

Simulation research into the influence of the combustion chamber blowby on the efficiency of a diesel engine

Combustion chamber leakage, caused mainly by blowby, results in a reduced engine performance and higher fuel consumption. The blowby rate is, to some extent, determined by the design of the piston-ring-cylinder assembly (PRC) and the blowby rate varies throughout the life of an engine due to wear of the said assembly. The paper presents a quantitative evaluation of the influence of the combustion chamber blowby on the engine performance and fuel consumption on the example of two diesel engines: older generation naturally aspirated indirect injection diesel engine and a modern turbocharged direct injection engine. The assessment was made based on a simulation research using the AVL Boost software and the input data for the calculations were ascertained based on measurements performed on actual objects. The results have shown that a reduction of the blowby by half compared to the values occurring in engines of good technical condition would increase the maximum torque and power by approx. 0.5% for both investigated engines. The results of the simulation have also shown that increases in the blowby occurring in engines after long service lead to increased fuel consumption from 1% to 7% and the lower the engine speed and load the greater these values.

Keywords: combustion engine, charge losses, indicated efficiency, fuel consumption, modeling, blowby

Symulacyjne badania wpływu szczelności komory spalania na sprawność silnika o zapłonie samoczynnym

Nieszczelności komory spalania silnika spalinowego, spowodowane głównie przedmuchami spalin do skrzyni korbowej, są przyczyną mniejszych osiągnięć silnika oraz większego zużycia paliwa. Wartości natężenia przedmuchów spalin mogą być, w pewnym zakresie, kształtowane przez konstrukcję układu tłok–pierścienie–cylinder (TPC), ponadto zmieniają się one w czasie eksploatacji silnika na skutek zużycia układu TPC. W artykule dokonano ilościowej oceny wpływu nieszczelności komory spalania na osiągi i zużycie paliwa na przykładzie dwóch silników o zapłonie samoczynnym: starszej generacji niedoładowanego silnika z wtryskiem pośrednim oraz nowoczesnego, turbodoładowanego silnika z wtryskiem bezpośrednim. Oceny dokonano na podstawie badań symulacyjnych prowadzonych z wykorzystaniem programu AVL Boost, przy czym dane wejściowe do obliczeń ustalono na podstawie pomiarów przeprowadzonych na obiektach rzeczywistych. Wyniki badań wykazały, że zmniejszenie o połowę przedmuchów spalin, w stosunku do wartości spotykanych w silnikach będących w bardzo dobrym stanie technicznym, pozwoliłoby na zwiększenie maksymalnego momentu obrotowego i mocy maksymalnej o około 0,5% dla obu badanych silników. Wyniki symulacji wykazały również, że spotykane w eksploatacji wzrosty natężenia przedmuchów spalin powodują wzrost zużycia paliwa od 1% do 7%, przy czym wartości te są tym większe, im mniejsze są obciążenie silnika i jego prędkość obrotowa.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, straty ładunku, sprawność indykowana, zużycie paliwa, modelowanie, przedmuchy spalin

1. Introduction

The air tightness of a combustion chamber is one of the features influencing the overall engine efficiency and is decisive of its technical condition. The air tightness of a combustion chamber is dependent on the ring pack that, in fact, cannot ensure 100% tightness – there is always some gas leakage to the crankcase. The piston inside the cylinder liner, aside from its sealing function also plays other roles and any design attempts to reduce the blowby very often lead to an increased oil consumption or mechanical resistance of the friction pairs. Hence, designers must reach a compromise that involves accepting a certain level of blowby. A greater blowby level will result in a lower engine overall efficiency i.e. increased fuel consumption. In addition, during the service life, following a wear of the cylinder liner, the piston rings and the ring grooves, the gaps in the ring pack increase, which results in a reduced air tightness of the combustion chamber.

1. Wstęp

Szczelność komory spalania jest jedną z cech wpływających na sprawność ogólną silnika i decydujących o jego stanie technicznym. O szczelności komory spalania decyduje głównie pierścieniowe uszczelnienie tłoka w cylindrze, które z istoty swojego działania nie zapewnia stuprocentowej szczelności – zawsze istnieją tzw. przedmuchy spalin do skrzyni korbowej. Tłok w tulei cylindrowej, oprócz funkcji uszczelniającej, pełni również inne funkcje, a zabiegi konstrukcyjne zmierzające do zmniejszenia przedmuchów spalin często prowadzą do zwiększenia zużycia oleju silnikowego lub oporów mechanicznych silnika. W związku z tym konstruktorzy muszą wybierać rozwiązania kompromisowe, w tym godząc się na nieco większe przedmuchy spalin. Większe natężenie przedmuchów spalin powoduje jednak zmniejszenie sprawności ogólnej silnika, czyli wzrost zużycia paliwa. Również podczas eksploatacji, na skutek zużycia tulei cylindrowej, pierścieni tłokowych i

A reduction of the overall efficiency is not the only negative consequence of the reduced air tightness of the combustion chamber. Increased blowby results in a lower maximum power and torque, reduced startability and an accelerated deterioration of the engine oil and wear of the piston-ring-cylinder assembly [2, 6, 8, 9]. Despite the fact that works are published on the assessment of the significance of the blowby in modeling of in-cylinder processes [1, 3, 7, 10], literature does not provide precise quantitative information on their negative consequences.

The assessment of the influence of blowby on the engine performance and overall engine efficiency based on experimental research is very difficult due to hardly noticeable changes in the said performance and efficiency resulting from varied blowby rates under regular operation and due to the difficulty isolating the exclusive influence of the blowby on an actual research object. The authors decided to perform a simulation research using the AVL Boost software. The input data for the simulation research was selected to make the results of the simulation match those obtained in investigations on real objects. The simulation research was performed for two diesel engines of similar rated power output but entirely different design: medium displacement-to-power ratio, naturally aspirated indirect injection engine and a modern direct injection engine. The influence of the blowby on the values of maximum torque, power output and fuel consumption under varied operating conditions were assessed.

2. Research methodology

The Boost software by AVL was used for the calculations. Boost is an advanced tool for mathematical modeling of in-engine processes on a zero and one-dimensional platforms [11]. The software allows determining the course of pressure inside the cylinder and the value of mean indicated pressure. It also allows for the leakage in the combustion chamber in the calculations, which is of key importance in the context of this paper. The leakage is modeled as a gap (orifice), through which gas can flow out from the combustion chamber whose width can be set.

Two engines of similar rated power outputs were simulated in the software. The first was a four cylinder naturally aspirated diesel engine fitted with a system of indirect injection to a swirl chamber. The engine displacement is 2.4 dm^3 , compression ratio 20.6, rated power output 51.5 kW at 4200 rpm and the maximum torque 145 Nm at 2500 rpm. The other was a four cylinder turbocharged diesel direct injected engine of the displacement of 1.3 dm^3 , compression ratio 17.6, rated power output 55 kW at 4000 rpm and the maximum torque 190 Nm at 1750–2000 rpm.

A model of the tested engines was developed (Fig. 1). All important engine parameters were entered into the model (cylinder bore, stroke, connecting rod length, compression ratio, valve timing settings, pressure and temperature for the boundary conditions, fuel dose, engine speed, injection angle, fuel calorific value).

Upon obtaining of the input data for the calculations and calibration of the model, results of measurements per-

rowków pierścieniowych tłoka wzrastają luzu w uszczelnieniu pierścieniowym, co powoduje zmniejszenie szczelności komory spalania.

Zmniejszenie sprawności ogólnej nie jest jedynym negatywnym skutkiem zmniejszenia szczelności komory spalania. Zwiększone przedmuchy powodują również obniżenie mocy maksymalnej i maksymalnego momentu obrotowego silnika, zmniejszenie zdolności rozruchowej zimnego silnika, a także przyspieszoną degradację oleju silnikowego oraz zużycie elementów zespołu tłok–pierścienie–cylinder [2, 6, 8, 9]. Mimo że publikowane są prace poświęcone ocenie znaczenia uwzględnienia przedmuchów spalin podczas modelowania procesów zachodzących w komorze spalania [1, 3, 7, 10], to jednak w literaturze brak jest precyzyjnych informacji ilościowych na temat negatywnych skutków nieszczelności.

Ocena wpływu natężenia przedmuchów spalin na osiągi i sprawność ogólną silnika na podstawie badań eksperymentalnych jest bardzo trudna – zarówno ze względu na stosunkowo małe zmiany w osiąгах i sprawności ogólnej silnika powodowane typowymi, spotykanymi w normalnej eksploatacji zmianami przedmuchów, jak i ze względu na trudności w wyizolowaniu, w badaniach prowadzonych na obiektach rzeczywistych, wpływu zmian szczelności. W związku z tym postanowiono przeprowadzić badania symulacyjne z wykorzystaniem oprogramowania AVL Boost. Dane wejściowe do badań symulacyjnych dobrano w taki sposób, aby wyniki odpowiadały wynikom uzyskanym w badaniach obiektów rzeczywistych. Badania symulacyjne przeprowadzono dla dwóch silników o zapłonie samoczynnym i zbliżonej mocy znamionowej, lecz różnych konstrukcjach: średnio-wysilonego, niedoładowanego silnika o wtrysku pośrednim oraz nowoczesnej konstrukcji z wtryskiem bezpośrednim. Oceniono wpływ nieszczelności komory spalania na wartości maksymalnego momentu obrotowego i mocy maksymalnej silnika oraz zużycie paliwa w różnych warunkach pracy.

2. Metodyka badań

Do obliczeń wykorzystano oprogramowanie Boost firmy AVL. Boost jest zaawansowanym narzędziem służącym do modelowania matematycznego na platformie zerowymiarowej i jednowymiarowej procesów zachodzących w silniku spalinowym [11]. Program pozwala m.in. na wyznaczenie przebiegu ciśnienia w cylindrze i wartości średniego ciśnienia indykowanego oraz pozwala uwzględnić nieszczelności komory spalania w obliczeniach, co jest kluczowe z punktu widzenia niniejszej pracy. Nieszczelność modelowana jest jako szczelina (dysza), którą może wypływać gaz z komory spalania, a której szerokość można w modelu zadawać.

W programie zasymulowano dwa silniki o zbliżonych mocach znamionowych. Pierwszy to czterocylindrowy niedoładowany silnik z zapłonem samoczynnym i wtryskiem pośrednim do komory wirowej. Objętość skokowa silnika wynosiła $2,4 \text{ dm}^3$, stopień sprężania 20,6, moc znamionowa 51,5 kW uzyskiwana przy 4200 obr/min, a maksymalny moment obrotowy 145 Nm przy 2500 obr/min. Drugi to czterocylindrowy turbodoładowany silnik z zapłonem samo-

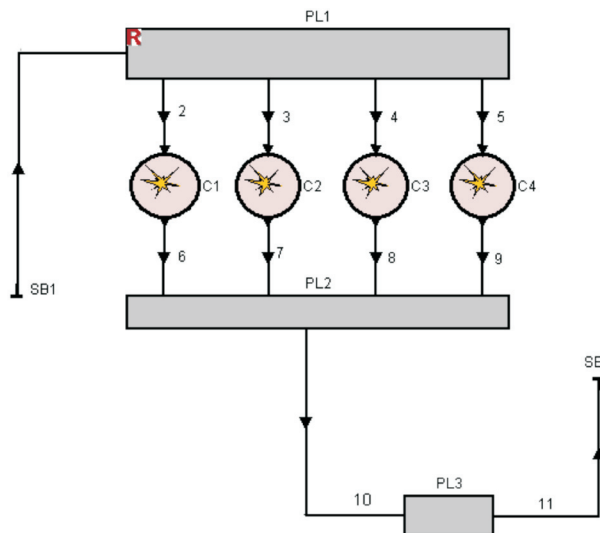


Fig. 1. A model of a naturally aspirated engine (C – cylinder, PL – reservoir, SB – system boundary)

Rys. 1. Model silnika niedoładowanego (C – cylinder, PL – zbiornik wyrównawczy, SB – granica układu)

formed on real objects in laboratory conditions were used. The following results of measurements performed at different engine speeds and part/full load were available: engine speed, torque and fuel consumption (enabled determination of the fuel dose), blowby rate (enabled determination of the mass of the lost charge per one cycle of work), charging pressure, course of pressure inside the cylinder (enabled determination of the mean indicated pressure) and other. For all engine operating conditions (engine speed and load) the model was tuned by selecting the values of flow resistance, start of combustion angle and duration of combustion [11] so that the course of pressure inside the cylinder (Fig. 2), the value of mean indicated pressure and the blowby rate

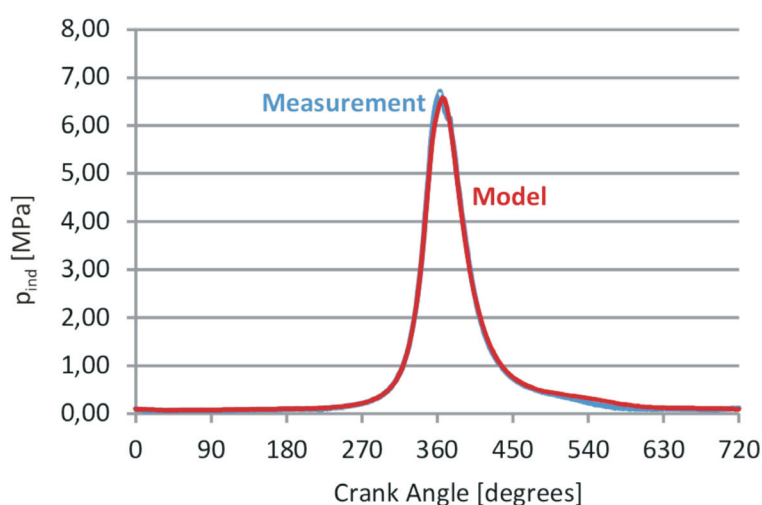


Fig. 2. Measured and calculated pressure inside the combustion chamber of the naturally aspirated engine (3000 rpm, full load)

Rys. 2. Zmierzone i obliczone ciśnienie w komorze spalania silnika niedoładowanego (3000 obr/min, pełne obciążenie)

czynnym i wtryskiem bezpośrednim o objętości skokowej 1,3 dm³, o stopniu sprężania 17,6, mocy znamionowej 55 kW uzyskiwanej przy 4000 obr/min oraz maksymalnym momencie obrotowym 190 Nm dostępnym w zakresie 1750–2000 obr/min.

Stworzono model badanych silników (rys. 1). Do modelu wprowadzono wszystkie istotne parametry silników (średnica cylindra, skok tłoka, długość korbowa, stopień sprężania, ustawienia faz rozrządu, ciśnienie i temperaturę dla warunków brzegowych, dawkę paliwa, prędkość obrotową wału korbowego, kąt wyprzedzenia wtrysku, wartość opałową paliwa).

Przy wyznaczaniu danych wejściowych do obliczeń i kalibracji modelu wykorzystano wyniki pomiarów przeprowadzonych na obiektach rzeczywistych w warunkach hamownianych. Dysponowano następującymi wynikami pomiarów dokonanych przy różnych prędkościach obrotowych silnika oraz pełnym i częściowym obciążeniu: prędkością i momentem obrotowym oraz godzinowym zużyciem paliwa (pozwoliło na wyznaczenie dawki wtryskiwanego paliwa), natężeniem przedmuchów spalin (pozwoliło na wyznaczenie masy traconego ładunku przypadającej na jeden cykl pracy silnika), ciśnieniem doładowania, przebiegiem ciśnienia w cylindrze (pozwoliło na wyznaczenie wartości średniego ciśnienia indykowanego) i innymi. Dla każdego warunków pracy silnika (prędkość obrotowa i obciążenie) tak dostrojono model, dobierając odpowiednio wartości oporów przepływu oraz kątów początku i czasu spalania [11], aby przebieg ciśnienia w cylindrze (rys. 2) i wartość średniego ciśnienia indykowanego oraz strat ładunku związane z nieszczelnością były takie, jak uzyskane w pomiarach na obiektach rzeczywistych. W ten sposób otrzymano „skalibrowane” modele silników.

Po skalibrowaniu modelu przeprowadzono badania symulacyjne. Pierwszą serię obliczeń przeprowadzono przy stałej dawce paliwa (dla danej prędkości obrotowej), natomiast zmieniano przekrój nieszczelności i obserwowano wpływ tej zmiany na wartość średniego ciśnienia indykowanego oraz wielkość strat ładunku. Przekrój nieszczelności wariantowano w szerokich granicach (od równego zera do takiego, który powodował natężenie przedmuchów spalin niespotykane nawet w mocno zużytych silnikach). Na tej podstawie oceniono wpływ nieszczelności na wartość średniego ciśnienia indykowanego, a następnie na osiągi silnika.

Druga seria symulacji, przeprowadzona dla różnych prędkości obrotowych przy pełnym i małym obciążeniu silnika, polegała na zmianie przekroju nieszczelności i takim doborze dawki paliwa, aby wartość średniego ciśnienia indykowanego pozostawała niezmienną, w stosunku do wartości wyjściowej uzyskanej po skalibrowaniu modelu. Ta seria symulacji bezpośrednio pokazała wpływ nieszczelności na zużycie paliwa, a więc i sprawność silnika.

were the same as those measured on real objects. In this way, 'calibrated' models were obtained.

Upon calibrating the model, simulation research was performed. The first series of calculations was performed at a constant fuel dose (for a given engine speed) while the cross-section of the orifice was varied and the influence of this change on the mean indicated pressure and charge losses was observed. The cross-section of the orifice was varied in a wide range (from zero to a blowby level unlikely even for heavily worn engines). On this basis, the influence of the blowby on the value of mean indicated pressure and then engine performance was assessed.

The second series of simulations performed at varied engine speeds at small and full load consisted in changing the cross-section of the orifice and selecting the fuel dose to keep the value of the mean indicated pressure unchanged, compared to the initial value obtained during model calibration. This series of simulations directly showed the influence of the blowby on the fuel consumption i.e. engine efficiency.

3. Results

The influence of blowby on the mean indicated pressure at a constant fuel dose at a given engine speed for the two tested engines has been shown in figures 3 and 4. The fuel doses for the given engine speed were calculated based on the fuel consumption at full engine load. As a measure of the leakage, overlain on the abscissa of the graphs, the ratio of mass of the blown-by exhaust gas M_{BB} to the mass of air fed to the engine M_{AIR} was assumed. In figures 3 and 4 the initial values were indicated with large markers – the values obtained based on the measured blowby in engines of good technical condition and masses of air fed to the cylinder calculated in the Boost software. In the tested range of the blowby changes the changes of the mean indicated pressure together with the blowby can be deemed as linear. Compared to the

3. Wyniki badań

Wpływ nieszczelności komory spalania na średnie ciśnienie indykowane przy stałej, dla danej prędkości obrotowej, dawce wtryskiwanego paliwa dla dwóch badanych silników przedstawiono na rys. 3 i 4. Dawki paliwa dla danej prędkości obrotowej obliczono na podstawie zmierzonego godzinowego zużycia paliwa przy pełnym obciążeniu silnika. Jako miarę nieszczelności, naniesioną na osie odciętych wykresów, przyjęto stosunek masy przedmuchiwanych spalin M_{BB} do masy powietrza dopływającego do silnika M_{AIR} . Na rysunkach 3 i 4 dużymi znacznikami zaznaczono

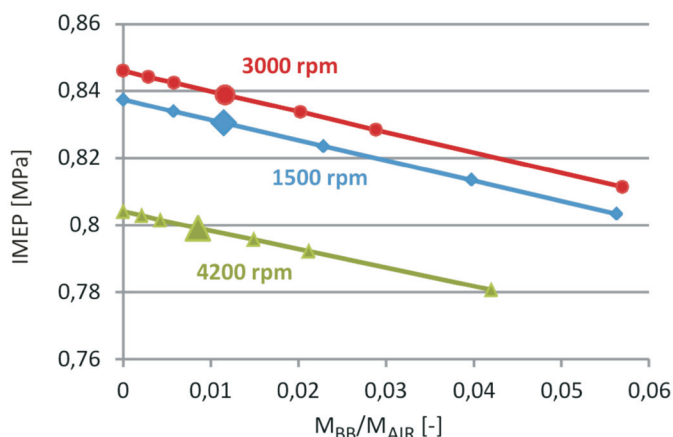


Fig. 3. The influence of the charge losses on the value of mean indicated pressure under full load conditions for a naturally aspirated engine

Rys. 3. Wpływ strat ładunku na wartość średniego ciśnienia indykowanego w warunkach pełnego obciążenia silnika wolnossącego

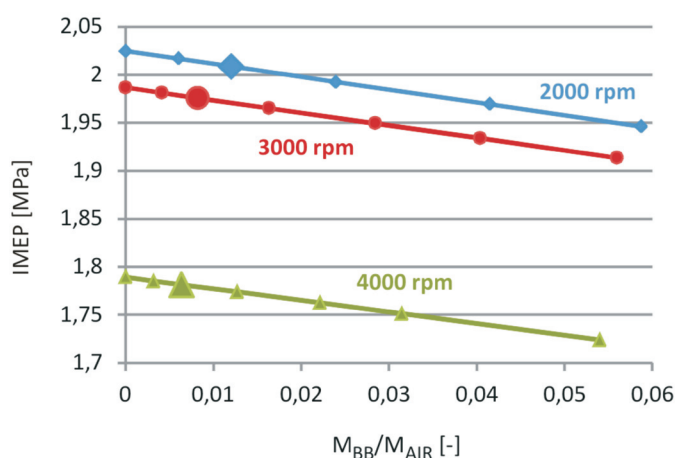


Fig. 4. The influence of the charge losses on the value of mean indicated pressure under full load conditions for a turbocharged engine

Rys. 4. Wpływ strat ładunku na wartość średniego ciśnienia indykowanego w warunkach pełnego obciążenia silnika turbodoładowanego

wartości wyjściowe – wartości uzyskane na podstawie natężeń przedmuchów spalin zmierzonych w silnikach będących w dobrym stanie technicznym oraz mas powietrza dostarczonego do cylindra, obliczonych w programie Boost. W badanym zakresie zmian nieszczelności, zmiany wartości średniego ciśnienia indykowanego wraz z nieszczelnością można uznać za liniowe. W porównaniu do wartości wyjściowych, zmniejszenie przedmuchów spalin do zera spowodowało wzrost wartości średniego ciśnienia indykowanego o 0,83% przy 1500 obr/min, 0,85% przy 3000 obr/min oraz 0,63% przy 4200 obr/min w przypadku silnika niedoładowanego. Dla silnika doładowanego wartości te wynosiły: 0,80% przy 2000 obr/min, 0,55% przy 3000 obr/min i 0,46% przy 4000 obr/min. Z kolei trzykrotne zwiększenie nieszczelności, w stosunku do wartości wyjściowej (takie wartości są spotykane w silnikach po dużym przebiegu [4, 5]), spowodowało zmniejszenie wartości średniego ciśnienia indykowanego odpowiednio o: 1,7% dla 1500 i 3000 obr/min oraz 1,2% dla 4200 obr/min dla silnika niedoładowanego oraz o 1,6%, 1,1% i 0,9% dla silnika doładowanego, odpowiednio przy 2000, 3000 i 4000 obr/min.

Przyjmując, że analizowane zmiany szczelności nie wpływają na wielkość strat mechanicznych silnika oraz

initial values, a reduction of the blowby to zero resulted in an increase in the mean indicated pressure by 0.83% at 1500 rpm, 0.85% at 3000 rpm and 0.63% at 4200 rpm for the naturally aspirated engine. For the turbocharged engine these values were: 0.80% at 2000 rpm, 0.55% at 3000 rpm and 0.46% at 4000 rpm. A threefold increase in the blowby compared to the initial value (such values occur for high

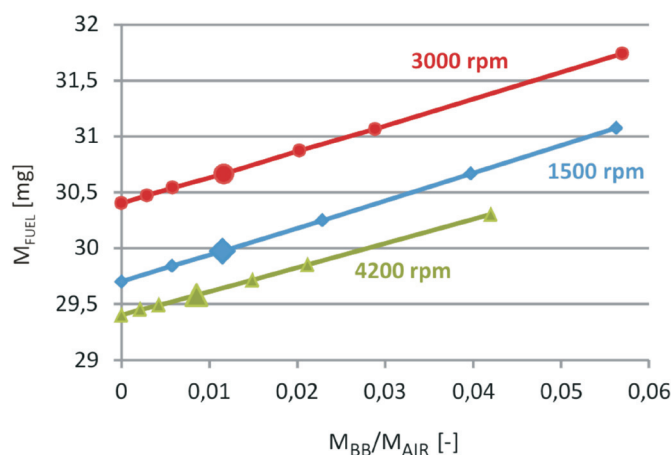


Fig. 5. The influence of the charge losses on the fuel dose needed to obtain constant values of mean indicated pressure for a given engine speed and full engine load (naturally aspirated engine)

Rys. 5. Wpływ strat ładunku na dawkę paliwa potrzebną do uzyskania stałych wartości średniego ciśnienia indykowanego równych wartościom uzyskiwanym przy danej prędkości i pełnym obciążeniu silnika niedoładowanego

mileage engines [4, 5]), resulted in a reduction of the mean indicated pressure by: 1.7% for 1500 and 3000 rpm and 1.2% for 4200 rpm, respectively, for a naturally aspirated engine and 1.6%, 1.1% and 0.9% for the turbocharged engine at 2000, 3000 and 4000 rpm, respectively.

Assuming that the analyzed blowby variations do not influence the engine mechanical losses and taking the value of mechanical efficiency calculated on the bases of the mean indicated pressure and mean effective pressure obtained in laboratory tests, we can conclude that entire elimination of the blowby for the naturally aspirated engine would increase the maximum torque by 1% and maximum power by almost 0.7%. For the turbocharged engine, these values are: 0.9% and 0.6% respectively. A threefold increase in the blowby rate would result in a 2% reduction in the maximum torque and a 1.4% reduction in the maximum power for the naturally aspirated engine. For the turbocharged engine, these values would be: 1.8% and 1.2% respectively.

As for the assessment of the influence of the blowby on the fuel consumption, Fig. 5–8 present the fuel dose needed to obtain a constant mean indicated pressure at a given engine speed. In figures 5 and 6 fuel doses are presented at which the mean indicated pressures are equal to the

przyjmując wartości sprawności mechanicznej wyznaczone na podstawie uzyskanych w badaniach stanowiskowych wartości średniego ciśnienia indykowanego oraz średniego ciśnienia użytecznego, można stwierdzić, że całkowite wyeliminowanie przedmuchów spalin, w odniesieniu do silnika niedoładowanego, pozwoliłoby na zwiększenie wartości maksymalnego momentu obrotowego o 1% i mocy maksymalnej o niemal 0,7%. W odniesieniu do silnika doładowanego wartości te wynoszą odpowiednio: 0,9% i 0,6%. Z kolei trzykrotny wzrost nieszczelności spowodowałby 2-procentowe zmniejszenie wartości maksymalnego momentu obrotowego oraz 1,4-procentowe zmniejszenie wartości mocy maksymalnej dla silnika niedoładowanego. Dla silnika doładowanego wartości te wynosiłyby odpowiednio: 1,8% i 1,2%.

Aby ocenić wpływ nieszczelności na zużycie paliwa, na rys. 5–8 przedstawiono wielkość dawki paliwa potrzebnej do uzyskania stałego, przy danej prędkości obrotowej silnika, średniego ciśnienia indykowanego. Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono dawki paliwa, przy których wartości średnich ciśnień indykowanych równe są wartościom średnich ciśnień indykowanych uzyskanych podczas badań stanowiskowych przy pełnym obciążeniu silników. Z kolei na rys. 7 i 8 przedstawiono dawki paliwa przy małych obciążeniach silników, przy czym należy podkreślić, że dla silnika niedoładowanego było to obciążenie (moment obrotowy) równe ok. 1/3 wartości momentu maksymalnego przy danej prędkości obrotowej, natomiast dla silnika turbodoładowanego były to obciążenia znacznie mniejsze – momenty obrotowe wynosiły ok 10% wartości momentów maksymalnych przy danej prędkości obrotowej.

Analiza uzyskanych wyników pozwala stwierdzić, że im mniejsze obciążenie i mniejsza prędkość obrotowa, tym

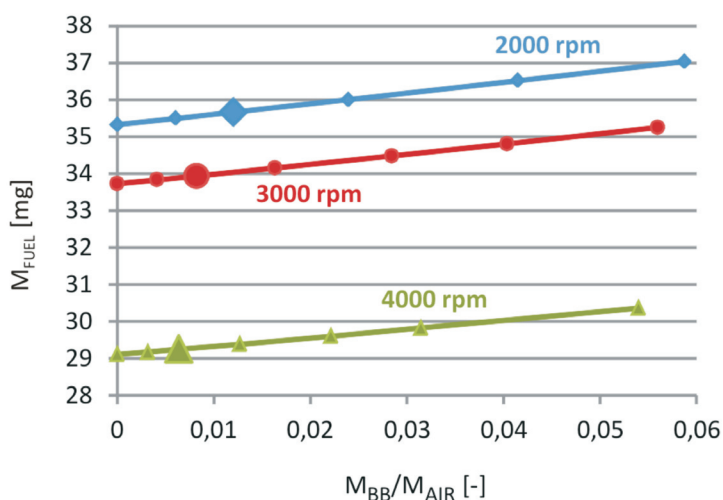


Fig. 6. The influence of the charge losses on the fuel dose needed to obtain constant values of mean indicated pressure for a given engine speed and full engine load (supercharged engine)

Rys. 6. Wpływ strat ładunku na dawkę paliwa potrzebną do uzyskania stałych wartości średniego ciśnienia indykowanego równych wartościom uzyskiwanym przy danej prędkości obrotowej i pełnym obciążeniu silnika doładowanego

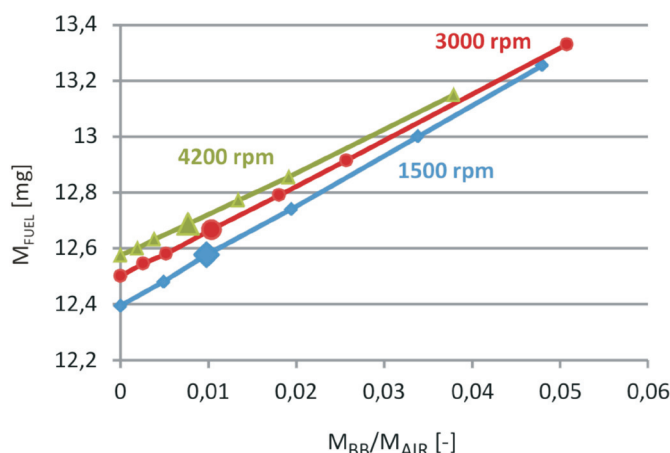


Fig. 7. The influence of the charge losses on the fuel dose needed to obtain constant values of mean indicated pressure for a given engine speed and low engine load (naturally aspirated engine)

Rys. 7. Wpływ strat ładunku na dawkę paliwa potrzebną do uzyskania stałych wartości średniego ciśnienia indykowanego równych wartościom uzyskiwanym przy danych prędkościach obrotowych i małym obciążeniu silnika niedoładowanego

mean indicated pressures obtained during laboratory tests at full engine load. Figures 7 and 8 present the fuel doses for low engine loads and it needs to be stressed that for the naturally aspirated engine the loads (torques) were equal to approx. 1/3 of the values of the maximum torque at a given engine speed and for the turbocharged engine these loads were much lower—the torques were approximately 10% of the maximum values observed at a given engine speed.

The analysis of the obtained results leads to a conclusion that the lower the engine load and speed, the greater the influence of the blowby on the fuel consumption. Under full load conditions of the naturally aspirated engine, the elimination of the blowby resulted in a reduction of the fuel dose from 0.9% at low engine speed to 0.6% at high engine speed. For the turbocharged engine, these values were from 0.95% to 0.5%. Under low engine load conditions, these values were as follows: from 1.5% to 0.9% for the naturally aspirated engine and from 3.5% to 1.5% for the turbocharged engine. The percentage increase in the fuel dose caused by the threefold increase in the blowby rate compared to the initial values, was twice as high as that given above for the given engine and operating conditions. This results from nearly linear relations presented in Fig. 5–8.

4. Conclusions

The simulation research carried out using AVL Boost allowed a quantitative analysis of the influence of the blowby in a diesel engine on its performance and fuel consumption. The analysis has shown that:

- the influence of blowby on the tested parameters is very similar for both analyzed engines, the older generation

większy wpływ nieszczelności na zużycie paliwa. W warunkach pełnego obciążenia silnika niedoładowanego wyeliminowanie nieszczelności spowodowało zmniejszenie dawki wtryskiwanego paliwa od 0,9% przy małej prędkości obrotowej do 0,6% przy dużej. W odniesieniu do silnika doładowanego wartości te wyniosły od 0,95% do 0,5%. W warunkach małego obciążenia wartości te były następujące: od 1,5% do 0,9% dla silnika niedoładowanego i od 3,5% do 1,5% dla silnika doładowanego. Procentowe wzrosty dawki paliwa spowodowane trzykrotnym zwiększeniem nieszczelności, w stosunku do wartości wyjściowych, były dwa razy większe od podanych wyżej, dla danego silnika i warunków pracy. Wynika to z prawie liniowych zależności przedstawionych na rys. 5–8.

4. Wnioski

Badania symulacyjne przeprowadzone z wykorzystaniem programu AVL Boost pozwoliły na ilościową ocenę wpływu nieszczelności komory spalania silnika o zapłonie samoczynnym na jego osiągi oraz zużycie paliwa. Badania wykazały, że:

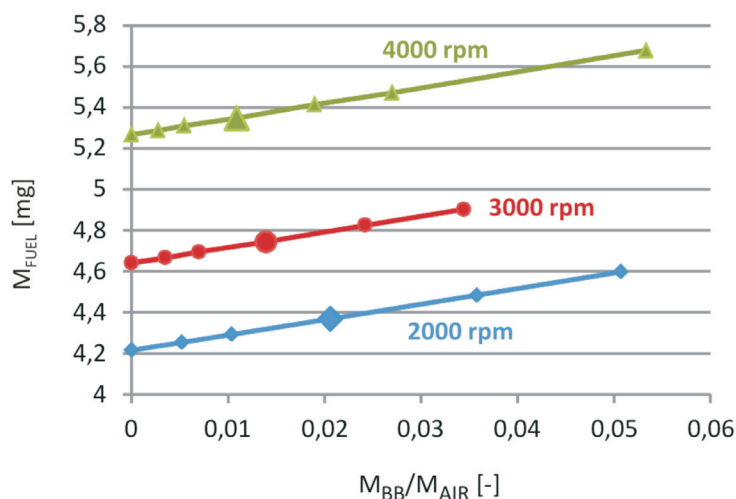


Fig. 8. The influence of the charge losses on the fuel dose needed to obtain constant values of mean indicated pressure for a given engine speed and low engine load (super-charged engine)

Rys. 8. Wpływ strat ładunku na dawkę paliwa potrzebną do uzyskania stałych wartości średniego ciśnienia indykowanego równych wartościom uzyskiwanym przy danej prędkości obrotowej i małym obciążeniu silnika doładowanego

- wpływ nieszczelności na badane parametry jest bardzo zbliżony dla obu analizowanych silników, tj. starszej konstrukcji, niedoładowanego silnika z wtryskiem pośrednim oraz nowoczesnego, turbodoładowanego silnika z wtryskiem bezpośrednim,
- obniżenie o połowę, w stosunku do obecnej konstrukcji, nieszczelności komory spalania pozwoliłoby na zwiększenie wartości maksymalnego momentu obrotowego o ok 0,5% i zwiększenie wartości mocy maksymalnej o niemal 0,4%,
- wpływ nieszczelności na zużycie paliwa jest tym większy, im mniejsze są: obciążenie i prędkość obrotowa silnika;

- naturally aspirated indirect injected engine and the modern turbocharged direct injected engine,
- a reduction of the blowby (compared to regular rate) by half results in an increase in the value of the maximum torque by approx. 0.5% and power by nearly 0.4%,
 - the influence of the blowby on the fuel consumption is greater if the engine load and speed are lower; a reduction of the blowby by half results in a reduction of the fuel consumption from 0.3% at full engine load and high engine speed to 2% at low engine load and low engine speed,
 - a threefold increase in the blowby rate (occurring in the case of high mileage engines) results in a 2% reduction of the maximum torque, nearly 1.5% reduction of the maximum power and as much as a 7% increase in the fuel consumption at low engine loads and speeds (engines fitted in passenger cars most frequently operate under these conditions).

Acknowledgements

The authors wish to thank the AVL for making the AST software available for the tests.

- obniżenie o połowę nieszczelności komory spalania spowodowałoby zmniejszenie zużycia paliwa od 0,3%, przy pełnym obciążeniu i dużej prędkości obrotowej, do 2%, przy małym obciążeniu i małej prędkości obrotowej,
- spotykany w eksploatacji (m.in. w silnikach o znacznym przebiegu) trzykrotny wzrost przedmuchów spalin do skrzyni korbowej powoduje ponad 2-procentowe zmniejszenie wartości maksymalnego momentu obrotowego i niemal 1,5-procentowe zmniejszenie wartości mocy maksymalnej silnika oraz aż 7-procentowy wzrost zużycia paliwa w zakresie małych obciążeń i małych prędkości obrotowych (należy zauważyć, że w takich warunkach najczęściej pracują silniki w samochodach osobowych).

Podziękowania

Autorzy pragną podziękować firmie AVL za udostępnienie oprogramowania AST.

Bibliography/Literatura

- [1] Aghdam E.A., Kabir M.M.: Validation of a blowby model using experimental results in motoring condition with the change of compression ratio and engine speed. *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 34, pp. 197-209, 2010.
- [2] Chang H., Zhang Y., Chen L.: Grey forecast of diesel engine performance based on wear. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23, pp. 2285-2292, 2003.
- [3] Cheng K.Y., Shayler P.J., Murphy M.: The influence of blowby on indicated work output from a diesel engine under cold start conditions. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, Vol. 218, pp. 333-340, 2004.
- [4] Koszałka G.: Model of operational changes in the combustion chamber tightness of a diesel engine. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, Vol. 16(1), p. 133-139, 2014.
- [5] Koszałka G., Suchecki A.: Changes in blow-by and compression pressure of a diesel engine during a bench durability test. *Combustion Engines*, Vol. 154(3), p. 34-39, 2013.
- [6] Merksz J., Tomaszewski F., Ignatow O.: *Trwałość i diagnostyka węzła tłokowego silników spalinowych*. Poznań, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 1995.
- [7] Lee C.-F.F., Zhao J.: Modeling of blowby in a small-bore high-speed direct-injection optically accessible diesel engine. *SAE Paper No. 2006-01-0649*.
- [8] Niewczas A., Trwałość zespołu tłok–pierścienie tłokowe–cylinder silnika spalinowego. WNT, Warszawa 1998.
- [9] Rabute R., Tian T.: Challenges involved in piston top ring designs for modern SI engines. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, Vol. 123(2), pp. 448-459, 2001.
- [10] Rakopoulos C.D., Kosmadakis G.M., Dimaratos A.M., Pariotis E.G.: Investigating the effect of crevice flow on internal combustion engines using a new simple crevice model implemented in a CFD code. *Applied Energy*, Vol. 88, pp. 111-126, 2011.
- [11] User Guide, AVL Boost Version 2009.1, Edition 11/2009.

Grzegorz Koszałka, DEng. – Assistant Professor at Faculty of Mechanical Engineering, Lublin University of Technology.

Dr inż. Grzegorz Koszałka – adiunkt na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej.
e-mail: g.koszalka@pollub.pl



Michał Gęca, MEng. – doctoral student at Faculty of Mechanical Engineering, Lublin University of Technology.

Mgr inż. Michał Gęca – doktorant na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej.
e-mail: michal.geca@pollub.pl



Andrzej Suchecki, DEng. – Head of Engine Testing Laboratory at Automotive Research and Development Institute BOSMAL in Bielsko Biala.

Dr inż. Andrzej Suchecki – kierownik Pracowni Badań Stanowiskowych Silników w Instytucie Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o w Bielsku Białym.
e-mail: andrzej.suchecki@bosmal.com.pl

