

## THE IDENTIFICATION METHOD OF AIRFLOW CHARACTER IN COMBUSTION ENGINES

Czesław Kolanek<sup>1</sup>, Marcin Tkaczyk<sup>2</sup>

Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny

Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn

Zakład Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych

ul. Łukasiewicza 7/9 50-371 Wrocław, tel./fax: +48 71 347791

, <sup>1</sup>e-mail [czeslaw.kolanek@pwr.wroc.pl](mailto:czeslaw.kolanek@pwr.wroc.pl), <sup>2</sup>e-mail [marcin.tkaczyk@pwr.wroc.pl](mailto:marcin.tkaczyk@pwr.wroc.pl)

### Abstract

*This work contains description about place to determine: not invasive methods distribution velocity of air in combustion engines cylinder, invasive methods define velocity flow of air in inlet track. Moreover contain progress measurements about description in used laser- end thermoanemometry. Determined values was created with the aid of algorithm weight rests, worked out and graphic presented. The last part contains identification of flow character on the basis of findings. The schema of the measuring-stand, the schema of the laser- measuring-system, plots velocity components are presented in the paper. Research showed that at given parameters eddying perimetric round the axis of the cylinder did not occur. In points being found nearest the plate of the valve smallest values absolute velocity were registered. Shape of the intake air channel introducing perimetric eddy in the cylinder of the engine, causes the course extension of the flow and introduces changes surfaces of the cross-section canal. An effect compound geometry is increasing of the flow velocity, and what to these is going the height resistance forces of the flow.*

**Keywords:** combustion engines air intake, modelling, laser methods, velocity distribution

## METODA IDENTYFIKACJI CHARAKTERU PRZEPIYU POWIETRZA W SILNIKU SPALINOWYM

### Streszczenie

*Praca zawiera opis stanowiska do wyznaczania: rozkładu prędkości powietrza w cylindrze silnika spalinowego metodami bezinwazyjnymi, określania prędkości przepływu powietrza przez układ dolotowy metodą inwazyjną. Ponadto zamieszczono opis przebiegu pomiarów z wykorzystaniem anemometru laserowego i termoanemometru. Wyznaczone wielkości zostały przetworzone za pomocą algorytmu reszty ważonej, opracowane i przedstawione w formie wykresów. Ostatnia część pracy zawiera identyfikację charakteru przepływu na podstawie uzyskanych wyników. Schemat stanowiska pomiarowego, schemat laserowego układu pomiarowego, wykresy składowych prędkości są prezentowane w artykule. Badania wykazały, że przy zadanych parametrach zawirowanie obwodowe wokół osi cylindra nie występowało. W punktach znajdujących się najbliżej talerzyka zaworu najmniejsze wartości prędkości bezwzględnej zostały zarejestrowane. Wyprofilowanie kanału dolotowego powietrza mające wprowadzić wir obwodowy w cylindrze silnika, powoduje wydłużenie drogi przepływu oraz wprowadza zmiany pola przekroju poprzecznego przewodu. Efektem złożonej geometrii jest wzrost prędkości przepływu, a co za tym idzie wzrost oporów przepływu.*

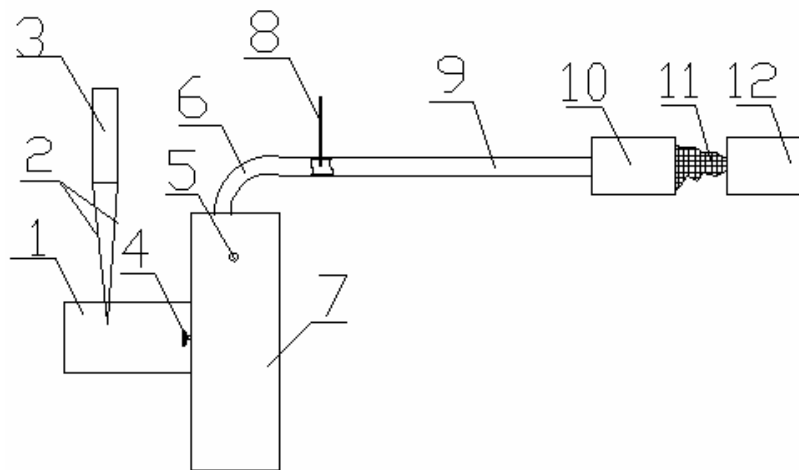
**Słowa kluczowe:** silniki spalinowe, układy dolotowe, modelowanie, metody laserowe, rozkład prędkości

### 1. Wprowadzenie

Badania modelowe towarzyszą projektowaniu i konstruowaniu silników spalinowych od początku rozwoju motoryzacji. Wraz z doskonaleniem aparatury badawczej pojawia się możliwość wyznaczenia wielkości fizycznych z większą dokładnością. W badaniach przepływów prym wiodą pomiary bezinwazyjne. Przykładem takich badań jest wyznaczenie rozkładu prędkości w cylindrze silnika spalinowego VW 1.9 TDI z wykorzystaniem dwukanałowego anemometru laserowego. Określenie pola prędkości w cylindrze umożliwi określenie parametrów napełnienia komory spalania w sferze modelowej.

## 2. Eksperyment

Eksperyment obejmował wyznaczenie prędkości przepływającego powietrza w stanowisku przedstawionym schematycznie na rys. 1. Względem silnika spalinowego dokonano uproszczenia polegającego na wywołaniu przepływu powietrza od wlotu kolektora dolotowego przez kanały przewodu dolotowego do cylindra silnika. Pominięcie tłoka i usytuowanie w jego miejscu wylotu umożliwiło wytworzenie warunków podobnych do panujących w funkcjonującym silniku podczas suwu napelnienia gdy wał korbowy wykona ćwierć obrotu mierzonych od GMP. By przepływ zbliżyć do przepływu występującego w warunkach silnikowych pomiary rozszerzono o wyznaczenie, a następnie korekcję prędkości w przewodzie łączącym wentylator z kolektorem. W związku z powyższym część badawcza obejmowała pomiar uśrednionej prędkości za wentylatorem kanałowym, a następnie chwilowego rozkładu prędkości we wnętrzu cylindra.



Rys.1. Schemat stanowiska pomiarowego - opis elementów w tekście  
Fig. 1. Scheme of measuring stand

Zbudowano stanowisko pomiarowe (rys.1), które zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza, składa się z następujących elementów:

- Wytwornicy mgły parafinowej (12) Alpha F-80Z firmy Antari. Wybrano taki sposób barwienia płynu (11) ze względu na niewielką zmianę parametrów powietrza, którego prędkość wyznaczano.

- Wentylatora kanałowego (10) o podwyższonym sprężu, dobraneo pod względem ciśnienia i wydajności tak, by wywoływał odpowiedni przepływ stacjonarny. Wentylator był połączony z kolektorem dolotowym (6) przewodem (9), którego stosunek długości  $h$ , do średnicy  $d$  przekraczał 12 ( $h/d > 12$ ) w celu zniwelowania zaburzeń w przepływie powietrza .

- Punktu pomiarowego (8) przystosowanego do zamontowania termooanemometru, za pomocą którego przeprowadzono pomiar uśrednionej prędkości we wnętrzu przewodu łączącego wentylator kanałowy (10) z kolektorem dolotowym (8).

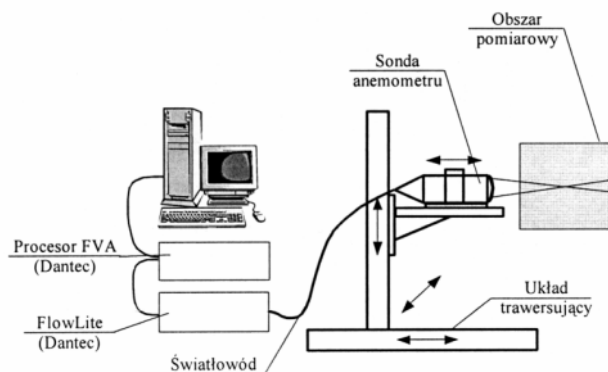
- Układu dolotowego silnika spalinowego 1.9 TDI wraz z cylindrem. W skład konstrukcji wchodził: kolektor dolotowy (6), głowica silnikowa (7) z zaworami (4), wałkiem rozrządu (5) i elementami przenoszącymi napęd. Cylinder silnika (1) został wykonany ze szkła organicznego umożliwiającego wizualizację zjawisk przepływowych.

- Sondy anemometru (3) emitującej promieniowanie laserowe (2).

- Dwukanałowego anemometru laserowego firmy Dantec o mocy 40 mW z układem trawersującym, sondą anemometryczną, procesorem wzmacniającym i przetwarzającym

- Dwukanałowego anemometru laserowego firmy Dantec o mocy 40 mW z układem trawersującym, sondą anemometryczną, procesorem wzmacniającym i przetwarzającym mierzony sygnał. Sonda anemometru emitowała cztery promienie laserowe kierowane tak,

by ich wiązki przecinały się w odległości 160 mm, tworząc dwie elipsoidalne objętości pomiarowe o wymiarach 96 x 95 x 810  $\mu\text{m}$ . W objętościach tych powstaje 35 prążków interferencyjnych o szerokości 2,68  $\mu\text{m}$  każdy.



Rys. 2. Schemat stanowiska anemometru laserowego [3].

Fig. 2. Scheme of laser anemometry position [3].

Teoretyczny opis anemometrii laserowej oparty jest na dwóch zjawiskach fizycznych: pierwsze to prawo dopplerowskie przesunięcia częstości - drugie to zjawisko interferencji. Obydwa prowadzą do podobnych relacji. Ideę anemometrii można przedstawić jako interferencję pomiędzy dwiema falami świetlnymi o częstościach przesuniętych w wyniku zjawiska opisanego przez Dopplera. Czynnikiem wprowadzającym to przesunięcie jest poruszająca się cząstka. Cząstka posiewu, przepływając przez objętość pomiarową w poprzek prążków, odbija światło, które przechwytuje fotopowielacz sondy anemometru. Następnie sygnał z fotopowielacza jest analizowany przez procesor, gdzie dla znanej liczby prążków, ich szerokości i odległości między nimi obliczona jest prędkość cząstki posiewu.

## 2. Pomiar

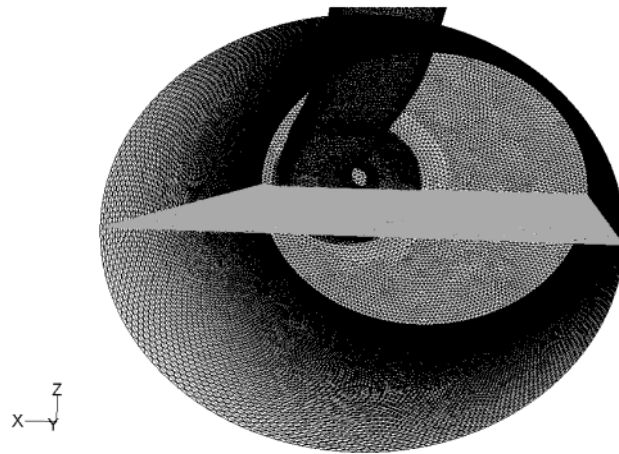
W celu określenia warunków brzegowych numerycznej symulacji układu dolotowego wyznaczono z użyciem termoanemometru wartość prędkości powietrza  $v = 7$  m/s we wnętrzu przewodu łączącego wentylator kanałowy z kolektorem dolotowym (rys.1).



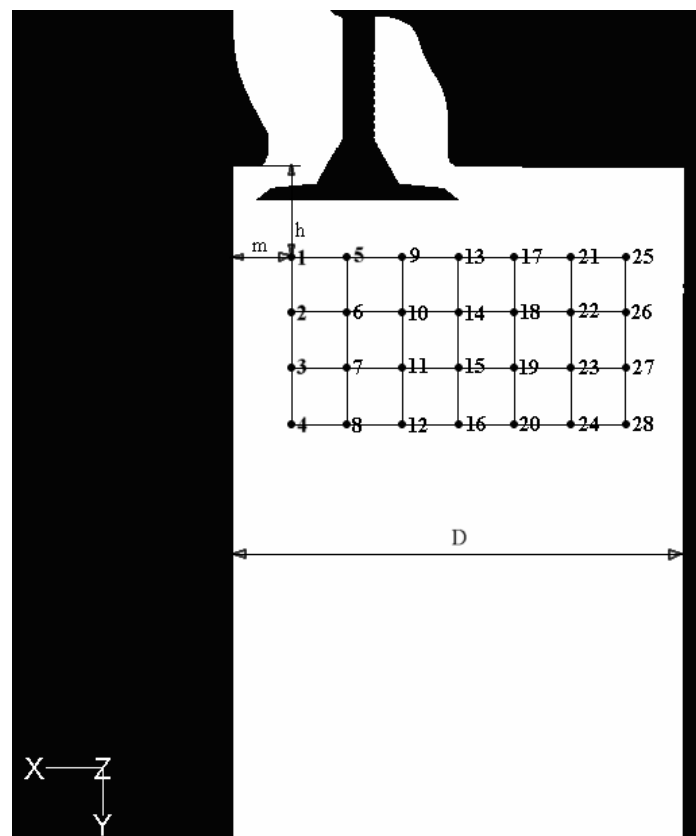
Rys. 3. Widok fragmentu stanowiska w trakcie badań rozkładu prędkości we wnętrzu cylindra za pomocą anemometru laserowego.

Fig. 3. The view of fragmentary measuring position during distribution velocity tests inside the cylinder used laser anemometry.

W celu weryfikacji wyników obliczeń numerycznej symulacji układu dolotowego przeprowadzono pomiary we wnętrzu cylindra z użyciem anemometru laserowego (rys. 5). Zakres pomiarowy obejmował wyznaczenie składowych prędkości  $V_Y$ ,  $V_Z$  powietrza w punktach znajdujących się na przyjętej płaszczyźnie  $xy$  (rys. 4). Zdecydowano się na płaszczyznę leżącą w osi symetrii cylindra.



Rys. 4. Widok cylindra z płaszczyzną pomiarową  $xy$ .  
Fig. 4. The view of cylinder with  $xy$  measurement plane.



Rys. 5. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych na płaszczyźnie  $xy$ .  
Fig. 5. Scheme of points in  $xy$  measurement plane.

Przyjęto plan pomiarowy wyznaczania prędkości w dwudziestu ośmiu punktach rozmieszczonych co 10 mm względem siebie (rys. 5). Punkt nr 1 został usytuowany w odległości  $h=17$  mm od płaszczyzny głowicy i  $m=10$  mm od ścianki tulei cylindrowej o średnicy  $D=80$  mm. Precyzyjne

przemieszczanie głowicy pomiarowej (z dokładnością do setnej części milimetra) zapewniał układ trawersujący stanowiący osprzęt anemometru firmy Dantec. Wyznaczając prędkość zadeklarowano sto pomiarów wielkości prędkości w każdym z punktów pomiarowych. Uzyskane dla każdego punktu pomiarowego wartości zostały następnie przetworzone za pomocą algorytmu reszty ważonej (1) i (2), ze względu na uprzywilejowanie do rejestrowania przez anemometr znaczników o dużej prędkości [5]:

$$\eta_i = \frac{t_i}{\sum_{i=0}^{N-1} t_i}, \quad (1)$$

gdzie:

$\eta_i$  – współczynnik czasu pobytu cząstki w strefie pomiarowej.

$t_i$  – czas pobytu  $i$ -tej cząstki w strefie pomiarowej,

$N$ - ilość pomiarów

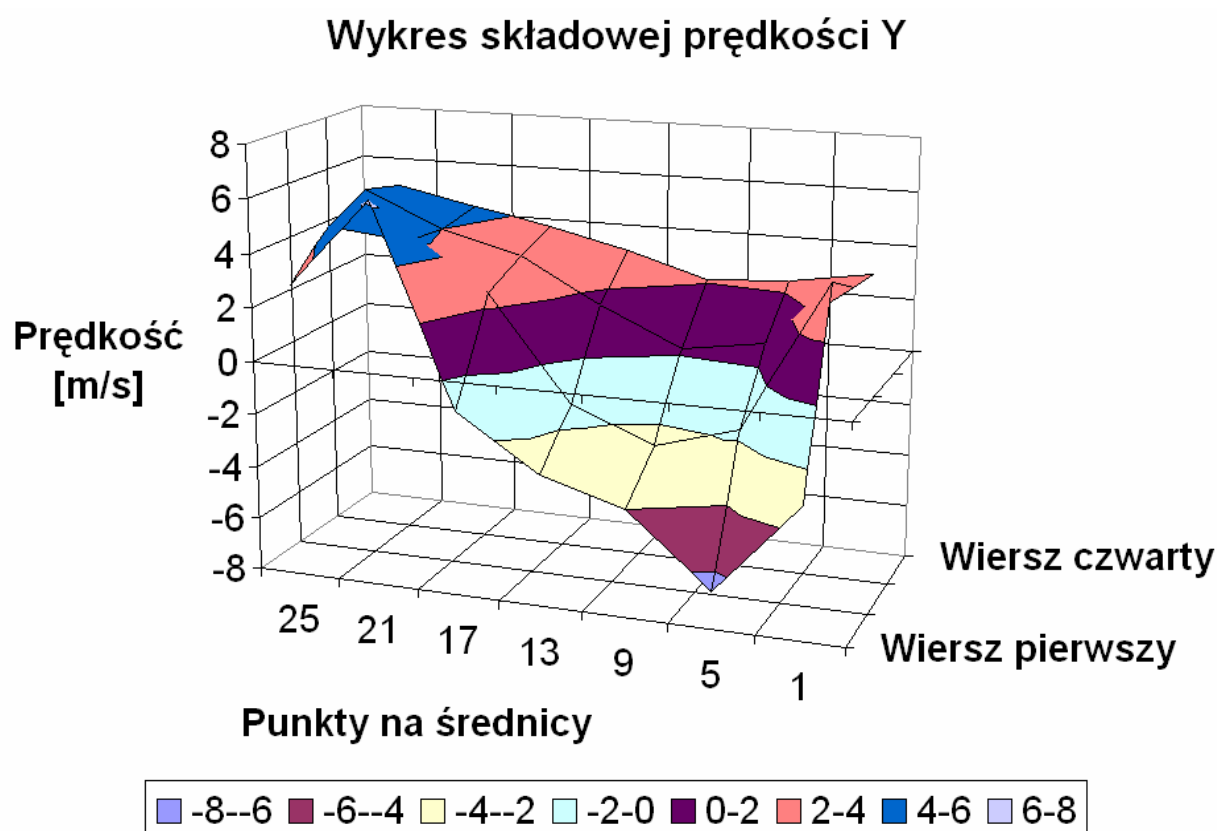
$i$ - numer pomiaru cząstki

$u_i$  – zarejestrowana prędkość  $i$ -tej cząstki

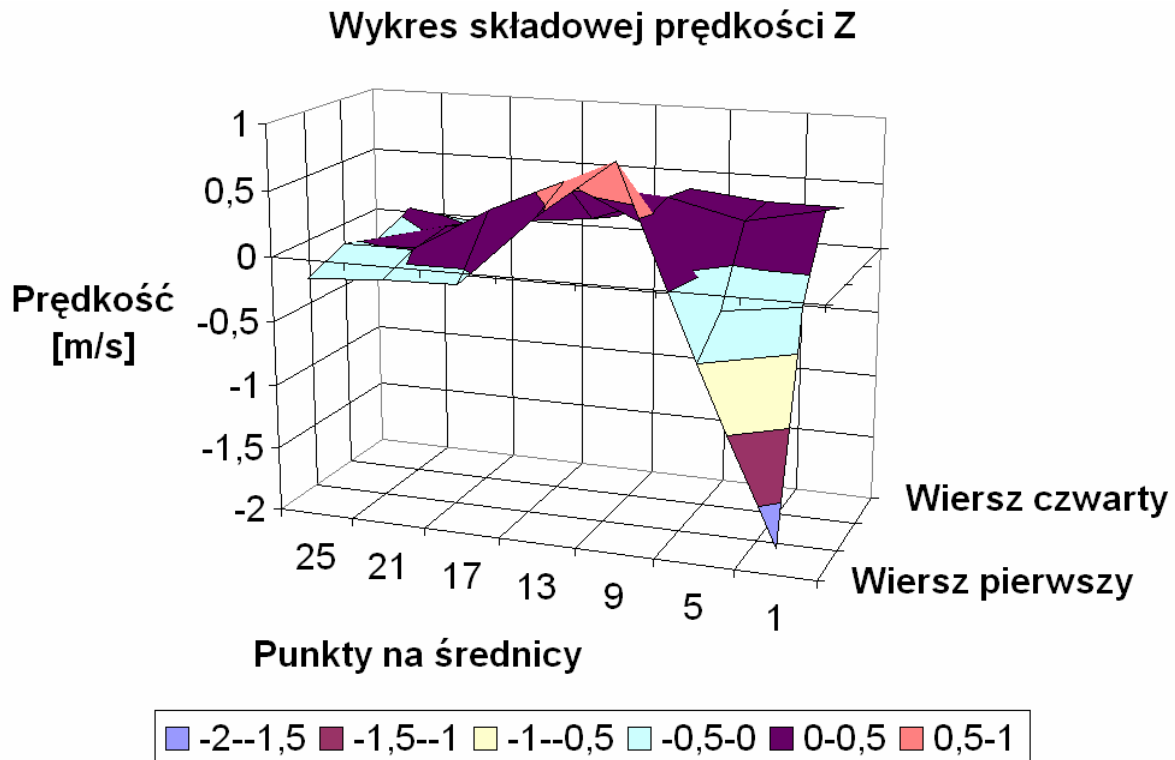
$\bar{u}$  - prędkość uśredniona

$$\bar{u} = \sum_{i=0}^{N-1} \eta_i u_i. \quad (2)$$

Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunkach 6 i 7.



Rys. 6. Wykres prędkości  $V_Y$  na płaszczyźnie  $xy$   
 Fig. 6. The graph of velocity  $V_Y$  in  $xy$  plane



Rys. 7. Wykres prędkości  $V_Z$  na płaszczyźnie  $xy$ .  
 Fig. 7. The graph of velocity  $V_Z$  in  $xy$  plane.

### 3. Analiza wyników

Analizując pole składowej prędkości  $V_Z$  (rys. 7), charakteryzujące się niewielkim zróżnicowaniem co do wartości (poza pierwszym i piątym punktem pomiarowym), prędkości oscylują blisko 0 m/s. Stąd można stwierdzić, iż przy zadanych parametrach przepływu nie występuje zawirowanie obwodowe wokół osi cylindra. Wspomnianego zawirowania powietrza można było się spodziewać ze względu na styczne usytuowanie kanału dolotowego [4]. Pierwszy punkt pomiarowy leżący najbliżej szczeliny (między zaworem a ścianką cylindra) charakteryzuje się największą prędkością bezwzględną, tym samym można wnioskować, iż przy tej prędkości przepływu rozpoczyna się kształtowanie zawirowania obwodowego.

Rozpatrując obraz pola prędkości składowej  $V_Y$  można zauważyć, że w punktach znajdujących się najbliżej talerzyka zaworu (punkty 5 i 9) zarejestrowano najmniejsze wartości prędkości bezwzględnej. Świadczy to o wystąpieniu ruchu powietrza ku zaworowi. Bardzo dobrze widoczny na rys. 6 charakter prędkości (kształt zbliżony do paraboli ułożonej na płaszczyźnie  $xy$ ) świadczy o powstaniu śladu opływu zaworu zanikającego w wierszu czwartym.

Widoczny na rys. 6 wzrost prędkości w kolumnie punktów (1,2,3,4) powyżej prędkości z kolumny (25,26,27,28) świadczy o wystąpieniu większych oporów przepływu, na skutek najmniejszego przekroju między zaworem a cylindrem.

### 4. Wnioski

Aplikacja zjawiska Dopplera do rozwiązań technicznych dała możliwość stworzenia anemometrii laserowej, a w następstwie klasy bezinwazyjnych urządzeń pomiarowych. Brak ingerencji w obszar pomiarowy nie zaburza badanych zjawisk i jest podstawą do wyznaczenia rzeczywistych wielkości fizycznych.

Omówiony przykład pomiarów składowych ( $V_y$ ,  $v_z$ ) prędkości we wnętrzu cylindra obrazuje pole stosowalności przyrządu. Dokładność pomiarowa jest efektem precyzji wykonania aparatury i uwzględnienia przy opracowaniu wyników teoretycznych podstaw realizacji pomiaru.

Wyprofilowanie kanału dolotowego powietrza mające wprowadzić wir obwodowy w cylindrze silnika, powoduje wydłużenie drogi przepływu oraz wprowadza zmiany pola przekroju poprzecznego przewodu. Efektem złożonej geometrii jest wzrost prędkości przepływu - wzrost oporów przepływu.

#### **Literatura:**

- [1] J. W. Elsner, S. Drobniak, *Metrologia turbulencji przepływu*, Zakład Narodowy Ossolińskich, Wrocław-Warszawa-Kraków, 1995.
- [2] K. J. Gasvik, *Optical metrology*, John Wiley&Sons, Chichester-New York, 1995.
- [3] K. Jeżowiecka-Kabsch, H. Szewczyk, *Mechanika płynów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2001.
- [4] A. Kowalewicz, *Wybrane zagadnienia samochodowych silników spalinowych*, Zakład Poligraficzny Politechniki Radomskiej, Radom 2002.
- [5] *Dantec BSA Flow Software v.2.1 Installation&User's guide*, Skovlunde, 2001.

