

Marek DYKIER

WPLYW KSZTAŁTU KOLEKTORA DOLOTOWEGO SILNIKA GAZOWEGO NA WSKAŹNIKI OKREŚLAJĄCE RZECZYWISTE STRATY PRZEPIYU TRAKTU DOLOTOWEGO

Streszczenie. W artykule omówiono zagadnienie strat przepływu i stopnia napełnienia silnika o spalaniu wewnętrznym. Przedstawiono wyniki pomiarów współczynnika napełnienia silnika Perkins AD 3.152 G. Zaprezentowano wyniki badań porównawczych strat przepływu dla różnych kolektorów dolotowych i omówiono ich wpływ na stopień napełnienia silnika.

THE INFLUANCE OF THE SHAPE OF INTAKE MANIFOLD OF GAS ENGINE FOR FLOW LOSSES INDICATORS OF INTAKE SYSTEM

Summary. The flow losses and volumetric efficiency of IC engine were elaborated in the article. The results of volumetric efficiency were presented for engine Perkins AD 3.152 G. Results of contrastive researches were shown for different intake manifolds. The influence of the shape of the intake manifold on the volumetric efficiency was described.

WPROWADZENIE

Jednym z głównych parametrów decydujących o mocy rozwijanej przez silnik spalinowy jest współczynnik napełnienia η_v , charakteryzujący doskonałość procesu wymiany ładunku w cylindrze. Sam proces wymiany ładunku obejmuje usunięcie z cylindra rozprężonych resztek spalin i napełnienie go powietrzem lub mieszaniną powietrzno – paliwową.

W silniku gazowym zasilanym alternatywnie, benzyną lub gazem, jak również zasilanym jednopaliwowo gazem (LPG, CNG) do cylindrów doprowadzana jest zawsze mieszanina gazowo – powietrzna.

Proces wymiany ładunku, w wyniku którego do cylindra dostaje się mniejsza ilość czynnika roboczego od tej, jaka mogłaby w określonych warunkach termodynamicznych wypełnić jego objętość skokową, zależy od wielu czynników, z których do głównych zalicza się:

- hydrauliczne opory układu dolotowego, obniżające ciśnienie ładunku przed zaworem dolotowym;
- pozostawienie w cylindrze pewnej ilości produktów spalania, zajmujących część jego objętości;
- podgrzewanie się ładunku od ścianek traktu dolotowego oraz resztek spalin, obniżających gęstość ładunku,
- występowania zjawisk falowych w układzie dolotowym, spowodowanych bezwładnością przepływającego ładunku i objawiających się oscylacjami ciśnienia.

Ale o stopniu napełnienia decydują także zdeterminowane, jednoznacznie pewne czynniki konstrukcyjne, takie jak: stopień sprężania, rodzaj komory spalania, geometria układów tłokowo – korbowego i rozrządu, rodzaj układu zasilania, a także kąt wyprzedzenia zapłonu.

Ilość czynników zależnych od siebie, jaka wpływa na przebieg procesu napełniania, jest powodem trudności w wyznaczaniu współczynnika napełnienia silnika metodami symulacyjnymi. Sprawę komplikuje dodatkowo fakt, że w silnikach ZI współczynnik napełnienia zależy także od prędkości obrotowej i chwilowego obciążenia silnika.

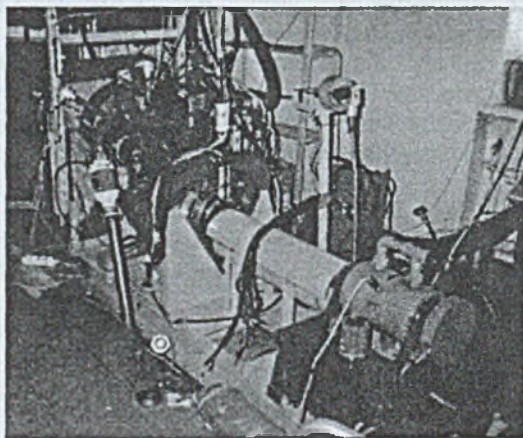
Układ dolotowy stanowi dla przepływającego ładunku opór przepływu, który wyraża się całkowitym spadkiem ciśnienia. Całkowity spadek ciśnienia wyznaczany jest od ciśnienia otoczenia do ciśnienia panującego przed zaworem dolotowym.

Na wielkość tego spadku mają wpływ opory filtra powietrza, kształt i wielkość kolektora zbiorczego, długości i kształty przewodów dolotowych, a także urządzenia zabudowane w układzie dolotowym, takie jak: gaźnik(mieszalnik), przepustnica czy elementy układu recyrkulacji spalin. Nie bez znaczenia (dla wartości spadku tego ciśnienia) jest również chropowatość ścianek przewodów i kanałów dolotowych.

Przy określaniu strat przepływu ze względów praktycznych korzystniej jest zamiast spadku ciśnienia określać bezwymiarowy współczynnik strat ξ , który jest spadkiem ciśnienia odniesionym do ciśnienia prędkości. Można też dla opisu strat przepływu przyjąć bezwymiarowy współczynnik natężenia przepływu μ . Przy opracowaniu wyników badań porównawczych, przedstawionych w artykule wykorzystano bezwymiarowy współczynnik strat ξ .

OBIEKT BADAŃ

Obiektem badawczym był silnik *Perkins AD 3.152 G*, silnik wysokoprężny, adaptowany do pracy tylko na paliwie propanowo – butanowym. Adaptacja silnika objęła obniżenie stopnia sprężania, zabudowanie układu zapłonowego i klasycznego (mieszalnikowego) układu zasilania gazem. Mieszalnik wraz z przepustnicą zabudowano na krótkim przewodzie, przed kolektorem zbiorczym (rys.1).

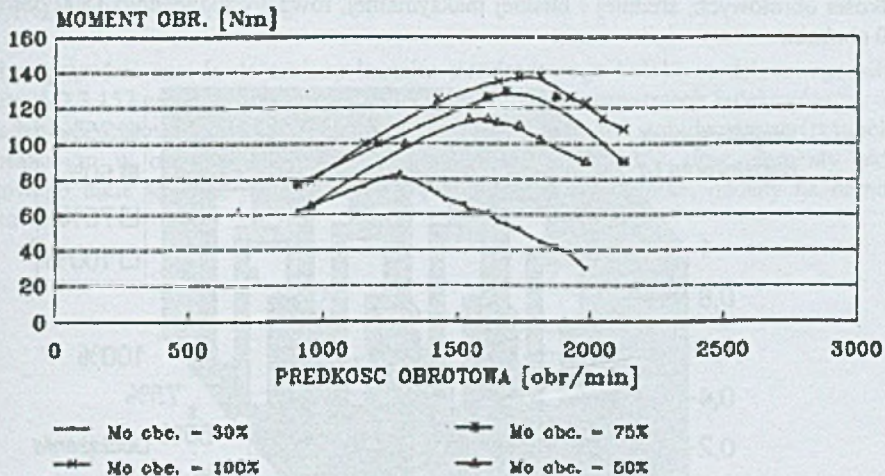


Rys.1. Stanowisko badawcze silnika gazowego Perkins AD 3.152 G

Fig.1. Research stand of gas engine Perkins AD 3.152 G

WYNIKI BADAŃ STANOWISKOWYCH

Przykład charakterystyk prędkościowych zdjętych przy pełnym i częściowym otwarciu przepustnicy, dla jednej z wersji mieszalnika i dla kąta wyprzedzenia zapłonu $\alpha_z=10^\circ$ przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Charakterystyki mocy dławionych silnika Perkins AD 3.152 G zasilanego paliwem gazowym (LPG)

Fig. 2. Characteristic of torque of engine Perkins AD 3.152 G supplied by fuel gas (LPG)

Przedstawione krzywe momentu obrotowego dobrze oddają charakter zmienności współczynnika napełnienia tego silnika przy różnych obciążeniach i prędkości obrotowej, ponieważ stopień napełnienia jest proporcjonalny do momentu obrotowego uzyskanego na wale korbowym.



Rys.3. Charakterystyka współczynników napełnienia dla prędkości obrotowej silnika $n=1500$ obr/min

Fig. 3. Characteristic of volumetric efficiency η_v for rotational speed of engine, $n=1500$ rpm

Pełny cykl badań podstawowych zrealizowany na hamowni silnikowej umożliwił wyznaczenie współczynników napełnienia η_v dla różnych prędkości obrotowych, obciążeń silnika i różnych kątach wyprzedzenia zapłonu. Uzyskane wyniki potwierdziły, że stopień napełnienia silnika zależy znacząco od kąta wyprzedzenia zapłonu.

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono charakterystyki napełnienia dla dwóch wybranych prędkości obrotowych, średniej i bliskiej maksymalnej, równej odpowiednio 1500 obr/min i 1900 obr/min.



Rys.4. Charakterystyka współczynników napełniania dla prędkości obrotowej silnika $n=1900$ obr/min

Fig. 4. Characteristic of volumetric efficiency η_v for rotational speed of engine, $n=1900$ rpm

Jak wynika z przedstawionych charakterystyk, dla każdej z tych prędkości maksymalny stopień napełnienia uzyskano przy innym kącie wyprzedzenia zapłonu. Racjonalnym rozwiązaniem z punktu widzenia maksymalizacji stopnia napełnienia byłoby ustalenie optymalnej wartości kąta wyprzedzenia zapłonu α_z dla każdej prędkości obrotowej i obciążenia silnika.

Postulat ten nie może być jednak w pełni zrealizowany. Przy ustalaniu optymalnych wartości kątów wyprzedzenia zapłonu należy brać pod uwagę nie tylko parametry użytkowe silnika, ale także inne wartości kryterialne, takie jak toksyczność spalin czy obciążenia cieplne silnika.

Biorąc to pod uwagę, na podstawie uzyskanych wyników badań i przeprowadzonej analizy czynnikowej dla silnika badawczego AD3.152G jako najkorzystniejszą przyjęto trójstopniową regulację kąta wyprzedzenia zapłonu $\alpha_z = 5^\circ, 8^\circ$ i 10° , dla zakresów zmian prędkości obrotowych, odpowiednio 850 – 1200 obr/min, 1200 – 1800 obr/min i powyżej 1800 obr/min.

Nie są to wartości w pełni optymalne ze względu na proces napełnienia tego silnika, dlatego rzeczywiste wartości współczynnika napełnienia w warunkach eksploatacyjnych będą obniżone.

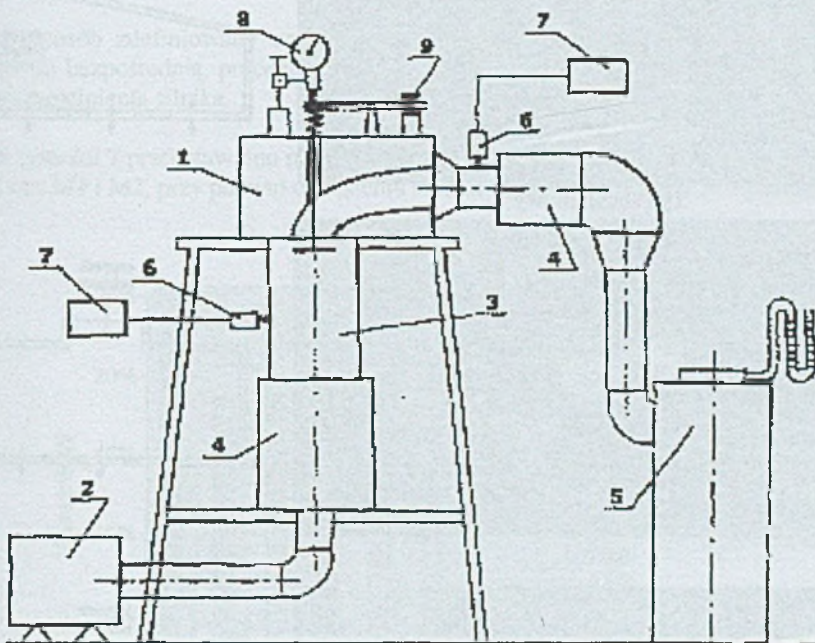
Jedną z możliwych dróg poprawy obniżonej wartości współczynnika napełnienia jest zmniejszenie strat przepływu w układzie dolotowym.

Kolektor zbiorczy, w jaki fabrycznie wyposażony był silnik AD 3.152, projektowany był dla silnika wysokoprężnego. Interesujące jest znalezienie odpowiedzi na pytanie, w jakim stopniu zmiana jego kształtu może wpłynąć na obniżenie strat przepływu, przyczyniając się do zwiększenia stopnia napełnienia silnika.

BADANIA PORÓWNAWCZE

Aby sprawdzić zasadność zmiany kształtu standardowego kolektora dolotowego silnika Perkins AD 3.152 na inny przeprowadzono badania porównawcze trzech kolektorów.

Badania przeprowadzono na specjalnym stanowisku do badań symulacyjnych (rysunek 5), wyposażonym w oryginalną głowicę silnika Perkins AD 3.152 oraz elementy układu dolotowego takie same, z jakich składał się układ dolotowy silnika, badany na hamowni silnikowej.

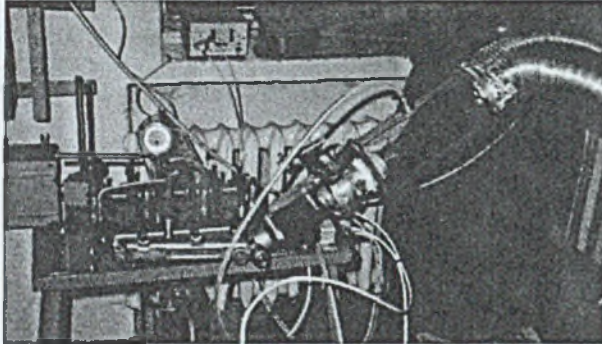


Rys. 5. Schemat stanowiska do wyznaczania strat przepływu w układach dolotowych
Fig. 5. Scheme of research stand for examination of flow losses in intake system

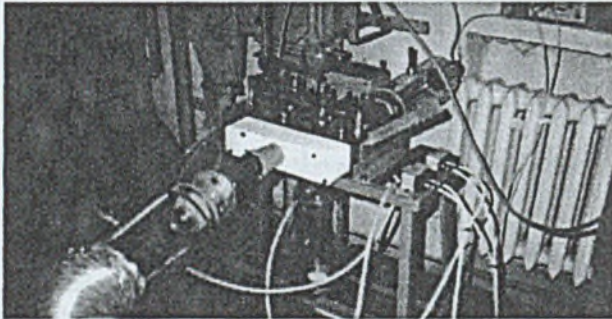
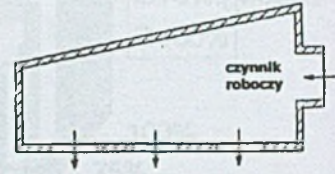
Prowadzenie badań symulacyjnych na oryginalnej głowicy silnika i elementach układu dolotowego, pozwala zachować podobieństwo geometryczne przepływu, a właściwy dobór parametrów pracy pompy ssącej - podobieństwo kinematyczne przepływu. Zaprojektowane stanowisko umożliwia pomiary strat ciśnienia całego układu dolotowego, jego wybranej części lub elementu, np.: samego zaworu dolotowego, kolektora czy mieszalnika z przepustnicą.

Ponieważ w układzie dolotowym przepustnica i zawór dolotowy generują największe straty przepływu, mierzono spadki ciśnienia i wyznaczano współczynniki strat przepływu w

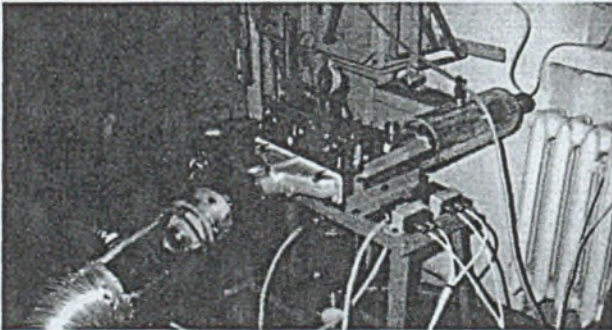
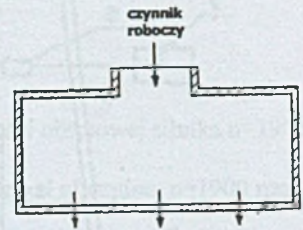
funkcji obciążenia, określonego kątem otwarcia przepustnicy α_p , oraz wzniosu zaworu dolotowego h_z . Badaniami porównawczymi objęto trzy kolektory zbiorcze. Odniesieniem były straty przepływu, wyznaczone dla kolektora fabrycznego z bocznym wlotem, wymuszającym zmianę kierunku przepływu. Kolektory zmodyfikowane M1 i M2 wyposażono w centralny wlot, zapewniający bardziej równomierny rozkład ładunku w cylindrach silnika, ponadto kolektory te różniły się rodzajem rozszerzenia przekroju poprzecznego, wpływającym w różnym stopniu na zagrożenie oderwania strugi, a więc i na wysokość strat ciśnienia.



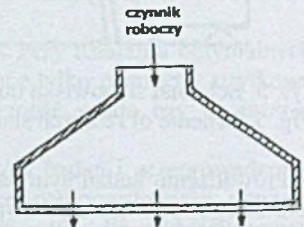
Typ standardowy



Typ M1



Typ M2



Rys. 6. Schematy i widoki kolektorów dolotowych
Fig. 6. Scheme and views of intake manifolds

Badania przeprowadzono przy wymuszonym objętościowym natężeniu przepływu, odpowiadającym zapotrzebowaniu silnika, przy znamionowej prędkości obrotowej.

Na rysunku 6 przedstawiono schematycznie kształt badanych kolektorów oraz widoki stanowiska pomiarowego z zabudowanymi kolektorami.

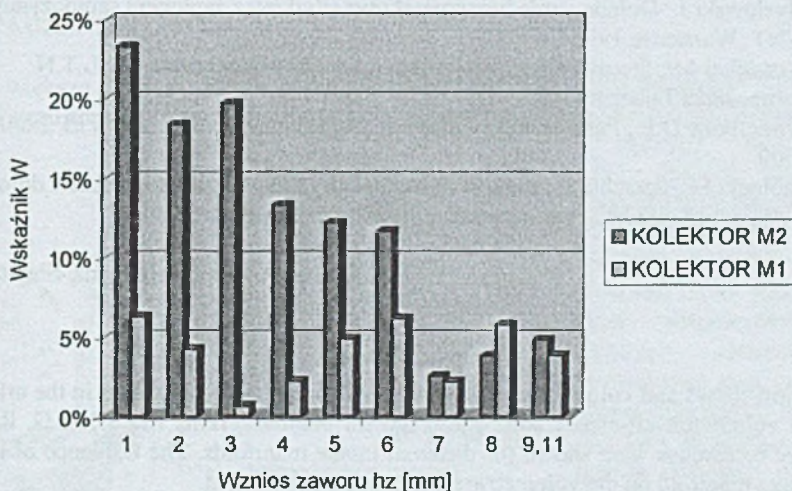
WYNIKI BADAŃ PORÓWNAWCZYCH

Wyznaczone dla nowych kolektorów dolotowych typu M1 i M2 wartości współczynników strat ξ_1 i ξ_2 , porównano ze współczynnikiem strat przepływu ξ_s , układu dolotowego wyposażonego w standardowy kolektor i odniesiono do jego wartości bezwzględnej.

$$W = \frac{\xi_s - \xi_n}{\xi_s} * 100 [\%]$$

W ten sposób zdefiniowany wskaźnik względnej zmiany współczynnika strat przepływu umożliwia bezpośrednią, procentową ocenę wpływu kształtu kolektora na wzrost lub spadek stopnia napełnienia silnika.

Na rysunku 7 przedstawiono przykładowo charakterystyki względnych strat przepływu dla kolektora M1 i M2, przy pełnym obciążeniu silnika (całkowicie otwarta przepustnica).



Rys. 7. Charakterystyki obniżenia strat przepływu dla kolektora M1 i M2

Fig. 7. Characteristic of lowering of flow losses for intake manifolds M1 and M2

Jak wynika z zaprezentowanych wyników, dla obu nowych kolektorów wystąpiło obniżenie wartości współczynnika strat przepływu średnio o 4% dla kolektora M1 i 12% dla kolektora M2.

Jednakże dla średnich obciążeń silnika (kątów otwarcia przepustnicy poniżej 45°) wyniki nie były tak jednoznaczne. Obniżenie współczynnika strat przepływu ξ występowało tylko przy małym wzniosie zaworu dolotowego, natomiast przy pełnym wzniosie zaworu wystąpił

wzrost strat tego współczynnika. Dla przykładu przy 50% obciążenia dla kolektora M1 otrzymano średni wzrost współczynnika strat przepływu o 13% , a dla kolektora M2 o 5%.

Jak wynika z badań porównawczych, zasadność zmiany kształtu kolektora dolotowego silnika AD 3.152 G zależy przede wszystkim od rzeczywistych obciążeń silnika, jakie wystąpią w jego eksploatacji. Silnik gazowy AD 3.152 G przeznaczony dla wózków widłowych pracuje głównie w zakresie wysokich obciążeń, dlatego zmiana kolektora fabrycznego na wersję zmodyfikowaną byłaby w tym przypadku uzasadniona.

Przedstawione stanowisko pomiarowe zbudowane do badań porównawczych elementów układu dolotowego silnika i przyjęty w opracowywaniu wyników pomiarów procentowy wskaźnik zmiany strat przepływu są szybką i prostą metodą weryfikowania wszelkich zmian konstrukcyjnych dokonywanych w układach dolotowych silników w trakcie adaptowania ich do zasilania paliwami gazowymi.

Literatura

1. Hucho W. M.: Aerodynamika samochodu. WKŁ, Warszawa 1988.
2. Kordziński C., Środułski T.: Układy dolotowe silników spalinowych. WKŁ, Warszawa 1968.
3. Matzke W.: Projektowanie rozrządu czterosuwowych silników trakcyjnych. WKŁ, Warszawa 1989.
4. Mysłowski J.: Doładowanie bezsprężarkowe silników z zapłonem samoczynnym. WNT, Warszawa 1995.
5. Wendeker M.: Sterowanie napełnieniem w silniku samochodowym. L.T.N. Politechnika Lubelska 1999.
6. Winterbone D.E., Pearson R.J.: Theory of Engine Manifold Design. PEP, London 2000.
7. Zabłocki M., Szlachta Z.: metoda Nowa badań i doboru kształtu kanałów dolotowych i wylotowych silników spalinowych. „Silniki spalinowe” nr 3/1975.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Sławomir Luft

Abstract

The flow losses and volumetric efficiency of IC engine were elaborated in the article. The results of volumetric efficiency were presented for engine Perkins AD 3.152 G. Results of contrastive researches were shown for different intake manifolds. The influence of the shape of the intake manifold on the volumetric efficiency was described.

Artykuł stanowi sprawozdanie z badań statutowych BW-441/RT 2/2004.