

The use of turbulization in preliminary fuel treatment in self-ignition engines

It is possible to increase the effectiveness parameters of self-ignition engine performance as well as to decrease the emission of toxic compounds in exhaust gases by using preliminary catalytic fuel treatment - PROCESSING – executed directly in the injector body. In order to enhance the impact of the catalyst on the flowing fuel we propose to take advantage of the phenomenon of turbulization in injector passages. First results of tests on an engine of 359 type have shown an improvement of operating parameters and a decrease of toxic emission in exhaust gases.

Key words: self-ignition engine, fuel injector, preliminary fuel treatment, turbulization

Wykorzystanie zjawiska turbulizacji przy wstępnej obróbce paliwa w silnikach z zapłonem samoczynnym

Zwiększenie parametrów efektywności pracy silników z zapłonem samoczynnym przy jednoczesnym obniżeniu poziomu emisji związków toksycznych w gazach wylotowych jest możliwe przy wstępnej katalitycznej obróbce paliwa realizowanej bezpośrednio w korpusie rozpylacza. W celu zwiększenia oddziaływania katalizatora na przepływające paliwo zaproponowano wykorzystanie zjawiska turbulizacji w kanałach rozpylacza. Wstępne wyniki badań przeprowadzonych na silniku typu 359 wykazały poprawę parametrów operacyjnych oraz zmniejszenie emisji związków toksycznych w gazach wylotowych.

Słowa kluczowe: silnik z zapłonem samoczynnym, wtryskiwacz paliwowy, wstępna obróbka paliwa, turbulizacja

1. Introduction

The achievement of better combustion engine technical parameters is possible through increasing the speed of preliminary chemical reactions in the fuel, i.e. in the ignition delay process. These reactions in combustion engines consist in dehydrogenation and can be accelerated when fuel is in contact with a catalytic material. This process can be realized by the introduction of catalytic additives to fuel or by using another device – a catalytic converter in the injection system. It should be noted that these reactions are accelerated at higher temperatures. Therefore, a new positive effect connected with an increase of engine performance parameters can be achieved when at the same time catalysts and increased fuel temperature are applied.

The results of testing engines with indirect fuel injection and pintle injectors obtained so far have shown that the method gives improved economical and ecological indicators of engine operation [2]. It should be noted, however, that at present divided chamber engines are being replaced by engines with direct injection and multipoint injectors. This, in turn, excludes the possibility of a full catalytic effect. One reason for this is a limited space in the injector so that a catalyst with a large area cannot be placed in the injector body. Therefore, we propose the use of turbulization system in multipoint injectors placed along the non-working part of the needle where the contact of the flowing fuel and a catalyst is greater.

2. Turbulization of fuel flow

There are several methods of preliminary fuel treatment in internal combustion engines:

1. Wstęp

Uzyskanie lepszych pod względem technicznym parametrów pracy silników spalinowych jest możliwe ze zwiększeniem prędkości wstępnych reakcji chemicznych w paliwie w procesie zwłoki zapłonu. W silnikach spalinywych reakcje te mają charakter odwodornienia i mogą być przyspieszane przy kontakcie paliwa z materiałem o działaniu katalitycznym. Realizacja tego procesu jest możliwa przez wprowadzenie do paliwa dodatków katalitycznych lub przy zastosowaniu dodatkowego urządzenia – katalizatora w układzie wtryskowym. Należy podkreślić, że reakcje te przyspieszane są w warunkach wyższych temperatur. A więc nowy pozytywny efekt związany ze zwiększeniem parametrów efektywności pracy silnika może być uzyskany przy jednoczesnym oddziaływaniu katalizatorów i podwyższonej temperaturze paliwa.

Jak wskazują wyniki dotychczas przeprowadzonych badań na silnikach z pośrednim wtryskiem paliwa ze wtryskiwaczami czopikowym, metoda ta umożliwia poprawę zarówno ekonomicznych, jak i ekologicznych wskaźników pracy tych silników [2]. Jednak należy podkreślić, iż obecnie odchodzi się od konstrukcji silników z komorami dzielonymi na korzyść bezpośredniego wtryskiwania paliwa z zastosowaniem wtryskiwaczy wielootworowych. To z kolei uniemożliwia uzyskanie w pełni efektu katalitycznego między innymi z powodu braku miejsca na usytuowanie katalizatora o dużej powierzchni w korpusie rozpylacza. Dlatego zaproponowano w rozpylaczach wielootworowych układ turbulizacji przy przepływie paliwa wzdłuż niepracującej części iglicy, w celu zwiększenia częstości kontaktu paliwa z katalizatorem.

CONTACT

catalytic

homogenous catalysis (catalytic additives in fuel)

heterogeneous catalysis (catalytic solid additives in fuel)

catalytic reactor

NON-CONTACT

radiation

magnetic field

thermal

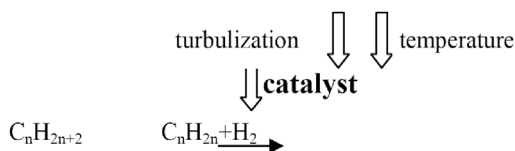
before fuel injection pump

after fuel injection pump

fumigation (combined catalytic and thermal)

in injector

An analysis of these methods leads to a conclusion that the method of fumigation combined with turbulization of fuel flow in multipoint injectors is probably the most promising [2]. The diagram showing such preliminary fuel treatment has the following form:



This fuel treatment can be performed by introducing certain changes in the construction of the atomizer needle, whose non-working part has an increased roughness (Fig. 1b) and crossing passages (Figs. 1a, 2), and the whole surface is covered with catalytic material [3, 4].

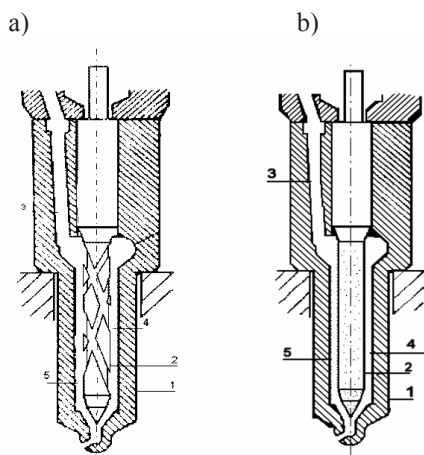


Fig. 1. Increase of catalyst-fuel contact area: a) with a turbulizer, b) with increased roughness; 1 – body, 2 – needle, 3 – fuel channel, 4 – clearance, 5 – area with catalyst layer

Rys. 1. Zwiększenie powierzchni kontaktu katalizatora z przepływającym paliwem: a) z turbulizatorem, b) ze zwiększoną chropowatością; 1 – korpus, 2 – iglica, 3 – kanał paliwowy, 4 – luz, 5 – powierzchnia z warstwą katalizatora

Initial results from the injector examinations carried out at test stands – LAB SITES – show an increase in the jet angle and its decreased range, which may result from a reduced diameter of injected fuel droplets. The recorded process of fuel atomizing using a strobe is presented in Fig. 3.

2. Turbulizacja przepływu paliwa

Wyróżnia się następujące metody, według których można przeprowadzić wstępną obróbkę paliwa w silnikach spalinowych:

KONTAKTOWE

katalityczne

kataliza homogeniczna (katalityczne dodatki płynne do paliwa)

kataliza heterogeniczna (katalityczne dodatki twarde do paliwa)

reaktor katalityczny

BEZKONTAKTOWE

promieniowanie

pole magnetyczne

termiczne

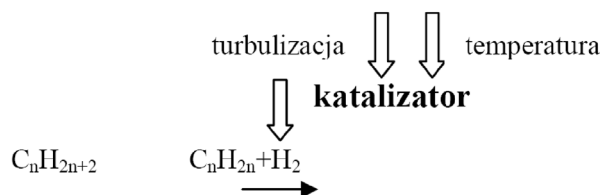
przed pompą wtryskową

za pompą wtryskową

fumigacja (wspólne katalityczne i termiczne)

w rozpylaczu

Analiza tych metod pozwala stwierdzić, że najbardziej interesująca może być metoda fumigacji w połączeniu z turbulizacją przepływu paliwa w rozpylaczach wielootworowych [2]. Schemat takiej wstępnej obróbki paliwa można przedstawić w postaci:



Realizacja takiej wstępnej obróbki paliwa jest możliwa przez odpowiednie zmiany w konstrukcji iglicy rozpylacza, na niepracującej powierzchni, której zwiększono chropowatość (rys. 1b) oraz umiejscowiono przecinające się kanały (rys. 1a, 2), a na całej tej powierzchni usytuowano materiał o działaniu katalitycznym [3, 4].

Wstępne wyniki badań wtryskiwacza badawczego, przeprowadzonych na stanowiskach laboratoryjnych, wykazują zwiększenie kąta rozwarcia strugi oraz zmniejszenie jej zasięgu, co może świadczyć o zmniejszeniu średnicy kropeł wtryskiwanego paliwa. Rejestrację procesu rozpylania paliwa na stanowisku probierczym z wykorzystaniem lampy stroboskopowej przedstawiono na rys. 3.



Fig. 2. Atomizer of a 359 engine with preliminary fuel treatment system and turbulizing channels

Rys. 2. Rozpylacz silnika 359 z układem wstępnej obróbki paliwa i kanałami turbulizacyjnymi

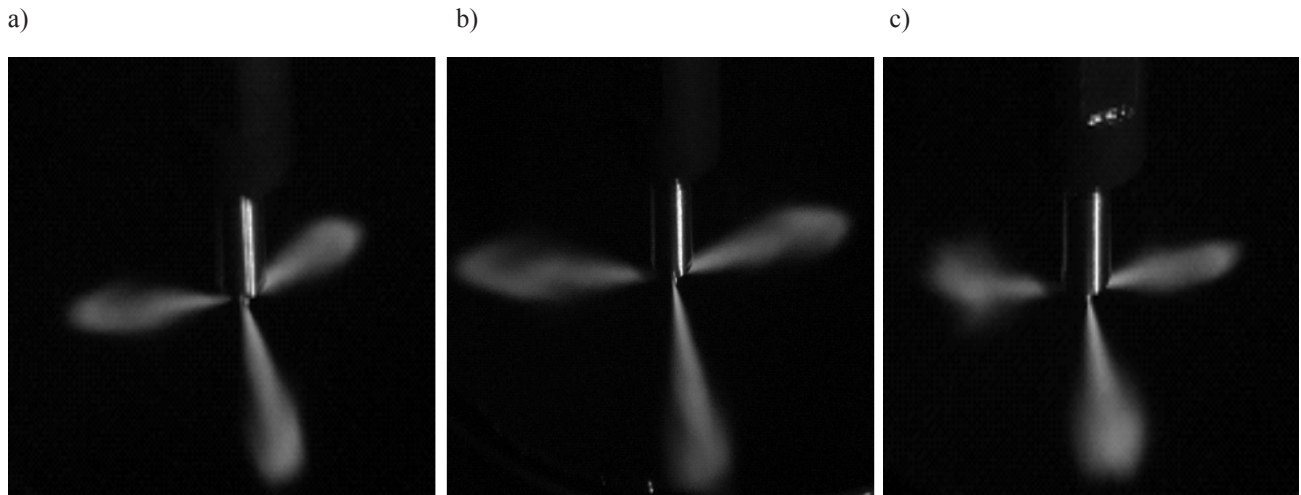


Fig. 3. Jets of fuel from a multipoint injector: a) conventional, b) with increased roughness of the non-working part of the needle, c) with a turbulizer
 Rys. 3. Strugi paliwa we wtryskiwaczu wielootworowym: a) konwencjonalny, b) ze zwiększoną chropowatością niepracującej części iglicy, c) z turbulizatorem

3. Experimental research results

Laboratory tests revealed a change in the level of acoustic emission of sound from the outflowing fuel. Figures 4 and 5 give the results of acoustic emission tests of the conventional injector and the ones with multipoint injection as proposed by the author.

3. Wyniki badań eksperymentalnych

Podczas badań laboratoryjnych stwierdzono zmianę w poziomie emisji dźwięku wypływającego paliwa. Na rysunkach 4 i 5 podane są wyniki badań akustycznych wtryskiwacza konwencjonalnego i zaproponowanych konstrukcji wtryskiwaczy wielootworowych.

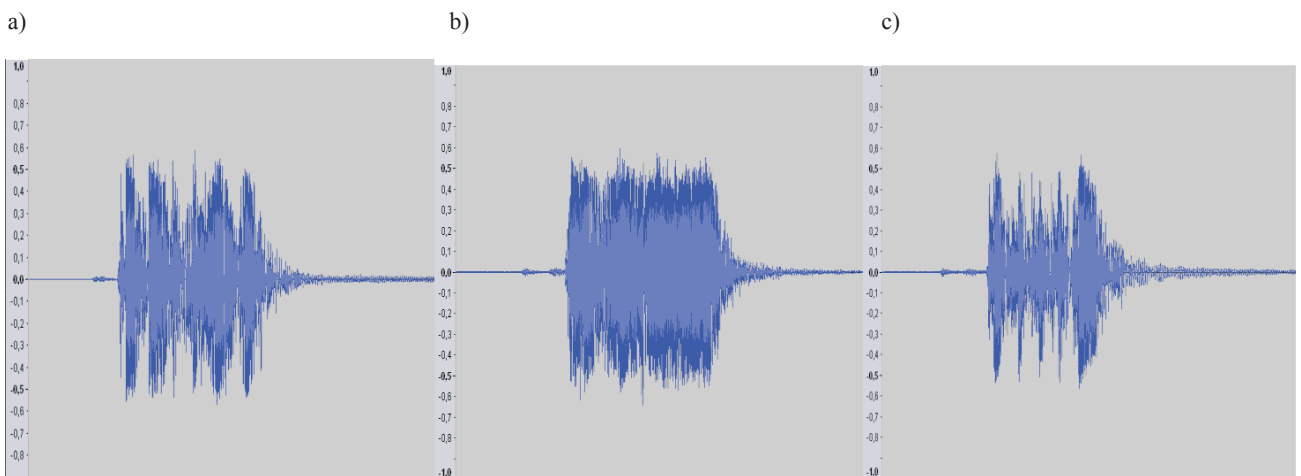


Fig. 4. Acoustic characteristics of multipoint injectors: a) conventional, b) with a turbulizer, c) with increased roughness of the non-working part of the needle

Rys. 4. Charakterystyki akustyczne rozpylaczy wielootworowych: a) konwencjonalny, b) z turbulizatorem, c) ze zwiększoną chropowatością niepracującej części iglicy

The results of these tests show that the turbulization of fuel flow in the injector body significantly changes the characteristics of acoustic emission of the atomized fuel. In general, the dynamics of the fuel supply process is described by three stages – discharge of fuel in the injection pump, fuel flow in a high pressure pipe and atomization in the combustion chamber. As the examined phenomenon of turbulization occurs in the injector body, let us examine this process in detail.

Jak wykazują wyniki tych badań, turbulizacja przepływu paliwa w korpusie rozpylacza w istotny sposób zmienia charakterystykę emisji akustycznej rozpylanego paliwa. W ogólnym przypadku dynamikę procesu podawania paliwa opisują trzy etapy – tłoczenie paliwa w pompie wtryskowej, przepływ paliwa w przewodzie wysokiego ciśnienia oraz rozpylanie paliwa do komory spalania. Ponieważ rozpatrywane zjawisko turbulizacji następuje bezpośrednio w korpusie rozpylacza, rozpatrzmy bardziej szczegółowo ten proces.

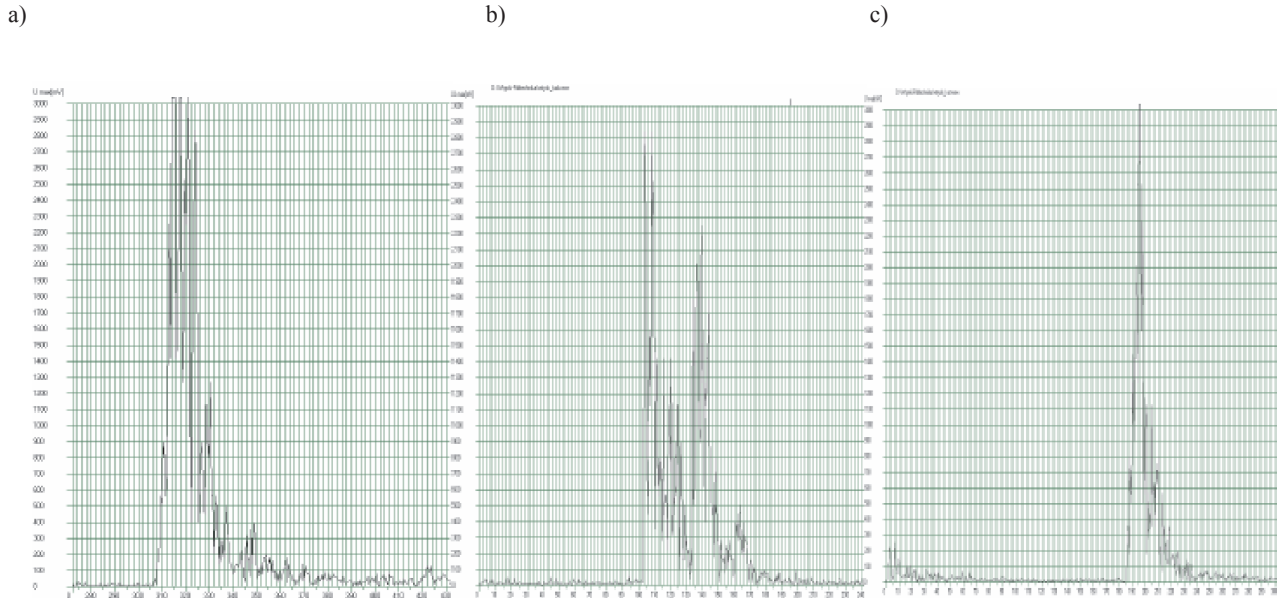


Fig. 5. Spectral density of the acoustic emission signal in the examined frequency (voltage value at the converter referred to the selected signal frequency as the function of time, at the level of 3 kHz): a) conventional, b) with a turbulizer, c) with increased roughness of the non-working part of the needle

Rys. 5. Gęstość widmowa sygnału emisji akustycznej w badanej częstotliwości (wartość napięcia na przetworniku odniesiona do wybranej częstotliwości sygnału w funkcji czasu, na poziomie 3 kHz): a) konwencjonalny, b) z turbulizatorem, c) ze zwiększoną chropowatością niepracującej części iglicy

Turbulization of a liquid stream takes place when forces act on a micro-volume that is located in the profile of passages where they cross each other. Therefore, turbulization occurs due to a pulse of forces and the crisscrossing lines along which micro-volumes move. For the triangles of speeds at coordinates z, r, φ in the appropriate cross-sections of the injector body – needle clearance, the Reynolds’ equation for micro-volumes can be written as follows [1]:

$$\begin{aligned} \frac{D(\mathbf{w})}{\partial \tau} &= \frac{\partial \mathbf{w}}{\partial t} + \frac{\partial^2 \mathbf{w}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \mathbf{w}}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial \mathbf{w}_\varphi}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{w}_z}{\partial z^2} = \\ &= F_r - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial r} + v(\nabla^2 \mathbf{w}) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial (\rho \mathbf{w}_r^2)}{\partial r} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial (\rho \mathbf{w}_r^2)}{\partial r} \\ &- \frac{1}{\rho} \frac{\partial (\rho \mathbf{w}_\varphi \mathbf{w}_r)}{\partial \varphi} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial (\rho \mathbf{w}_\varphi \mathbf{w}_z)}{\partial z} \end{aligned} \quad (1)$$

the equation of momentum:

$$\frac{dK}{d\tau} + \int \int \int \rho \mathbf{w}_n d\mathbf{w} ds = \int \rho F dV + \int \mathbf{p}_n ds \quad (2)$$

the equation of amount of momentum movement:

$$\frac{dL}{d\tau} + \int \int \int (\mathbf{r} \cdot \mathbf{w}) \rho d\mathbf{w}_n ds = \int (\mathbf{r} \cdot \mathbf{F}) \rho dV + \int (\mathbf{r} \cdot \mathbf{p}_n) ds \quad (3)$$

the equation of energy in the integral form:

$$\frac{d}{d\tau} \left(\int \int \int \rho \mathbf{w} d\mathbf{w} dV \right) = \int \rho_n \mathbf{w} ds + \int \mathbf{F} \cdot (\mathbf{w} \rho) dV \quad (4)$$

Turbulizacja strumienia cieczy odbywa się pod wpływem sił na mikro objętość, która znajduje się w profilu kanałów w miejscach ich przecięcia, a więc turbulizacja odbywa się dzięki impulsowi sił oraz krzyżującym się linii przesuwających się mikro objętości. Dla trójkątów prędkości we współrzędnych z, r, φ w odpowiednich przekrojach szczeliny korpus – iglica równanie Reynoldsa dla mikro objętości można przedstawić [1] jako (1), równanie pędu – (2), równanie momentu ilości ruchu – (3) oraz równanie energii w formie całkowej – (4),

gdzie: $K = \int \rho \mathbf{w} dV$ – pęd, $L = \int (\mathbf{r} \cdot \mathbf{w}) \rho dV$ – moment ilości ruchu, ρ – gęstość paliwa, p_n – naprężenia sił powierzchniowych, F – siła masowa objętości V , w_n – składowa normalna prędkości, s – przekrój strugi cieczy, w_r, w_z, w_φ – nieznanne składowe prędkości w czasie τ .

W podanych równaniach prędkości pulsacyjne rozkładane są na składowe pierwszego (przecinające się oddziaływanie strug), drugiego (wymuszane przemieszczenia strug) i trzeciego rzędu. Szczególny wpływ na turbulizację wewnętrzną strugi wewnątrz mikro objętości ma trzeci rząd prędkości w momencie, kiedy strugi przecinają się i kiedy prawie cała energia strug idzie na zmianę gęstości i opór akustyczny z , co można przedstawić jako (5).

Analiza podanych zależności ukazuje, że podczas przepływu paliwa w szczelinie korpus rozpylacza – iglica zmienia się właśnie opór akustyczny, co zostało zarejestrowano podczas badań laboratoryjnych (rys. 4 i 5).

Badania stanowiskowe przeprowadzono na silniku typu 359 wyposażonym w komplet wtryskiwaczy ze wstępną obróbką paliwa i turbulizacją w kanałach rozpylacza. Na

where: $K = \int \rho w dV$ – momentum, $L = \int (rw) p dV$ –

amount of momentum movement, ρ – fuel density, p_n – stresses of surface forces, F – volumetric mass force V , w_n – normal component of speed, s – cross-section of liquid jet, w_p , w_z , w_ϕ – unknown components of speed in time τ .

In the equations above pulsating speeds are decomposed into components of the first (crossing interaction of jets), second (forced displacements of jets) and third order. The third order of speed has a special influence on the internal turbulization of the jet inside the micro-volume at the moment when the jets cross each other and when practically the whole energy of jets is utilized for the change of density and acoustic resistance z , which can be described as follows:

$$z = \int \frac{D(w)}{\partial \tau} d\rho \quad (5)$$

An analysis of the given relations shows that when fuel flows in the injector body-needle clearance, the acoustic resistance changes, which has been recorded during laboratory tests (Fig. 4 and 5).

Tests were performed on a 359 type engine completely equipped with injectors adjusted to preliminary fuel treatment and turbulization in injector fuel passages. Figure 6 presents the speed characteristics of the examined engine which implies that fuel fumigation and turbulization directly in the injector body improve both operational and ecological parameters of the engine operation.

4. Conclusions

The results of research done so far show that the operating and ecological parameters of self-ignition engine performance can be achieved by using thermal and catalytic fuel treatment. To enhance the effect of catalyst on the flowing fuel we can apply forced turbulized fuel movement in elements of a multipoint injector. In addition to a change in the physical and chemical properties of fuel, such treatment leads to a changed structure of the atomized fuel jet, which is proved by the results of acoustic and stroboscopic tests of fuel injection process. The positive effect of the treatment is confirmed by the results of laboratory tests of the engine (type 359).

Paper reviewed

Bibliography/Literatura

- [1] Барсуков С.И.: Приводы. Теория и расчет. Астропринт, Одесса 2004.
- [2] Ключ О.В.: Термическая и каталитическая обработка топлива в дизелях. Изд. КГТУ, Калининград 2006.
- [3] Klyus O., Mysłowski J., Osipowicz T.: Wtryskiwacz paliwa. Zgłoszenie patentowe P-381412, 2006.
- [4] Klyus O., Mysłowski J., Osipowicz T.: Wtryskiwacz paliwa. Zgłoszenie patentowe P-381413, 2006.

rysunku 6 przedstawiono prędkościową charakterystykę badanego silnika, z której wynika, że zastosowanie fumigacji i turbulizacji paliwa bezpośrednio w korpusie wtryskiwacza przyczynia się do poprawy zarówno operacyjnych, jak i ekologicznych parametrów jego pracy.

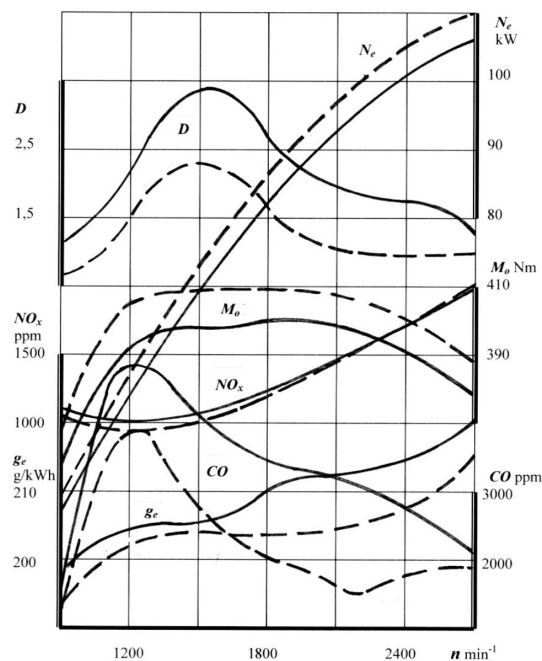


Fig. 6. Speed characteristics of an engine, type 359:----- – conventional injection system, ---- injection system with preliminary fuel treatment

Rys. 6. Prędkościowa charakterystyka silnika 359;----- – konwencjonalny układ wtryskowy, ---- – układ wtryskowy ze wstępną obróbką paliwa

4. Wnioski

Jak wykazują wyniki dotychczas przeprowadzonych badań, poprawa operacyjnych i ekologicznych wskaźników pracy silników z zapłonem samoczynnym możliwa jest przy zastosowaniu wstępnej termicznej i katalitycznej obróbki paliwa. Zwiększenie oddziaływania katalizatora na przepływające paliwo możliwe jest przez zastosowanie wymuszonego turbulizacyjnego ruchu paliwa w elementach rozpylacza wielootworowego. Oprócz zmian właściwości fizycznych i chemicznych paliwa podczas takiej obróbki uzyskano dodatkowy efekt w postaci zmiany struktury strugi rozpylanego paliwa, o czym świadczą wyniki badań akustycznych i stroboskopowych procesu wtryskiwania paliwa, a pozytywny efekt potwierdzają wyniki badań stanowiących silnika typu 359.

Prof. Oleh Klyus, DSc., DEng. – Professor in the Faculty of Mechanical Engineering at Maritime University of Szczecin.

Prof. zw. dr hab. inż. Oleh Klyus – profesor na Wydziale Mechanicznym Akademii Morskiej w Szczecinie.

e-mail: olegklyus@o2.pl

