

Grzegorz KUBICA

OKREŚLENIE CZASU OTWARCIA WTRYSKIWACZA I BADANIE SPRAWNOŚCI TERMICZNEJ SILNIKA GAZOWEGO (LPG)

Streszczenie. W niniejszym opracowaniu przedstawiono metodykę określenia czasu otwarcia wtryskiwaczy w wielopunktowym układzie wtryskowym zasilającym silnik gazowy mieszaniną propanu i butanu w fazie ciekłej (LPG).

Zasadniczym celem opracowania było określenie wstępnej mapy czasu otwarcia wtryskiwaczy w zależności od prędkości obrotowej i obciążenia silnika. Działania te są jednym z końcowych etapów projektu badawczego, którego głównym zadaniem jest zastosowanie układu wtryskowego do zasilania silnika gazowego.

Ponadto, podjęto również próbę oceny sprawności cieplnej badanego silnika w oparciu o wyniki badań hamownianych. Obiektem badań jest silnik gazowy PERKINS AD3.152G o pojemności skokowej 2502 cm³.

AN INVESTIGATION OF INJECTORS TIMING AND TERMICAL EFFICIENCY IN GAS ENGINE (LPG)

Summary. The way of appointing injectors timing in MPI system is presented in this paper. Tested gas engine, PERKINS AD3.152G is powered by LPG. The liquid phase of fuel is injected to the inlet manifold pipes. The main aim of these analysis is creating of injectors timing map depended on speed rotation and throttle variable opening ratio.

The presented investigation is the one of the final stages in project of practical application an injection system in gas engines.

Moreover, the thermal efficiency of combustion in tested engine was appointed on the base on the previous bench test results.

1. WPROWADZENIE

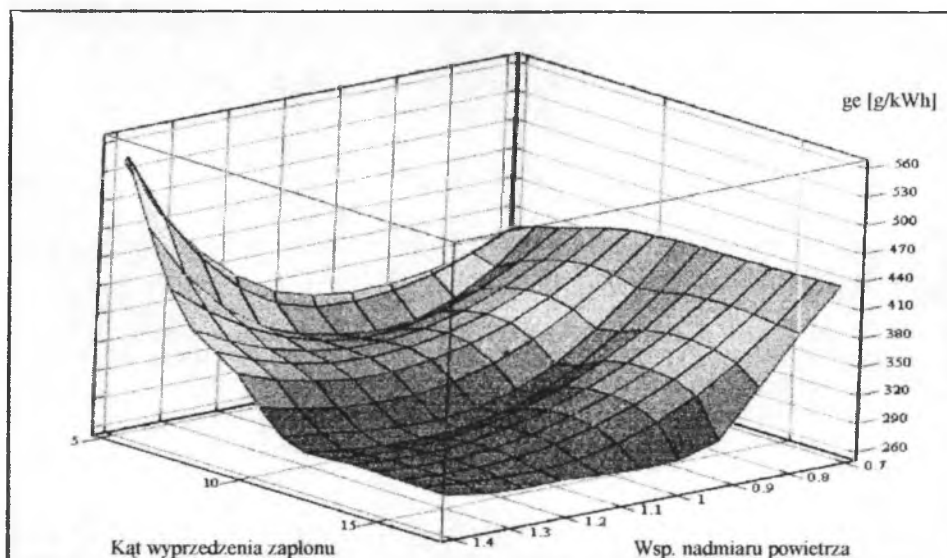
Przygotowując badanie silnika gazowego zasilanego układem wtryskowym na hamowni silnikowej, należy wcześniej określić charakterystykę czasu otwarcia wtryskiwaczy w zależności od prędkości obrotowej i obciążenia silnika, określanego między innymi stopniem otwarcia przepustnicy.

Tworzenie mapy czasu otwarcia wtryskiwaczy przebiegało dwuetapowo. W pierwszym etapie obliczono wymagany czas otwarcia wtryskiwaczy na podstawie wyników wcześniejszych badań hamownianych. Pozwoliło to na określenie orientacyjnych nastaw

zapewniających pracę silnika zasilanego wtryskowo. Precyzyjną korektę nastaw przewidziano wkrótce, podczas badań na hamowni w oparciu o pomiar zużycia paliwa, poziom składników toksycznych w spalinach oraz stałą kontrolę składu mieszanki.

2. ZUŻYCIE PALIWA BADANEGO SILNIKA

Zużycie paliwa gazowego mierzono masowo podczas badania silnika na hamowni silnikowej. Jednostkę napędową wyposażono w klasyczny układ zasilania. W trakcie badań określono skład mieszanki i składników toksycznych spalin oraz mierzono temperaturę spalin w kilku punktach układu wylotowego. Badania prowadzono dla pełnego zakresu prędkości obrotowej silnika; dla różnych kątów otwarcia przepustnicy. Mapa jednostkowego zużycia paliwa g_e w zależności od współczynnika nadmiaru powietrza λ i kąta wyprzedzenia zapłonu kWz została przedstawiona na wykresie (rys. 1) [1].



Rys. 1. Wpływ parametrów regulacyjnych na jednostkowe zużycie paliwa
Fig. 1. An influence of regulation parameters on unitary fuel consumption

3. OPRACOWANIE MAPY NASTAW UKŁADU WTRYSKOWEGO

3.1. Dawka paliwa przypadająca na jeden cykl/cylinder

W celu określenia wymaganego czasu wtrysku obliczono wielkość dawki paliwa przypadającą na jeden cykl dla jednego cylindra. Wykorzystano do tego zużycie gazu, które określono podczas badań (tab. 1) oraz zależność matematyczną (1). Obliczoną dawkę paliwa B , przypadającą na 1 cykl dla jednego cylindra, przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1

Zmierzone godzinowe zużycie paliwa G_h [g/h]

Prędkość obr[obr/min]	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Otw. przepustnicy						
25%	2660	2970	3210	3750	4060	4390
50%	x	3630	4200	5120	6450	7260
75%	x	x	6260	6540	6900	7710

$$B = \frac{G_h}{30 * n * i} [g] \quad (1)$$

gdzie:

n - prędkość obrotowa silnika [obr/min],

i - liczba cylindrów.

Tabela 2

Dawka paliwa dla jednego cylindra na jeden cykl pracy B [g]

Prędkość obr[obr/min]	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Otw. przepustnicy						
25%	0,0296	0,0275	0,0255	0,0260	0,0251	0,0244
50%	x	0,0336	0,0333	0,0356	0,0398	0,0403
75%	x	x	0,0497	0,0454	0,0426	0,0428

3.2. Wymagany czas otwarcia wtryskiwacza

W zabudowanym na stanowisku układzie wtryskowym zastosowano wtryskiwacze o wydatku 4 g/s. Paliwo zgodnie z przyjętymi założeniami jest wtryskiwane w fazie ciekłej do kanałów dolotowych w głowicy silnika. Ponadto układ wyposażono w czujnik kontrolujący ciśnienie zasilania w listwie wtryskiwaczy, co zapewnia uzyskanie ciągłości zasilania fazą ciekłą pomimo wzrostu temperatury silnika.

Czas t_w potrzebny na wtrysnięcie obliczonej, jednostkowej dawki paliwa **B** określono w oparciu o następującą zależność:

$$t_w = \frac{10^3 * B}{\dot{m}_w} [ms] \quad (2)$$

gdzie:

 $\dot{m}_w = 4$ [g/s] - maksymalny wydatek dobranego wtryskiwacza

Uzyskane wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 3.

Tabela 3

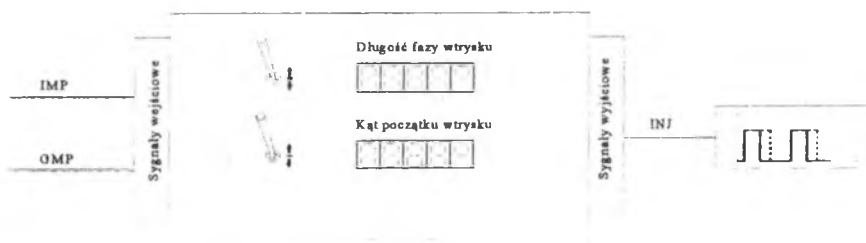
Wymagany czas wtryskiwacza t_w [ms]

Prędkość obr[obr/min]	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Otw. przepustnicy						
25%	7,38	6,87	6,36	6,51	6,26	6,09
50%	x	8,40	8,33	8,88	9,95	10,08
75%	x	x	12,42	11,35	10,64	10,70

3.3. Weryfikacja wyznaczonych nastaw początku i długości fazy wtrysku

Praktyczna weryfikacja i zarazem optymalizacja czasu otwarcia wtryskiwaczy będzie przeprowadzona na stanowisku hamownianym. Specjalny sterownik daje możliwość bezpośredniego sterowania pracą wtryskiwaczy poprzez korygowanie długości fazy otwarcia wtryskiwacza i regulowanie kąta początku wtrysku z dokładnością $0,5^\circ$ OWK.

Sterownik ten na podstawie impulsów znacznika położenia tłoka i prędkości obrotowej generuje odpowiednią sekwencję sygnałów sterujących pracą wtryskiwaczy. Na płycie czołowej sterownika znajduje się panel sterujący generowanymi impulsami (rys.2).



Rys. 2. Płyta czołowa sterownika układu wtryskowego LPG

Fig. 2. The interface of steering box of LPG injection system

Określenie skorygowanej mapy nastaw układu wtryskowego jest niezbędna dla dalszej fazy badań, których celem jest określenie wpływu zmiany układu zasilania na sprawność procesów zachodzących w cylindrze silnika gazowego.

4. BADANIE SPRAWNOŚCI TERMICZNEJ SILNIKA GAZOWEGO

Sprawność termiczna efektywna η_{te} jest stosunkiem mocy użytecznej silnika N_e do energii zasilającej E_d [2].

$$\eta_{te} = \frac{N_e}{E_d} \quad (3)$$

Dla badanej jednostki jest możliwe oszacowanie sprawności efektywnej na podstawie tych wyników badań, podczas których silnik był wyposażony w klasyczny układ zasilania [1].

Moc efektywną silnika przedstawia tabela 4.

Tabela 4

Moc efektywna silnika N_e [kW] zasilanego LPG

Prędkość obr[obr/min]	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Otw. przepustnicy						
25%	7,74	9,92	11,96	10,61	9,36	7,39
50%	x	17,86	20,93	22,41	24,54	24,62
75%	x	x	21,69	24,45	26,9	29,54

4.1. Energia zasilająca dostarczona do silnika

Energię dostarczoną do silnika określa iloczyn zużycia paliwa G_h i jego wartości opałowej W_d .

Wartość opałową paliwa, mieszaniny propanu-butanu (w udziałach 50/50), określono na poziomie $W_d = 47706 \text{ kJ/kg}$.

$$E_d = \frac{G_h * W_d}{3600} [kW] \quad (4)$$

W tabeli nr 5 przedstawiono obliczone, na podstawie powyższej zależności, porcje energii dostarczonej do silnika.

Tabela 5

Energia dostarczona do silnika E_d [kW]

Prędkość obr[obr/min]	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Otw. przepustnicy						
25%	35,249	39,357	42,538	49,694	53,802	58,175
50%	x	48,104	55,657	67,849	85,473	96,207
75%	x	x	82,955	86,666	91,437	102,170

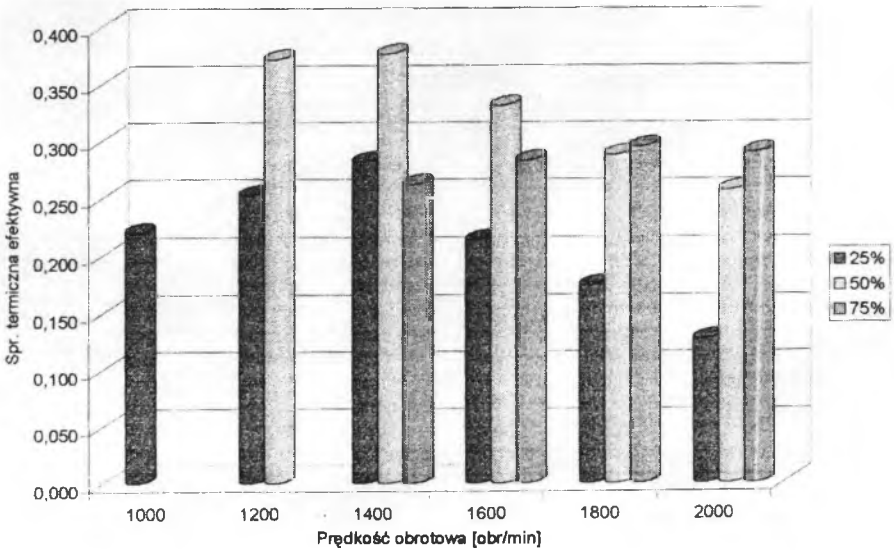
4.2. Sprawność termiczna efektywna badanego silnika

Sprawność termiczną efektywną η_{te} badanego silnika obliczono według podanej zależności matematycznej (3), wykorzystując stabelaryzowane dane (tab. 4 i 5). Wyniki przedstawiono w formie tabelarycznej (tab. 6) i graficznej (rys. 3).

Tabela 6

Efektywna sprawność termiczna badanego silnika η_{te}

Prędkość obr[obr/min]	1000	1200	1400	1600	1800	2000
Otw. przepustnicy						
25%	0,220	0,252	0,281	0,214	0,174	0,127
50%	x	0,371	0,376	0,330	0,287	0,256
75%	x	x	0,261	0,282	0,294	0,289



Rys. 3. Wpływ prędkości obrotowej i obciążenia silnika na zmianę jego sprawności termicznej
 Fig. 3. The function of thermal efficiency in depend on engine speed and load

5. UWAGI KOŃCOWE I WNIOSKI

Przeprowadzona analiza długości fazy wtrysku pozwoliła na wstępne określenie nastaw układu wtryskowego, które umożliwiają pracę silnika w określonych warunkach obciążenia. Natomiast przygotowany, aktywny sterownik umożliwia optymalizowanie nastawy początku i długości fazy wtrysku. Powtórzenie procedury dla różnych warunków pracy silnika pozwala na sporządzenie przestrzennej charakterystyki (mapy) nastaw układu wtryskowego.

Zastosowanie aktywnego sterownika pozwala również na określenie wpływu nastaw układu wtryskowego na istotne parametry pracy badanego silnika. W opracowaniu przedstawiono sposób określenia sprawności termicznej silnika oraz obliczono sprawność cieplną tej jednostki wyposażonej w klasyczny układ zasilania. Przeprowadzone obliczenia wskazują, że silnik w tej wersji ma najwyższą sprawność na poziomie 37%, a uzyskuje ją w środkowej części przedziału

prędkości obrotowej (1200-1600 obr/min) dla 50% uchylenia przepustnicy. W ocenie osiągniętej sprawności cieplnej pewnym problemem jest dokładne określenie wartości opałowej paliwa ze względu na to, że jest ono mieszaniną węglowodorów o zmiennych, bieżących proporcjach.

6. PODSUMOWANIE

W niniejszym opracowaniu dokonano wstępnego określenia nastaw układu wtryskowego firmy Tartarini adaptowanego do zasilania silnika gazowego PERKINS AD3.152G mieszaniną propanu i butanu w fazie ciekłej. Nastawy te zapewniają pracę badanego silnika w całym zakresie prędkości obrotowej przy zmiennych obciążeniach. Stanowią one jednocześnie podstawę do określenia precyzyjnych nastaw zastosowanego układu wtryskowego. Ponadto przeprowadzono również ocenę sprawności termicznej badanego silnika gazowego w zależności od prędkości obrotowej i stopnia otwarcia przepustnicy.

Literatura

1. Flekiewicz M., Kubica G.: Wpływ parametrów regulacyjnych na poziom toksyczności spalin silnika gazowego (LPG). III Ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna 'POJAZD A ŚRODOWISKO'. Radom 2001.
2. Szargut J.: Termodynamika. PWN, Warszawa 1992.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Sławomir Luft

Abstract

The preliminary determination of injectors timing characteristics in Tartarini MPI system adapted for filling gas engine in this project. This adjustment should give possibility to start engine with injection system and next, to create the corrected map of injectors timing and finally, to test gas engine on the bench.

Besides, in the second part of presented project, are included the way to appoint and results of thermal efficiency of tested gas engine. It was calculated on the base on the earlier bench test results of this engine.

Artykuł stanowi sprawozdanie z badań własnych BW/2001.