

WPŁYW SCHODKOWEGO PROFILU POWIERZCHNI NOŚNEJ TŁOKA NA STRATY TARCIA SILNIKA SPALINOWEGO

Streszczenie

Geometria szczeliny między powierzchnią nośną tłoka a cylindrem w bardzo dużym stopniu wpływa na straty tarcia w silniku spalinowym. Okazuje się, że na wymienione straty w większym stopniu wpływa obszar pokryty filmem olejowym niż grubość filmu olejowego rozdzielającego współpracujące elementy. Drogą do zmniejszenia obszaru pokrytego filmem olejowym jest baryłkowy lub schodkowy kształt powierzchni nośnej tłoka. Kształt schodkowy szczeliny można uzyskać nanosząc warstwę grafitu na cylindryczną lub stożkową powierzchnię nośną tłoka. W artykule przedstawiono wyniki symulacji zmierzających do redukcji strat tarcia i zużycia ściernego powierzchni nośnej tłoka i gładzi cylindra. Nanosząc na powierzchni nośnej tłoka cienką warstwę grafitu uzyskuje się bardzo dobre właściwości trybologiczne pary kinematycznej, jaką stanowi zespół tłok - cylinder, co oznacza oczekiwane parametry filmu olejowego, a w przypadku jego braku, prowadzącego do bezpośredniego kontaktu mikro - nierówności tłoka i cylindra.

WSTĘP

Tłoki silników spalinowych na przestrzeni lat w znacznym stopniu zmieniły swoje proporcje geometryczne pełniąc nadal tą samą zasadniczą rolę w silniku spalinowym, polegającą na zamykaniu zmiennej objętości komory spalania. Spełnieniu tej zasadniczej funkcjonalnej roli towarzyszy szereg niepożądanych czynników, takich jak [3]:

- generowanie strat tarcia,
- występowanie sił oraz momentów bezwładności przenoszonych na zawieszenie silnika,
- zużycie oleju smarującego,
- emisja hałasu pracy silnika.

Powyżej wymienione czynniki, wpływają na parametry pracy całego silnika, a część z nich jest efektem właściwości tłoków oraz pierścieni tłokowych.

Współczesny trend w konstrukcji tłoków to zmniejszenie ich wymiarów, przede wszystkim wysokości powierzchni nośnej. W wyniku tego zabiegu masa tłoka jest mniejsza, co przekłada się m. in. na mniejsze straty tarcia, ponieważ powierzchnia filmu olejowego na styku powierzchni nośnej z gładzią cylindra jest mniejsza [4].

Geometria szczeliny między powierzchnią nośną tłoka a cylindrem w bardzo dużym stopniu wpływa na straty tarcia w silniku spalinowym. Okazuje się, że na wymienione straty tarcia w większym stopniu wpływa obszar pokryty filmem olejowym niż grubość filmu olejowego, który rozdziela dwie współpracujące powierzchnie. Zabiegiem zmniejszającym obszar pokrycia filmem olejowym jest zmiana kształtu powierzchni nośnej tłoka na baryłkowy lub schodkowy.

Kształt schodkowy szczeliny można uzyskać poprzez stosowanie powłok uszlachetniających z materiałów, które charakteryzują się dobrymi właściwościami trybologicznymi [1]. Jednym z takich materiałów stosowanym powszechnie na powierzchni nośnej tłoka jest grafit. Współcześnie stosowane powłoki zakładają równomierne pokrycie całej powierzchni nośnej tłoka. Taki zabieg ma na celu modyfikację warunków tarcia granicznego, natomiast nie wpływa w znaczący sposób na warunki tworzenia tarcia płynnego w filmie olejowym.

W artykule przedstawione zostaną wyniki badań symulacyjnych zmierzających do redukcji strat tarcia i zużycia ściernego po-

wierzchni nośnej tłoka i gładzi cylindra w wyniku pokrycia powierzchni nośnej tłoka warstwą grafitu w kształcie litery H. Otrzymamy w ten sposób schodkowy profil charakteryzuje się korzystnymi właściwościami trybologicznymi pary kinematycznej tłok - cylinder w warunkach tarcia płynnego, a dzięki zastosowaniu grafitu można spodziewać się korzystnych właściwościach w warunkach tarcia granicznego.

1. KSZTAŁT POWIERZCHNI NOŚNEJ TŁOKA

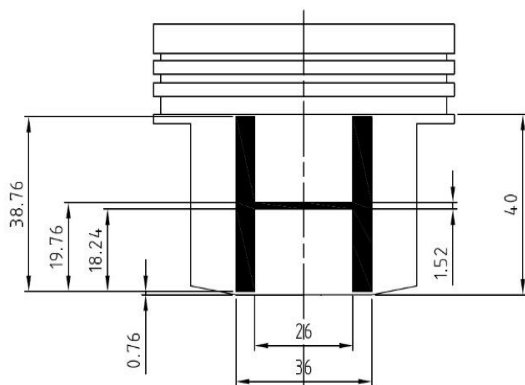
Kształt powierzchni nośnej tłoka polega na dobraniu takiego kształtu powierzchni, która wykonując ruch posuwisto - zwrotny względem gładzi tulei cylindrowej zapewni ciągłość filmu olejowego z możliwie małą wartością strat tarcia w węźle tłok - cylinder. Redukcja strat tarcia przyczyni się więc do osiągnięcia większej sprawności mechanicznej silnika spalinowego, a tym samym zmniejszenia zużycia paliwa.

Autorzy zakładają naniesienie na powierzchni nośnej tłoka warstwę grafitu w kształcie litery H. Schemat zmodyfikowanego kształtu warstwy przedstawiono na rysunku 1.

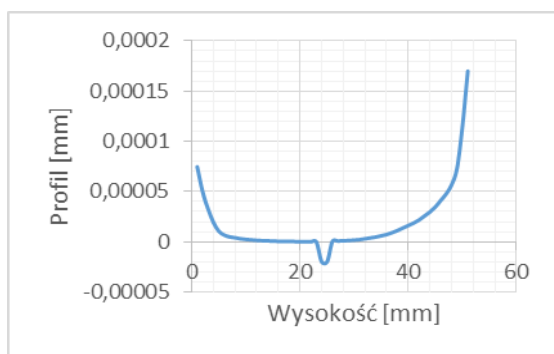


Rys. 1. Tłok z naniesioną warstwą grafitu na powierzchni nośnej w kształcie litery H

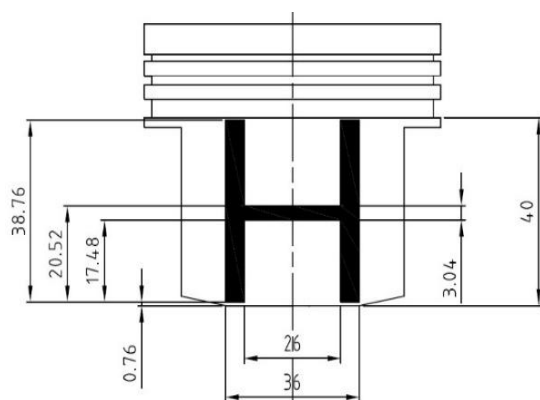
W celu analizy start tarcia w węźle tłok-cylinder, opracowane zostały dwa kształty powierzchni nośnej tłoka o różnej grubości półki litery H, przedstawione na rysunkach 2 - 5. Założona przez autorów grubość warstwy grafitu na powierzchni nośnej to 20 μm i szerokości poprzeczki litery H 5 mm.



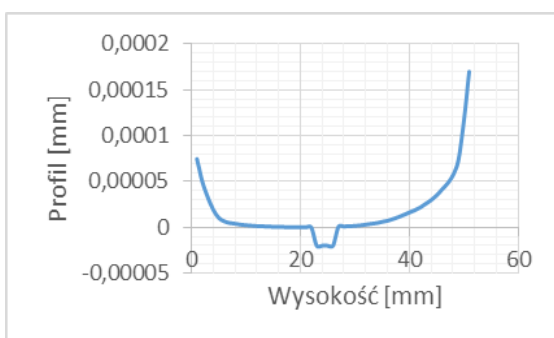
Rys. 2. Wymiary tłoka Tr2



Rys. 3. Profil powierzchni nośnej tłoka Tr2



Rys. 4. Wymiary tłoka Tr5



Rys. 5. Profil powierzchni nośnej tłoka Tr5

2. WYNIKI SYMULACJI

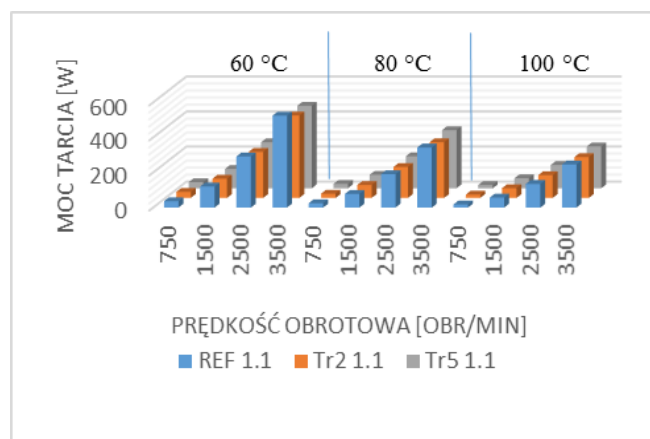
Autorzy przeprowadzili symulację za pomocą programu komputerowego opracowanego przez profesora Iskrę [2].

Obliczenia parametrów filmu olejowego wykonano dla przedstawionych w tym rozdziale dwóch wariantów geometrii powierzchni

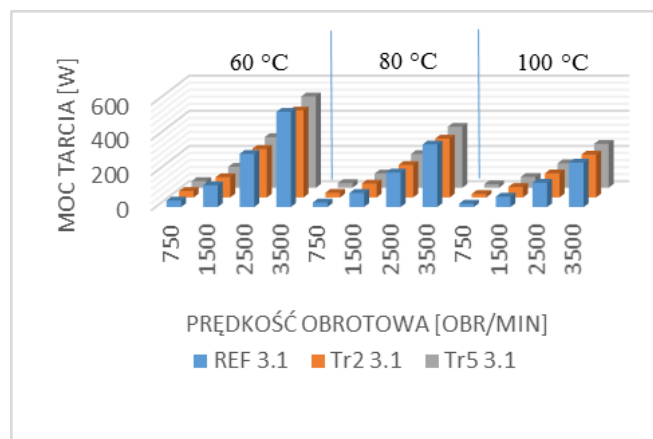
nośnej tłoka o profilu schodkowym i powierzchni baryłkowej tłoka referencyjnego. Analiza została przeprowadzona dla następujących warunków:

- prędkość obrotowa: 750 - 3500 obr/min,
- początkowa grubość warstwy oleju na tulei cylindrowej: 2,5; 5; 35 μm ,
- temperatura oleju silnikowego: 60; 80; 100 $^{\circ}\text{C}$,
- olej silnikowy 10w - 40,
- stopień przyrostu ciśnienia φ : 1,1; 3,1,
- wysokość pierścieni: 1,5; 2; 4 mm,
- wysokość tłoka 40 mm.

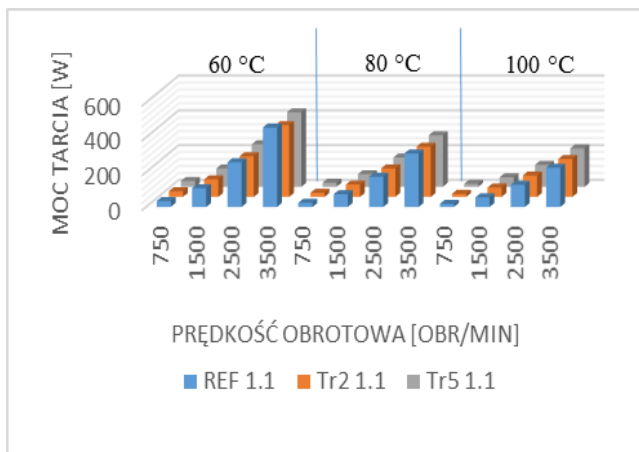
Należy zaznaczyć, że program symulacyjny powstał w oparciu o hydrodynamiczną teorię smarowania i nie uwzględnia takich czynników jak trybologiczne właściwości materiałów pary trącej w warunkach tarcia granicznego. Przeprowadzone symulacje miały na celu określenie cech profilu schodkowego w warunkach tarcia płynnego, czyli warunków, które dominują przez większość czasu pracy silnika spalinowego. Wyniki otrzymanych symulacji zestawiono na rysunkach 6- 11.



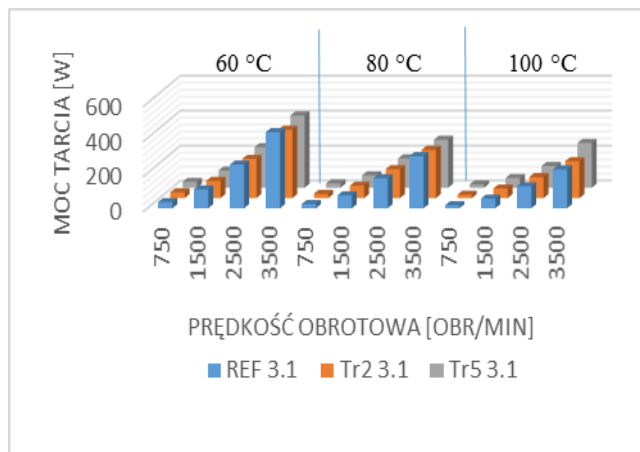
Rys. 6. Wyniki całkowitych strat tarcia tłoka i pakietu pierścieni dla początkowej grubości warstwy oleju na tulei cylindrowej 2 μm oraz współczynnika przyrostu ciśnienia $\varphi = 1,1$



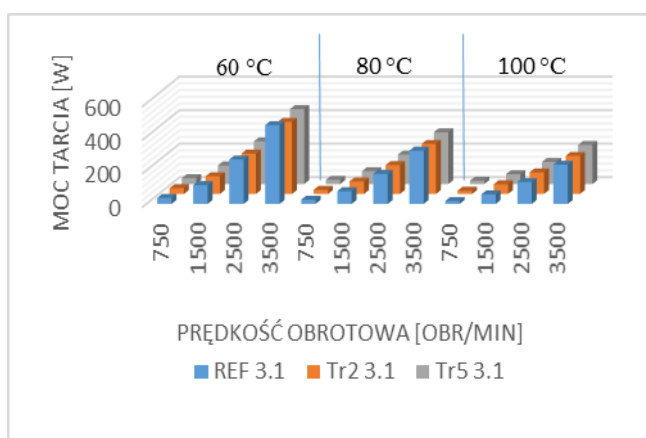
Rys. 7. Wyniki całkowitych strat tarcia tłoka i pakietu pierścieni dla początkowej grubości warstwy oleju na tulei cylindrowej 2 μm oraz współczynnika przyrostu ciśnienia $\varphi = 3,1$



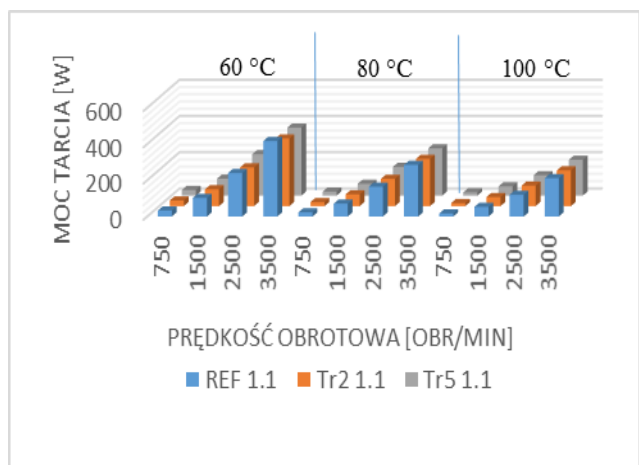
Rys. 8. Wyniki całkowitych strat tarcia tłoka i pakietu pierścieni dla początkowej grubości warstwy oleju na tulei cylindrowej 5 μm oraz współczynnika przyrostu ciśnienia $\varphi = 1,1$



Rys. 11. Wyniki całkowitych strat tarcia tłoka i pakietu pierścieni dla początkowej grubości warstwy oleju na tulei cylindrowej 35 μm oraz współczynnika przyrostu ciśnienia $\varphi = 3,1$



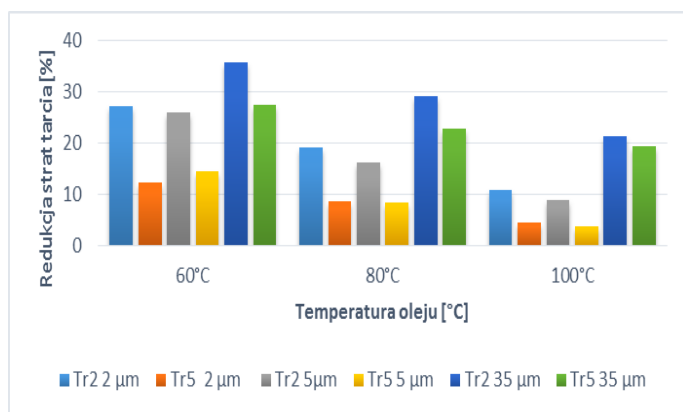
Rys. 9. Wyniki całkowitych strat tarcia tłoka i pakietu pierścieni dla początkowej grubości warstwy oleju na tulei cylindrowej 5 μm oraz współczynnika przyrostu ciśnienia $\varphi = 3,1$



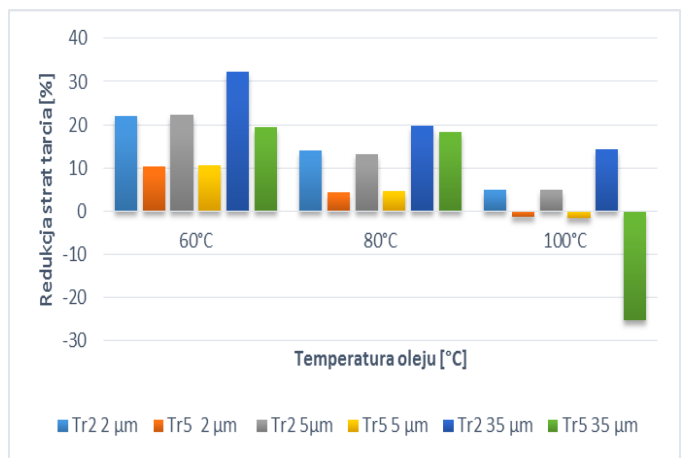
Rys. 10. Wyniki całkowitych strat tarcia tłoka i pakietu pierścieni dla początkowej grubości warstwy oleju na tulei cylindrowej 35 μm oraz współczynnika przyrostu ciśnienia $\varphi = 1,1$

Na podstawie otrzymanych wyników można zauważyć, że obydwa warianty tłoków o schodkowym profilu powierzchni nośnej przyniosły oczekiwaną redukcję strat tarcia w węzle tłok - cylinder względem tłoków referencyjnych.

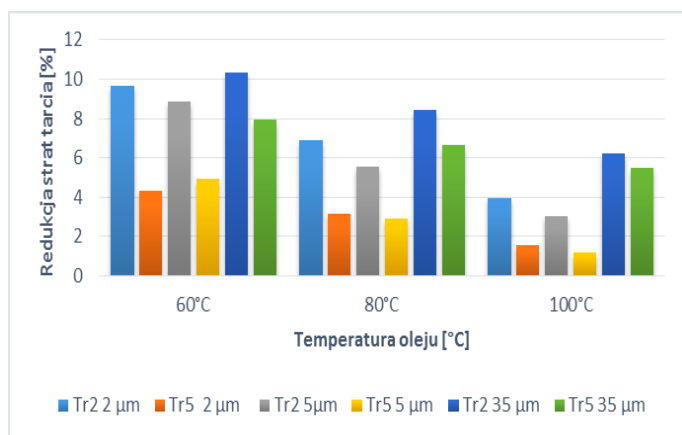
Na rysunku 12 - 15 zestawione zostały procentowe wyniki redukcji strat tarcia dla samej powierzchni nośnej tłoka oraz tłoka z pakietem pierścieni dla współczynnika przyrostu ciśnienia 1,1 oraz 3,1 w funkcji temperatury oleju smarującego silnik.



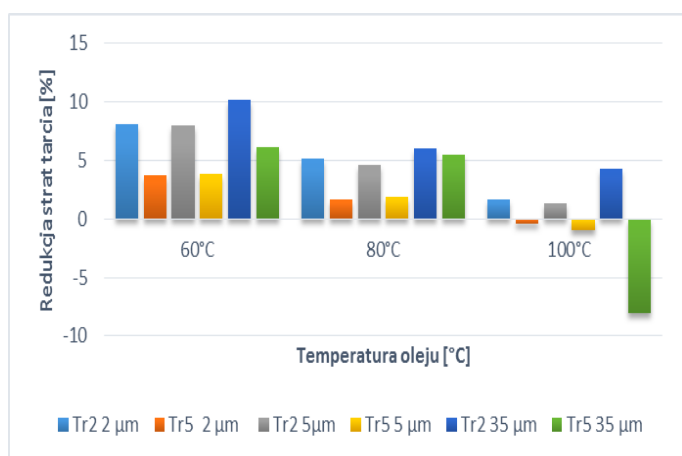
Rys. 12. Redukcja strat tarcia powierzchni nośnej tłoka o gładź cylindra dla współczynnika przyrostu ciśnienia $\varphi = 1,1$ w funkcji temperatury oleju



Rys. 13. Redukcja strat tarcia powierzchni nośnej tłoka o gładź cylindra dla współczynnika przyrostu ciśnienia $\varphi = 3,1$ w funkcji temperatury oleju



Rys. 14. Redukcja całkowitych strat tarcia tłoka i pakietu pierścieni dla współczynnika przyrostu ciśnienia $\phi = 1,1$ w funkcji temperatury oleju



Rys. 15. Redukcja całkowitych strat tarcia tłoka i pakietu pierścieni dla współczynnika przyrostu ciśnienia $\phi = 3,1$ w funkcji temperatury oleju

W wyniku przeprowadzonych symulacji warianty Tr2 i Tr5 wykazały wyraźną redukcję strat tarcia w węzle tłok-cylinder. Na podstawie otrzymanych wyników można również zaobserwować, że redukcja strat tarcia jest większa dla wyższych prędkości obrotowych wału korbowego silnika. Jest to bardzo ważne spostrzeżenie, ponieważ podczas zwiększania prędkości obrotowej silnika w wyniku większych strat tarcia zamienianych na ciepło następuje szybsze nagrzewanie elementów silnika i oleju smarującego, a przyczynia się to do zmniejszenia jego lepkości, co może prowadzić do występowania warunków tarcia granicznego. Zjawisko to może mieć również pozytywny wpływ na zmniejszenie strat tarcia przy założeniu, że nie będzie występować tarcie graniczne na styku powierzchni nośnej tłoka i tulei cylindrowej.

PODSUMOWANIE

Otrzymane wyniki pozwalają stwierdzić, że:

- zastosowanie schodkowego kształtu powierzchni nośnej tłoka względem baryłkowego pozwala na uzyskanie mniejszych strat tarcia,
- powierzchnię schodkową można uzyskać poprzez nanoszenie na powierzchnię nośną tłoka warstw poślizgowych np. grafitu,
- warstwy poślizgowe są szczególnie pożądane w warunkach pojawiania się braku ciągłego filmu olejowego,
- zastąpienie powierzchni baryłkowej tłoka powierzchnią schodkową zmniejsza zużycie paliwa.

BIBLIOGRAFIA

1. Fahr M., Hanke W., Klimesch Ch., Rehl A., *Reibungsreduzierung bei Kolbensystemen im Ottomotor*, MTZ, Ausgabe 07-08, 2011.
2. Iskra A., *Studium konstrukcji i funkcjonalności pierścieni w grupie tłokowo-cylindrowej*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1995.
3. Iskra A., Babiak M., Wróblewski E., *Characteristics of friction losses of aluminum and steel pistons for diesel engine passenger car*, *Combustion Engines*, 162(3), pp. 504-510, PTNSS, Bielsko - Biała 2015.
4. Iskra A., Krzymień P., Wróblewski E., *Geometry of the improved layer over a piston skirt*, *Combustion Engines*, 162(3), pp. 192-196, PTNSS, Bielsko - Biała 2015.

THE IMPACT OF STEPPED PROFILE OF PISTON BEARING SURFACE ON COMBUSTION ENGINE FRICTION LOSSES

Abstract

Geometry of the gap between piston bearing surface and cylinder affects the friction losses of the IC engine. It appears that these losses depend more on the area covered with oil film than the thickness of oil film layer separating collaborating parts. Barrel shaped or stepwise piston bearing surface is the way to reduce the oil covered area. The stepwise profile can be obtained covering the cylindrical or tapered piston bearing surface with a thin layer graphite. This paper presents the results of simulation leading to the reduction in friction losses and abrasive wear of piston bearing surface and cylinder bore. Covering the piston bearing surface with a thin layer of graphite one can get an advantageous tribological properties of the piston assembly which means the expected parameters of oil film and in a case of film rupture – an ignorable abrasive wear of the graphite layer and cylinder bore.

Autorzy:

Prof. dr hab. inż. **Antoni Iskra** – Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Politechnika Poznańska, antoni.iskra@put.poznan.pl

Dr inż. **Maciej Babiak** – Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Politechnika Poznańska, maciej.babiak@put.poznan.pl

Mgr inż. **Emil Wróblewski** – Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Politechnika Poznańska,

emil.z.wroblewski@doctorate.put.poznan.pl