

KANAŁY DOLOTOWE WOLNOSSĄCYCH CZTEROSUWOWYCH SILNIKÓW SPALINOWYCH O ZAPŁONIE ISKROWYM

Tomasz KUŚNIERZ, Kazimierz LEJDA¹

W artykule przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne kanałów dolotowych czterosuwowych silników spalinowych o zapłonie iskrowym. Zaprezentowano metody optymalizacji kształtu kanałów ssących pod kątem polepszenia sprawności wolumetrycznej.

1. WSTĘP

Ciągły rozwój silników spalinowych ma na celu produkowanie jednostek jak najbardziej przyjaznych środowisku, a przy tym charakteryzujących się dużą mocą maksymalną i korzystnym rozkładem momentu obrotowego w funkcji obrotów. W ostatnich latach trend „downsizingu” silników, czyli zmniejszania ich pojemności a zwiększania efektywności, wymusił na konstruktorach stosowanie nowych rozwiązań we wszystkich częściach składowych silników spalinowych. Powstałe w ten sposób jednostki napędowe charakteryzują się znacznym objętościowym wskaźnikiem mocy i korzystnym przebiegiem krzywej momentu obrotowego.

Częścią najbardziej odpowiedzialną za moc silnika jest na pewno głowica. Wielozaworowe głowice, zmienne czasy rozrządu, zaawansowane układy wtrysku bezpośredniego paliwa do komory spalania, polepszyły ich efektywność. Jedną z części głowicy jest kanał dolotowy, który tylko pozornie wydaje się być elementem nieskomplikowanym i mającym mały wpływ na osiągi silnika.

2. UKŁADY DOLOTOWE 4-SUWOWYCH SILNIKÓW O ZI

Wydaje się, że kanał dolotowy jest po prostu przewodem doprowadzającym czynnik roboczy do cylindra. W rzeczywistości jednak, to połączenie pomiędzy przepustnicą a komorą spalania, w znacznym stopniu wpływa na pracę silnika: zarówno moc, jak i moment obrotowy.

Układ dolotowy w nowoczesnych silnikach samochodowych składa się z kolektora, przepustnicy, kanałów dolotowych, filtra, przepływomierza oraz rezonatora. Przepustnica reguluje ilość dostarczanego w danym momencie powietrza, które przemieszcza się często długimi kanałami dolotowymi, tak aby nabrać odpowiedniej prędkości. Rezonator ma na celu, jak sama nazwa wskazuje, wywołanie efektu rezonansu (napęlnianie cylindrów odbywa się cyklicznie, a nie w sposób ciągły; struga powietrza ma charakter fali, przez co możliwe jest wykorzystanie tego zjawiska) przy określonych obrotach, tj. wprawienie dostarczanego powietrza w drgania o stosunkowo dużej amplitudzie [4].

Wielkością jednoznacznie charakteryzującą proces napęlniania cylindra świeżym czynnikiem jest współczynnik napęlniania cylindra η_v (1). Współczynnik napęlniania cylindra η_v jest to stosunek masy czynnika rzeczywiście zasśanego do cylindra G_{rz} do masy czynnika mieszczącego się w objętości skokowej cylindra G przy temperaturze i ciśnieniu otoczenia:

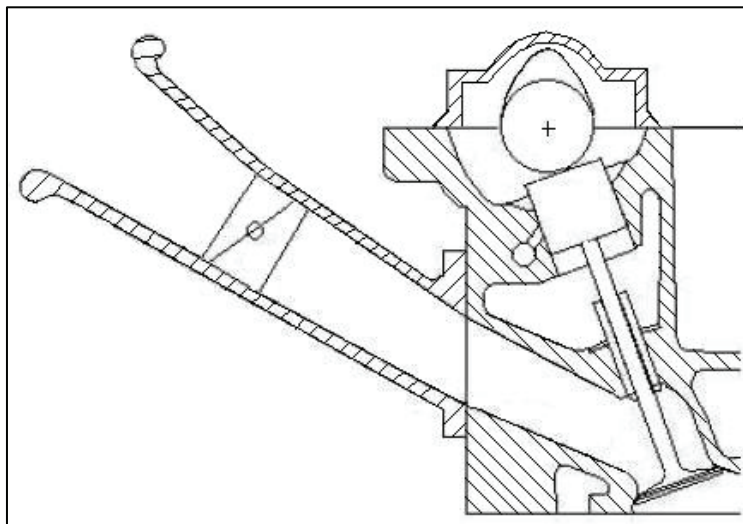
$$\eta_v = \frac{G_{rz}}{G} \quad (1)$$

¹ Mgr Tomasz Kuśnierz, Prof. dr hab. inż., Kazimierz Lejda; Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Zakład Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych

Wartość współczynnika napełniania cylindra zależy od bardzo wielu czynników. Najważniejsze z nich to:

- stopień podgrzania świeżego czynnika,
- ciśnienie gazów przy końcu suwu ssania,
- ciśnienie gazów pozostałych w cylindrze,
- geometria kanałów w głowicy [7].

Niezmiernie ważnym, dla uzyskania maksymalnej sprawności silnika spalinowego, jest kształt i geometria kanału ssącego, czyli przewodu, którym powietrze lub mieszanka paliwowo-powietrzna dostaje się do cylindra. Im więcej ładunku dostanie się do cylindra w suwie ssania, tym większą sprawność może uzyskać silnik. Sprawność napełniania można wydatnie podnieść, stosując zewnętrzne pompy doładowujące (sprężarki wypornościowe lub turbosprężarki). Tańszym rozwiązaniem jest zastosowanie zmiennej długości kanałów dolotowych. Przy pewnej i ściśle określonej długości kanału można wywołać zjawisko tzw. doładowania dynamicznego, poprawiające moment obrotowy w zakresie niskich i średnich obrotów silnika.



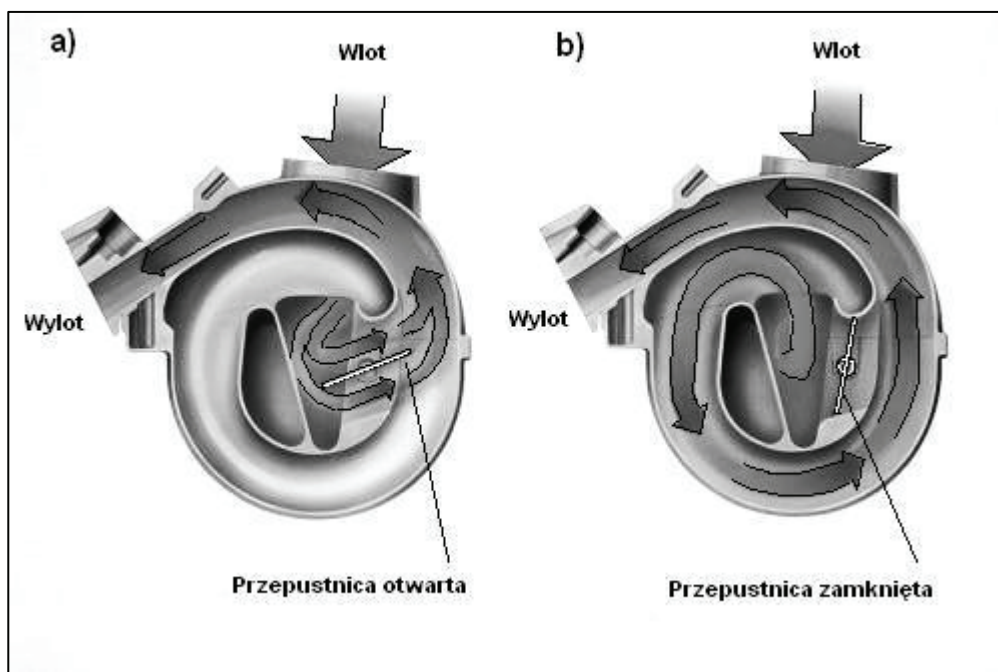
Rys. 1. Przykładowy przekrój kanału ssącego nowoczesnego silnika spalinowego [8]

Wykorzystuje się do tego prędkość powietrza (lub mieszanki paliwowo – powietrznej); podczas suwu ssania cofający się tłok wsysa czynnik roboczy, aż zawór dolotowy zamknie kanał ssący. Wtedy powietrze lub mieszanina paliwa z powietrzem zaczyna się tłoczyć przed zaworem, a jego ciśnienie wzrasta. W efekcie musiałoby się wreszcie cofnąć do filtra powietrza, ale zanim to nastąpi, zawór dolotowy otwiera się ponownie i sprężone w kanale ssącym powietrze (lub mieszanina paliwowo-powietrzna) samoistnie napiera na cofający się tłok, poprawiając napełnienie cylindra. Aby układ działał poprawnie, kanały dolotowe muszą mieć znaczną długość (są to wartości rzędu 1m). Ale doładowanie rezonansowe ma także wadę; moc silnika zasilanego przez długie rury spada wraz ze wzrostem prędkości obrotowej, bo efekt doładowania obliczony jest dla ściśle określonego zakresu tej prędkości.

Aby w pełni wykorzystać zjawiska dynamiczne w przewodzie dolotowym w zakresie niskich i średnich obrotów silnika a jednocześnie umożliwić silnikowi uzyskiwanie dużych mocy maksymalnych przy wysokich obrotach, stosuje się kanały dolotowe o zmiennej długości.

W kanale takim, z reguły w kształcie ślimaka (rys. 2.), umieszczona jest przepustnica, która kieruje czynnik roboczy dłuższą lub krótszą drogą. Dłuższy przewód wykorzystywany jest w niskim oraz średnim zakresie prędkości obrotowych silnika, natomiast kanał krótki - w wysokim zakresie obrotów silnika [5].

Kształt i długość kanału ssącego ma ogromne znaczenia głównie dla silników wolnossących. Silniki doładowane mechanicznie i turbodoładowane są mniej wrażliwe na geometrię kanału ssącego. Silnik wolnossący, przy odpowiednim kształcie i długości przewodu dolotowego, jest w stanie osiągnąć sprawność napełniania powyżej 100% (dla określonego zakresu prędkości obrotowej) [1].



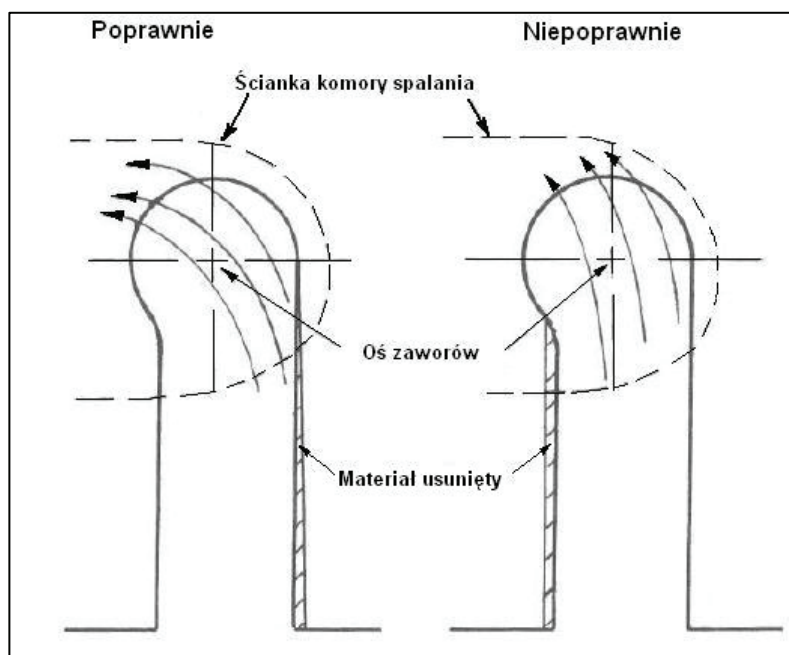
Rys.2. Przykład kanału ssącego o zmiennej długości (Opel – „twinport”): a) krótki kanał ssący – dla dużych prędkości obrotowych; b) długi kanał ssący – dla małych i średnich prędkości obrotowych [5]

Układ dolotowy oblicza się dla konkretnego zakresu obrotów. Wynika to z falowego charakteru napełniania cylindrów. W zakresie niskich obrotów powietrze nabiera dużej bezwładności w długim kanale, "wciskając" się do cylindra. Przy wysokich obrotach pulsacje stają się coraz mniejsze, dlatego potrzebny jest krótki i szerszy kanał dolotowy o możliwie małych oporach przepływu. Zaprojektowanie optymalnego układu dolotowego nie jest więc rzeczą prostą [6].

3. OPTIMALIZACJA KSZTAŁTU KANAŁU SSĄCEGO

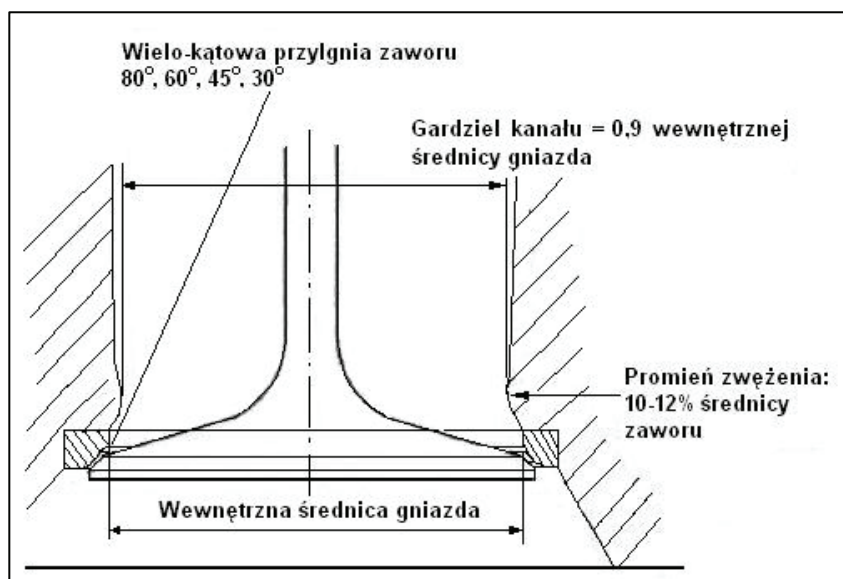
Najlepsze napełnianie zapewniają kanały ssące o przekroju poprzecznym w kształcie koła, gorsze wyniki uzyskuje się z kanałami owalnymi lub prostokątnymi. Stosunek powierzchni przekroju poprzecznego kanału ssącego o kształcie okrągłym do przekroju poprzecznego szczeliny zaworowej powinien się zawierać w granicach 100:82, natomiast w przypadku kanałów o przekroju poprzecznym w kształcie owalu wynosi 100:72, a o kształcie prostokątnym 100:75 [1].

Kolejnym aspektem w projektowaniu kanału ssącego jest jego geometria. Kanał dolotowy może być prosty (równoległy do osi zaworu), może być także umieszczony pod pewnym kątem do osi zaworu lub charakteryzować się zmiennym kształtem, powodującym mocniejsze zawirowanie powietrza lub mieszanki paliwowo-powietrznej w kanale i uzyskanie mieszaniny zbliżonej do homogenicznej. Po każdym cyklu wydechu w komorze spalania pozostaje pewna objętość nieusuniętych gazów spalinowych [1].



Rys. 3. Modyfikacja kanału ssącego dla uzyskania korzystnego zawirowania czynnika roboczego (swirl) [1]

Większość nowoczesnych silników ZI (rys. 1.) posiada proste kanały ssące (umieszczone w płaszczyźnie przechodzącej przez oś zaworu), nachylone do poziomu (down draught) pod kątem 15° . Wieloletnie badania laboratoryjne wykazały, że największą



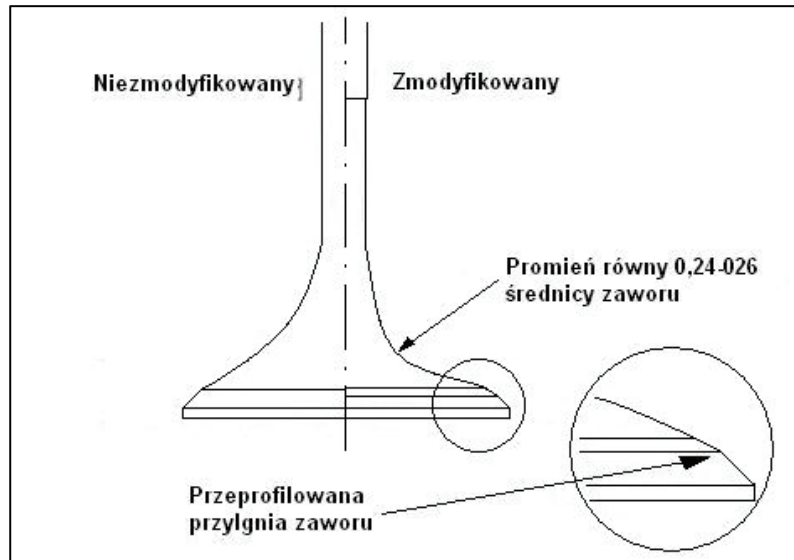
Rys. 4. Modyfikacja kształtu kanału ssącego [1]

sprawność osiągają silniki z prostymi kanałami i komorą spalania ze „squish area”, która to powoduje wzmożone zawirowania mieszanki palnej i szybsze rozchodzenie się czoła płomienia na całej objętości komory [1,2].

Połączenie kanału ssącego wprowadzającego świeży ładunek w ruch obrotowy (swirl) oraz komory spalania z „squish area”, najczęściej nie powoduje wzrostu sprawności termodynamicznej [3].

Niezmiernie ważne jest płynne przejście kanału ssącego w gniazdo zaworu. Istotne jest, aby ta część kanału ssącego była wykończona łagodnymi promieniami, dla uzyskania jak

najbardziej płynnej zmiany kształtu powierzchni. Średnica kanału ssącego poniżej przyłgni zaworu powinna zmniejszać się stopniowo (w kierunku przepustnicy) do ok. 0,9 średnicy zaworu i następnie przechodzić łagodnym łukiem w średnicę równą średnicy zaworu. Tak ukształtowany kanał wspomaga „efekt venturiego” pomiędzy gniazdem a grzybkiem zaworu ssącego. Najmniejsze opory przepływu stawiałoby gniazdo i zawór z przyłgnią ukształtowaną promieniami. Z technicznych względów generalnie nie stosuje się takiego nietrwałego i kłopotliwego w uszczelnieniu rozwiązania.



Rys. 5. Modyfikacja zaworu ssącego dla komory półsferycznej [1]

Dla poprawienia trwałości gniazda zaworowego i zaworu stosuje się wielo-kątowe wykończenie gniazda, w miejsce optymalnego – promieniowego. Zmiana ta nie powoduje znaczącej utraty sprawności wolumetrycznej. Zmiana ta nie powoduje znaczącej utraty sprawności wolumetrycznej. Kąt przyłgni zaworowej zazwyczaj wynosi 45° , natomiast lepsze napełnianie zapewnia stosowany niekiedy w silnikach sportowych kąt 30° . Gniazdo zaworu ssącego z przyłgnią 30° jest jednak trudniejsze w uszczelnieniu i mniej trwałe w porównaniu do gniazda o kącie przyłgni 45° [1].

Nie bez znaczenia jest także struktura powierzchni kanałów dolotowych. Kanały powinny być w środku gładkie. Kanał ssący o ściankach odznaczających się znaczną chropowatością (np. poodlewniczą) pomaga generować moment obrotowy i poprawia znacznie jego przebieg w dolnym zakresie obrotów silnika, jednak znacząco ogranicza osiągi silnika w górnym zakresie prędkości obrotowej (powyżej 5000 obr/min). Tej samej długości przewód dolotowy ale o wyrównanych krawędziach, poprowadzony dużymi promieniami, o wygładzonych ściankach, spowoduje nieznacznie mniejszy przyrost momentu przy niskich prędkościach obrotowych, jednak w wyższych przedziałach obrotów silnika pozwoli uzyskać znacznie większą moc, w porównaniu do kanału o dużej chropowatości [9].

Dopływ powietrza do silnika poprawić możemy stosując strumienicę, kształtującą z powietrza laminarną strugę o dużej prędkości (w przypadku dolotu jest to prędkość okołodźwiękowa). Powietrze z większą prędkością dostaje się do silnika, poprawiając jego sprawność napełniania [9].

4. PODSUMOWANIE

Dobór kształtu i długości kanału ssącego jest bardzo istotnym zagadnieniem w procesie zwiększania sprawności silników spalinowych. Ten z pozoru prosty element konstrukcyjny w znacznym stopniu wpływa na charakterystykę silnika. Konstruktorzy rozwiązali zagadnienie doładowania dynamicznego w zakresie niskich obrotów silnika oraz sprawności napełniania w górnych zakresach prędkości obrotowej poprzez stosowanie zmiennych długości kanałów dolotowych. Układ dolotowy nowoczesnego silnika często uzupełniony jest o strumienicę oraz zbiorniki pojemnościowe o znacznej objętości.

W dawnych systemach sterujących pracą silnika, kanał ssący z gaźnikiem sterowany był mechanicznie. Obecnie cały silnik, a wraz z nim urządzenia sterujące w układzie dolotowym, nadzorowane są przez komputer pokładowy, umożliwiając szybką reakcję na dynamicznie zmieniające się warunki pracy silnika spalinowego.

Pomimo zaawansowanych technologii projektowania i wytwarzania, kanał ssący od strony geometrycznej nadal zawiera elementy wymagające poprawy. Ciągłe prace nad optymalizacją przewodów dolotowych dają wymierne korzyści ekonomiczne i środowiskowe.

LITERATURA

- [1] Bell A. G.: *Performance tuning in theory and practice. Four strokes.* Haynes, Sparkford 1982.
- [2] Lejda K., Kuśnierz T.: *Komory spalania górnozaworowych silników czterosuwowych z zapłonem iskrowym. Wybrane zagadnienia.* Systemy i środki transportu samochodowego. Monografia nr 1. Seria: Transport. OWPR, Rzeszów 2010.
- [3] Mackerle J.: *Silniki chłodzone powietrzem.* WKiŁ, Warszawa 1963.
- [4] Resnick R., Halliday D.: *Fizyka, Tom 1.* PWN, Warszawa 1975.
- [5] http://www.auto_swiat.pl/1-kanaly-dolotowe
- [6] http://www.motofakty.pl/arttykul/nawosc_w_silnikach.html
- [7] <http://www.zsms.bytom.pl/~silniki/Strona/11.html>
- [8] <http://www.bgideas.demon.co.uk/index.htm>
- [9] <http://hondateam.phorum.pl>

THE INLET CHANNEL OF FOUR STROKE INTERNAL COMBUSTION SPARK IGNITION ENGINE

This paper presents design solutions of inlet four-stroke internal combustion spark ignition engines. Methods of shape optimization inlet channels for improving volumetric efficiency are presented.