Flekiewicz M.: Systemy zasilania paliwem gazowym w samochodach ciężarowych i autobusach. Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji 1999, VIII, Nr 66.
3. Lis M.: Określenie wpływu zasilania paliwami gazowymi na pracę układów adaptacji czasu otwarcia wtryskiwacza. Praca dyplomowa, Wydział Transportu Politechniki Śląskiej, Katowice 2003.
4. Zyzański R.: Wpływ temperatury gazu na temperaturę mieszaniny powietrzno-gazowej i moc użyteczną silnika gazowego Perkins AD 3.152G. Praca dyplomowa, Wydział Transportu Politechniki Śląskiej, Katowice 2000.
5. Gianpaolo Riva. Il controllo di motore della Multipla Blupower e Bipower. Auto Tecnica. Ottobre 2001.
6. Opracowania własne i raporty badawcze Katedry Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej z lat 1984-2000
7. Dykier M., Flekiewicz M.: Zasilanie wtryskowe paliwami gazowymi. KNT Pojazd i Środowisko, Radom 1999.
8. Wendker M. Adaptacyjne sterowanie wtryskiem benzyny w silniku samochodowym. PWN, Warszawa 2000.
9. Opracowania własne i raporty badawcze Katedry Budowy Pojazdów Samochodowych Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej z lat 1984-2003.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Sławomir Luft