

WPŁYW PARAMETRÓW REGULACYJNYCH SILNIKA ZS NA ZAWARTOŚĆ SKŁADNIKÓW TOKSYCZNYCH I ZADYMIENIE SPALIN

THE IMPACT OF SI ENGINE CONTROLLING PARAMETERS ON THE CONTENT OF TOXIC COMPONENTS AND SMOKINESS OF EXHAUST GASES

W referacie przedstawiono wyniki badań doświadczalnych doładowanego, cztero- cylindrowego silnika o zapłonie samoczynnym o objętości skokowej 1,7 dm³ z bezpośrednim wtrys. iem paliwa. W badaniach szczególny nacisk położono na możliwość uwzględnienia sterowania dawką paliwa, kątem wyprzedzenia wtrys. u, stopniem recyrkulacji spalin oraz temperaturą i ciśnieniem ładunku w kolektorze dolotowym w celu określenia zawartości składników toksycznych i zadymienie spalin.

Wyniki badań przedstawiono w postaci funkcji aproksymacyjnych wielu zmiennych. Zmiennymi są wymienione powyżej parametry regulacyjne silnika. Przedstawiono analizę wyników badań i wskazano możliwość zastosowania wyznaczonych funkcji aproksymacyjnych w optymalizacji parametrów regulacyjnych silnika, której celem jest dobranie takich wartości parametrów regulacyjnych, które zapewniają zmniejszenie zawartości tlenków azotu w spalinach przy dopuszczalnej zawartości innych składników toksycznych oraz przy zachowaniu założonych wartości parametrów eksploatacyjnych silnika.

Słowa kluczowe: silnik ZS, składniki toksyczne spalin, zadymienie spalin.

In the paper the results of experimental investigations on a turbocharged, four-cylinder direct injection SI engine with the displacement of 1.7 dm³ are presented. In the investigations, particular attention was paid to the possibility of including the control of fuel dose, injection advance angle, exhaust gas recirculation rate and the temperature and pressure of air charge in the inlet manifold with the intent to determine the content of the toxic components and the smokiness of exhaust gases.

The results of the investigations are presented in the form of approximation functions of several variables. The variables are the engine control parameters mentioned above. An analysis of the investigation results is presented and a possible application of the approximation functions in the optimisation of engine control parameters is indicated with the aim of selecting such values of control parameters as would guarantee a reduction of the nitrogen oxides content in the exhaust gases while maintaining the content of other toxic components and the assumed engine exploitation parameters on an acceptable level.

Keywords: SI engine, toxic components of exhaust gases, smoking of exhaust gases.

1. Wstęp

Jednym z podstawowych czynników decydujących wspólnie o rozwoju tłokowych silników spalinowych jest dążenie do ograniczenia ich negatywnego wpływu na środowisko naturalne [1,2,3,19]. Coraz ostrzejsze limity emisji toksycznych składników spalin i zużycia paliwa, a także duże wymagania ekologiczne dotyczące eksploatacji pojazdów z silnikami spalinowymi, zmuszają konstruktorów do stałego doskonalenia konstrukcji silników [8,18].

W celu obniżenia toksyczności spalin silnika o zapłonie samoczynnym podejmowano działania, które zmierzały w czterech głównych kierunkach [12]:

- wprowadzenie regulacji i sterowania zespołów silnika, mających wpływ na jego cykl roboczy,
- zastosowanie określonych rozwiązań konstrukcyjnych silnika,
- zastosowanie odpowiednich rodzajów paliw i specjalnych dodatków do paliw,
- wyposażenie silnika w katalizatory i filtry spalin.

1. Introduction

One of the fundamental factors that contemporarily govern the development of internal combustion piston engines is a trend towards limiting their negative impact on the environment [1,2,3,19]. More and more rigorous limits on the emission of exhaust gas toxic components and fuel consumption as well as high ecological demands compel designers to continuously improve engine design [8,18].

The efforts undertaken to reduce the toxicity of exhaust gases from the SI engine went in the four main directions [12]:

- introduction of a system of regulation and control of engine assemblies which affect the engine work cycle,
- implementation of certain engine design improvements,
- use of proper fuel types and special fuel additives,
- equipping the engine with catalysts and fuel filters.

Regulation and control of the engine assemblies affecting the engine work cycle means introduction of fuel supply system control. The contemporary engine fuel supply system comprises a fuel injection system, a scavenge air system—usually with

Regulacja i sterowanie zespołami silnika mającymi wpływ na cykl roboczy silnika oznacza wprowadzenie sterowania układem zasilania silnika. W skład układu zasilania współczesnego silnika wchodzi: układ wtrys. owy, układ wymiany ładunku przeważnie z turbosprężarką i chłodnicą powietrza dolotowego oraz układ recyrkulacji spalin.

Współczesnym konstrukcjom silników o zapłonie samoczynnym stawia się jako równorzędne użytkowym, wymagania dotyczące spełnienia obecnych i przyszłościowych wymagań legislacyjnych dotyczących emisji składników spalin, w tym głównie emisji tlenków azotu oraz cząstek stałych [3,7,9,10,11,15,17].

W najbliższych latach przewiduje się dalszy rozwój doładowanych silników o zapłonie samoczynnym z wtrys. iem bezpośrednim, wyposażonych w złożone algorytmy regulacji układów zasilania.

W algorytmach sterujących uwzględnia się głównie następujące podstawowe parametry regulacyjne silnika:

- prędkość obrotową,
- dawkę paliwa i przebieg jej wtrys. u,
- kąt wyprzedzenia wtrys. u,
- stopień recyrkulacji spalin,
- ciśnienie ładunku w kolektorze dolotowym,
- temperaturę ładunku w kolektorze dolotowym.

O wadze i aktualności zagadnienia regulacji parametrów zasilania silnika o zapłonie samoczynnym świadczy wzrastająca z każdym rokiem liczba publikacji w literaturze światowej z tego zakresu. Publikacje te dotyczą problematyki teoretycznej i praktycznej w zakresie regulacji zasilania silników o zapłonie samoczynnym, jak i eksploatacji silników wyposażonych w złożone, niekonwencjonalne układy regulacji.

2. Badania

Podstawowym etapem prac, związanym z doбором parametrów regulacyjnych, które umożliwiają realizację założonych celów sterowania, jest pomiarowa identyfikacja obiektu badań [5]. W rozważanym przypadku, badania eksperymentalne (identyfikacyjne) miały na celu określenie wpływu parametrów regulacyjnych silnika x_1, \dots, x_r na parametry pracy i osiągi silnika określone przez wielkości sumaryczne W_1, \dots, W_s (określające emisję składników toksycznych i zadymienie spalin), pomocnicze wielkości sumaryczne v_0, \dots, v_d (określające parametry cyklu roboczego) oraz przebiegi ciśnienia w cylindrze silnika $p(\varphi)$.

Badania przeprowadzono na czterocylindrowym silniku o zapłonie samoczynnym, z bezpośrednim wtrys. iem paliwa i czterech zaworach na cylinder napędzanych dwoma wałkami rozrządu w głowicy, doładowanym zespołem turbosprężarkowym i wyposażonym w elektronicznie sterowany układ wtrys. owy z rozdzielaczową pompą wtrys. ową (tabela 1).

Badania przeprowadzono na hamowni silnikowej Katedry Silników Spalinowych i Pojazdów Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej. Dla realizacji celów badań eksperymentalnych niezbędne było sterowanie parametrami pracy silnika, w szczególności zmianą dawki paliwa, zmianą otwarcia zaworu recyrkulacji spalin, zmianą kąta wyprzedzenia wtrys. u, zmianą ciśnienia i temperatury w układzie doładowania. W tym celu wykorzystano program monitorujący pracę mikrokontrolera sterującego silnika i nadzorujący niektóre z parametrów, opracowany w Katedrze Silników Spalinowych i Pojazdów. Przy pomocy tego progra-

a turbocharger, an intake air cooler and an exhaust gas recirculation system.

Contemporary SI engine designs have to comply not only with the functional quality requirements but, which is equally important, they have to meet the demands of the present and future legislative emission limits on exhaust gas components, mainly nitrogen oxides and particulate matter [3,7,9,10,11,15,17].

In the nearest future, a further development of spontaneous ignition turbocharged engines with direct injection equipped with complex control algorithms of the fuel supply system may be expected. In the control algorithms, the following basic engine parameters are generally taken into account:

- rotation speed,
- fuel dose and the course of fuel injection,
- injection advance angle,
- exhaust gas recirculation rate,
- pressure of air charge in the inlet manifold,
- temperature of air charge in the inlet manifold.

The present interest in parameter control of spontaneous ignition engine feed and its importance are evident from the growing number of world publications on this subject. The publications are related to the theory and practice of parameter control of spontaneous ignition engine feed and exploitation of engines equipped with complex, unconventional control systems.

2. Experiments

The essential phase of the investigations, related to the selection of control parameters such as to make it possible to fulfil the assumed control objectives, is the measuring identification of the object under investigation [5]. In our case, the experimental (identification) investigations had as an objective the determination of the impact of engine control parameters x_1, \dots, x_r on the engine operation parameters and engine performance expressed by the total values W_1, \dots, W_s (describing the emission of toxic components and smokiness of exhaust gases), auxiliary summary values v_0, \dots, v_d (describing the work cycle parameters), and courses of pressure in the engine cylinder $p(\varphi)$.

The investigations were conducted on a four-cylinder direct-injection spontaneous ignition DOHC engine with four valves per cylinder, with a turbocharger and an electronically controlled injection system with a distributor type injection pump (Table 1).

The experiments were conducted in the engine test house of the Department of Internal Combustion Engines and Vehicles of the University of Bielsko-Biala. In order to fulfil the objectives of the experimental investigations, it was necessary to regulate the engine operation parameters, namely the change of fuel dose, the change of recirculation exhaust gas valve opening, the change of injection advance angle, and the change of pressure and temperature in the turbocharger. A computer program, developed in the Department of Internal Combustion Engines and Vehicles, was used for the purpose of monitoring the engine control unit and supervising some of the parameters.

Tab. 1. Dane techniczne silnika
Tab. 1. Engine technical data

Typ silnika Engine type	silnik o zapłonie samoczynnym, doładowany zespołem turbosprężarkowym, z chłodzeniem powietrza doładującego, z recyrkulacją spalin a spontaneous ignition engine, charged by turbocharger, with inlet air cooling, with exhaust gas re-circulation
Budowa / Liczba cylindrów Piston layout / Number of cylinders	rzędowy / cztery straight / four
Rozrząd / Zawory na cylinder Valve train/ Valves per cylinder	dwa wałki rozrządu w głowicy / cztery Double over head camshaft / four
Średnica cylindra // Cylinder bore	79 mm
Skok tłoka // Piston stroke	86 mm
Objętość skokowa // Displacement	1668 cm ³
Stopień sprężania // Compression ratio	18,4
Moc maksymalna Maximum power	55 kW przy 4400 obr/min 55 kW at 4400 rpm
Moment obrotowy maksymalny Maximum torque	165 N·m przy 1800 ÷ 3000 obr/min 165 N·m at 1800 ÷ 3000 rpm

mu możliwe jest pobieranie bieżących parametrów pracy silnika, odczytywanych z oryginalnych czujników oraz modyfikacja następujących czterech parametrów:

- dawki paliwa,
- kąta wyprzedzenia wtrys. u,
- stopnia otwarcia zaworu podciśnieniowego regulującego recyrkulację spalin,
- stopnia otwarcia zaworu podciśnieniowego regulującego upust spalin turbosprężarki.

Opracowując program badań eksperymentalnych (identyfikacyjnych) wyznaczono punkty pomiarowe w taki sposób, aby przeprowadzić badania w możliwie szerokim obszarze pracy silnika. Wybrano do badań wartości prędkości obrotowej 1880, 2610, 3340 i 4070 obr/min, wyznaczone dla badanego silnika według zasad przeprowadzania testu hamownianego ESC [6,16], (tab. 2).

Badania objęły pomiary parametrów pracy silnika, składników spalin oraz rejestrację przebiegów ciśnienia w cylindrze i przewodzie wtrys. owym. Szczegółowe dane dotyczące mierzonych wielkości podano w [14].

Wyniki pomiarów eksperymentalnych (identyfikacyjnych) przeprowadzonych na stanowisku badawczym można przedstawić w postaci tab. 3.

Tab. 2. Wartości prędkości obrotowej i obciążenia, przy których przeprowadzono badania identyfikacyjne
Tab. 2. Values of rotation speed and load, at which identification investigations were conducted

Prędkość obrotowa Rotation speed	1880 obr/min	2610 obr/min	3340 obr/min	4070 obr/min
Obciążenie Load				
M_{max}	143 N·m	163 N·m	137 N·m	129 N·m
0,75 M_{max}	107 N·m	122 N·m	104 N·m	96 N·m
0,5 M_{max}	72 N·m	82 N·m	69 N·m	64 N·m
0,25 M_{max}	36 N·m	41 N·m	35 N·m	32 N·m

M_{max} - maksymalny moment obrotowy przy danej prędkości obrotowej

M_{max} - maximum torque at a given rotation speed

The program makes it possible to read current engine operation parameters, as detected by the original sensors, and to modify the following four parameters:

- fuel dose,
- injection advance angle,
- position of the vacuum valve, regulating exhaust gas re-circulation,
- position of the wastegate, regulating the diversion of exhaust gases in the turbocharger.

During the development of the programme of the experimental (identification) investigations, the measuring points were determined such that the investigations would cover a wide range of engine operating conditions. For the investigations, rotation speed values of 1880, 2610, 3340 and 4070 rpm were selected, determined for the engine tested according to the ESC dynamometer engine test technique, [6,16], (Table 2).

The investigations covered measurements of engine operation parameters, exhaust gas components and registration of courses of pressure in the cylinder and the injection pipe. The detailed data concerning the measurement values are reported in [14].

The results of the experimental (identification) measurements performed on the test stand are presented in Table 3.

Tab. 3. Wyniki pomiarów identyfikacyjnych
Tab. 3. Identification measurement results

Nr pomiaru Measurement no.	Parametry regulacyjne Control parameters	Emisji składników toksycznych i zadymienie spalin Emission of toxic components and smokiness of exhaust gases
0	$x_{1,0}, \dots, x_{r,0}$	$W_{1,0}, \dots, W_{s,0}$
⋮		
k	$x_{1,k}, \dots, x_{r,k}$	$W_{1,k}, \dots, W_{s,k}$
⋮		
P	$x_{1,P}, \dots, x_{r,P}$	$W_{1,P}, \dots, W_{s,P}$

(P + 1 - liczba punktów pomiarowych)

(P + 1 - number of measuring points)

W sumie przeprowadzono 231 pomiarów, dla omówionych wyżej zestawów parametrów regulacyjnych silnika $x_1 \div x_6$.

3. Aproksymacja emisji składników toksycznych i zadymienia spalin

Wyniki pomiarów dotyczące emisji składników toksycznych i zadymienia spalin (W_1, \dots, W_s), w celu uzyskania wzorów matematycznych umożliwiających obliczanie wartości W_1, \dots, W_s dla dowolnych wartości parametrów regulacyjnych x_1, \dots, x_r , poddano aproksymacji w postaci funkcji wielu zmiennych.

Aproksymację funkcji W_i dokonano metodą najmniejszych kwadratów [4] minimalizując funkcjonalny:

$$W_i = \sum_{k=0}^P [\bar{W}_i(x_1^{(k)}, \dots, x_r^{(k)}) - W_{i,k}]^2 \quad \text{dla } i=1,2,3,4; \quad r=6 \quad (1)$$

gdzie: $P+1$ jest liczbą punktów pomiarowych ($P=231$), $W_{i,k}$ jest wartością wielkości W_i w punkcie pomiarowym k , $\bar{W}_i(x_1^{(k)}, \dots, x_r^{(k)})$ jest wartością funkcji aproksymującej \bar{W}_i w punkcie pomiarowym k .

Przyjęto postać funkcji \bar{W}_i :

$$\bar{W}_i = a_0^{(i)} x_1^{a_1^{(i)}} \cdot \dots \cdot x_j^{a_j^{(i)}} \cdot \dots \cdot x_r^{a_r^{(i)}} \quad (2)$$

a więc funkcję potęgową wielu zmiennych.

W tabeli 4 zestawiono współczynniki funkcji aproksymacyjnych (2), opisujących stężenie tlenku węgla, węglowodorów, tlenków azotu i zadymienia spalin w zależności od parametrów regulacyjnych.

Aby zastosować wzory (2) przy wartościach współczynników z tabeli 4 parametry regulacyjne należy podawać w następujących jednostkach:

- x_1 - prędkość obrotowa n [obr/min],
- x_2 - dawka paliwa B_0 [kg],
- x_3 - kąt wyprzedzenia wtrys. u φ_w [°OWK],
- x_4 - stopień recykulacji spalin X_{EGR} [-],
- x_5 - ciśnienie ładunku w kolektorze dolotowym p_d [Pa],
- x_6 - temperatura ładunku w kolektorze dolotowym T_d [K].

Wyznaczone funkcje aproksymacyjne (2) o współczynnikach z tabeli 4 umożliwiają prowadzenie analiz dotyczących wpływu parametrów regulacyjnych silnika x_1, \dots, x_r na emisję składników toksycznych oraz zadymienia w całym polu pracy silnika.

Na rys. nkach 1 ÷ 4 zestawiono powierzchnie, uzyskane po wykorzystaniu funkcji aproksymacyjnych określające stężenie tlenku węgla CO , węglowodorów HC , tlenków azotu NO_x i za-

Tab. 4. Współczynniki funkcji aproksymacyjnych
Tab. 4. Coefficients of approximation functions

$$\bar{W}_i = a_0^{(i)} x_1^{a_1^{(i)}} \cdot \dots \cdot x_j^{a_j^{(i)}} \cdot \dots \cdot x_r^{a_r^{(i)}}$$

Współczynnik funkcji Function coefficient	$i=1$ CO	$i=2$ HC	$i=3$ NO _x	$i=4$ D
α_0	3,20E+01	4,86E+08	7,93E+02	8,49E-20
α_1	6,48E-01	-3,50E-01	-9,64E-01	1,41E+00
α_2	1,05E+00	-3,18E-01	6,31E-01	1,62E+00
α_3	1,51E+00	1,93E-01	-1,19E+00	1,19E+00
α_4	-1,38E+00	5,07E-01	-1,69E+00	-1,77E+00
α_5	-4,84E+00	1,62E-01	6,47E-01	-2,24E+00
α_6	6,46E+00	-2,60E+00	1,70E-01	8,83E+00

A total of 231 measurements were conducted for the above-discussed sets of engine control parameters $x_1 \div x_6$.

3. Approximation of the emission of toxic components and the smokiness of exhaust gases

The results of the measurements of the emission of toxic components and the smokiness of exhaust gases (W_1, \dots, W_s) were approximated, in order to obtain mathematical formulas for calculating W_1, \dots, W_s values for arbitrary x_1, \dots, x_r control parameter values, using a function of several variables.

The approximation of the function W_i was performed with the least squares method [4] by the minimization of functionals:

$$W_i = \sum_{k=0}^P [\bar{W}_i(x_1^{(k)}, \dots, x_r^{(k)}) - W_{i,k}]^2 \quad \text{dla } i=1,2,3,4; \quad r=6 \quad (1)$$

where: $P+1$ is the number of measuring points ($P=231$), $W_{i,k}$ is the value of W_i in measuring point k , $\bar{W}_i(x_1^{(k)}, \dots, x_r^{(k)})$ is the value of the approximation function \bar{W}_i in measuring point k .

The form of the function \bar{W}_i was assumed to be:

$$\bar{W}_i = a_0^{(i)} x_1^{a_1^{(i)}} \cdot \dots \cdot x_j^{a_j^{(i)}} \cdot \dots \cdot x_r^{a_r^{(i)}} \quad (2)$$

which is a power function of several variables.

In Table 4 the coefficients of the approximation functions (2) that describe the concentration of carbon monoxide, hydrocarbons, nitrogen oxides and the smokiness of exhaust gases in relation to control parameters are tabulated.

In order to use equations (2) with the coefficient values from Table 4, the control parameters should be given in the following units:

- x_1 - rotation speed n [rpm],
- x_2 - fuel dose B_0 [kg],
- x_3 - injection advance angle φ_w [°CA],
- x_4 - degree of exhaust gas recirculation X_{EGR} [-],
- x_5 - charge pressure in inlet manifold p_d [Pa],
- x_6 - charge temperature in inlet manifold T_d [K].

The developed approximation functions (2) along with the coefficients from Table 4 make it possible to conduct analyses of the impact of engine control parameters x_1, \dots, x_r on the emission of toxic components and the smokiness of exhaust gases in the full operation field of the engine.

In Figures 1 ÷ 4, the areas obtained with the aid of the approximation functions are presented. They describe the concentration of carbon monoxide CO , hydrocarbons HC , nitrogen oxides

Tab. 5. Wartości parametrów regulacyjnych przyjęte w obliczeniach
Tab. 5. Values of control parameters assumed in the calculations

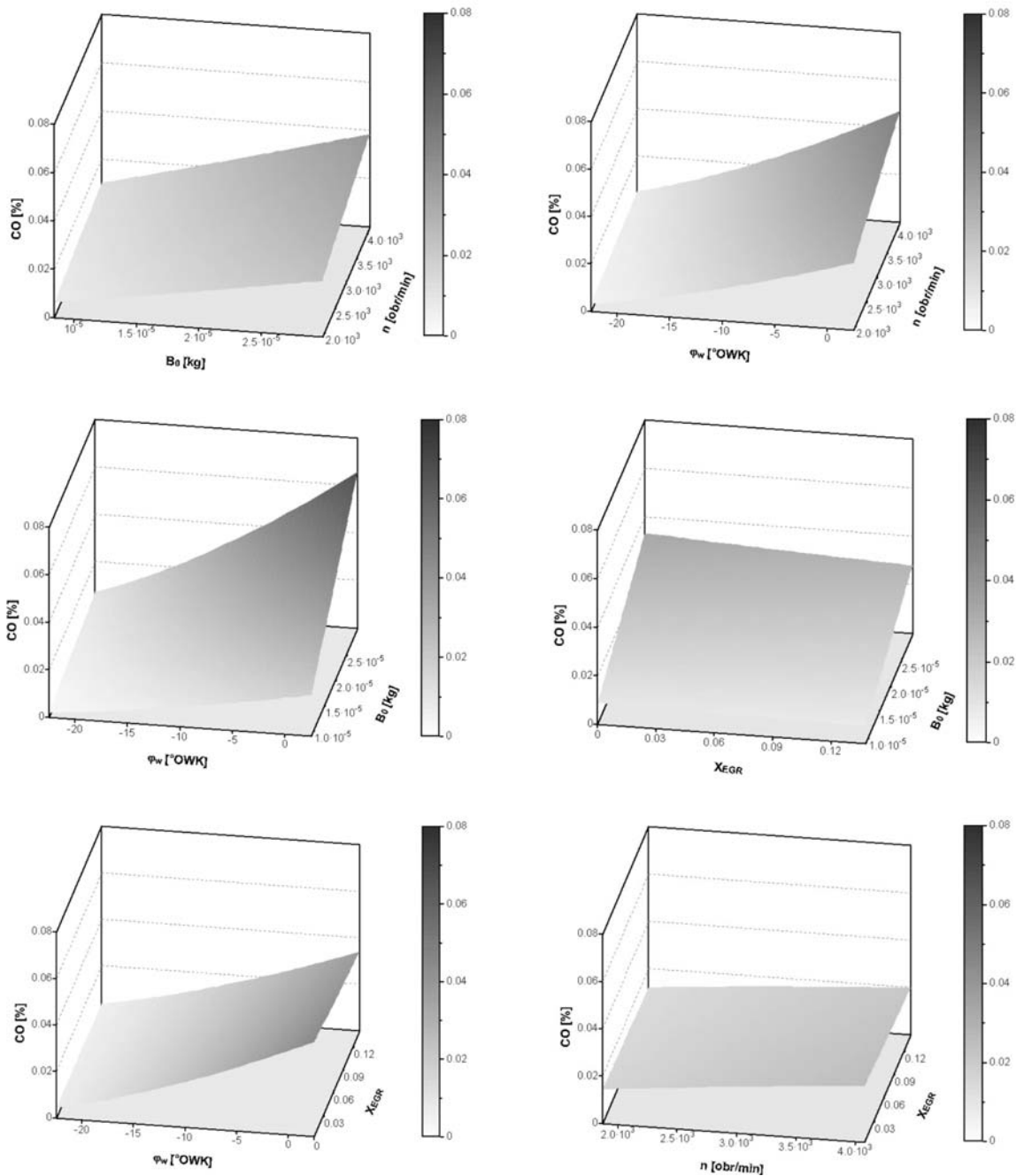
Parametr Parameter	Przyjęta wartość parametru Assumed value of parameter
n	3000 obr/min
B_0	$1,8 \cdot 10^{-5}$ kg
φ_w	-11,5 °OWK
X_{EGR}	4 %
p_d	1500 hPa
T_d	60 °C

dymienie D w zależności od wybranych parametrów regulacyjnych przy ustalonych pozostałych parametrach o wartościach podanych w tabeli 5.

Na rys. nku 1 przedstawiono aproksymowaną zależność stężenia tlenku węgla CO od parametrów regulacyjnych. Stężenie tlenku węgla w spalinach wzrasta wraz ze wzrostem obciążenia i prędkości obrotowej silnika. Zmniejszenie kąta wyprzedzenia wtrys. u powoduje wzrost stężenia tlenku węgla, natomiast zmiana stopnia recyrkulacji spalin nie wpływa w istotny sposób na stężenie tlenku węgla w spalinach.

NO_x , and smokiness D in relation to the selected control parameters at the constant value of other parameters (given in Table 5).

In Figure 1, the approximated relationship between the concentration of carbon monoxide CO and the control parameters is presented. The concentration of carbon monoxide in exhaust gases grows alongside with the load and the rotation speed of the engine. A decrease in the injection angle results in an increase of the carbon monoxide concentration, whereas a change in the degree of exhaust gas recirculation produces no significant effect in the carbon monoxide concentration in the exhaust gases.

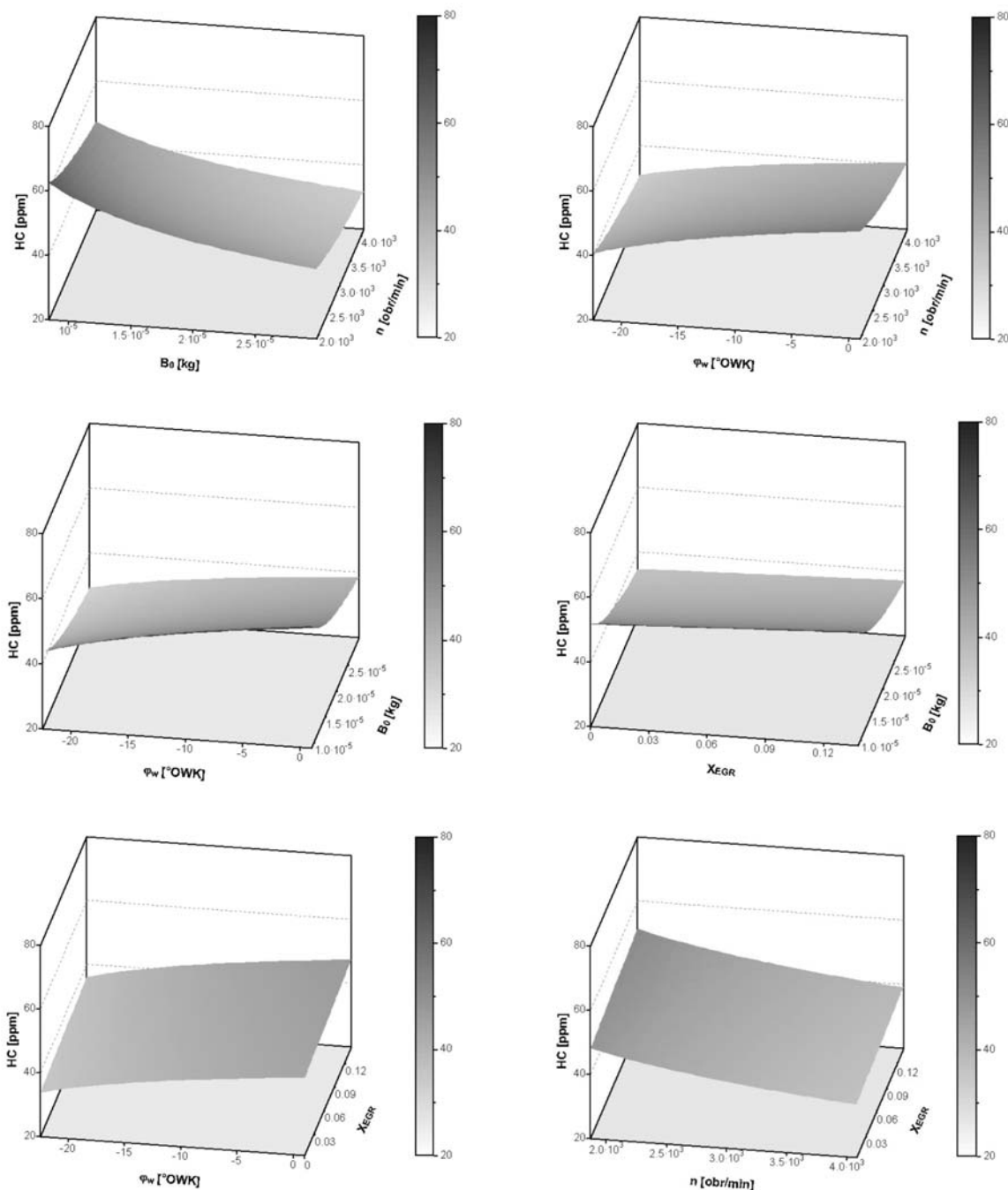


Rys. 1. Aproksymowana zależność stężenia tlenku węgla od parametrów regulacyjnych funkcją potęgową

Fig. 1. The relationship between the concentration of carbon monoxide and the control parameters approximated using power function

Na rys. nku 2 przedstawiono aproksymowaną zależność stężenia węglowodorów HC od parametrów regulacyjnych. Stężenie węglowodorów w spalinach nieznacznie maleje wraz ze wzrostem obciążenia i prędkości obrotowej silnika. Zmniejszenie kąta wyprzedzenia wtrys. u powoduje nieznaczny wzrost stężenia węglowodorów, natomiast zwiększenie recyrkulacji spalin powoduje również nieznaczny wzrost stężenia węglowodorów w spalinach.

In Figure 2, the approximated relationship between the concentration of hydrocarbons HC and the control parameters is presented. The concentration of hydrocarbons in exhaust gases decreases slightly with the growth of the load and the rotation speed of the engine. A decrease in the injection angle results in a small increase of the hydrocarbons concentration, and an increase in the degree of exhaust gas recirculation also produces a small increase in the hydrocarbons concentration in the exhaust gases.

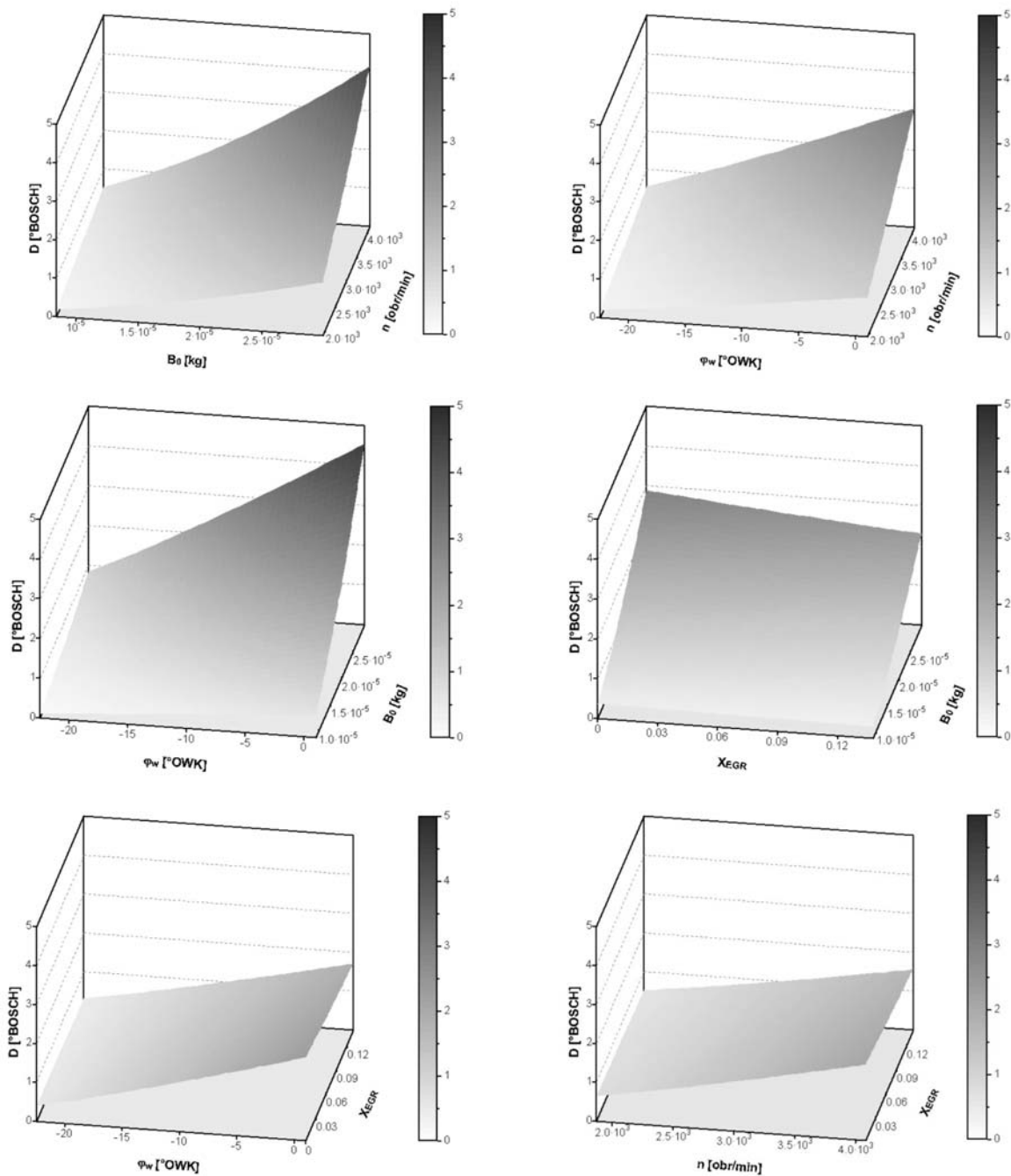


Rys. 2. Aproksymowana zależność stężenia węglowodorów od parametrów regulacyjnych funkcją potęgową

Fig. 2. The relationship between the concentration of hydrocarbons and the control parameters approximated using power function

Na rys. nku 3 przedstawiono aproksymowaną zależność zadymienia spalin D od parametrów regulacyjnych. Stopień zadymienia spalin wzrasta wraz ze wzrostem obciążenia i prędkości obrotowej silnika. Zmniejszenie kąta wyprzedzenia wtrys. u powoduje wzrost stopnia zadymienia spalin, natomiast zwiększenie stopnia recyrkulacji spalin nie powoduje istotnej zmiany stopnia zadymienia spalin.

In Figure 3, the approximated relationship between the smokiness of the exhaust gases D and the control parameters is shown. The degree of smokiness rises along with the growth of the load and the rotation speed of the engine. A decrease in the injection angle results in an increase of the degree of exhaust gas smokiness, whereas an increase in the degree of exhaust gas recirculation does not generate a significant change in the degree of smokiness in the exhaust gases.

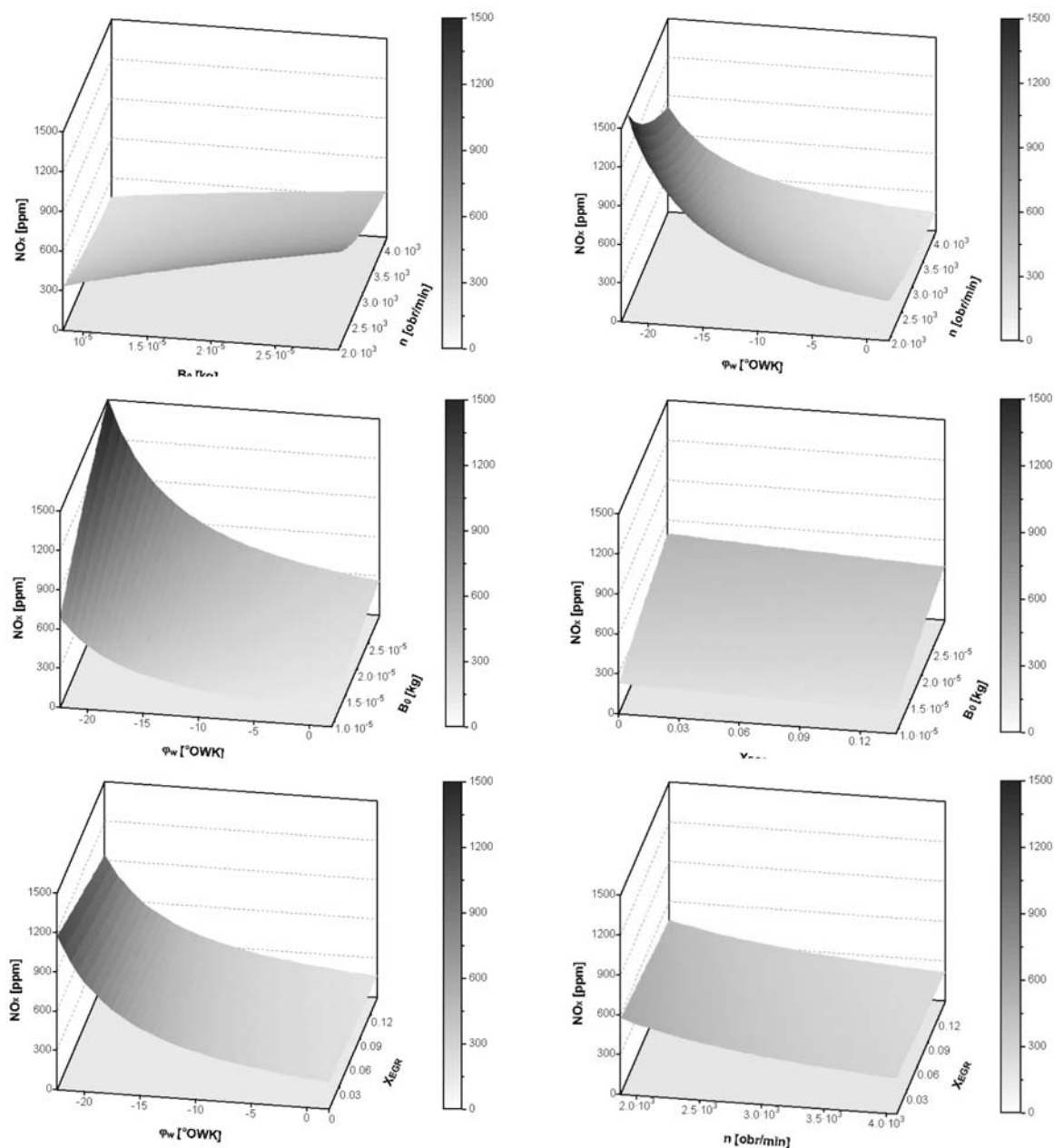


Rys. 3. Aproksymowana zależność zadymienia spalin od parametrów regulacyjnych funkcją potęgową

Fig. 3. The relationship between the smokiness of the exhaust gases and the control parameters approximated using power function

Na rys. 4 przedstawiono aproksymowaną zależność stężenia tlenków azotu NO_x od parametrów regulacyjnych. Stężenie tlenków azotu w spalinach wzrasta wraz ze wzrostem obciążenia silnika. Zmniejszenie kąta wyprzedzenia wtrys. u powoduje znaczny spadek stężenia tlenków azotu, natomiast zwiększenie recyrkulacji spalin powoduje równoczesny spadek stężenia tlenków azotu w spalinach.

In Figure 4, the approximated relationship between the concentration of nitrogen oxides NO_x and the control parameters is shown. The concentration of nitrogen oxides goes up along with the load of the engine. Decreasing of the injection angle reduces the concentration of nitrogen oxides significantly, while increasing the exhaust gas recirculation leads to a simultaneous reduction of the degree of smokiness in the exhaust gases.



Rys. 4. Aproksymowana zależność stężenia tlenków azotu od parametrów regulacyjnych funkcją potęgową

Fig. 4. The relationship between the concentration of nitrogen oxides and the control parameters approximated using power function

4. Podsumowanie

Należy zaznaczyć, że graficzne postacie powierzchni aproksymacyjnych oraz sformułowane na tej podstawie uogólnienia w zakresie wpływu parametrów regulacyjnych silnika na emi-

4. Summary

It should be indicated that the graphical forms of the approximation areas and the generalisations, formulated on that basis, concerning the impact of engine control parameters on

się składników toksycznych oraz zadymienie spalin dotyczą obszaru wokół analizowanego punktu pracy silnika określonego parametrami regulacyjnymi przedstawionymi w tabeli 5.

Wyznaczone funkcje aproksymacyjne można zastosować w optymalizacji parametrów regulacyjnych silnika, której celem jest dobranie takich wartości parametrów regulacyjnych, które zapewniają zmniejszenie zawartości tlenków azotu w spalinach przy dopuszczalnej zawartości innych składników toksycznych oraz przy zachowaniu założonych wartości parametrów eksploatacyjnych silnika [14].

the emission of toxic components and exhaust gas smokiness, are related to the region around the analysed point of engine operation, determined by the control parameters presented in Table 5.

The developed approximation functions can be used in the optimisation of the engine control parameters aiming at the selection of such control parameter values, which assure the reduction of the content of nitrogen oxides in the exhaust gases while maintaining the permissible content of other toxic components and the desired values of engine exploitation parameters [14].

5. References

- [1] AVL, Regulations and Standards, Current and Future Exhaust Legislation, AVL, Graz 02.2004.
- [2] Brzozowska L., Brzozowski K., Wojciech S.: *Computational Modelling of Car Pollutant Dispersion*. Wydawnictwo Naukowe Śląsk, Katowice 2001.
- [3] Brzozowski K., Nowakowski J.: *Obliczeniowa wielkość emisji z pojazdów z silnikami ZI i ZS w warunkach cyklu NEDC*, Pojazd a środowisko. III Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna, Jedlnia-Letnisko, 5-6 czerwca 2001, Politechnika Radomska, Urząd Miejski Radom, Radom, Politechnika Radomska, 2001.
- [4] Chapra S.C., Canale R.P.: *Numerical methods for engineers*. Mc Graw Hill 1988.
- [5] Chłopek Z., Piaseczny L.: *Zastosowanie teorii planowania doświadczeń w badaniach ekologicznych właściwości silników spalinowych*. Archiwum Motoryzacji (2002)2-3.
- [6] Directive 1999/96/EC of the European Parliament and of the Council of 13 December 1999, Official Journal of the European Communities, 1999.
- [7] Ebener S., Flörchinger P.: *Systeme zur Abgasnachbehandlung in Nutzfahrzeugen*. MTZ 9/2004.
- [8] Johnson V. T.: *Diesel emission control in review*. SAE Paper 2001-01-0184, 2001.
- [9] Klingmann R., Fick W., Brüggemann H.: *Die neuen Common – Rail – Dieselmotoren mit Direkteinspritzung in der modellgepflegten E – Klasse*. MTZ 7/8 /1999, MTZ 9/1999.
- [10] Lösing K.H., Lutz R.: *Einhaltung zukünftiger Emissions – vorschriften durch gekühlte Abgasrückführung*. MTZ 7/8 /1999.
- [11] Lutz R.: *Kfz – Abgaskühler für höste Belastungen*. MTZ 5/2002
- [12] Menne R.J., Brohmer A.M., Rechs M.: *Zukünftige Pkw – Antriebskonzepte*. MTZ 3/1995.
- [13] Merksiz J.: *Kierunki rozwoju spalinowych zespołów napędowych*. KONMOT-AUTOPROGRES 2004.
- [14] Nowakowski J.: *Model cyklu roboczego silnika o zapłonie samoczynnym i jego zastosowanie do doboru parametrów regulacyjnych*. Rozprawy Naukowe, Akademia Techniczno-Humanistyczna, nr 15, 2005.
- [15] Pischinger S., Becker M., Rohs H., Grünefeld G., Greis A., Wieske P.: *Reduktionspotenzial für RuB und Kohlenmonoxid bei modernen Pkw-Di-Dieselmotoren*. MTZ 11/2004.
- [16] Praskiewicz T., Sobieszkański M.: *Realizacje testów badawczych na zautomatyzowanej hamowni silników spalinowych*. Journal of KONES, Internal Combustion Engines, 9(2002)3-4.
- [17] Sobieszkański M., Nowakowski J., Praskiewicz T.: *Badanie wpływu katalizatora A-2/4M na zadymienie i toksyczność spalin silnika 4CT90*. KONES'99, 25th International Scientific Conference on Combustion Engines, Zakopane, Poland, September 8-12, 1999, materiały konferencyjne, Institute of Aeronautics. Warsaw, 1999.
- [18] Walsh M. P.: *Global trends in diesel emission regulation - a 2001 update*. SAE Paper 2001-01-0183, 2001.
- [19] Walzer P.: *Progress in Car Powerplant Technologies*. F2004F020, Fisita, Barcelona 2004.

Prof. dr hab. inż. Maciej SOBIESZCZAŃSKI

Dr hab. inż. Krzysztof BRZOZOWSKI

Dr hab. inż. Jacek NOWAKOWSKI

Mgr inż. Michał TEKIELAK

Akademia Techniczno – Humanistyczna w Bielsku - Białej

Wydział Budowy Maszyn i Informatyki

Katedra Silników Spalinowych i Pojazdów

Ul. Willowa 2, 43-300 Bielsko-Biała

tel. 033 8279244

msob@ath.bielsko.pl
