

SUPERCHARGING WITHOUT A COMPRESSOR OF STEPLESS COMPRESSION COMBUSTION ENGINE

Krzysztof Ciszek, Andrzej Kaźmierczak, Marcin Tkaczyk, Wojciech Zabłocki

*Wroclaw University of Technology
Department of Mechanical Engineering, Institute of Machine Design and Operation
Lukasiewicza Str. 5, 50-371 Wroclaw, Poland
tel.: +48 603 486 614
e-mail: andrzej.kazmierczak@pwr.wroc.pl
wojciech.zablocki@pwr.wroc.pl*

Abstract

One of the main interests of constructors is an approach to the optimal load exchange process and consequently obtaining the maximal cylinder filling. Aiming at the cylinder's filling improvement caused rapid development of supercharging in all its transforms, more perfect and sophisticated. One of such approach is a dynamic supercharging commonly used in engines with fuel injection. In order to improve working parameters operating in precisely predetermined rotational speed the dynamic supercharger can be applied as a union with a turbo supercharger or as an independent system. This objective is relatively easy to achieve for a single cylinder engine, however for a multi cylinder engines it appears to be more complicated. It has been determined that dynamical supercharging as opposed to turbo supercharging is proved economically and efficient engine response improvement procedure. The objective of presented paper is creating as well as calculating a stepless supercharging system of the resonance compression combustion engine used as a drive for motor cars.

Proposed system consists in the connection of the existing solution of the continuous change of the geometry system through the change of the length only resonance lines with the change of the volume of the resonance reservoir.

Keywords: *transport, combustion engines, intake throttle, filling up*

BEZSPRĘŻARKOWE DOŁADOWANIE BEZSTOPNIOWE SILNIKA SPALINOWEGO O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM

Streszczenie

Jednym z najważniejszych zagadnień konstrukcyjnych silników spalinowych jest zapewnienie optymalnego napełnienia cylindra silnika spalinowego. Poprawa napełnienia cylindra jest najczęściej realizowana z wykorzystaniem różnych systemów doładowania, a najczęściej w tym celu stosuje się turbodoładowanie w wszystkich jego odmianach. Jedną z odmian systemu doładowania jest doładowanie dynamiczne lub rezonansowe. W niniejszej pracy zaproponowano nowatorski projekt układu dolotowego, którego zadaniem jest poprawa napełnienia silnika w szerokim zakresie prędkości obrotowej. System ten jest relatywnie prosty w przypadku silnika jednocyndrowego, jednakże w silniku wielocyndrowym jest bardziej skomplikowany. Doładowanie dynamiczne w wersji ograniczonej do określonego zakresu prędkości obrotowej silnika jest obecnie szeroko stosowane w połączeniu z turbodoładowaniem. W pracy tej przedstawiono obliczenia bezstopniowego układu doładowania dynamicznego silnika o zapłonie samoczynnym przeznaczonego do samochodu osobowego.

Zaproponowany układ polega na połączeniu istniejącego rozwiązania płynnej zmiany geometrii układu poprzez zmianę długości tylko przewodów rezonansowych ze zmianą objętości zbiornika rezonansowego.

Słowa kluczowe: *transport, silnik spalinowy, doładowanie, napełnienie cylindra*

1. Wprowadzenie

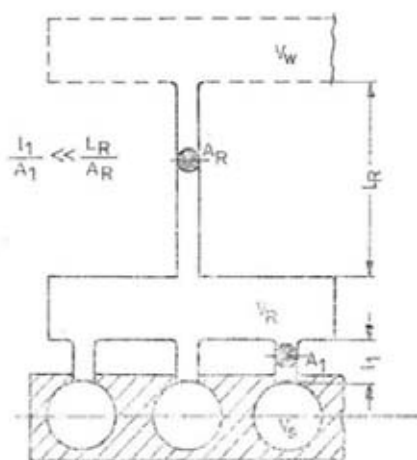
Dążenie do poprawy napełnienia silnika spalinowego spowodowało szybki rozwój doładowania w jego różnych odmianach. Opatentowane w latach trzydziestych XX wieku przez pracowników Politechniki Lwowskiej Wicińskiego i Bujaka pod nazwą metody Wi-Bu doładowanie dynamiczne,

miało poprawić napelnienie przede wszystkim silników o zapłonie samoczynnym [7]. Doładowanie dynamiczne można stosować w połączeniu z turbodoładowaniem lub do poprawy parametrów roboczych przy ściśle określonej prędkości obrotowej silnika [7, 8]. Zadanie to jest względnie proste do zrealizowania dla silnika jednocylindrowego, natomiast dla silników wielocylindrowych jest skomplikowane. Bezsprzecznie stwierdzono, że doładowanie dynamiczne jest ekonomicznie uzasadnionym i skutecznym sposobem poprawy elastyczności silników, a co z tym się wiąże ekonomiczności pracy [6]. W związku z tym celem prezentowanej pracy jest zaprojektowanie i wstępne obliczenia bezstopniowego układu doładowania rezonansowego silnika spalinowego o zapłonie samoczynnym, stosowanego do napędu samochodów osobowych.

2. Doładowanie bezsprężarkowe

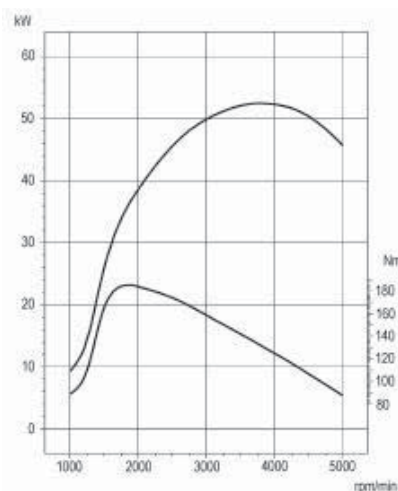
Doładowanie bezsprężarkowe lub dynamiczne to takie wykorzystanie drgań słupa gazu w układzie dolotowym silnika, które prowadzi do zwiększenia gęstości świeżego ładunku doprowadzonego do cylindra. Pewne możliwości kształtowania procesów wymiany ładunku w cylindrze, a szczególnie jego napelnienia, leżą we właściwym wykorzystaniu zjawisk dynamicznych zachodzących w przewodach dolotowych i wylotowych [6]. Praktyczna realizacja takiego postulatu sprowadza się do właściwego ukształtowania oraz doboru parametrów geometrycznych układu dolotowego i faz rozrządu zapewniających maksymalne zwiększenie ciśnienia ładunku w cylindrze w chwili zamknięcia zaworu dolotowego. Doładowanie dynamiczne może być przeprowadzone za pomocą tzw. doładowania pojedynczym przewodem dolotowym, lub doładowania rezonansowego. Doładowanie pojedynczym przewodem dolotowym polega na wykorzystaniu zjawisk dynamicznych w przewodach dolotowych oddzielnych dla każdego cylindra silnika. Metoda ta jest często wykorzystywana w silnikach wyczynowych, w silnikach użytkowych przewody te połączone są zazwyczaj zbiornikiem wyrównawczym, który jednak, ze względu na dużą objętość, nie ma istotnego wpływu na przebieg drgań w układzie przewód dolotowy – cylinder. Uzyskanie dużej amplitudy pulsacji ciśnienia wymaga stosowania przewodów dolotowych o dużej wartości ilorazu l/A (l -długość, A -przekrój) co stwarza trudności w umieszczeniu ich w komorze silnika.

Doładowanie rezonansowe uzyskuje się dzięki zastosowaniu układu rezonansowego złożonego z pojedynczego przewodu o długości l i zbiornika o objętości V_R tworzących tzw. rezonator Helmholtza. Przewody dolotowe łączące zbiornik V_R z poszczególnymi cylindrami są na tyle krótkie (małe wartości l/A), że nie zakłócają w istotny sposób przebiegu drgań czynnika. Praktycznie przyjmuje się, że zmiany ciśnienia przed zaworem dolotowym odpowiadają zmianom ciśnienia w zbiorniku V_R (Rys. 1)



Rys. 1. Schemat systemu doładowania rezonansowego [3]

Fig. 1. Scheme of system of resonance charging [3]



Rys. 2. Charakterystyka zewnętrzna silnika 1,3 jtd multijet [5]

Fig. 2. External character of engine 1.3 jtd multijet [5]

Istotnym ograniczeniem zastosowań tego systemu doładowania jest konieczność zapewnienia w przybliżeniu stałej prędkości przepływu czynnika przez przewód rezonansowy Lr . W każdej chwili cyklu pracy silnika powinien być otwarty tylko jeden zawór dolotowy. Zmusza to do stosowania fazy dolotu w przybliżeniu równej odstępowi między kolejnymi zapłonami. Zastrzeżenie to jest możliwe do spełnienia w silniku czterosuwowym wówczas, gdy do jednego zbiornika rezonansowego przyłączone są jednocześnie trzy cylindry. W praktyce dopuszcza się stosowanie takiego układu dla cylindrów czterech, lecz skuteczność doładowania rezonansowego maleje. Ogólnie w doładowaniu rezonansowym wystąpi duży wzrost współczynnika napełnienia jedynie w pobliżu „prędkości rezonansowej”.

Oba systemy doładowania dynamicznego mogą być z powodzeniem stosowane w połączeniu z doładowaniem sprężarkowym, które powoduje zwiększenie średniego ciśnienia panującego w zbiorniku wyrównawczym. Ze względu na mniejszą pracę wymiany ładunku bardziej przydatny jest system rezonansowy. Możliwe jest także kojarzenie doładowania rezonansowego z doładowaniem pojedynczym przewodem dolotowym w złożonych układach dolotowych, często o zmiennej geometrii (długość i pole powierzchni przekroju kanałów dolotowych zmienne w czasie pracy silnika).

3. Projekt systemu doładowania silnika ZS 1,3 jtd multijet

3.1. Parametry konstrukcyjne silnika 1,3 multijet

Przedmiotem opracowania jest projekt układu bezstopniowego doładowania rezonansowego do silnika *1,3 jtd multijet* firm GM i FIAT [1]. Przy czym nie wykonano zmian w obrębie układu rozrządu, kształtu kanałów ssących w głowicy cylindrów i innych parametrów, a w tym układu korbowo-tłokowego wspomnianego silnika. Przeprowadzone obliczenia oparto o dane fabryczne silnika dostępne w instrukcji serwisowej [5]. Na Rys. 2 zamieszczono wykres charakterystyki zewnętrznej momentu obrotowego i mocy silnika.

3.2. Obliczenia układu rezonansowego

Doładowanie dynamiczne silnika spalinowego można uzyskać w dwojaki sposób poprzez dobranie parametrów geometrycznych przewodu dolotowego do przyjętych faz rozrządu lub faz rozrządu do określonej geometrii przewodu dolotowego (zmiany faz są możliwe w niewielkim zakresie). W praktyce występuje zwykle konieczność dokonywania jednoczesnych zmian geometrii układu dolotowego i faz rozrządu, lecz jak wspomniano wcześniej, tu zostanie przedstawione zagadnienie dobrania wielkości geometrycznych układu dolotowego przy nie zmienionych fazach rozrządu.

Rzeczywiste kąty dolotu (pełnego otwarcia zaworu dolotowego) mieszczą się pomiędzy 110° a 150° OWK [2]. Na ich wartość ma wpływ między innymi zarys krzywki (prędkość otwierania i zamykania zaworu), prędkość chwilowa tłoka w ruchu posuwistym jak i organizacja całego procesu wymiany ładunku. Dla omawianego silnika z uwagi na zastosowanie turbodoładowania i dość wczesnego zamknięcia zaworu dolotowego do dalszych obliczeń przyjęto wartość $\alpha_d = 120^\circ$ OWK. Dla tak przyjętego parametru, czas rzeczywistego impulsu podciśnienia t_d w zależności od prędkości obrotowej wyraża się wzorem (1):

$$t_d = \frac{\alpha_d \cdot 60}{360n} = \frac{120 \cdot 60}{360n} = \frac{20}{n} . \quad (1)$$

We wzorze (1) wielkość t_d jest w rzeczywistości okresem drgań czynnika wymuszającego – T_d . Częstotliwość drgań jest odwrotnie proporcjonalna do prędkości obrotowej wału korbowego silnika. Częstotliwość drgań wymuszających w zależności od prędkości obrotowej wyraża się wzorem (2):

$$f = \frac{1}{T_d} = \frac{1}{t_d} = \frac{n}{20}. \quad (2)$$

Projektowany układ dolotowy składa się ze zbiornika rezonansowego połączonego z kanałem dolotowym w głowicy przewodami rezonansowymi. Dla takiego układu, zachodzi zależność (2):

$$\frac{A \cdot l}{V} = kl \cdot \operatorname{tg}(kl), \quad (3)$$

gdzie:

A - pole powierzchni przewodu rezonansowego, m^2 ,

l - długość przewodu rezonansowego, m ,

V - objętość zbiornika rezonansowego, m^3 ,

k - liczba falowa.

Przyjmując oznaczenie (4):

$$\varphi = kl = \frac{2\pi}{\lambda} l, \quad (4)$$

gdzie λ - długość fali stojącej układu rezonansowego, m .

Podstawiając (4) do (3) oraz zauważwszy [6, 7], że dla małych kątów φ wyrażenie $\varphi \operatorname{tg} \varphi$ można przybliżyć zależnością φ^2 , otrzymuje się wzory na długość fali oraz częstotliwość drgań własnych układu rezonansowego w zależności od wymiarów geometrycznych (5), (6):

$$\lambda = 2\pi \sqrt{\frac{Vl}{A}}, \quad (5)$$

$$f = \frac{a}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{Vl}}, \quad (6)$$

gdzie a - prędkość dźwięku w powietrzu (prędkość przemieszczania się fali akustycznej), m/s .

Przyrównując wyrażenia (2) oraz (6) otrzymuje się zależność opisującą warunek występowania rezonansu w tak zaproponowanym układzie (7):

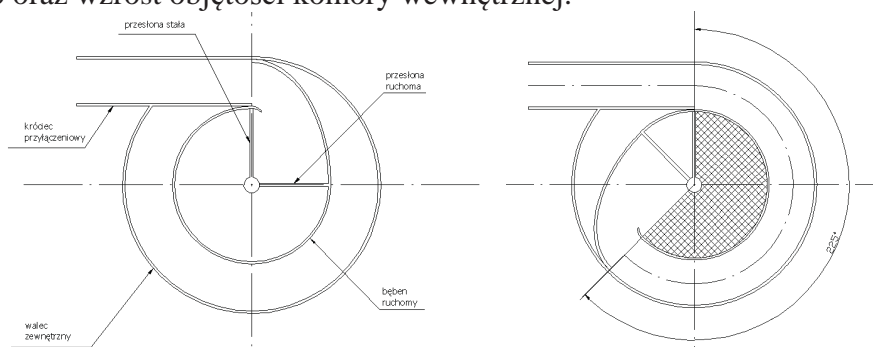
$$\frac{a}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{Vl}} = \frac{n}{20} \quad \text{lub} \quad \frac{A}{Vl} = \left(\frac{\pi \cdot n}{10a} \right)^2. \quad (7)$$

Analiza równań (7) pozwala zauważyć, że dla pewnej stałej wartości prędkości obrotowej n , iloraz A/Vl jest równy wartości stałej. Zakładając, że pole przekroju kanału A jest stałe, dla zachowania warunku rezonansu przy danej prędkości obrotowej, wartość iloczynu Vl musi być zachowana. Jednocześnie zmiana któregoś z tych parametrów pociąga za sobą zmianę prędkości obrotowej przy której wystąpi rezonans. Zmiana ta może dotyczyć tylko objętości komory rezonansowej, lub długości kanałów dolotowych. Może również dotyczyć zmian obu tych parametrów jednocześnie. Dla wystąpienia rezonansu przy małych prędkościach obrotowych, objętość V i długość l powinna ulec zwiększeniu, zaś przy dużych prędkościach – wartości te relatywnie powinny maleć. W oparciu o wyżej wymienione założenia zaproponowano układ realizujący płynną zmianę zarówno długości przewodu dolotowego jak i objętości komory rezonansowej.

3.3. Opis koncepcji układu bezstopniowego doładowania bezsprężarkowego

Schemat ideowy rozwiązania umożliwiającego jednoczesną zmianę objętości i długości układu rezonansowego przedstawiono na Rys. 3. W skład układu wchodzi nieruchomy element w kształcie walca z króćcem umożliwiającym zamocowanie do głowicy cylindrów, oraz ruchomy bęben umieszczony centrycznie wewnątrz walca mający możliwość obrotu w osi walca. W obrębie bębna znajdują się dwie przesłony. Pierwsza przesłona jest stała i związana z walcem zewnętrznym, zaś druga ruchoma; związana z ruchomym bębniem. W położeniu, jak na Rys. 3,

układ ma najmniejszą długość przewodu rezonansowego – praktycznie jest to długość króćca, oraz najmniejszą objętość rezonansową. Objętość tą stanowi przestrzeń ograniczoną dwiema przesłonami stałą i ruchomą oraz płaszczyzną będącą ¼ pobocznicą walca eliptycznego. Wzajemne przemieszczenie kątowe walca oraz bębna powoduje wydłużanie się przewodu rezonansowego oraz wzrost objętości komory wewnętrznej.



Rys. 3. Układ dolotowy o zmiennej geometrii w pozycji wyjściowej i obrotu względnego o około 225°
 Fig. 3. Intake system with changing of geometry in the first position and of relative rotation about 225°

Na Rys. 3 przedstawiono również układ w pozycji prawie maksymalnej wielkości objętości zbiornika i długości kanałów dolotowych. Schematycznie zaznaczono wielkość kąta, o jaki następuje zwiększenie długości kanału dolotowego, pole zakreskowane to przyrost powierzchni, która w ścisłym związku z długością walca stanowi o przyroście objętości rezonansowej. W przedstawionym rozwiązaniu bębna nie można dalej obrócić ze względu na kolizję przesłon ruchomej i stałej, dlatego za punkt skrajny można przyjąć kąt obrotu 225° . Rys. 3 przedstawia przekrój układu w osi przewodu dolotowego. Oczywiście układ ten posiada jeszcze trzeci wymiar stanowiący o długości, a co za tym idzie objętości zbiornika. Dopływ powietrza również możliwy jest tylko od strony czołowej zbiornika.

3.4. Dobór podstawowych wymiarów układu

W warunkach rzeczywistych układ taki projektowany jest z uwzględnieniem warunków zabudowy w konkretnym pojeździe. Praca niniejsza ma na celu przedstawienie koncepcji oraz możliwości jej zastosowania w określonej jednostce napędowej w oderwaniu od konkretnego miejsca zabudowy. W związku z powyższym przy doborze parametrów geometrycznych nie będą brane pod uwagę inne ograniczenia jak tylko te, które warunkują uzyskanie efektu doładowania rezonansowego. Na podstawie równań (7) można stwierdzić, że wystarczającym jest przeanalizowanie warunku rezonansu w oparciu o iloczyn Vl , z uwagi na fakt, że wartość parametru A dla opisywanego przypadku jest stała i w oparciu o dane producenta [5] równa: $A = 0,001413 \text{ m}^2$. Ze względu na prędkość obrotową silnika równanie (7) można zapisać w postaci (8):

$$Vl = \frac{A}{\left(\frac{\pi \cdot n}{10 \cdot a}\right)^2} \quad (8)$$

gdzie a - prędkość dźwięku w powietrzu = 393,7 m/s.

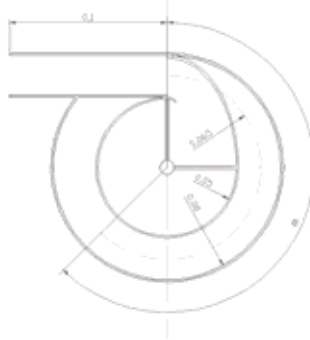
Zakres dopuszczalnych prędkości obrotowych dla silnika 1,3 multijet jest równy: 1000-5000 1/min. Doładowanie powinno wystąpić w zakresie prędkości obrotowych użytecznych. Można więc przyjąć warunki skrajne dla doładowania w zakresie 1500-4500 1/min. Dla takich wartości powinien być dobrany układ rezonansowy. W związku z tym dla 1500 1/min wyrażenie (8) przyjmuje wartość (9):

$$Vl_{1500} = \frac{A}{\left(\frac{\pi \cdot n}{10 \cdot a}\right)^2} = \frac{0,001413}{\left(\frac{3,14 \cdot 1500}{10 \cdot 373,9}\right)^2} = 0,000890453 \text{ m}^4 \quad (9)$$

Dla 4500 1/min wyrażenie (8) przyjmuje wartość (10):

$$Vl_{4500} = \frac{A}{\left(\frac{\pi \cdot n}{10 \cdot a}\right)^2} = \frac{0,001413}{\left(\frac{3,14 \cdot 4500}{10 \cdot 373,9}\right)^2} = 0,0000989392m^4. \quad (10)$$

Dalsze rozważania wymagają przyjęcia wymiarów poprzecznych układu. Dobrano wymiary przedstawione na Rys. 4.



Rys. 4. Podstawowe wymiary układu rezonansowego
Fig. 4. Basic dimensions of resonance configuration

Dla tak przyjętych wymiarów, określono długość walca komory rezonansowej opierając się na wyrażeniu (11):

$$Vl_k = p \cdot d \cdot l. \quad (11)$$

gdzie:

p - pole powierzchni $\frac{1}{4}$ elipsy opartej na osiach r_1 i r_2 ($r_1 = 0,05$ m, $r_2 = 0,08$ m), m^2 ,

d - długość walca komory rezonansowej, m,

l - długość kanału rezonansowego, m.

Dla położenia jak na Rys. 41 wartość iloczynu Vl_k musi spełniać warunek brzegowy dla 4500 1/min (12):

$$Vl_k \leq Vl_{4500}. \quad (12)$$

Stąd długość walca komory rezonansowej jest równa (13):

$$d \leq \frac{Vl_{4500}}{p \cdot l} \leq \frac{0,0000989392}{\frac{\pi \cdot 0,05 \cdot 0,08}{4} \cdot 0,1} \leq 0,31509299. \quad (13)$$

Do dalszych rozważań przyjęto $d = 0,32$ m. Dla tak dobranych wielkości geometrycznych układu dolotowego należy sprawdzić warunek brzegowy Vl dla 1500 obr/min. Wykonano to w oparciu o wyprowadzone równanie uzależniające wielkości Vl od kąta obrotu bębna względem nieruchomego walca (14):

$$Vl(\alpha) = \left(V_0 + \frac{\pi \cdot r_1^2 \cdot d \cdot \alpha}{360} \right) \left(l_0 + \frac{2\pi \cdot r_3 \cdot \alpha}{360} \right), \quad (14)$$

gdzie:

V_0 - objętość początkowa komory rezonansowej, m^3 ,

l_0 - długość początkowa przewodu rezonansowego, m,

r_1 - promień bębna ruchomego, m,

r_3 - promień środka przekroju poprzecznego przewodu rezonansowego, m,

d - długość komory rezonansowej, m.

Dla przyjętych wymiarów (Rys. 4) objętość początkowa komory rezonansowej jest równa (15):

$$V_0 = \frac{\pi \cdot r_1 \cdot r_2}{4} \cdot d, \quad (15)$$

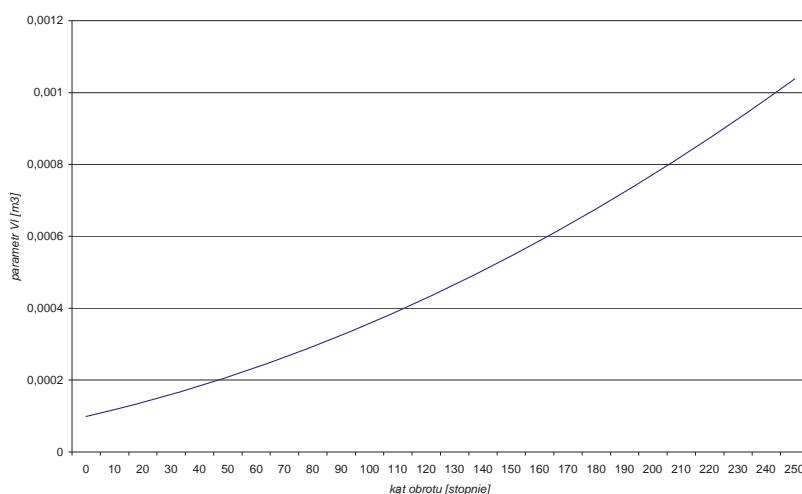
$$V_0 = 0,0010048m^3.$$

Wartości pozostałych wymiarów są następujące: $l_0 = 0,1\text{m}$, $r_1 = 0,05\text{m}$, $r_2 = 0,08\text{m}$, $r_3 = 0,065\text{m}$, $d = 0,3\text{m}$. Po wyznaczeniu tych wielkości obliczono wartość parametru Vl w funkcji obrotu ruchomego bębna względem walca, co przedstawia Tab. 1.

Tab.1. Wartości parametru Vl w funkcji kąta obrotu bębna względem walca

kąt α [°]	parametr Vl [m ⁴]
0	0,000098939
10	0,000117802
20	0,000138222
30	0,000160199
40	0,000183734
50	0,000208826
60	0,000235475
70	0,000263682
80	0,000293445
90	0,000324766
100	0,000357644
110	0,00039208
120	0,000428072
130	0,000465622
140	0,000504729
150	0,000545393
160	0,000587615
170	0,000631394
180	0,00067673
190	0,000723623
200	0,000772074
210	0,000822081
220	0,000873646
230	0,000926769
240	0,000981448
250	0,001037685

Dla warunku brzegowego przy 1500 1/min parametr Vl przyjmować powinien wartość: $0,000890453\text{m}^4$. Przy założonych wielkościach geometrycznych wartość ta osiągnięta jest przy kącie obrotu bębna nieco powyżej 220° , co wydaje się możliwym do realizacji w tak zaproponowanym układzie. Jednocześnie przy obrotach 4500 1/min zależność jest spełniona; $Vl = 0,0000989392\text{m}^4$. Mając tabelaryczne dane funkcji $Vl(\alpha)$ można przedstawić jej przebieg na wykresie na Rys. 5.



Rys. 5. Przebieg wartości wyrażenia Vl w funkcji kąta obrotu bębna
 Fig. 5. The graph of value expressions Vl in function of angle of turn drum

Funkcja przedstawiona na Rys. 5 nie jest liniowa, zatem zależność obrotu bębna od prędkości obrotowej wału korbowego również nie jest linią prostą. Przy ewentualnej próbie realnego zastosowania tego rozwiązania istnieje konieczność wyprowadzenia szczegółowej zależności kąta wychylenia bębna od prędkości silnika. Opierając się na zależnościach: (7) oraz (15), można zapisać (16):

$$n = \frac{10}{\pi} \sqrt{\frac{A}{\left(V_0 + \frac{\pi \cdot r_1^2 \cdot d \cdot \alpha}{360}\right) \left(l_0 + \frac{2\pi \cdot r_3 \cdot \alpha}{360}\right)}} \quad (16)$$

Rozwiązując równanie (24) względem n (prędkość obrotowa) można otrzymać wyżej wspomnianą zależność kąta wychylenia bębna od prędkości obrotowej silnika. Na tej podstawie jest możliwy do sporządzenia algorytm sterowania układem dolotowym o zmiennej geometrii.

4. Wnioski

- We współczesnych jednostkach napędowych stosowanie układów dolotowych z wykorzystaniem zjawisk bezwładnościowych czy rezonansowych stało się regułą. Argumentem przemawiającym za stosowaniem tych metod zwiększania napełnienia cylindra są przede wszystkim: mały stopień skomplikowania konstrukcji, możliwość wprowadzenia układu do dowolnej jednostki napędowej, a rozwój technologii przetwarzania tworzyw sztucznych umożliwił niemalże dowolne kształtowanie elementów, a w tym podzespołów układów dolotowych silników spalinowych.
- W pracy został zaproponowany układ będący rozwinięciem powszechnie stosowanych koncepcji, a ideą jego było połączenie istniejącego rozwiązania płynnej zmiany geometrii układu poprzez zmianę długości tylko przewodów rezonansowych z pomysłem autorów o jednoczesnej zmianie objętości zbiornika rezonansowego.
- W głównej mierze niewątpliwą zaletą takiego układu jest możliwość bezstopniowego dopasowania układu do aktualnej prędkości obrotowej silnika. Poprawa jego stopnia napełnienia może zatem wystąpić w całym możliwym zakresie prędkości obrotowych.
- Stopień poprawy napełnienia a co za tym idzie zwiększenia momentu obrotowego i mocy nie jest niestety w prosty sposób łatwy do określenia. Tak jak precyzyjne zestrojenie układu rezonansowego jest możliwe tylko podczas badań hamownianych, tak i ocena stopnia poprawy jego parametrów roboczych wymaga tego rodzaju prób. Dla konstrukcji istniejących można założyć, że przy poprawnym dobraniu parametrów układu możemy spodziewać się przyrostu momentu obrotowego i mocy na poziomie 10%.

Literatura

- [1] Ciszek, K., *Projekt układu bezstopniowego doładowania rezonansowego do silnika 1,3 multijet*, Praca Dyplomowa, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska, Wrocław 2006.
- [2] Kowalewicz, A., *Doładowanie silników spalinowych*, PR, Radom 1998.
- [3] Kowalewicz, A., *Systemy spalania szybkoobrotowych silników spalinowych*, WKŁ, Warszawa 1990.
- [4] Lachowicz, M., *Projekt systemu turbodoładowania dla silnika o zapłonie iskrowym przeznaczonego do samochodu osobowego*, Praca Dyplomowa, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska, Wrocław 2002.
- [5] *Materiały serwisowe*, Fiat Auto Poland.
- [6] Mysłowski, J., *Doładowanie bezsprężarkowe silników z zapłonem samoczynnym*, WNT, Warszawa 1995.
- [7] Mysłowski, J., *Doładowanie silników*, WKŁ, Warszawa 2002.
- [8] Wisłocki, K., *Systemy doładowania szybkoobrotowych silników spalinowych*, WKŁ, Warszawa 1991.