

Paweł Paliszewski¹, Ireneusz Szczygiał¹

MODELOWANIE NUMERYCZNE PROCESU NAPEŁNIANIA CYLINDRA SILNIKA ZI

Streszczenie. W pracy przedstawiono model numeryczny procesu napełniania cylindra silnika ZI. Model został zbudowany z użyciem komercyjnego pakietu obliczeniowego Ansys Fluent, który jest narzędziem pozwalającym na modelowanie przepływów zarówno ciepła jak i masy. Możliwości pakietu obliczeniowego można szeroko wykorzystać w procesie projektowania, eksploatacji bądź modyfikacji silników. W pracy zwrócono szczególną uwagę na proces napełniania cylindra. Opracowany model umożliwia analizę wpływu takich czynników jak długość kolektora dolotowego czy kształt profili wzniosu zaworów na napełnienie cylindra.

Słowa kluczowe: metody numeryczne, modelowanie przepływów, silniki ZI.

WSTĘP

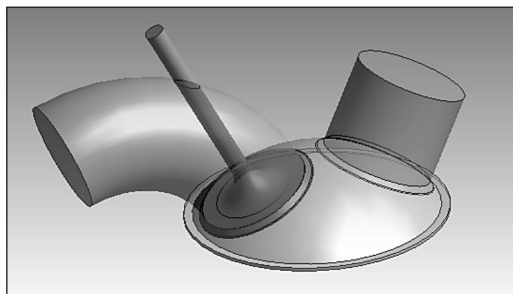
W pracy przedstawiono model numeryczny procesu napełniania cylindra silnika ZI. Model został zbudowany przy użyciu komercyjnego pakietu obliczeniowego Ansys Fluent, który jest narzędziem pozwalającym na modelowanie przepływów zarówno ciepła jak i masy. Pakiet składa się z wielu podprogramów z których każdy spełnia określoną funkcję.

PRZYGOTOWANIE MODELU NUMERYCZNEGO

Geometria

Pierwszym z etapów było stworzenie geometrii analizowanego modelu, w tym celu wykorzystana została aplikacja o nazwie DesignModeller. Program umożliwia tworzenie rozmaitych modeli trójwymiarowych, które najczęściej powstają z prostych brył oraz poprzez wyciąganie prostych profili geometrycznych. Odpowiednie łączenie ze sobą brył oraz ich wzajemne wycinanie skutkuje powstaniem modelu o zaawansowanym kształcie. Przykładem takiej geometrii jest komora spalania czterosuwowego silnika ZI, której kształt przedstawiono na rysunku 1.

¹ Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 22, 44-100 Gliwice, e-mail: pawel.paliszewski@polsl.pl

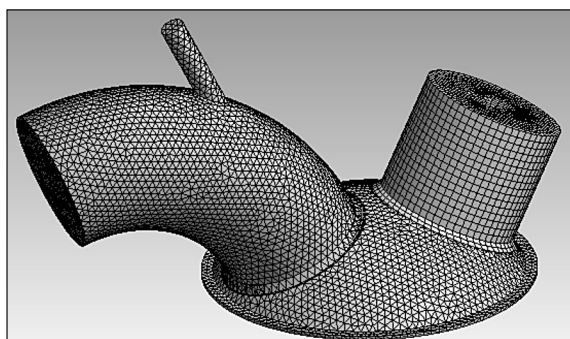


Rys. 1. Trójwymiarowy model czterosuwowego silnika ZI

Ponieważ w pracy analizowany był wyłącznie proces napełniania cylindra, model został uproszczony do jednego kanału ssącego i zaworu. Kanał wydechowy ma postać walca o podstawie w kształcie zaworu. Uproszczenie to pozwoli na skrócenie czasu obliczeń, oraz na wygenerowanie siatki o wyższej jakości [4]. Z uwagi na fakt, iż w badanym przypadku przepływ czynnika nie odbywał się przez kanał wydechowy, uproszczenie nie wpłynie negatywnie na jakość symulacji.

Siatkowanie modelu

Dyskretyzacji modelu dokonano w programie o nazwie Mesher; jest to aplikacja służąca do wygenerowania siatki składającej się z elementów geometrycznych o skończonej liczbie[5]. Narzędzie to umożliwia szereg opcji tworzenia siatki, która może być formowana dla całego obiektu lub dla każdej z brył osobnie. Siatkowanie brył może odbywać się również poprzez wyciąganie, tzn. definiowana jest powierzchnia dominująca według której tworzone są kolejne elementy. Budowana siatka może być strukturalna lub niestructuralna. Określony może zostać rozmiar elementów, kierunek oraz kształt z którego wyciągana zostaje siatka a także wyznaczone są obszary w których wymiary elementów powinny być mniejsze. Przykład siatki modelu komory spalania obrazuje rysunek 2.

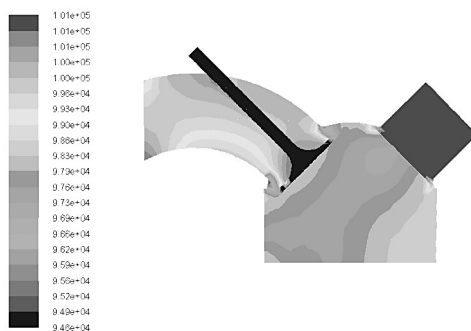


Rys. 2. Posiatkowany model czterosuwowego silnika ZI

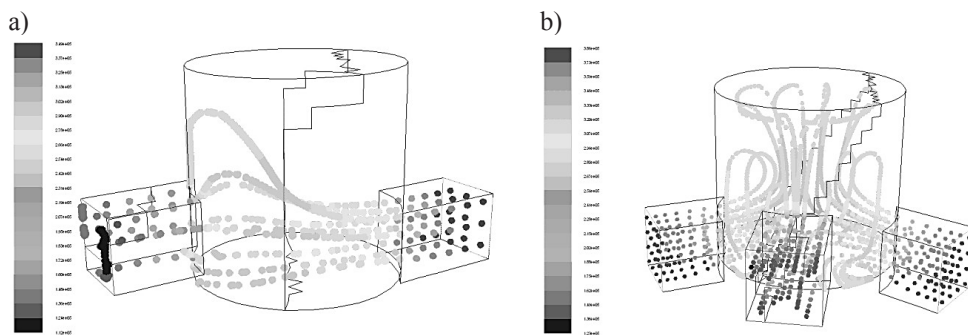
Symulacja

Obliczenia wykonano w pakiecie o nazwie Fluent. Możliwości pakietu można szeroko wykorzystać w procesie projektowania, eksploatacji bądź modyfikacji silników. Program pozwala na analizę wpływu takich czynników jak długość kolektora dolotowego i kształt profili wzniosu zaworów na napelnienie cylindra. Możliwe jest również określenie jak geometria kolektora dolotowego wpływa na zawirowania mieszanki paliwowo-powietrznej w cylindrze, czy też jak kształtują się straty ciśnienia następujące podczas przepływu powietrza przez kolektor dolotowy.

Na wstępie zdefiniowano warunki brzegowe oraz substancje biorące udział w symulacji (paliwo, powietrze, spaliny). Następnie zdefiniowano ruch wybranych elementów modelu, który odbywać się będzie według określonych profili, w przypadku omawianego modelu poruszały się: denko tłoka oraz zawór. Ruch tłoka zdefiniowano poprzez określenie jego skoku oraz długości korbowodu, w przypadku ruchu zaworu konieczne jest podanie pełnego profilu w formie zależności wzniosu zaworu od kąta obrotu wału korbowego. Przy pomocy pakietu obliczeniowego dokonywane są symulacje rozkładu ciśnienia, gęstości, profilu prędkości, a także trajektorii ruchu cząsteczek czynnika przepływającego wewnątrz cylindra. Aplikacja



Rys. 3. Rozkład ciśnienia w cylindrze czterosuwowego silnika ZI



Rys. 4. Trajektorie ruchu czynnika przepływającego cylinder dwusuwowego silnika ZI:
a) z jednym oknem wlotowym, b) z dwoma oknami wlotowymi

pozwała również na określenie wpływu położenia wtryskiwacza paliwa w cylindrze lub kolektorze ssącym na proces przygotowania mieszanki paliwowo-powietrznej. Na rysunku 3 przedstawiono rozkład ciśnienia w cylindrze czterosuwowego silnika ZI, natomiast rysunek 4 obrazuje trajektorie ruchu cząstek czynnika przepływającego cylinder dwusuwowego silnika ZI wyposażonego w jedno i dwa okna wlotowe.

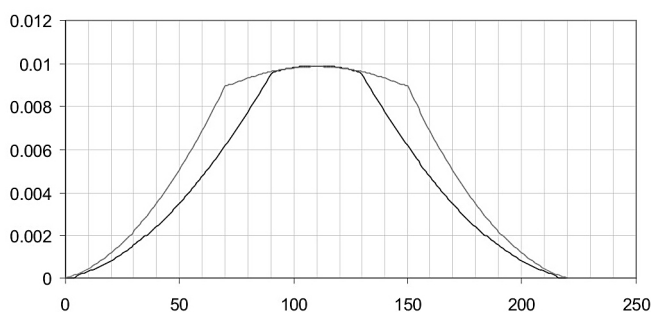
WIELOWĄTKOWE OBLICZENIA

Celem analizy było:

- określenie wpływu profilu otwarcia zaworu na napełnienie cylindra,
- zobrazowanie jak geometria kolektora dolotowego wpływa na zawirowanie czynnika w cylindrze.
- porównanie efektywności przepłukania cylindra dwusuwowego silnika ZI, wyposażonego w jedno i dwa okna dolotowe.

Badanie wpływu profilu otwarcia zaworu na napełnienie cylindra

Badanie wpływu profilu otwarcia zaworu na napełnienie cylindra przeprowadzono przy założeniu, że krzywka poruszająca zaworem jest krzywką harmoniczną. Należy zwrócić uwagę iż jest to rozwiązanie obecnie już nie stosowane, jednakże szczególną cechą tego rodzaju krzywek jest możliwość opisanie jej profilu przy pomocy zależności geometrycznych[1]. Uproszczenie wynikało z braku możliwości zdobycia profilu otwarcia zaworu pochodzącego z rzeczywistej jednostki napędowej. Dla celów porównawczych zbudowano dwa profile otwarcia zaworu, pierwszy przy założeniu stosunkowo małego promienia szczytowego krzywki tzw. „ostry”, drugi przy założeniu większego promienia szczytowego tzw. „obły”. Zarys obu profili został przedstawiony na rysunku 5.



Rys. 5. Zarys profili otwarcia zaworu

Porównania profili dokonano przez analizę współczynników napełnienia, wyrażanego przez stosunek rzeczywistej masy powietrza zasanej do cylindra do mak-

symalnej masy powietrza wynikającej z objętości skokowej[1], wyznaczonej dla dwóch prędkości obrotowych tj. 2000 obr/min oraz 6000 obr/min. Otrzymane wyniki zostały zobrazowane w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości współczynników napełnienia dla różnych profili i prędkości obrotowych

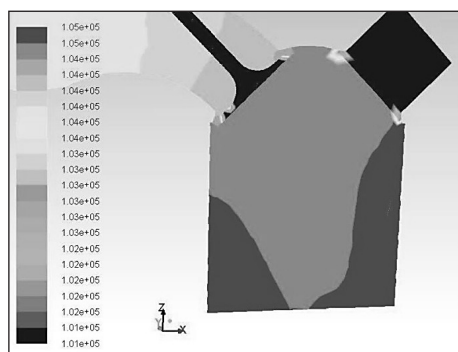
Prędkość obrotowa	Profil „ostry”	Profil „obły”
2000 obr/min	0,980	0,984
4000 obr/min	0,820	0,860

Na podstawie powyższej tabeli można zauważyć, że przy wysokich prędkościach obrotowych maleje współczynnik napełnienia oraz rośnie znaczenie profilu otwarcia zaworu. Wnioski te pokrywają się ze zjawiskami zachodzącymi w rzeczywistości [2].

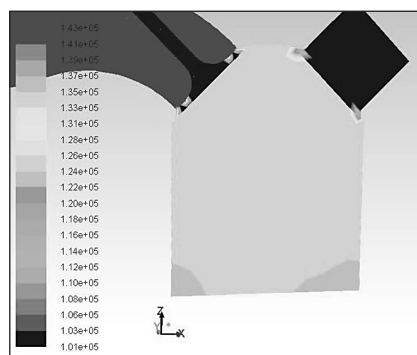
Opracowany model posłużył również do analizy faz rozrządu, poprzez obserwację rozkładu ciśnień panującego w cylindrze. Na rysunku 6 przedstawiono rozkład ciśnienia przy 176 stopniu obrotu wału korbowego.

Widoczne jest nadciśnienie panujące w cylindrze w stosunku do kolektora dolotowego, tak więc w tym momencie powinno nastąpić zamknięcie zaworu. W zastosowanym profilu nastąpi to dopiero przy 221 stopniu obrotu wału korbowego. Odwrotna sytuacja występuje w przypadku prędkości obrotowej wynoszącej 6000 obr/min. Rozkład ciśnienia w cylindrze przy tej prędkości obrotowej obrazuje rysunek 7.

Przy zastosowanym profilu ruchu zaworu w momencie jego zamknięcia w cylindrze panuje podciśnienie w stosunku do kolektora dolotowego. Opisywane zjawiska wpływają negatywnie na napełnienie cylindra ponieważ w przypadku prędkości równej 2000 obr/min ładunek wypływa z cylindra zanim zawór zostanie zamknięty, natomiast w przypadku 6000 obr/min zawór zostaje zamknięty w trakcie napełnienia cylindra.



Rys. 6. Rozkład ciśnienia przy 176 stopniu obrotu wału korbowego 2000 obr/min



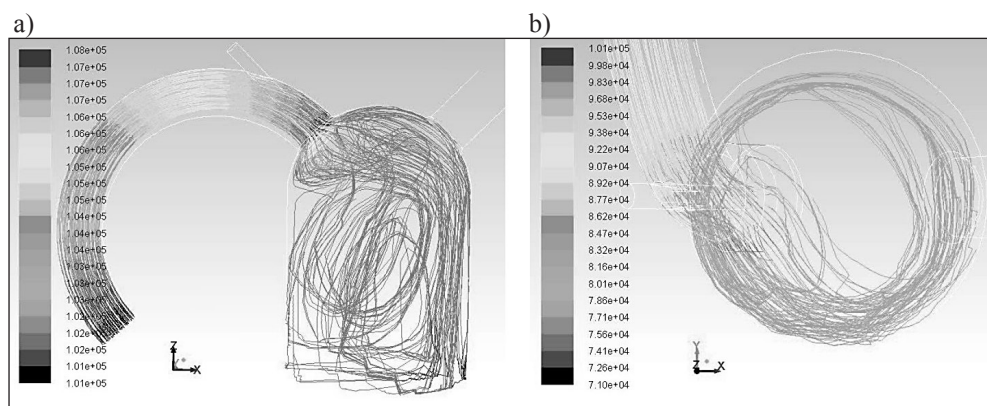
Rys. 7. Rozkład ciśnienia przy 221 stopniu obrotu wału korbowego dla 6000 obr/min

Obrazowanie trajektorii czynnika napędzającego cylinder

Jedną z najbardziej efektywnych opcji pakietu obliczeniowego jest możliwość śledzenia trajektorii czynnika napędzającego cylinder. Narzędzie staje się przydatne w przypadku badania wpływu kształtu kolektora dolotowego na zawirowanie ładunku w cylindrze. W technice samochodowej rozróżniamy dwa główne typy zawirowań ładunku, wir beczkowy i wir osiowy[3].

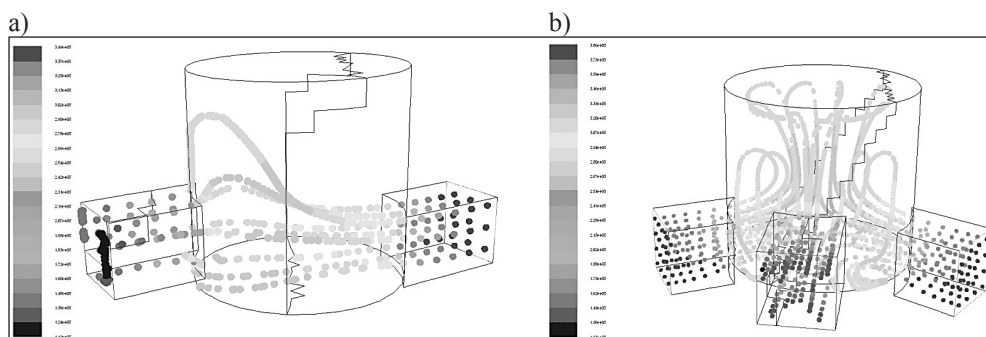
Osiowe zawirowanie mieszanki paliwowo-powietrznej uzyskiwane jest poprzez doprowadzenie kanału dolotowego stycznie do cylindra oraz przez zastosowanie zaokrąglonego kolektora dolotowego, o promieniu zaokrąglenia w płaszczyźnie prostopadłej do osi cylindra. Beczkowe zawirowanie mieszanki paliwowo-powietrznej uzyskiwane jest poprzez zastosowanie zaokrąglonego kolektora dolotowego, o promieniu zaokrąglenia w płaszczyźnie równoległej do osi cylindra oraz przez równoległy do osi doprowadzony kanał dolotowy.

Omawiane przypadki zostały zobrazowane na rysunku 8.



Rys. 8. Zawirowanie a) beczkowe, b) osiowe w cylindrze czterosurowego silnika ZI

Ponadto przy użyciu programu Ansys Fluent został przeanalizowany przypadek dwusurowego silnika ZI, w którym przepłukanie miałyby się odbywać poprzez powietrze pochodzące z sprężarki mechanicznej. Analizie zostały poddane dwa przypadki tzn. z jednym i z dwoma oknami dolotowymi. Pomimo zastosowania stosunkowo dużego ciśnienia doładowania wynoszącego 300 000 Pa, rozwiązanie z jednym oknem dolotowym okazało się wysoce nieefektywne ze względu na napełnienie cylindra. Obydwa przypadki zostały zamieszczone na rysunku 9.



Rys. 9. Trajektorie ruchu czynnika przepływającego cylinder dwusuwowego silnika ZI:
a) z jednym oknem wlotowym, b) z dwoma oknami wlotowymi

LITERATURA

1. Wajand J.A., Wajand J.T., Tłokowe silniki spalinowe średnio- i szybkoobrotowe. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
2. Matzke W., Konstrukcja rozrządu silników szybkoobrotowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1974.
3. Rychter T., Teodorczyk A., Teoria silników tłokowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2006.
4. Beauquel J.A., Flow behaviour in the combustion chamber of a spark ignition engine. VDM Verlag Dr. Muller, Saarbrücken 2009.
5. Ansys Fluent User's guide, Ansys, Inc. Canonsburg 2010.
6. Rychter T., Teodorczyk A., Modelowanie matematyczne roboczego cyklu silnika tłokowego. PWN, Warszawa 1990.

FLOW SIMULATIONS INSIDE THE IC ENGINE

Abstract

In the paper the numerical model of a cold flow simulation inside IC engine is presented. Model was build using commercial computational package Ansys Fluent, which is able to simulate heat and mass flows. Ability of computational package can be used in engine design, or modification process. Created model gives opportunity to analyse influence of such aspects like: intake manifold length or valve lift profile on cylinder fill rate. Using numerical model, it is also possible to analyse the impact of an intake manifold shape on air swirl inside cylinder. As a result of computations in cylinder contours of pressure, temperature, particle tracks and many more physical quantities are obtained.

Key words: advanced numerical techniques, flow simulations, IC engines.