

The selection of calibration parameters of a 1.3 Multijet engine management system in the aspect of engine performance and exhaust gas composition

The objective of passenger car engine tests performed on engine dynamometers, apart from the aspects of operation and durability, is the development in the range of suitable selection of parameters controlling the engine operation. The final selection of these parameters and their verification take place in the course of the tests accomplished with the use of engine dynamometers.

The paper presents and discusses the effects of selected calibrations of 1.3 Multijet engine management system on the parameters of its operation and the composition of the exhaust gases. The accomplishment of that subject-matter resolved itself into testing work on an engine dynamometer to verify selected calibrations of the engine management system, developed on the basis of the experience of the authors acquired during their research performed earlier.

Bearing in mind that the engine as the object of the testing serves as a power unit in a passenger car, it was assumed that the selection of the operational points of the engine, for which the tests should be performed on an engine dynamometer, should result from the mapping of the engine operation in the area of selected, characteristic phases of the driving test on a chassis dynamometer.

The presented test results, exhaust gas composition and smokiness, as well as the overall efficiency for individual calibrations of the management system were put together in a form of bar graphs.

Keywords: diesel engine, Multijet, exhaust emissions

Dobór kalibracji sterowania silnika 1.3 Multijet w aspekcie jego osiągnięć i składu spalin

Celem badań silników spalinowych służących do napędu samochodów osobowych prowadzonych na hamowniach silnikowych, poza aspektami trwałościowymi i eksploatacyjnymi, jest przeprowadzenie wstępnego doboru parametrów sterujących pracą tych silników. Ostateczny dobór tych parametrów i ich weryfikacja następuje w badaniach realizowanych na hamowniach podwoziowych.

W artykule przedstawiono i omówiono ocenę wybranych regulacji (kalibracji) silnika 1.3 Multijet i ich wpływ na parametry jego pracy i skład spalin. Skoncentrowano się na badaniach prowadzonych na hamowni silnikowej dla wybranych kalibracji sterowania silnika, opracowanych w oparciu o doświadczenia autorów wynikające z wcześniej realizowanych badań.

Ponieważ silnik będący obiektem badań służy do napędu samochodów osobowych, wybór punktów pracy silnika, w których realizowano badania na hamowni silnikowej, wynikał z odwzorowania pracy silnika w ramach wybranych charakterystycznych faz testu jezdny na hamowni podwoziowej.

Wyniki badań dotyczące emisji związków toksycznych i zadyminienia oraz sprawności ogólnej silnika dla poszczególnych kalibracji sterowania zestawiono na wykresach słupkowych.

Słowa kluczowe: silnik o zapłonie samoczynnym, Multijet, emisja związków szkodliwych

1. Introduction

Contemporary management systems of Diesel engines, offering the implementation of the multijet concept, more and more often split the injected dose into three to five separate doses which are called: pilot-, pre-, main-, after- and post-injection. The Pilot-injection, about 0.7 millisecond before the main injection, ensures a time period needed to correct the intermixing of the fuel with air. The pre-injection phase shortens the time of ignition lag of the main-injection dose in order to reduce the formation of nitrogen oxides (NO_x), increased loudness and vibration. The after-injection which occurs a fraction of millisecond after the main-injection, has got the afterburning effect on all the residues of particulate matter. The post-injection supports maintaining of the temperature of the exhaust gases in order to assure higher efficiency of the exhaust gas aftertreatment – diesel particulate

1. Wprowadzenie

Współczesne systemy sterowania silników o zapłonie samoczynnym, pracujące według koncepcji multijet, coraz częściej umożliwiają dokonanie podziału dawki wtrysku na trzy, a nawet na pięć oddzielnych dawek określanych nazwami: pilot-, pre-, main-, after- i pos injection. Pilot injection (wtrysk pilotowy), o ok. 0,7 milisekundy wyprzedzający wtrysk główny, zapewnia czas potrzebny do prawidłowego wymieszania paliwa z powietrzem. Preinjection skraca czas opóźnienia zapłonu wtrysku głównego (maininjection), aby zmniejszyć generowanie tlenków azotu (NO_x), głośności i wibracji. Afterinjection, występujący w ułamku milisekundy po wtrysku głównym, ma za zadanie umożliwić dopalanie pozostałych cząstek stałych. Postinjection wspomaga utrzymanie odpowiednio wysokiej temperatury spalin w celu zapewnienia większej skuteczności działania syste-

filter (DPF). The parameters that control the size and time of the five injection doses mentioned above are fixed by the calibrations of the ECU controller in the course of scientific calculations and experiments performed initially on the engine dynamometer and then on the chassis dynamometer and finally in road tests. The knowledge of these parameters gives a possibility of an unlimited control of the combustion process and the possibility of optimization of the dynamic and fuel-efficiency performance of the engine, maintaining the lowest possible level of exhaust emissions.

The paper presents and discusses the issue of validation of the selected calibrations of the 1.3 Multijet engine, having effect on its operational parameters and the composition of exhaust emissions. The accomplishment of that subject-matter resolved itself into tests on an engine dynamometer for selected calibrations of the engine management system, developed on the basis of the experience of the authors acquired during their research performed earlier, discussed in [1, 2] concerning a wide range of parameters of the fuel dose such as split of the total dose into partial doses, size of the individual partial doses and crankshaft angles of their occurrence.

2. Object of the tests and test bed

The tests were carried out on four cylinder, self ignition, direct injection engine having four valves per cylinder and a DOHC timing system, turbocharged and fitted with an electronically controlled Common Rail injection with a multijet system. The main parameters of the engine are shown in Table 1 below. A general view of the engine fitted on the engine test bed is shown in Fig 1.

Engine management system enables the control of:

- size of the fuel dose and its split into partial doses,
- ignition advance angle,
- fuel pressure in the fuel rail,
- recirculation stage,
- idling speed,
- maximum engine speed,
- glow plugs operation.

The tests were performed in „BOSMAL” Automotive Research and Development Center, on an engine test bed adapted to perform engine durability tests. Due to the specificity of the test and the number of the measured parameters, the test bed and the object of the tests needed to be properly prepared prior to the tests.

3. Results of the tests

The objective of the performed analyses and research work was to assess the correctness of the selection of individual ECU calibration parameters with respect to:

- the possibility of improvement of the engine performance,
- a reduction of toxic components in the exhaust gases nitrogen oxides (NO_x) in particular,
- a reduction of exhaust gas smokiness and limitation of particulate matter content.

mu oczyszczania spalin, którym jest filtr cząstek stałych DPF. Parametry sterujące wielkościami dawek i czasami pięciu wymienionych wtrysków są ustalone kalibracjami sterownika (ECU) w drodze obliczeń naukowych i badań doświadczalnych najpierw na hamowni silnikowej, następnie na hamowni podwoziowej, a ostatecznie w badaniach trakcyjnych. Dostęp do tych parametrów daje możliwość swobodnego kształtowania procesu spalania, a tym samym możliwość optymalizowania osiągnięć dynamicznych i ekonomicznych silnika przy zachowaniu najniższej emisji niepożądanych składników spalin.

W artykule przedstawiono ocenę wybranych regulacji (kalibracji) silnika 1.3 Multijet i ich wpływ na parametry jego pracy i skład spalin. Wykonano badania na hamowni silnikowej dla wybranych kalibracji sterowania silnika opracowanych w oparciu o doświadczenia autorów wynikające z wcześniej realizowanych badań, które były przedmiotem publikacji [1, 2], a dotyczyły szerokiego aspektu odpowiedniego doboru parametrów kształtujących dawkę paliwa, takich jak: podział całej dawki paliwa na dawki składowe, wielkość poszczególnych składowych oraz kąty ich występowania.

2. Obiekt badań i stanowisko badawcze

Badania przeprowadzono na czterocyndrowym silniku o zapłonie samoczynnym, z bezpośrednim wtryskiem paliwa, o czterech zaworach na cylinder napędzanych dwoma wałkami rozrządu (DOHC), doładowanym zespołem turbosprężarkowym i wyposażonym w elektronicznie sterowany układ wtryskowy common rail z systemem multijet. Podstawowe parametry silnika przedstawiono w tab. 1. Na rysunku 1 przedstawiono silnik na hamowni.

System zarządzający pracą silnika umożliwia sterowanie:

- wartością dawki paliwa i jej podziałem,
- kątem wyprzedzenia wtrysku,
- ciśnieniem paliwa w szynie paliwowej,
- stopniem recyrkulacji,
- prędkością biegu jałowego,
- maksymalną prędkością silnika,
- pracą świec żarowych.

Table 1. Technical data of the engine

Tabela 1. Dane techniczne silnika

Engine type/Typ silnika	SI, turbocharged, intercooled, EGR/zapłon samoczynny, doładowany zespołem turbosprężarkowym, z chłodzeniem powietrza doładowującego, z recyrkulacją spalin
Design/number of cylinders/Budowa/liczba cylindrów	in-line/4 /rzędowy/4
Timing/valves per cylinder/Rozrząd/zawory na cylinder	DOHC/4
Swept volume [dm^3]/Pojemność skokowa	1.3
Compression ratio/Stopień sprężania	18.4
Max output power [kW]/Moc maksymalna	50 at 4000 rpm
Max torque [$\text{N}\cdot\text{m}$]/Moment obrotowy maksymalny	180 at 1750 rpm

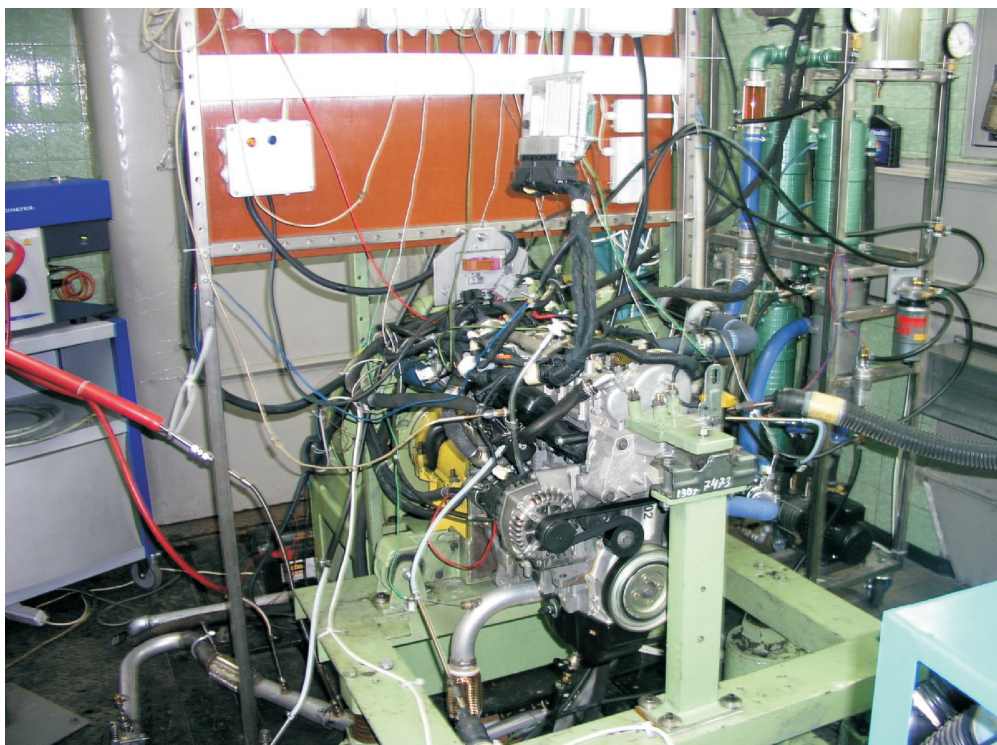


Fig. 1. General view of the engine on engine dynamometer

Rys. 1. Silnik na stanowisku hamownianym

To accomplish the above assumptions, points of engine operation (Tab. 2) were selected characteristic of the ECE driving cycle [1]. These points represent the highest share of constant engine load during the test, resulting from driving at constant speed during a long period of time.

The tests were performed on an engine dynamometer according to a specially developed plan, based on the results of the research work accomplished by the authors earlier, and concerned:

- the measurement for standard adjustment of the engine (reference point),
- the measurement for calibrations connected with the advancement of the ignition angle,
- the measurement for calibrations connected with the reduction of the value of the ignition angle,
- the measurement for calibrations connected with the adjustment of the advance angle of pre- and main- doses.

The tests were performed for a variety of calibrations of the course of the fuel dose according to the assumptions presented above.

Below the results of the tests for the Points 2 and 3 according to Table 2 are shown and discussed. The differences in the con-

Table 2. Selected points of engine operation

Tabela 2. Wytypowane punkty pracy silnika

No./Lp.	Engine speed [rpm]/ Prędkość obrotowa n [obr/min]	Torque [N·m]/ Moment obrotowy M_o	Driving speed in ECE test [km/h]/gear/Prędkość jazdy w teście ECE [km]/bieg
1	1590	10	50/IV
2	1730	11	70/V
3	2500	34	100/V

Badania przeprowadzono na stanowisku hamownianym przystosowanym do badań trwałościowych silników w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Samochodów Małolitrażowych „BOSMAL”.

3. Wyniki badań

Celem analiz i prac badawczych była ocena prawidłowości doboru poszczególnych kalibracji w sterowniku ECU silnika pod kątem:

- możliwości poprawy osiągow silnika,
- zmniejszenia zawartości składników toksycznych spalin, ze szczególnym uwzględnieniem zawartości tlenków azotu NO_x ,
- zmniejszenia zadyminienia spalin i ograniczenia zawartości cząstek stałych.

W celu realizacji powyższych założeń wytypowano punkty pracy silnika (tab. 2) charakterystyczne dla testu jezdny ECE [1]. Reprezentują one największy udział stałych obciążen silnika w teście, wynikający z jazdy samochodu ze stałą prędkością w długim okresie.

Badania zrealizowane były na hamowni silnikowej wg specjalnie opracowanego klucza, bazującego na wynikach wcześniej zrealizowanych prac badawczych autorów i dotyczyły pomiarów dla:

- standardowej regulacji silnika (punkt odniesienia),
- kalibracji związanych ze zwiększeniem kąta wyprzedzenia wtrysku,
- kalibracji związanych ze zmniejszeniem kąta wyprzedzenia wtrysku,
- kalibracji związanych z regulacją kąta wyprzedzenia dawek pilot, pre i main.

Badania zrealizowano dla wielu różnych kalibracji przebiegu dawki paliwa według powyższych założeń.

Poniżej przedstawiono i omówiono wyniki badań dla punktów 2 i 3 tab. 2. Różnice w sterowaniu silnika występujące dla poszczególnych kalibracji przedstawiono w tab. 3 i 4.

Kalibracje oznaczone numerem 1 dotyczyły standardowej regulacji silnika, kalibracje oznaczone numerami 1÷5 dla prędkości obrotowej 1750 obr/min oraz 1÷7 dla prędkości obrotowej 2500 obr/min dotyczyły regulacji polegającej na przyspieszaniu kąta wyprzedzenia wtrysku o podaną wartość dla znaku „+” lub opóźnianiu kąta wyprzedzenia wtrysku o podaną wartość dla znaku „-”. Pozostałe kalibracje dotyczyły modyfikacji poszczególnych składowych

Table 3. Calibrations of engine control for $n = 1750$ rpm and $M_o = 11$ N·m

Tabela 3. Kalibracje sterowania silnikiem dla $n = 1750$ obr/min i $M_o = 11$ N·m

Number of calibration/Numer kalibracji	Differences in control for individual calibrations/Różnice w sterowaniu dla poszczególnych kalibracji
1	standard adjustment/regulacja standardowa
2	Pilot, Pre, Main +2
3	Pilot, Pre, Main +4
4	Pilot, Pre, Main +3
5	Pilot, Pre, Main -2
6	Pilot +4, Pre +2, Main +2
7	Pilot -2, Pre -1, Main -1
8	Pilot -1, Pre -1, Main -1
9	Pilot +2, Pre +0, Main +0
10	Pilot +2, Pre +1, Main +0
11	Pilot +1, Pre +0, Main -1

Table 4. Calibrations of engine control for $n = 2500$ rpm and $M_o = 34$ N·m

Tabela 4. Kalibracje sterowania silnika dla $n = 2500$ obr/min i $M_o = 34$ N·m

Number of calibration/Numer kalibracji	Differences in control for individual calibrations/Różnice w sterowaniu dla poszczególnych kalibracji
1	standard adjustment/regulacja standardowa
2	Pre, Main -2
3	Pre, Main -3
4	Pre, Main -4
5	Pre, Main -5
6	Pre, Main -6
7	Pre, Main +2
8	Pre -5, Main -4
9	Pre -5, Main -6
10	Pre -5, Main -3

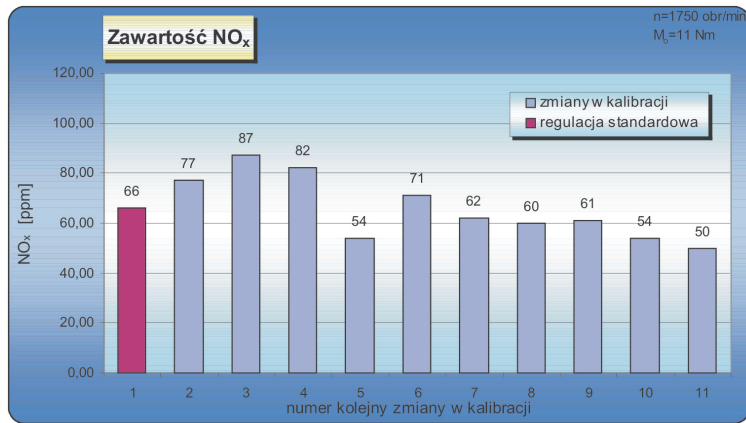


Fig. 2. Content of nitrogen oxides (NO_x) in the exhaust gases in the function of the calibration of the injection advance angle for the engine speed of $n = 1750$ rpm and engine torque of $M_o = 11$ N·m

Rys. 2. Zawartość tlenku azotu NO_x w spalinach w funkcji kalibracji kąta wyprzedzenia wtrysku dla prędkości obrotowej $n = 1750$ obr/min i momentu obrotowego $M_o = 11$ N·m

control of the engine occurring in the case of individual calibrations are shown in Tables 3 and 4.

Calibrations marked as 1 concerned standard adjustment of the engine, calibrations marked as 1 through 5, for the engine speed of 1750 rpm; and 1 through 7, for the engine speed of 2500 rpm, concerned adjustments consisting in the advancement of the injection angle with the value specified as „+”, or reduction of the value of the injection advance angle with the value specified as „-”. Other calibrations concerned a modification of individual components of the fuel dose with specified values, taking the rule that „+” denotes the advancement and „-” denotes the reduction.

In all the graphs presented below, the point marked in claret denotes an operational point without calibration, having standard adjustment, used as a reference level.

dawki paliwa o podane wartości przy zachowaniu zasady: znak „+” przyspieszenie, znak „-” opóźnianie.

Na prezentowanych dalej wykresach (rys. 2–11) kolorem bordowym zaznaczono jako poziom odniesienia punkt pracy bez kalibracji, dla standardowej regulacji.

Rysunki 2–6 przedstawiają wykresy słupkowe zależności zawartości składników toksycznych i zadymienia oraz sprawności ogólnej silnika w funkcji zmian kalibracyjnych regulacji kąta wyprzedzenia wtrysku dla prędkości obrotowej 1750 obr/min i momentu obrotowego 11 N·m.

Zgodnie z tabelą 3 kalibracja o numerze 1 dotyczy standardowej regulacji, kalibracje od 2 do 4 związane są ze wzrostem kąta wyprzedzenia wtrysku, kalibracja 5 związana jest ze zmniejsza-

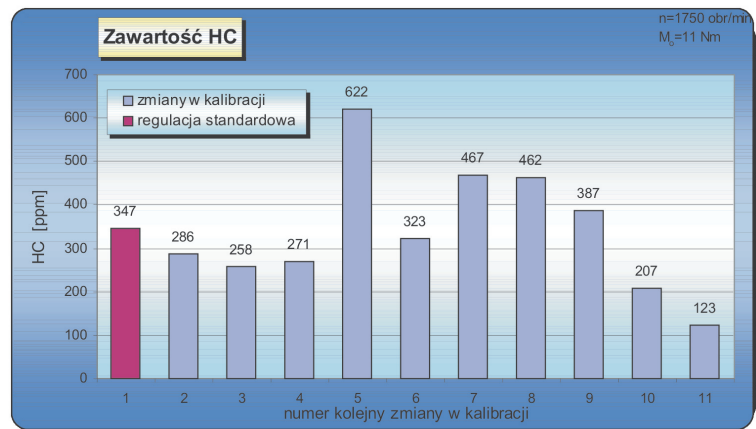


Fig. 3. Content of hydrocarbons (HC) in the exhaust gases in the function of the calibration of the injection advance angle for the engine speed of $n = 1750$ rpm and torque of $M_o = 11$ N·m

Rys. 3. Zawartość węglowodorów HC w spalinach w funkcji kalibracji kąta wyprzedzenia wtrysku dla prędkości obrotowej $n = 1750$ obr/min i momentu obrotowego $M_o = 11$ N·m

Figs. 2÷6 show the bar graphs illustrating the dependency of toxic emissions constituents, smokiness and overall efficiency of the engine in the function of calibration changes of the injection advance angle for the engine speed of 1750 rpm and engine torque of 11 N·m. According to Table 3, the calibration marked as 1 concerns standard adjustment of the engine, calibrations marked as 2 through 4 are connected with the growth of the injection advance angle, calibration 5 is connected with the reduction of the injection advance angle, whereas calibrations marked as 6 through 11 concern adjustments of the injection advance angle for the pre- and main- doses.

Fig. 2 illustrates the content of nitrogen oxides in the exhaust gases in the function of individual calibrations of the injection advance angle. The level of nitrogen oxides content is distinctly influenced by the performed adjustments: the growth of the NO_x content occurs along with the growth of the injection advance angle (calibrations 1 through 4), and the drop along with the reduced injection

niem kąta wyprzedzenia wtrysku, kalibracje 6–11 dotyczą regulacji kąta wyprzedzenia dawek pre i main.

Rysunek 2 przedstawia zawartość tlenków azotu w spalinach w funkcji poszczególnych kalibracji kąta wyprzedzenia wtrysku. Na poziom zawartości tlenków azotu wyraźnie wpływają dokonane regulacje: wzrost zawartości NO_x występuje dla zwiększania kąta wyprzedzenia wtrysku (kalibracje 1 do 4) i spadek dla opóźnionego kąta wyprzedzenia wtrysku (kalibracja 5). Kalibracje 7 do 11 pozytywnie wpływają na zmniejszenie zawartości tlenków azotu w spalinach, szczególnie w przypadku wydłużenia całkowitego kąta wtrysku paliwa (kalibracje 10 i 11).

Z kolei rysunek 3 przedstawia zawartość węglowodorów w spalinach w funkcji poszczególnych kalibracji. Zwiększenie kąta wyprzedzenia wtrysku (kalibracje 2 do 3 oraz 6) wpływa pozytywnie na zawartość węglowodorów, powodując ich zmniejszenie. Wyraźny wzrost poziomu węglowodorów występuje w przypadku opóźnienia kąta wyprzedzenia wtrysku (kalibracje 5, 7 oraz 8). Najkorzystniejszy wpływ na zawartość węglowodorów w spalinach mają regulacje polegające na niewielkim wyprzedzeniu wtrysku i zarazem jego wydłużeniu (kalibracje 10 i 11).

Charakter zmian zawartości tlenku węgla w spalinach (rys. 4) jest taki sam jak zmian zawartości węglowodorów, co omówiono wyżej.

W zakresie kalibracji 1 do 6 charakter zmian zadymienia spalin (rys. 5) jest zbliżony do zmian zawartości tlenków azotu w spalinach. Jednakże w przypadku zadymienia kalibracje 10 i 11 są najmniej korzystne, poziom zadymienia spalin jest wyższy w stosunku do regulacji standardowej nawet dwukrotnie (kalibracja 10). Najkorzystniejsze z punktu widzenia zadymienia spalin są regulacje związane z opóźnieniem kąta wyprzedzenia wtrysku i jednoczesnym skróceniem całkowitego kąta wtrysku (kalibracje 5, 7 i 8).

Na rysunku 6 przedstawiono wpływ zmian kalibracyjnych na sprawność ogólną silnika.

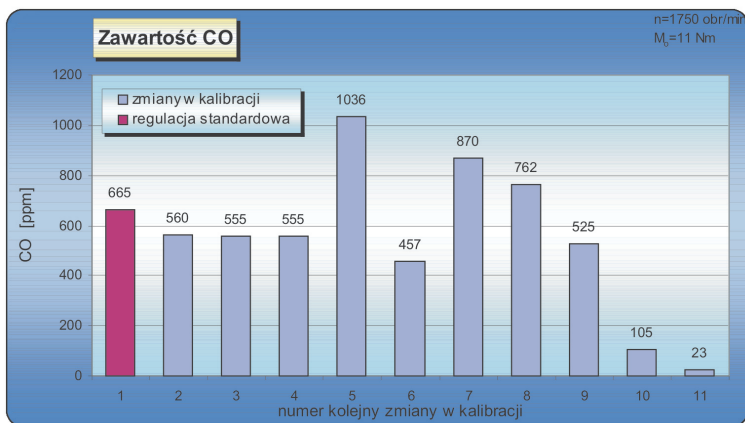


Fig. 4. Content of carbon monoxide (CO) in the exhaust gases in the function of the calibration of the injection advance angle for the engine speed of $n = 1750$ rpm and torque of $M_o = 11$ N·m

Rys. 4. Zawartość tlenku węgla CO w spalinach w funkcji kalibracji kąta wyprzedzenia wtrysku dla prędkości obrotowej $n = 1750$ obr/min i momentu obrotowego $M_o = 11$ N·m

advance angle (calibration 5). Calibrations marked as 7 through 11 positively impact the reduction of nitrogen oxides in the exhaust gases, especially in the case of the extension of the total angle of injection advance (calibrations 10 and 11).

Fig. 3 presents the content of hydrocarbons in the exhaust gases in the function of individual calibrations. The growth of the injection advance angle (calibrations 2 through 3 and 6) advantageously affects the content of hydrocarbons leading to their reduction. A noticeable growth of hydrocarbons occurs in the case of reducing of the injection advance angle (calibrations 5, 7 and 8). The most advantageous effect on the content of hydrocarbons in the exhaust gases can be attributed to the adjustments consisting

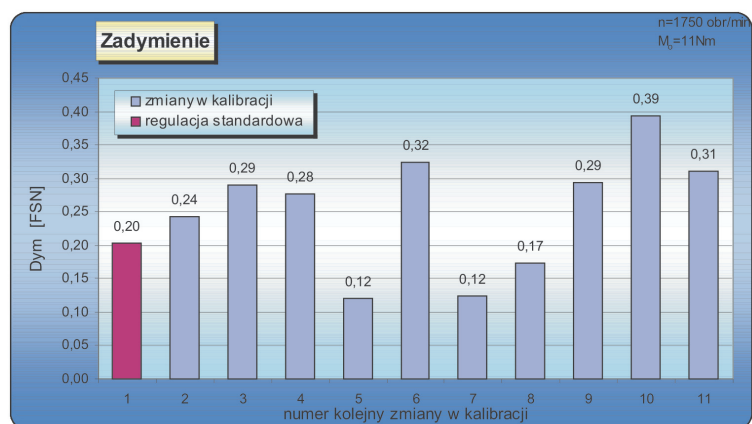


Fig. 5. Smokiness of exhaust gases in the function of the calibration of the injection advance angle for the engine speed of $n = 1750$ rpm and engine torque of $M_o = 11$ N·m

Rys. 5. Zadymienie spalin w spalinach w funkcji kalibracji kąta wyprzedzenia wtrysku dla prędkości obrotowej $n = 1750$ obr/min i momentu obrotowego $M_o = 11$ N·m

in a slight advance of the injection angle, and its extension (calibrations 10 and 11).

The character of the carbon monoxide content change in the exhaust gases (Fig. 4) is analogical to the change of the hydrocarbons content discussed above.

In the range of calibrations marked as 1 to 6, the nature of the changes in the smokiness (Fig. 5) is similar to the changes of the nitrogen oxides content in the exhaust gases. However, in the case of the smokiness, the calibrations 10 and 11 are less advantageous, the level of smoke in the exhaust gases is twice as high as compared to standard adjustment (calibration 10). The most advantageous in terms of smoke in the exhaust gases are the calibrations connected with reducing of the injection advance angle and simultaneous shortening of the total angle of injection (calibrations 5, 7 and 8).

In Fig. 6 the effect of calibration changes on the overall efficiency of the engine is presented. In the case of the advancement of the injection angle (calibrations 2 through 5) the efficiency is on a similar level. For calibration 7, i.e. for the biggest time-lag of the injection advance angle, the highest drop of the overall efficiency of the engine takes place. Calibrations 9 through 11 have the most advantage-

W przypadku zwiększenia kąta wyprzedzenia wtrysku (kalibracje 2 do 5) sprawność kształtuje się na zbliżonym poziomie. Dla kalibracji 7, czyli dla największych opóźnień kąta wyprzedzenia wtrysku występuje największy spadek sprawności ogólnej silnika. Najkorzystniej na sprawność ogólną silnika wpływają kalibracje 9 do 11, dla których występuje jej wyraźny wzrost.

Rysunki 7–11 przedstawiają zależności zawartości składników toksycznych i zadymienia oraz sprawności ogólnej silnika w funkcji zmian kalibracyjnych regulacji kąta wyprzedzenia wtrysku dla prędkości obrotowej 2500 obr/min i momentu obrotowego 34 N·m.

Zgodnie z tabelą 4 kalibracja o numerze 1 dotyczy regulacji standardowej, kalibracje od 2 do 6 związane są ze zmniejszaniem kąta wyprzedzenia wtrysku, kalibracja 7 związana jest ze wzrostem kąta wyprzedzenia wtrysku, kalibracje od 8 do 10 dotyczą regulacji kąta wyprzedzenia dawki main (dawka pre nie występuje).

Przedstawione na rysunku 7 zmiany kalibracyjne polegające głównie na opóźnieniu kąta wyprzedzenia wtrysku, korzystnie wpływają na zawartość tlenków azotu w spalinach, powodując ich obniżenie. Szczególnie jest to widoczne

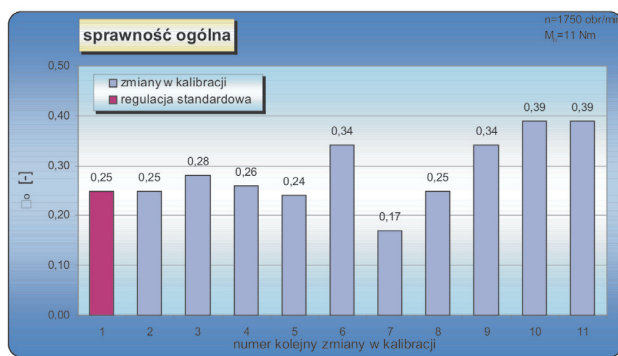


Fig. 6. Overall efficiency of the engine in the function of the calibration of the injection advance angle for the engine speed of $n = 1750$ rpm and engine torque of $M_o = 11$ N·m

Rys. 6. Sprawność ogólna silnika w funkcji kalibracji kąta wyprzedzenia wtrysku dla prędkości obrotowej $n = 1750$ obr/min i momentu obrotowego $M_o = 11$ N·m

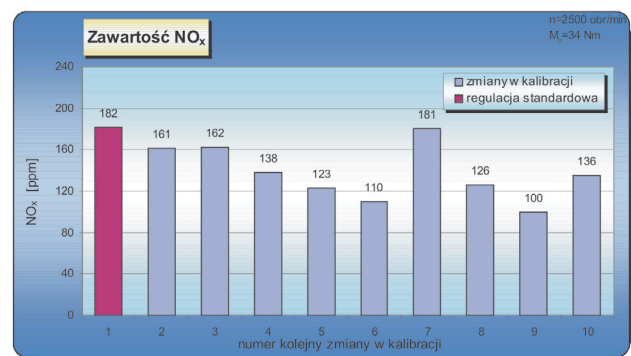


Fig. 7. Content of nitrogen oxides in the exhaust gases in the function of the calibration of the injection advance angle for the engine speed of $n = 2500$ rpm and engine torque of $M_o = 34$ N·m

Rys. 7. Zawartość tlenku azotu w spalinach w funkcji kalibracji kąta wyprzedzenia wtrysku dla prędkości obrotowej $n = 2500$ obr/min i momentu obrotowego $M_o = 34$ N·m

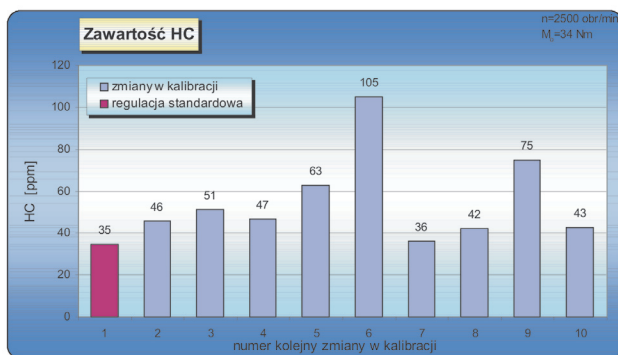


Fig. 8. Content of hydrocarbons in the exhaust gases in the function of the calibration of the injection advance angle for the engine speed of $n = 2500$ rpm and engine torque of $M_o = 34$ N·m

Rys. 8. Zawartość węglowodorów w spalinach w funkcji kalibracji kąta wyprzedzenia wtrysku dla prędkości obrotowej $n = 2500$ obr/min i momentu obrotowego $M_o = 34$ N·m

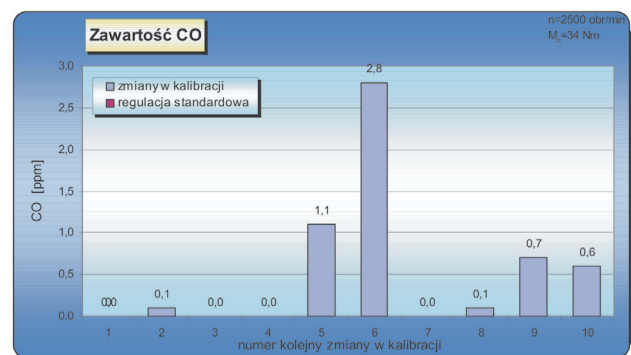


Fig. 9. Content of carbon monoxide in the exhaust gases in the function of the calibration of the injection advance angle for the engine speed of $n = 2500$ rpm and engine torque of $M_o = 34$ N·m

Rys. 9. Zawartość tlenku węgla w spalinach w funkcji kalibracji kąta wyprzedzenia wtrysku dla prędkości obrotowej $n = 2500$ obr/min i momentu obrotowego $M_o = 34$ N·m

ous impact on the overall efficiency, for these calibrations a distinct growth in the efficiency can be observed.

Figs. 7÷11 show the bar graphs illustrating the dependencies of the content of the toxic components in the exhaust gases, smokiness and the overall efficiency of the engine in the function of the calibration changes in the adjustment of the injection advance angle for the engine speed of 2500 rpm and engine torque of 34 N·m.

According to Table 4, the calibration marked as 1 concerns the standard adjustment, the calibrations 2 through 6 are related to the reduction of the injection advance angle, calibration 7 is related to the growth of the injection advance angle, calibrations 8 through 10 concern the adjustment of the injection advance angle for the main- dose (the pre- dose does not occur).

The calibration changes shown in Fig. 7 consisting mainly in delaying of the injection advance angle have an advantageous effect on the content of nitrogen oxides in the exhaust gases, leading to their reduction. It is particularly evident for the highest time-lags of the injection advance angle (calibrations 6, 8 and 9). The adjustment of the engine in the form of advancement of the injection angle, for which the content of NO_x remains practically unchanged (calibration 7) is an exception to the above.

The content of hydrocarbons in the exhaust gases for the performed calibrations shows increased values for all adjustments in the discussed point of engine operation (Fig. 8). The only exception is the adjustment consisting in the advancement of the injection angle. For such an adjustment, the content of HC remains practically unchanged (calibration 7), similarly to the case of nitrogen oxides.

It confirms the situation of high convergence in the course of the change of the hydrocarbons and carbon monoxide content in the exhaust gases. Due to the calibration, the content

dla największych opóźnień kąta wyprzedzenia wtrysku (kalibracje 6, 8 i 9). Wyjątek stanowi regulacja silnika polegająca na przyspieszeniu kąta wyprzedzenia wtrysku, dla której zawartość NO_x pozostaje na niezmiennym poziomie (kalibracja 7).

Z kolei zawartość węglowodorów w spalinach dla przeprowadzonych kalibracji wykazuje zwiększenie wartości dla wszystkich regulacji w omawianym punkcie pracy silnika (rys. 8). Wyjątek stanowi jedynie regulacja polegająca na przyspieszeniu kąta wyprzedzenia wtrysku, dla której zawartość HC pozostaje na niezmiennym poziomie

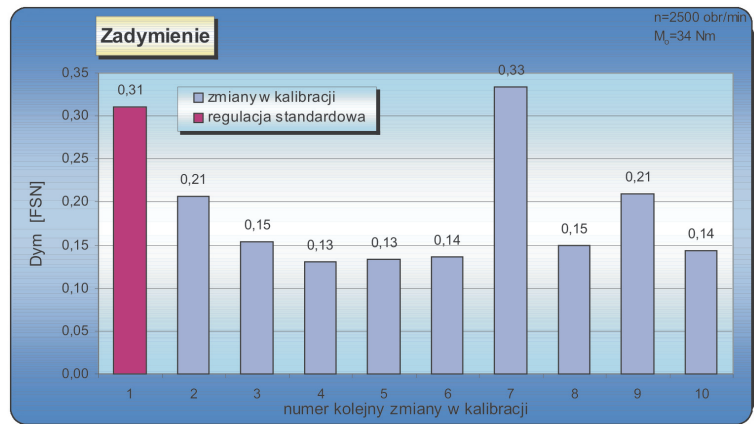


Fig. 10. Smokiness of the exhaust gases in the function of the calibration of the injection advance angle for the engine speed of $n = 2500$ rpm and engine torque of $M_o = 34$ N·m

Rys. 10. Zadymienie spalin w funkcji kalibracji kąta wyprzedzenia wtrysku dla prędkości obrotowej $n = 2500$ obr/min i momentu obrotowego $M_o = 34$ N·m

(kalibracja 7), podobnie jak miało to miejsce w przypadku tlenków azotu.

Potwierdza się sytuacja dużej zbieżności tendencji w przebiegu zmian zawartości węglowodorów i tlenku węgla w spalinach. Zawartość CO w wyniku kalibracji wzrosła, co przedstawia wykres na rys. 9. Największy wzrost tlenku węgla, podobnie jak miało to miejsce w przypadku zawartości węglowodorów w spalinach, występuje dla największych opóźnień kąta wyprzedzenia wtrysku (kalibracje 5 i 6 oraz 8, 9 i 10). Jednakże z uwagi na bardzo małą zawartość tego składnika, wszystkie widoczne zmiany nie mają praktycznego znaczenia.

Bardzo korzystnie zmiany kalibracyjne wpłynęły na zadymienie spalin, które uległo znacznemu obniżeniu w wyniku przeprowadzonych regulacji, co zilustrowano na rys. 10. Wyjątek stanowi tutaj jedynie regulacja 7, w której występował wzrost kąta wyprzedzenia wtrysku.

Zmiany regulacyjne w tym punkcie pracy silnika, polegające przede wszystkim na opóźnieniu kąta wyprzedzenia wtrysku (wyjątek stanowi kalibracja 7) w niewielkim stopniu wpłynęły na obniżenie sprawności ogólnej silnika (rys. 11). Zmiany te są bardziej znaczące dla większego

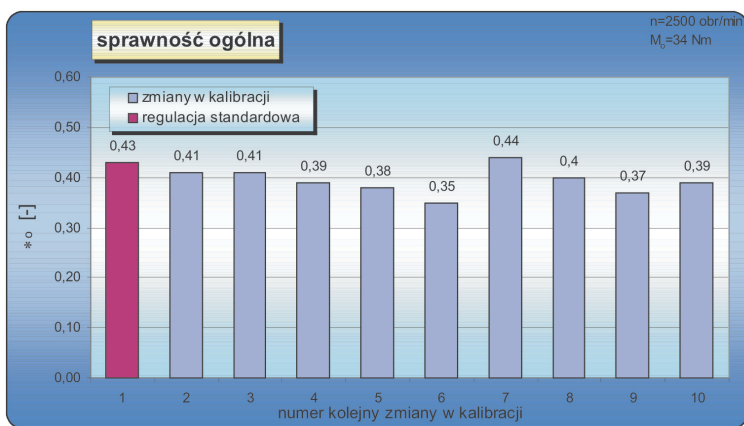


Fig. 11. Overall efficiency of the engine in the function of the calibration of the injection advance angle for the engine speed of $n = 2500$ rpm and engine torque of $M_o = 34$ N·m

Rys. 11. Sprawność ogólna silnika w funkcji kalibracji kąta wyprzedzenia wtrysku dla prędkości obrotowej $n = 2500$ obr/min i momentu obrotowego $M_o = 34$ N·m

of carbon monoxide in the exhaust gases has grown which is illustrated in Fig. 9. The highest growth of the carbon monoxide content in the exhaust gases, similarly to the case of hydrocarbons was present for the highest reductions of the injection advance angle (calibrations 5, 6, 8, 9 and 10). However, due to a very low content of that constituent, all the visible changes can practically be neglected.

Very advantageous calibration changes had an impact on the smokiness of the exhaust gases, which was significantly reduced as a result of the performed adjustments, as illustrated in Fig. 10. The only exception is adjustment 7 where an advancement of the injection angle was performed.

The Calibration changes, as already mentioned, for this point of engine operation, consisting mainly in the reduction of the injection advance angle (with the exception of calibration 7) insignificantly affected the reduction of the overall engine efficiency (Fig. 11). These changes are more meaningful for a higher reduction of the injection advance angle (calibrations 5, 6, 8, 9 and 10).

4. Conclusions

The results of the presented tests and the analyses carried out in the paper unequivocally confirm the appropriateness of the assumed methodology of the research. Based on the conclusions coming from earlier work performed by the authors, presented in publication [2], it was proved that the tests performed at low cost have given results in a series of calibrations of engine control parameters, for which the analyzed parameters offer more advantageous results. Therefore, the adopted simplified methodology in the tests, restricted to modifications of the injection advance angle and the injection advance angles of individual doses of the total injection only, proved to be fully reasonable. Such knowledge served the purpose of appropriate preparation of the engine control algorithms for a final verification of these parameters on a chassis dynamometer. Such tests were already performed and shall be the subject of the next publications.

As a result of the accomplished research work it was possible to simultaneously improve the engine efficiency and to reduce the content of nitrogen oxides, hydrocarbons and carbon oxides. Unfortunately, these adjustments resulted in a growth of smoke level in the exhaust gases. The implementation of solutions to reduce smoke and particulate matter in the exhaust gases such as the application of a DPF filter can essentially add to the reduction of the smokiness, and thus, can enable to put the calibrations discussed above into practice.

opóźnienia kąta wyprzedzenia wtrysku (kalibracje 5 i 6 oraz 8, 9 i 10).

4. Podsumowanie

Wyniki przedstawionych badań i przeprowadzona ich analiza, potwierdzają słuszność przyjętej metodyki badań. Opierając się na wnioskach wynikających z wcześniejszych prac autorów, prezentowanych w publikacji [2], okazało się, że niewielkim kosztem przeprowadzono badania, w wyniku których otrzymano szereg kalibracji parametrów sterowania silnika, dla których analizowane parametry uzyskiwały korzystniejsze wartości. Zatem przyjęta uproszczona metodyka postępowania w badaniach, ograniczająca się do modyfikacji jedynie kąta wyprzedzenia wtrysku i kątów wyprzedzenia wtrysku poszczególnych składowych dawki paliwa okazała się w pełni słuszna. Wiedza ta posłużyła do odpowiedniego przygotowania algorytmów sterujących silnika w celu ostatecznego ich zweryfikowania na hamowni podwozowej, które to badania już wykonano i będą tematem kolejnej publikacji.

W wyniku zrealizowanych prac badawczych możliwe było równoczesne poprawienie sprawności silnika, zmniejszenie zawartości tlenków azotu, węglowodorów i tlenku węgla. Niestety, regulacje te spowodowały wzrost zadymienia spalin. Zastosowanie rozwiązań w zakresie ograniczenia emisji zadymienia i cząstek stałych, czyli użycie tzw. filtrów DPF, mogą istotnie wpłynąć na zmniejszenie zadymienia spalin i tym samym umożliwić regulację, o której mowa powyżej.

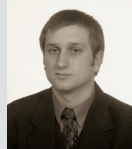
Artykuł recenzowany.

Bibliography/Literatura

- [1] Pietras D, Sobieszczański M., Świątek A., Pajdowski P.: „Selection of the 1.3 Multijet engine parameters characteristic of the NEDC driving test to development research.” The paper registered under number PTNSS P05-C065, PTNSS Kongres 2005.
- [2] Pietras D., Świątek A., Świątek P.: Valuation of an effect of fuel dose on selected operational parameters and exhaust gases composition of the 1.3 Multijet engine. The paper registered under number P07-C008, Silniki Spalinowe 2007-SC1, s. 193-202. Poznań, Bielsko-Biała 2007.
- [3] Zbierski T.: Common Rail Injection Systems, Łódź 2001.
- [4] BOSCH, Common Rail Injection system, WKŁ. Warszawa 2000.
- [5] Janiszewski T., Mavrantzas S.: Electronic injection systems for Diesel engines, WKŁ. Warszawa 2001.

Mr Piotr Świątek, MEng – Leader Product Engineering, GM Project Office at FIAT-GM Powertrain Polska sp. z o.o.

Mgr inż. Piotr Świątek – Leader Product Engineering, GM Project Office przy FIAT-GM Powertrain Polska sp. z o.o.



Mr Dariusz Pietras, PhD, MEng – doctor in the Department of Internal Combustion Engines and Vehicles at University of Bielsko-Biała.

Dr inż. Dariusz Pietras – adiunkt w Katedrze Silników Spalinowych i Pojazdów Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej.

