Piotr PIĄTKOWSKI

PTNSS-2011-SS2-209

The impact of kinematics of the airflow on the efficiency of combustion process in piston engines

The technical possibility of decreasing engine emissions and fuel consumption in relation to the increase in the usable engine parameters has been presented in the paper. The above problem relates to the dynamic and kinematic properties of airflow into the combustion chamber. The effect of swirl in the intake manifold that refers to the achieved engine operating parameters and emission level was presented in the paper. The included results of the experimental research of airflow swirl in the air intake model allowed getting answers related to the issues of flow resistance. The analysis of literature and the analysis of the modeling results led to conclusions about the theoretical and practical possibilities of flexible intake duct implementation.

Key words: *kinematics of airflow, intake manifold, combustion process, gaseous fuel*

Oddziaływanie kinematyki ładunku napływającego do komory spalania na efektywność procesu spalania w silnikach tłokowych

W artykule przedstawiono możliwości technicznej realizacji pracy silnika z uwagi na ograniczenie emisji spalin oraz zmniejszenie zużycia paliwa w odniesieniu do wzrostu wartości parametrów użytkowych silnika. Problem ten związano z modyfikacją oraz dynamicznymi zmianami właściwości kinematycznych ładunku napływającego do komory spalania silnika. W pracy przedstawiono zagadnienia związane z możliwością wykorzystania zjawiska zawirowania ładunku na tle uzyskiwanych wartości parametrów pracy oraz emisji składników spalin. Zamieszczone wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzone na stanowisku modelowym pozwoliły uzyskać odpowiedź na zagadnienia oporów przepływu oraz pozwoliły określić możliwe do uzyskania wartości parametrów opisujących zawirowanie osiowo-wzdłużne ładunku w kanale dolotowym silnika. Na podstawie analizy wyników badań modelowych oraz analizy literatury przedstawiono wnioski dotyczące technicznej możliwości implementacji do silnika badawczego oraz spodziewanych zmian w jego parametrach pracy.

Słowa kluczowe: *dynamika ładunku, układ dolotowy, spalanie, paliwo gazowe*

1. Introduction

The growth in the engine efficiency is a priority when designing modern engines while still working on the reduction of the negative impact on the environment. The said issues have become extremely important today as the omnipresent intensification of transport leads to a growing air pollution and aiming at an economic growth results in a growing crude oil consumption. The trends in the development of gasoline engines are based on the development of the automotive market and the related implementation of modern technologies as well as increasing the range and variety of products.

Currently, one of the most important objectives in engine design is the reduction of the fuel consumption and meeting the ever more stringent emission requirements while still maintaining the high usable parameters of the engines. A standard phenomenon is the formation of photochemical smog that is the result of chemical reactions triggered by the solar radiation, particularly in large and industrialized cities.

In most of the countries the limits of the engine exhaust emissions have been set forth by legislation. These are as follows:
– hydrocarbons (C_nH_m),
– nitric oxides (NO_x),
– carbon monoxide (CO),

1. Wprowadzenie

Priorytetem w konstruowaniu silników spalinowych jest uwzględnienie wzrostu efektywności ich pracy, przy jednoczesnym zmniejszeniu ich oddziaływania na środowisko naturalne. Zagadnienia te stały się obecnie niezwykle ważne, gdyż wszechobecna intensyfikacja transportu powoduje wzrost zanieczyszczenia powietrza, a dążenie do wzrostu gospodarczego zwiększa intensywność zużycia paliw. Kierunek rozwoju silników z zapłonem iskrowym (ZI) oparty był na rozwoju rynku motoryzacyjnego i związanym z tym wprowadzaniem coraz nowszych technologii oraz zwiększaniem różnorodności produktów.

Obecnie jednym z najważniejszych celów w projektowaniu silników jest zmniejszanie zużycia paliwa oraz spełnianie coraz bardziej zaostrzanych norm dotyczących emisji toksycznych składników spalin, przy zachowaniu wysokich wartości parametrów użytkowych. „Normalnym" zjawiskiem jest powstawanie nad miastami smogu fotochemicznego, będącego efektem reakcji chemicznych pod wpływem promieniowania słonecznego, szczególnie w obrębie dużych i uprzemysłowionych miast. W większości krajów administracyjnie ustalono limity najbardziej szkodliwych związków, jakie mogą być emitowane przez pojazd do atmosfery. Związkami tymi są głównie:

– carbon dioxide (CO_2),
– particulate matter (PM),
– sulfur compounds (S – its content is mainly related to the contamination of fuel).

In the phase of continuous development there are the following systems that lead to a reduction of the fuel consumption in gasoline engines and the following parameters relate to energy and ecology:

– direct fuel injection– GDI (DGI) (*Gasoline Direct Injection*) that form,
  – stratified charge:
    ▪ wall guided (assisted by a swirl),
    ▪ spray guided,
  – homogenous,
– CAI/HCCI (*Controlled Auto Ignition/Homogenous Charge Compression Ignition*),
– VCM (*Variable Charge Motion*),
– VVT (*Variable Valve Timing*),
– VVA (*Variable Valve Actuation*),
– turbocharging,
– VCR (*Variable Compression Ratio*),
– VD (*Variable Displacement*).

Thanks to the application of various combinations of modern design solutions in engine construction a significant drop in the exhaust emissions and fuel consumption has been obtained (Fig. 1 and 2).

Alternative fuels as a source of energy for modern combustion engines are being improved on a continual basis in terms of quality and engine operating parameters. This should allow an efficient use of these fuels that come from renewable sources. Apart from these actions the engineers need to adapt the engine design and its fuel systems for the properties of these fuels. Hence, we will be able to efficiently use alternative fuels. Figure 3 presents the results of the measurements of the combustion time of the LPG-air mixture as compared to the gasoline-air mixture.

When analyzing Figs 2 and 3 we can draw a conclusion that using direct injection and a proper control of the charging and discharging of the working areas allow a high efficiency of energy conversion. Besides, a proper control of

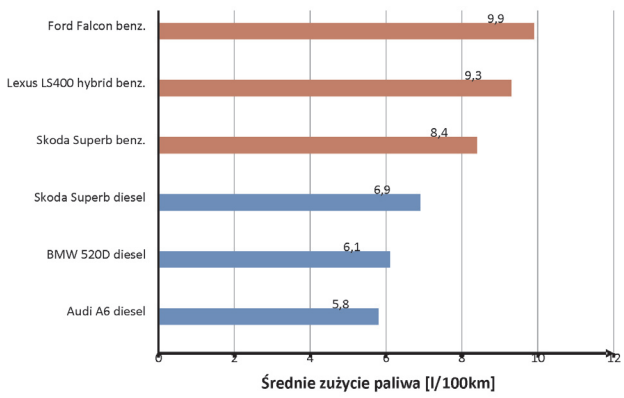

Fig. 1. Fuel consumption by automatic transmission premium class vehicles as per the ADR 81 [12]

Rys. 1. Zużycie paliwa przez samochody klasy premium z automatyczną skrzynią wg testu ADR 81 [12]

– węglowodory (C_nH_m),
– tlenki azotu (NO_x),
– tlenek węgla (CO),
– dwutlenek węgla (CO_2),
– cząstki stałe (PM),
– związki siarki (S – jej zawartość głównie związana jest z zanieczyszczeniem paliwa).

W fazie ciągłego rozwoju są następujące systemy prowadzące do zmniejszenia zużycia paliwa przez silniki ZI oraz polepszające parametry energoekologiczne:

– bezpośredni wtrysk paliwa – GDI (DGI) (*Gasoline Direct Injection*) tworzący ładunek,
  – uwarstwiony:
    ▪ tworzony przez wir wspomagany oddziaływaniem ścianek – *wall/air guided*,
    ▪ tworzony przez strugę – *spray guided*,
  – homogeniczny,
– kontrolowany samozapłon – CAI/HCCI (*Controlled Auto Ignition/Homogenous Charge Compression Ignition*),
– zmienny przepływ ładunku – VCM (*Variable Charge Motion*),
– zmienne fazy rozrządu – VVT (*Variable Valve Timing*),
– zmienne sterowanie zaworami – VVA (*Variable Valve Actuation*),
– turbodoładowanie,
– zmienny stopień sprężania – VCR (*Variable Compression Ratio*),
– zmienna objętość skokowa silnika – VD (*Variable Displacement*).

Dzięki zastosowaniu różnych kombinacji współczesnych rozwiązań konstrukcyjnych w budowie silników spalinowych osiągnięto znaczny spadek emisji spalin oraz zużycia paliwa (rys. 1 i 2).

Paliwa alternatywne jako źródło energii dla współczesnych silników spalinowych są ciągle udoskonalane pod względem wymagań jakościowych i eksploatacyjnych. Pozwoli to w przyszłości efektywnie wykorzystać te paliwa jako formy paliw pochodzących ze źródeł odnawialnych. Prócz tych zabiegów należy także dostosowywać budowę

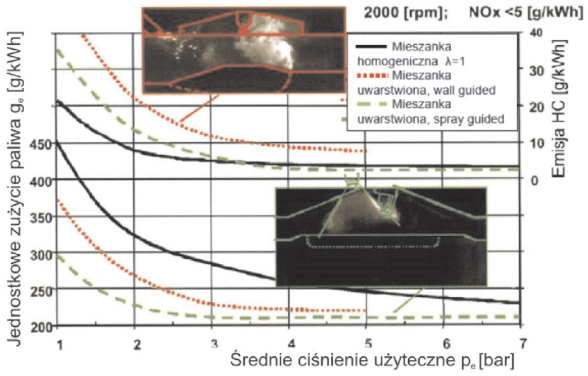

Fig. 2. The comparison of the unit fuel consumption and the hydrocarbons emission against the mixture composition and injection strategy for GDI engines [3]

Rys. 2. Porównanie jednostkowego zużycia paliwa i poziomu emisji węglowodorów w zależności od składu mieszanki i sposobu realizacji wtrysku dla silnika typu GDI [3]

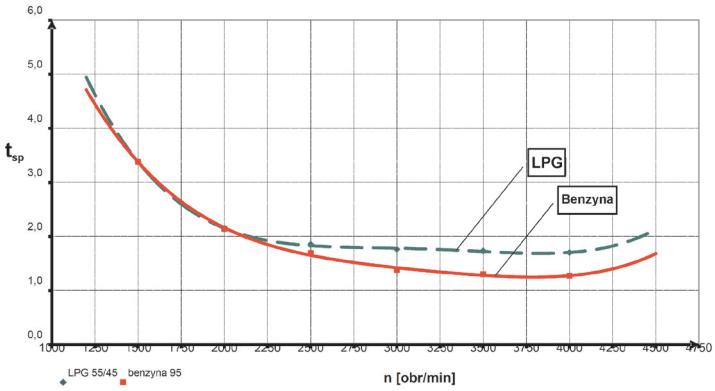

Fig. 3. The course of the change of combustion time (t_{sp}) as a function of engine speed (n) for the gasoline air and LPG air mixtures (λ = 0.92) [8]

Rys. 3. Przebieg zmiany czasu spalania (t_{sp}) jako funkcja prędkości obrotowej (n) silnika dla mieszanek benzynowo-powietrznej oraz LPG–powietrze (λ = 0,92) [8]

the parameters of the charge flow to the working area allows a high repeatability of the combustion process.

A direct result of these actions that influence the mixture preparation process and its combustion is low fuel consumption and low exhaust emissions and an improvement of the engine parameters such as power output and torque.

Many researchers [1, 6, 7, 10] have studied the influence of the swirl intensification on the process of heat flow in piston engines, the influence of the turbulence on the heat exchange process [2, 4, 11] and the stabilization of the combustion processes [5]. The results of these investigations in a different way present the influence of this swirl. The authors agree that due to the swirl process the effectiveness of the combustion processes improves (a more homogenous air fuel mixture). This has been assumed based on the reduced emission of carbon monoxide, carbon dioxide and hydrocarbons while the nitric oxides grew. As for the heat release process (combustion) this influence is not clear.

In the investigations in the literature the authors rarely mention the possibility of the intensification of the preliminary charge swirl in the intake manifold. This intensification is of particular importance in the following cases:
– homogenous mixture formation,
– operation at low engine speeds,
– low speed engines of high single cylinder capacities,
– unconventional fuel application in regular engines.

Within this paper the authors present the obtainment of the axial swirl of the intake air in relation to the introduced flow resistance.

2. The characteristics of the experimental model

The design of the experimental model was based on the existing four-cylinder four stroke gasoline engine of the capacity of 1598 cm^3. The diameter of the intake duct of this engine was 32 mm, and the diameter of the intake duct in the model was 34 mm. The difference results from the pipes available for the construction of the model.

The swirl effect was obtained thanks to a geometrically flexible element that was a steel tape of the length of 65

silników i ich układów zasilania do właściwości stosowanych paliw. Dzięki temu będzie możliwe efektywne wykorzystanie paliw alternatywnych. Na rysunku 3 przedstawiono wyniki pomiaru czasu spalania mieszanki LPG–powietrze w odniesieniu do mieszanki benzynowo-powietrznej.

Analizując rysunki 2 i 3, można postawić wniosek, że stosowanie bezpośredniego wtrysku paliwa oraz odpowiednie sterowanie fazami napełniania i opróżniania przestrzeni roboczej pozwalają uzyskać wysoką efektywność procesów konwersji energii. Ponadto odpowiednie sterowanie parametrami przepływu ładunku do przestrzenia roboczej pozwala uzyskać dużą powtarzalność procesów spalania.

Bezpośrednim rezultatem tych zabiegów oddziaływujących na proces przygotowania mieszaniny palnej oraz jej spalania jest uzyskanie małego zużycia paliwa oraz niskiego poziomu emisji składników szkodliwych spalin przy równoczesnym wzroście parametrów pracy silnika, takich jak moc i moment obrotowy.

Wielu badaczy [1, 6, 7, 10] zajmowało się oceną wpływu intensyfikacji zawirowania typu „swirl" na proces przepływu ciepła w silnikach tłokowych, a także badaniem wpływu turbulencji na proces wymiany ciepła [2, 4, 11] oraz stabilizacji procesu spalania [5]. Wyniki tych badań w różny sposób przedstawiają wpływ tego zawirowania. Autorzy badań są zgodni w tym, że dzięki zawirowaniu typu „swirl" uzyskuje się poprawę efektywności procesu spalania określaną przez uzyskanie bardziej homogenicznej mieszanki paliwowo-powietrznej. Wniosek ten postawiono na podstawie uzyskanego zmniejszenia emisji tlenku i dwutlenku węgla oraz węglowodorów przy jednoczesnym wzroście emisji tlenków azotu. Natomiast co do wpływu na proces wywiązywania się ciepła (spalanie) oddziaływanie to nie jest jednoznaczne.

W pracach badawczych rzadko wspominana jest możliwość intensyfikacji wstępnego zawirowania ładunku w kanale dolotowym silnika. Intensyfikacja taka jest szczególnie ważna w następujących przypadkach:
– tworzenia mieszanki homogenicznej,
– przy pracy w zakresie niskich prędkości obrotowych silnika,
– silników wolnobieżnych o dużych pojemnościach skokowych jednego cylindra,
– stosowania paliw niekonwencjonalnych do zasilania tradycyjnych tłokowych silników spalinowych.

W ramach niniejszej pracy przedstawiono uzyskanie zawirowania osiowego powietrza dopływającego do komory spalania w odniesieniu do wprowadzanych oporów przepływu.

2. Charakterystyka modelu eksperymentalnego

Budowę modelu eksperymentalnego oparto na istniejącym czterocylindrowym, czterosuwowym silniku z zapłonem iskrowym o pojemności skokowej 1598 cm^3. Średnica kanału dolotowego dla tego silnika wynosi 32 mm, natomiast średnica kanału w modelu wynosi 34 mm. Różnica wynika z dostępności rur użytych do budowy

mm, width 32 mm and thickness 0.4 mm. The schematic diagram of the model and its principle of operation have been shown in Fig. 4.

Based on these assumptions a flow model of the intake duct has been built. The schematic of this model has been presented in Fig. 5.

The value of the flow resistance (Δp) has been determined from the dependence:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot n \cdot l \ \ [\mathrm{Pa}], \qquad (1)$$

where: ρ – density of the liquid in the manometer, g – apparent gravity, n – manometer ratio, l – number of notches.

The value of the flow velocity was determined based on the measurement of the dynamic pressure in two perpendicular planes. The measuring points were determined based on the division of the area of the pipe cross section. The diameter was divided into nine rings of the width of 2 mm. In this way the authors obtained four velocity-measuring points from the rings.

The flow velocity (v) at each measuring points was determined based on the dependence:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \rho \cdot n \cdot l}{1.3}} \quad [\mathrm{m/s}], \qquad (2)$$

The accuracy of the measurement was determined based on the data contained in table 1.

Table 1. The measurement ranges and accuracy classes of the Recknagel manometer (MPR-4)

Tabela 1. Zakresy pomiarowe oraz klasy dokładności manometru Recknagla MPR-4

Ratio/ *położenie* n	Measurement range/*zakres pomiarowy* [Pa]	Accuracy class/*klasa dokładności* [%]
1:10	0÷160	1.0
1:25	0÷64	1.5
1:50	0÷32	2.5

The average value of the airflow velocity was calculated based on the formula (3):

$$\bar{v} = \frac{1}{A} \cdot \sum_{n=1}^{9} \frac{(v_{n1} + v_{n2} + v_{n3} + v_{n4})}{4} \cdot A_n, \ [\mathrm{m/s}], \qquad (3)$$

and

$$A_n = \pi \cdot \frac{(d_{n1}^{\ 2} - d_{n2}^{\ 2})}{4}, \ [\mathrm{m^2}], \qquad (4)$$

where: A – cross section area of the perpendicular channel [m^2], A_n – area of the n-ring, n – number of ring, $v_{n1\div4}$ – flow velocity in the subsequent measuring points for n-ring, d_{n1} – outer diameter of the n-ring, d_{n2} – inner diameter of the n-ring.

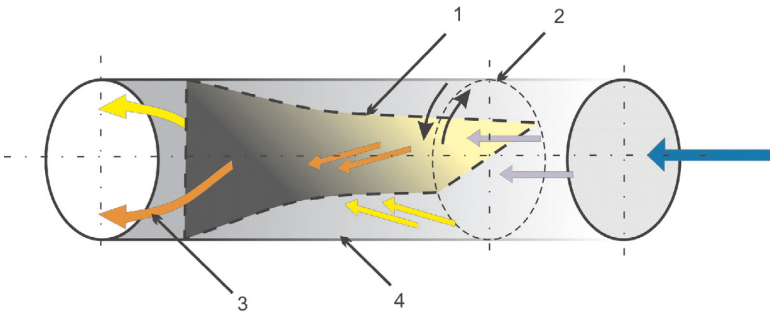

Fig. 4. The diagram of the geometrically flexible channel: 1 – steel tape, 2 – movable ring, 3 – air in the swirl motion, 4 – channel [9]

Rys. 4. Schemat ideowy kanału podatnego geometrycznie: 1 – taśma stalowa, 2 – pierścień ruchomy, 3 – powietrze w ruchu wirowym, 4 – kanał [9]

modelu.

Efekt zawirowania uzyskano dzięki zastosowaniu elementu podatnego geometrycznie, który stanowiła stalowa taśma o długości 65 mm, szerokości 32 mm i grubości 0,4 mm. Schemat ideowy budowy i zasady działania elementu kanału przedstawiono na rys. 4.

Opierając się na tych założeniach, wykonano model przepływowy kanału dolotowego silnika. Schemat modelu eksperymentalnego przedstawiono na rys. 5.

Wartość oporów przepływu (Δp) wyznaczono z zależności (1), gdzie: ρ – gęstość cieczy w manometrze, g – przyspieszenie ziemskie, n – przełożenie manometru, l – liczba działek.

Wartość prędkości przepływu określono na podstawie pomiaru ciśnienia dynamicznego w dwóch wzajemnie prostopadłych płaszczyznach. Punkty pomiarowe określono na podstawie podziału pola powierzchni przekroju rury. Średnicę podzielono na dziewięć pierścieni o szerokości 2 mm. Uzyskano w ten sposób cztery punkty pomiaru prędkości dla każdego z pierścieni.

Prędkość przepływu (v) w każdym punkcie pomiarowym określono na podstawie zależności (2).

Dokładność pomiaru określono na podstawie danych zawartych w tabeli 1.

Wartość średnią prędkości przepływu powietrza obliczono na podstawie wzoru (3), natomiast A_n na podstawie wzoru (4), gdzie: A – pole powierzchni przekroju prostopadłego kanału [m^2], A_n – pole powierzchni n-pierścienia, n – numer pierścienia, $v_{n1\div4}$ – prędkość przepływu w kolejnych punktach pomiarowych dla n-pierścienia, d_{n1} – średnica zewnętrzna n-pierścienia, d_{n2} – średnica wewnętrzna n-pierścienia.

3. Wyniki badań eksperymentalnych

Badania dotyczyły określenia wpływu geometrii kanału dolotowego podatnego geometrycznie na prędkość i opór przepływu czynnika w postaci powietrza. Ważnym czynnikiem oceny profilu prędkości była także zmiana położenia jej ekstremów. Jak już wspomniano (rozdz. 2), elementem podatnym była taśma stalowa. Jednym końcem utwierdzona była w sposób stabilny w pierścieniu osadczym, natomiast drugi koniec taśmy podlegał przemieszczeniom, co powodowało skręcanie taśmy. Drugi pierścień umożliwiał także kompensację zmiany długości rzeczywistej taśmy.

3. The results of the experimental investigations

The investigations pertained to the influence of the channel geometry on the medium flow (air) velocity and flow resistance. An important factor in the evaluation of the velocity profile was also the change of the location of its extremums. As previously mentioned (chapter 2) the flexible element was a steel tape. At one end it was stable-fixed in the ring and the other end was subject to displacement, which resulted in the tape twist. The second ring also enabled a compensation of the changes of the tape actual length.

The tape twist angle began at 0÷24° and the range of the obtained average velocities of the flow began at 3.5÷9.2 m/s.

The results of the experimental investigations of the flow resistance in relation to the flow velocity and the twist angle of the tape has been shown in Fig. 6.

From the obtained measurements shown in Fig. 6 it results that the application of a flexible element in the intake duct does not significantly influence the flow resistance. The difference between the lowest value obtained for a straight tape and the highest resistance obtained for a twist angle of 24° in the tested velocity range only slightly exceeded the value of 5 Pa at the measurement error of 0.96 Pa. These results are extremely promising in relation to the possibility of obtaining of the change in the distribution of the velocities in the cross-section area. A proper distribution will enable transportation of the charge to the combustion chamber so that it can circumvent the valve head that bounces off the transported charge and causes turbulence.

Figures 7 and 8 present the dependence of the change of the profile for two mutually perpendicular planes having the axis of parallel symmetry of the pipe. The determination of the plane location is related to the location of the steel tape entrance shown as number 3 in Fig. 5.

From Figs 7 and 8 it results that the twist angle of the tape significantly influences the change of the velocity profile in the cross section area of the flow. A very effective projection of this change of the profile has been shown by the appearance of two extremums near the walls of the duct for the tape twist angle of 24° and the growth in the flow resistance was approximately 7%.

The obtained profile projection can serve to introduce the air spray modulation at the intake to the combustion chamber in piston combustion engines. In this way, slightly increasing the flow resistance by approximately 7%, we can obtain a profile of the flow velocity that will circumvent the intake valve head.

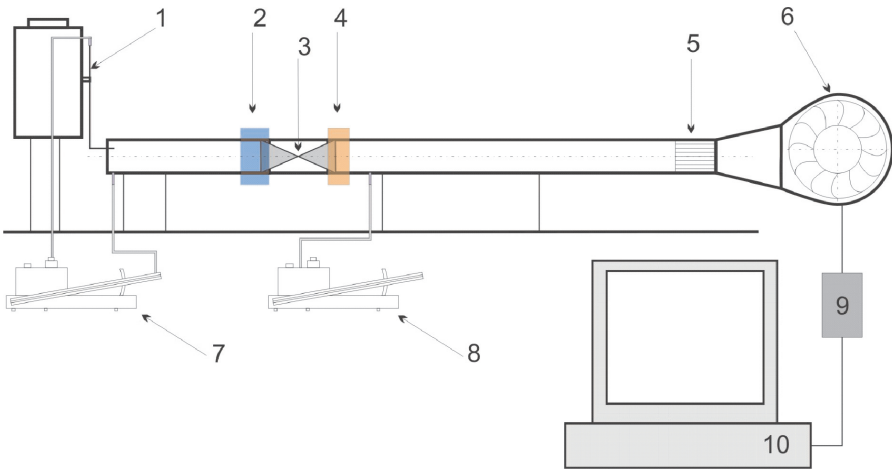

Fig. 5. The schematic of the experimental measurement stand: 1 – micro manometer Askania, 2 and 4 – fixing rings of the steel tape 3, 5 – flow stabilizer, 6 – radial-axial fan, 7 – Recknagel manometer for the measurement of the flow velocity, 8 – Recknagel manometer for the measurement of the flow resistance, 9 – interface, 10 – computer

Rys. 5. Schemat eksperymentalnego stanowiska pomiarowego: 1 – mikromanometr Askania, 2 i 4 – pierścienie osadcze taśmy stalowej 3, 5 – stabilizator przepływu, 6 – wentylator osiowo-promieniowy, 7 – manometr Recknagla do pomiaru prędkości przepływu, 8 – manometr Recknagla do pomiaru oporów przepływu, 9 – interfejs komunikacyjny, 10 – komputer

Kąt skręcenia taśmy wynosił od 0÷24°, natomiast zakres uzyskanych średnich prędkości przepływu wynosił od 3,5÷9,2 m/s.

Zestawienie wyników badań eksperymentalnych oporów przepływu w odniesieniu do prędkości przepływu oraz kąta skręcenia taśmy przedstawiono na rys. 6.

Z uzyskanych wyników pomiarów przedstawionych na rys. 6 wynika, że zastosowanie elementu podatnego w kanale dolotowym nie wpływa znacząco na wzrost oporów przepływu. Różnica pomiędzy wartością najniższą uzyskaną dla prostej taśmy oraz największym oporem uzyskanym dla kąta skręcenia wynoszącego 24° w badanym zakresie prędkości tylko nieznacznie przekroczyła wartość 5 Pa przy błędzie pomiaru oporów przepływu na poziomie 0,96 Pa. Wyniki te są bardzo obiecujące w odniesieniu do możliwości uzy-

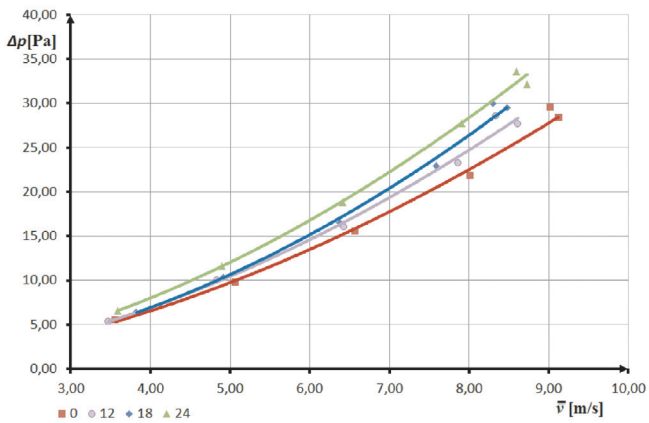

Fig. 6. The characteristics of the flow resistance (Δp) depending on the average velocity ($\overline{v}$) and tape twist angle (0, 12, 18 and 24°)

Rys. 6. Charakterystyka oporów przepływu (Δp) w zależności od prędkości średniej ($\overline{v}$) i kąta skręcenia taśmy (0, 12, 18 i 24°)

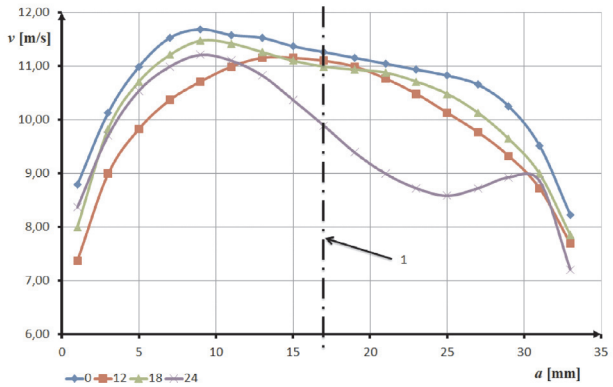

Fig. 7. The profilogram of the flow velocity in the plane perpendicular to the entrance for different angles of the tape twist: v – velocity at the point, a – location of the measuring point on the pipe diameter, 1 – axis of symmetry of the system

Rys. 7. Profilogram prędkości przepływu w płaszczyźnie prostopadłej do wejścia dla różnych kątów skręcenia taśmy: v – prędkość w punkcie, a – położenie punktu pomiarowego na średnicy rury, 1 – oś symetrii kanału

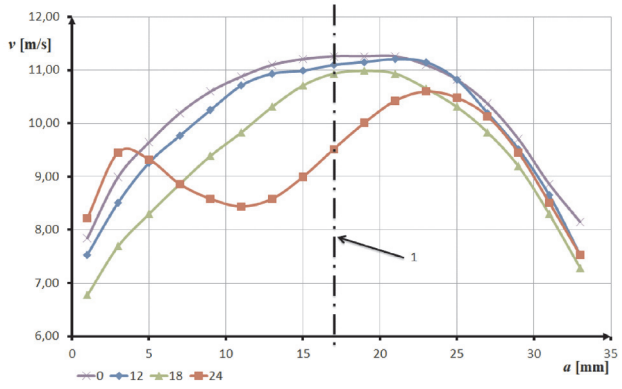

Fig. 8. Profilogram of the flow velocity in the plane parallel to the walls for different angles of tape twist: v – velocity at the point, a – measuring point location in the pipe diameter, 1 – axis of symmetry of the duct

Rys. 8. Profilogram prędkości przepływu w płaszczyźnie równoległej do wejścia dla różnych kątów skręcenia taśmy: v – prędkość w punkcie, a – położenie punktu pomiarowego na średnicy rury, 1 – oś symetrii kanału

Such a solution will be a positive one for the process of cylinder filling, thus eliminating the bounce-off effect of the charge from the valve head (this is the source of the turbulence that distorts the free flow of the charge to the working area).

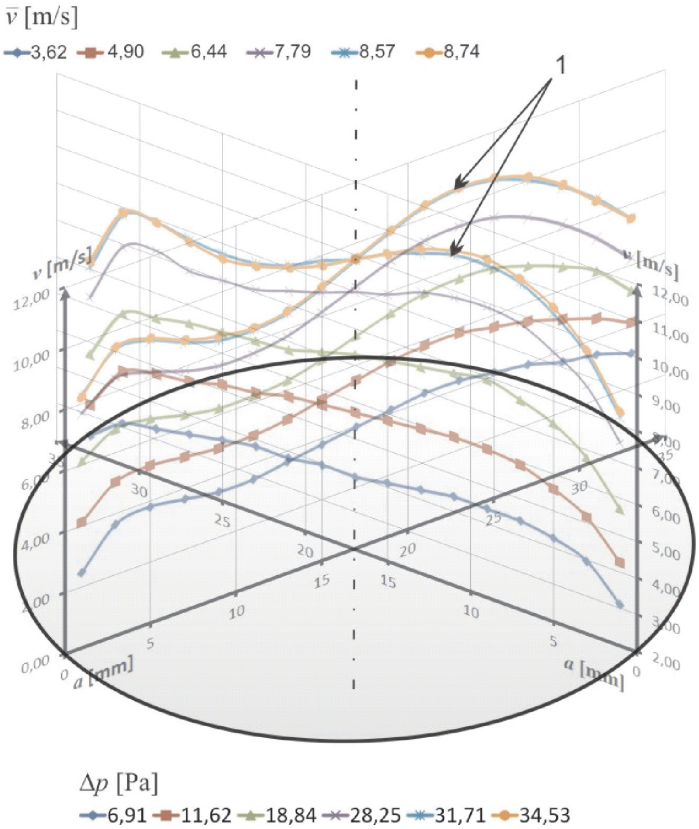

Fig. 9. The profilograms of the velocities put together for two mutually perpendicular planes: 1 – the highest flow (11.2 m/s)

Rys. 9. Złożenie profilogramów prędkości przepływu dla dwu wzajemnie prostopadłych płaszczyzn: 1 – najwyższa prędkość przepływu (11,2 m/s)

skania zmiany rozkładu profilu prędkości w polu przekroju poprzecznego. Odpowiedni jej rozkład umożliwi doprowadzenie ładunku do komory spalania, tak aby nie napotkał on na swojej drodze grzybka zaworu, który powodowałby jego odbicie i powstawanie turbulencji.

Na rysunkach 7 i 8 przedstawiono zależność zmiany profilu prędkości przepływu powietrza dla dwu wzajemnie prostopadłych płaszczyzn zawierających oś symetrii podłużnej rury. Określenie położenia płaszczyzny związane jest z położeniem powierzchni wejścia taśmy skrętnej przedstawionej jako numer 3 na rys. 5.

Z rysunków 7 i 8 wynika, że kąt skręcenia taśmy znacząco wpływa na zmianę profilu prędkości w polu przekroju przepływu. Bardzo efektywny obraz zmiany tego profilu ujawnił się przez pojawienie się dwóch ekstremów blisko ścianek kanału dla kąta skręcenia taśmy wynoszącego 24°, natomiast wzrost oporów przepływu wyniósł około 7%.

Uzyskany obraz profilu prędkości może posłużyć do wprowadzenia modulacji strugi powietrza na dolocie do komory spalania w tłokowych silnikach spalinowych. W ten sposób nieznacznie zwiększając opór przepływu o około 7%, można uzyskać profil prędkości przepływu sprzyjający ominięciu grzybka zaworów dolotowych silnika. Takie rozwiązanie wpłynie dodatnio na proces napełniania cylindra, eliminując zjawisko odbicia napływającego ładunku od grzybka zaworu, które jest źródłem turbulencji zakłócających swobodny przepływ ładunku do przestrzeni roboczej silnika.

Odpowiednio dobrane umiejscowienie elementu podatnego w kanale dolotowym silnika w odniesieniu do położenia zaworów dolotowych powinno przynieść efekt przenikania wstępnego

An appropriately selected location of the flexible element in the intake duct in relation to the location of the intake valves should result in the effect of the penetration of the initial swirl into the combustion chamber. This will add to the positive effect of formation of a homogenous fuel-air mixture.

Figure 9 presents the schematics of the velocity profiles put together in the perpendicular and parallel planes for the flexible element deformation of 24°. On the profilograms of velocities a displacement of the velocity minimum from the longitudinal axis of symmetry of the duct has been observed. This is the effect of non-axial deformation of the flexible element, which will be considered by the author by changing the design of the flexible element or the material from which it was made.

4. Conclusions

Based on the performed experiment the following conclusions can be formulated:

1. The introduction of the geometrically flexible element in the proposed form does not significantly influence the increase in the flow resistance (up to 5 Pa).
2. The airflow velocity and the angle of the flexible element have a significant influence on the change of the velocity profile.
3. The change of the velocity profile in the cross section will eliminate the problem of turbulence generated by the valve head.
4. The process of axial swirl formation while the air reaches the combustion chamber will lead to better conditions for homogenous mixture formation.

Paper reviewed/Artykuł recenzowany

Abbreviations/*Skróty i oznaczenia*

Δp the axis of the air flow in the duct [Pa]/*opór przepływu powietrza w kanale [Pa]*

λ excess air coefficient [-] for the air fuel mixture/*współczynnik nadmiaru powietrza [-] dla mieszanki paliwowo-powietrznej*

$\overline{v}$ average airflow velocity in the channel [m/s]/*średnia prędkość przepływu powietrza w kanale [m/s]*

a the distance of the velocity measuring point from the edge of the inner duct [mm]/*odległość punktu pomiarowego prędkości od krawędzi wewnętrznej kanału [mm]*

v velocity at the measuring point [m/s]/*prędkość w punkcie pomiaru [m/s]*

Piotr Piątkowski, DEng. – doctor in the Faculty of Mechanical Engineering at Koszalin University of Technology.

Dr inż. Piotr Piątkowski – adiunkt na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej.

e-mail: piotr.piatkowski@tu.koszalin.pl

zawirowania ładunku do przestrzeni roboczej silnika. Wpłynie to dodatnio na efekt tworzenia homogenicznej mieszaniny palnej.

Na rysunku 9 przedstawiono schemat złożenia profili prędkości w płaszczyźnie prostopadłej i równoległej dla odkształcenia elementu podatnego wynoszącego 24°. Na złożeniu profilogramów prędkości ujawniono przesuniecie minimum prędkości od podłużnej osi symetrii kanału. Jest to efekt nieosiowego odkształcenia elementu podatnego, co autor uwzględni, zmieniając konstrukcję elementu podatnego lub materiał, z jakiego został wykonany.

4. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu można sformułować następujące wnioski:

1. Wprowadzenie elementu podatnego geometrycznie w zaproponowanej postaci nieznacznie wpływa na wzrost oporów powietrza (do 5 Pa).
2. Prędkość przepływu powietrza oraz kąt odkształcenia elementu podatnego ma znaczący wpływ na uzyskanie zmiany profilu prędkości.
3. Zmiana profilu prędkości w przekroju pozwoli uniknąć powstawania turbulencji od grzybka zaworu.
4. Proces tworzenia wiru osiowego typu "swirl" podczas dopływu powietrza do komory spalania pozwoli uzyskać lepsze warunki do tworzenia mieszanek homogenicznych.

Bibliography/*Literatura*

[1] Algifri A.H., Bhardwaj R.K., Rao Y.V.N.: Heat transfer in turbulent decaying swirl flow in a circular pipe. Int J Heat Mass Transfer 1988, 31(8) pp. 1563-8.

[2] Alkidas A.C.: Combustion advancements in gasoline engines, Energy Conversion&Management, 48/2007, pp. 2751-61.

[3] Friedl H., Kapus P.: Kierunki rozwoju silników ZI, Silniki Spalinowe 2/2002.

[4] Fuerhapter A., Piock W.F., Fraidl G.K.: CSI – controlled auto ignition – The best solution for the fuel consumption – versus emission tradeoff? SAE Paper NO. 2003-01-0754; 2003.

[5] Goto Y., Narusawa K.: Combustion stabilization of spark ignition natural gas engine, JSAE Review 17 (1996) pp. 251-8.

[6] Loosley D.J.: Heat transfer from a centrally located source in a vortex flow, MSThesis, AFIT, WPAFB, 1961.

[7] Mc Kelvey R.: Heat transfer from a heated cylinder in vortex type flow, MSThesis, AFIT, WPAFB, 1960.

[8] Piątkowski P.: Wpływ parametrów zasilania w układach dwupaliwowych na efektywność energetyczną tłokowego silnika spalinowego, rozprawa doktorska, Koszalin 2007.

[9] Piątkowski P., Lewkowicz R.: Wpływ kinematyki ładunku napływającego do komory spalania na efektywność procesu spalania w silnikach tłokowych, Motrol nr 12/2010, s. 115-121.

[10] Yilmaz M., Comakli O., Yapici S.: Enhancement of heat transfer by turbulent decaying swirl flow. Energy Conversion Manage 1999;40:1365-76

[11] Zhang D., Hill P.G.: Effect of swirl on combustion in a short cylindrical chamber, Combustion and Flame 106/1996, p. 318-332.

[12] http://australian-clean-energy-facts.com.