

Tomasz FIGLUS, Andrzej WILK

ANALIZA ZMIAN SIŁ WYMUSZAJĄCYCH I ICH WPŁYW NA DRGANIA KADŁUBA SILNIKA SPALINOWEGO

Streszczenie. Celem badań jest wyznaczanie drgań modelu kadłuba silnika spalinowego wywołanych zmiennymi siłami występującymi w układzie korbowo-tłokowym.

Uwzględniając zależności kinematyczne układu korbowo-tłokowego określono wartości tych sił, przy założeniu zmian wartości ciśnienia nad tłokiem oraz zmian prędkości obrotowej silnika. Wyznaczone wartości sił wymuszających drgania zostały wykorzystane w modelu MES kadłuba do oszacowania prędkości drgań wybranego, przykładowego punktu kadłuba.

ANALYSIS OF THE EXCITATION FORCES CHANGE AND THEIR INFLUENCE ON THE CRANKCASE VIBRATION OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Summary. The aim of the reaserch is counting internal combustion engine crankcase vibration caused by changing excitation forces in piston-crank system.

The values of these forces were calculated taking into consideration kinematic equations of piston-crank system, assuming changes of cylinder pressure and engine rotation velocity values. The calculated exciting vibration forces were used in an engine FEM model to estimate vibration velocity of a choosen exemplary crankcase point.

1. WSTĘP

Analiza drgań i hałasu silników spalinowych należą do jednych z głównych kierunków badań podejmowanych w centrach badawczo-rozwojowych koncernów motoryzacyjnych oraz w wybranych ośrodkach naukowych. Podstawowy problem podejmowany w tych pracach to ograniczenie hałasu źródła, a co za tym idzie – drgań jednostek napędowych. Podejmuje się więc prace, które obejmują analizę procesu spalania oraz badania wpływu budowy silnika na drgania jego struktury nośnej.

Podstawowym źródłem drgań struktury nośnej silnika spalinowego są siły wymuszające, występujące w ruchu posuwisto-zwrotnym układu korbowego-tłokowego, ruch obrotowy wału korbowego oraz występujące luzy. Ważnym czynnikiem wpływającym na powstawanie drgań jest też budowa wewnętrzna kadłuba oraz sposób jego uźebrowania. Analiza tych zagadnień jako czynników wpływających na wibroaktywność silnika spalinowego jest przedmiotem prac prowadzonych przez autorów.

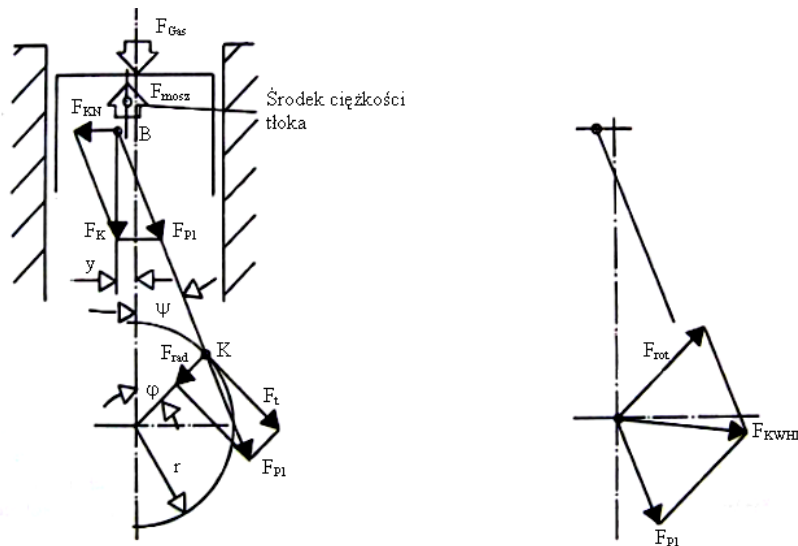
Pierwszym etapem tych prac jest obliczenie sił wymuszających drgania silnika. Autorzy pracy posłużyli się w tym przypadku prezentowanymi w pracach [1,2] zależnościami kinematycznymi, które w sposób uproszczony umożliwiają obliczenie tych sił. Zależności te

odzwierciedlają model układu korbowo-tłokowego jako strukturę składającą się z elementów o nieskończenie dużej sztywności, które nie posiadają luzów w kontakcie. Takie podejście wydaje się słuszne w przypadku badań wstępnych, gdzie rozpoznaje się metodę badań, jak to ma miejsce w tej pracy.

Do wyznaczenia drgań struktury nośnej silnika spalinowego (tj. kadłuba) autorzy proponują zastosowanie metody prezentowanej w pracach [3-5]. Do wyznaczenia sił wymuszających zastosowano program Matlab-Simulink, a do wyznaczenia drgań kadłuba jego model MES, przedstawiony w [3,4] oraz w rozdziale 3 pracy.

2. WYZNACZANIE SIŁ WYMUSZAJĄCYCH DRGANIA KADŁUBA SILNIKA

Do wyznaczenia sił wymuszających w silniku spalinowym (rys. 1) zastosowano zależności prezentowane w pracach [1-5]. Przyjmując zmianę wartości ciśnienia nad tłokiem obliczano zmianę sił występujących w kontakcie tłok-tuleja cylindrowa oraz sił w podporach głównych wału korbowego. Obliczone siły implementowano następnie do modelu MES kadłuba.

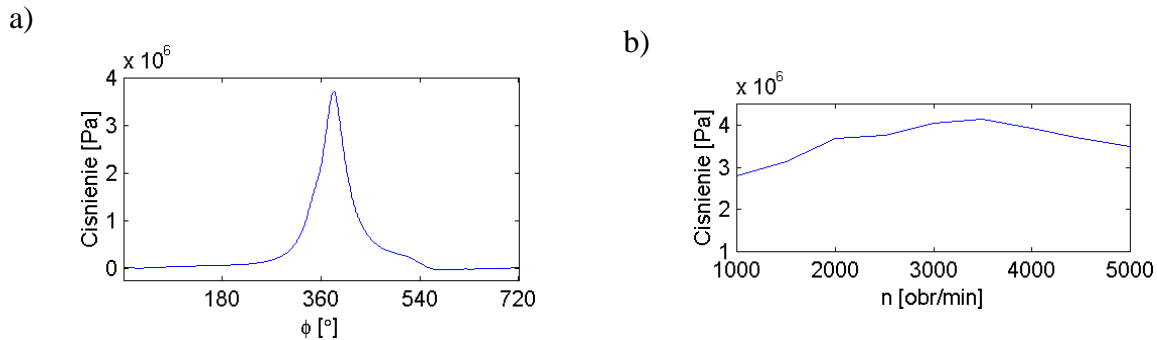


Rys. 1. Rozkład sił w układzie korbowo-tłokowym silnika jednocylindrowego, opis w [3-5]

Fig. 1. The decomposition of forces in piston-crank system of the one-cylinder engine

3. WARTOŚCI SIŁ WYMUSZAJĄCYCH OBLICZONE W BADANIACH

Do obliczeń sił wymuszających w silniku oraz jego drgań wybrano model geometryczny korpusu silnika czterocylindrowego. W obliczeniach przyjęto, że średnica cylindra x skok wynosi 80 x 88 mm, a prędkość obrotową wału korbowego zmieniano w zakresie od 1000 do 5000 obr/min, co 500 obr/min. W badaniach przyjęto zmienne wartości ciśnienia nad tłokiem zarejestrowane w eksperymentach stanowiskowych, w zależności od prędkości obrotowej silnika, jak i chwilowej wartości kąta obrotu wału korbowego. Przykładową zmianę wartości ciśnienia nad tłokiem, przy założeniu pełnego obciążenia silnika, zamieszczono na rysunku 2a, a zmianę maksymalnej wartości tego ciśnienia w zależności od prędkości obrotowej silnika na rysunku 2b.



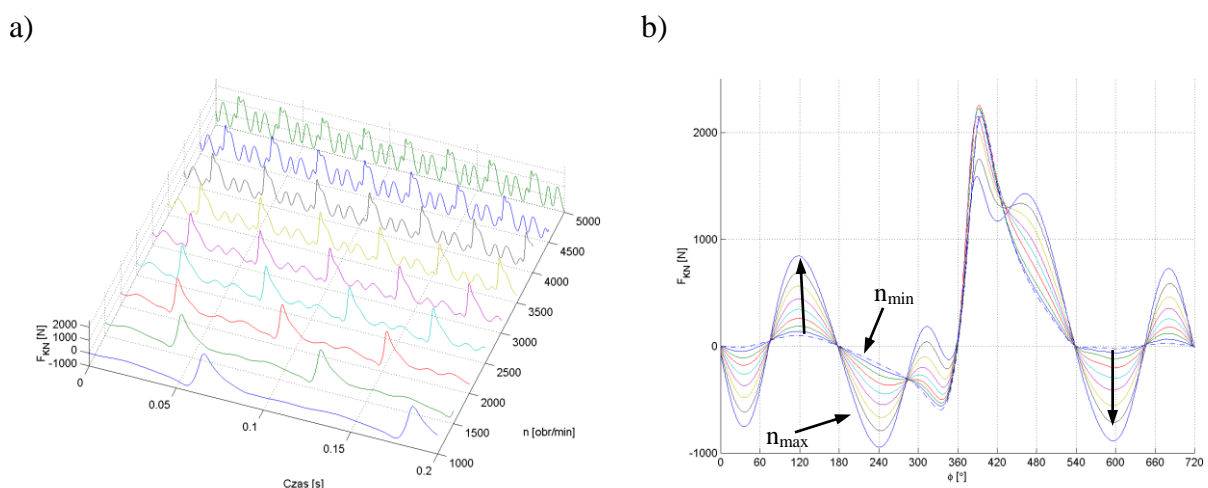
Rys. 2. a) Przykładowa zmiana ciśnienia w zależności od kąta obrotu wału korbowego, b) maksymalne ciśnienie w zależności od prędkości obrotowej silnika

Fig. 2. a) Exemplary pressure change dependent on crankshaft rotation angle, b) maximum pressure dependent on engine rotation velocity

Na rysunkach 3 i 4 zamieszczono wyznaczone wartości sił wymuszających drgania zarówno w kontakcie tłok-tuleja cylindrowa F_{KN} , jak i sumę sił występujących w kontakcie czopów głównych wału korbowego-podpory główne wału F_{KWHL} . Siły te rozłożono odpowiednio w kierunku osi tulei cylindrowej F_{KWHLX} i poprzecznie do osi tulei cylindrowej F_{KWHLX} .

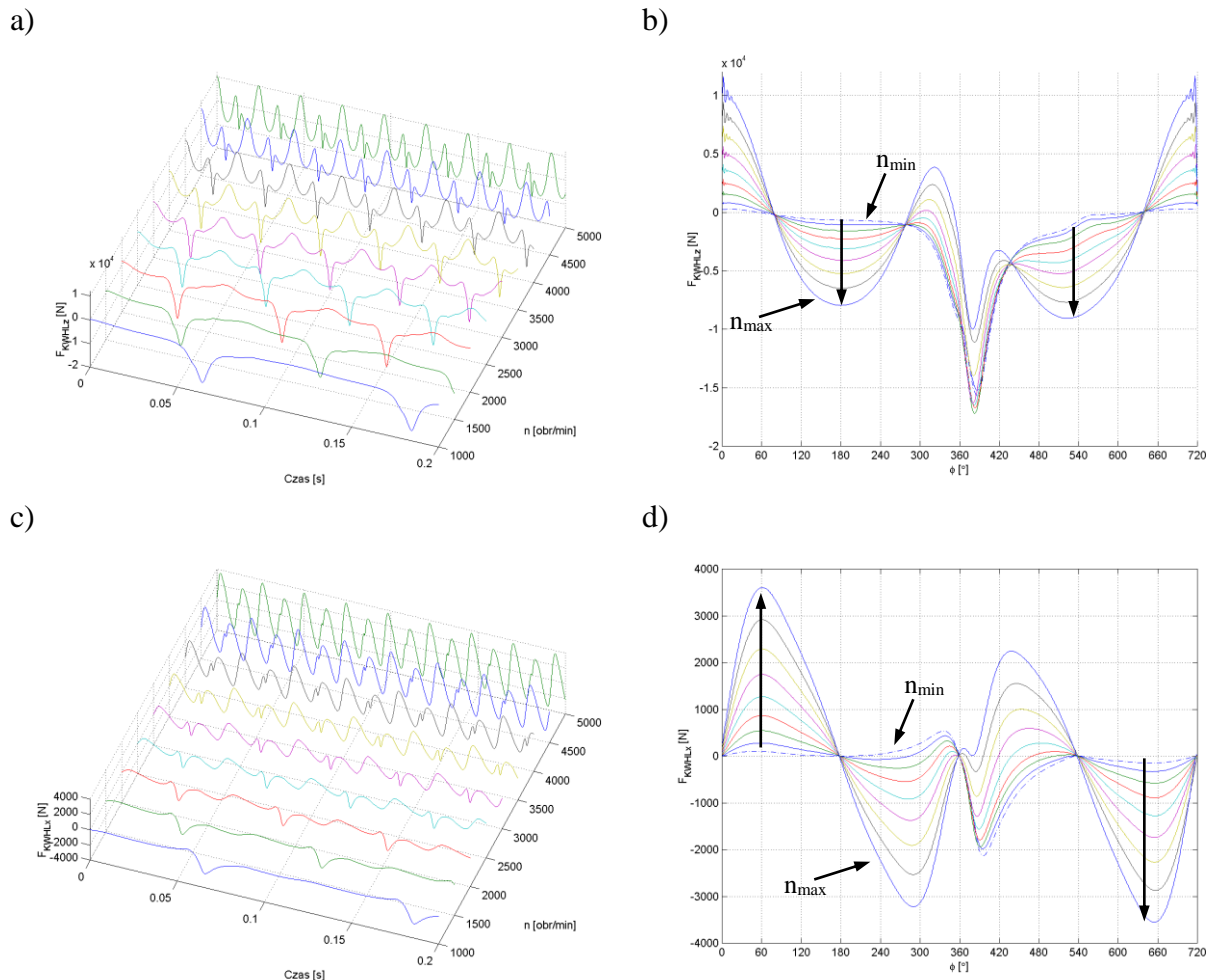
Zamiany wartości obliczonych sił zależą od chwilowej prędkości wału korbowego. Na rysunkach 3b, 4b i 4d linią przerywaną zaznaczono obliczone siły przy prędkości obrotowej wału korbowego wynoszącej 1000 [obr/min], natomiast strzałkami oznaczono kierunek zmiany wartości sił spowodowany wzrostem prędkości obrotowej. Prezentowane wartości siły przyjęto w dalszej części pracy jako obciążenie modelu MES kadłuba.

Analizując charakterystyki zmian sił można zauważyć, że wartości ich uzależnione są od chwilowego położenia tłoka w tulei cylindrowej i prędkości obrotowej wału korbowego. Wzrost wartości siły w przypadku kontaktu tłok-tuleja cylindrowa następuje w położeniach tłoka pomiędzy jego zwrotami. W przypadku składowej siły działającej w kontakcie czop główny wału korbowego-podpora główna wału, w kierunku osi cylindra, występuje wzrost jej wartości w zakresie zwrotu zewnętrznego i wewnętrznego tłoka.



Rys. 3. Wartości siły F_{KN} występującej w kontakcie tłok-tuleja cylindrowa w zależności od czasu a) i kąta obrotu wału korbowego b)

Fig. 3. F_{KN} force value in piston-cylinder contact dependent on time a) and crankshaft rotation angle b)



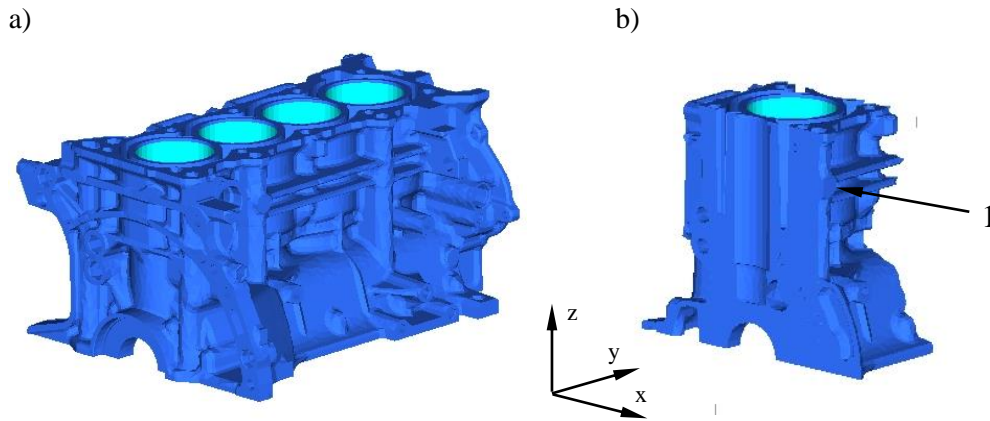
Rys. 4. Wartości siły F_{KWHLz} i F_{KWHLx} występujące w kontakcie czopy główne wału korbowego-podpory główne wału w zależności od czasu (a i c) i kąta obrotu wału korbowego (b i d)
 Fig. 4. F_{KWHLz} and F_{KWHLx} force values in main journal- crankshaft support contact dependent on time (a i c) and crankshaft rotation angle (b i d)

4. MODEL MES KADŁUBA SILNIKA ORAZ WYZNACZONE DRGANIA

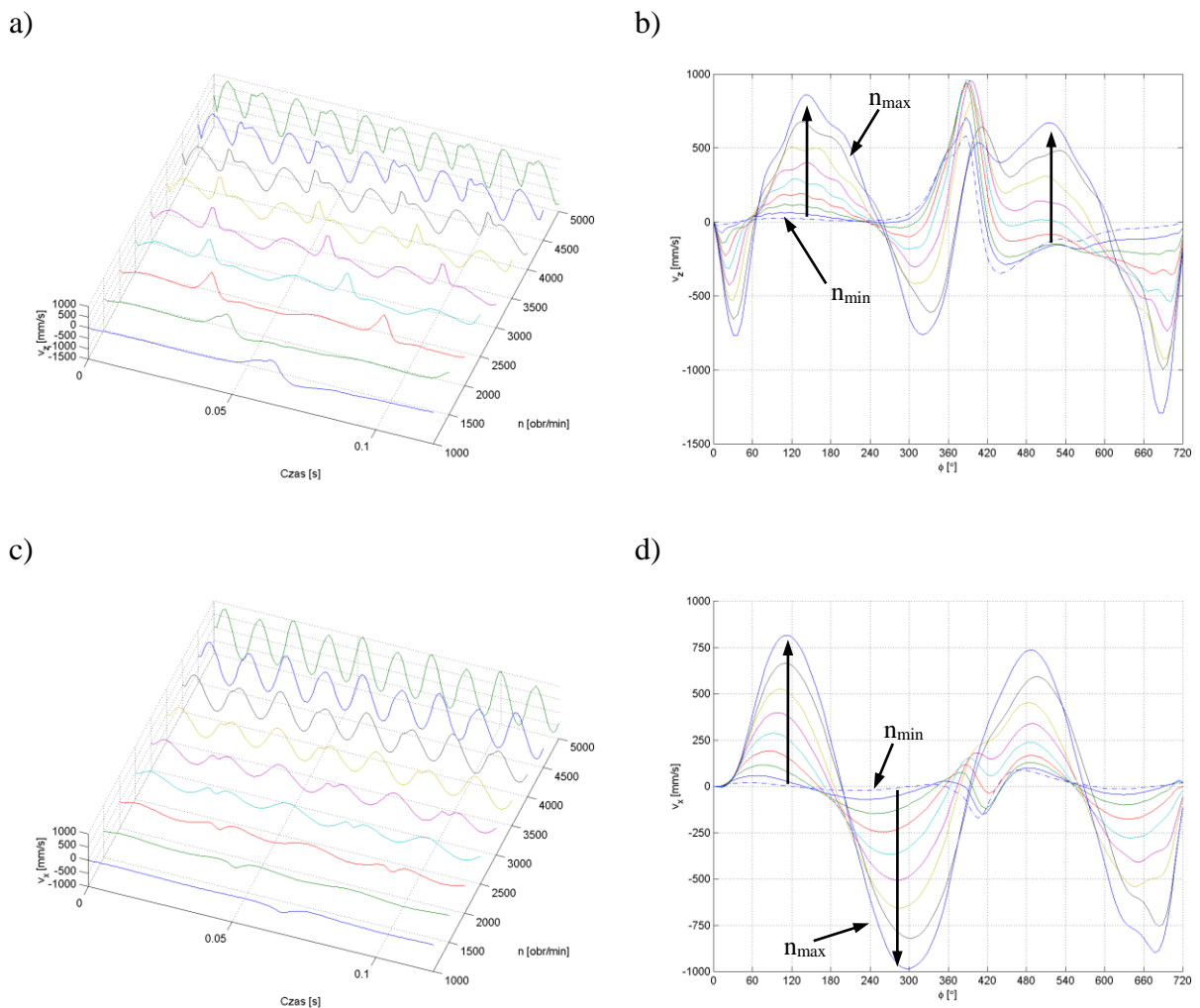
Przyjęty do obliczeń drgań model korpusu silnika zaprezentowano na rysunku 5. W trakcie wyznaczania drgań kadłuba silnika model uproszczono przyjmując do obliczeń tylko jedną jego część, odpowiadającą układowi jednocylindrowemu. Model obliczeniowy składa się z 46514 elementów o budowie bryłowej (Solid element). W badaniach przyjęto założenie, że wymuszenie siłowe zadawane jest w kontakcie tłok-tuleja cylindrowa oraz w dwóch podporach głównych wału korbowego. Model wymuszenia zakłada zmianę wartości siły w zależności od położenia tłoka w cylindrze (a zatem w zależności od kąta położenia wału korbowego), ale również od znaku wartości siły występującej w kontakcie.

Przyjęty w obliczeniach model MES podparto na 3 podporach sprężystych, odpowiednio na dwóch w dolnej części i jednej w górnej części kadłuba. W celu wyznaczenia wartości drgań każdorazowo obliczano wartość prędkości drgań punktu pomiarowego wybranego na bocznej ścianie kadłuba silnika (ozn. 5 na rys. 2 b).

Na rysunku 6a i 6c przedstawiono wartości prędkości drgań, wyznaczone w kierunkach x i z modelu (rys. 5a), w zależności od prędkości obrotowej wału korbowego silnika. Natomiast rysunki 6b i 6d przedstawiają odpowiednio wartości prędkości drgań w zależności od kąta obrotu wału korbowego silnika.



Rys. 5. Model kadłuba silnika czterocylindrowego a) oraz model wyizolowanej części silnika - model jednocylindrowy b)
 Fig. 5. The four-cylinder engine crankcase assumed in the study model a) and the separate model part of engine b) (one-cylinder model)



Rys. 6. Wartości prędkości drgań w zależności od zmiany prędkości obrotowej silnika odpowiednio w kierunku z (a i b) oraz w kierunku x (c i d)
 Fig. 6. Velocity vibration values dependent on rotation velocity change in direction z (a i b) and in direction x (c i d)

Analiza wyznaczonych drgań kadłuba wskazuje, że przebieg ich silnie uzależniony jest od prędkości obrotowej wału korbowego silnika. Wraz ze wzrostem prędkości obrotowej następuje wzrost amplitudy drgań kadłuba w tych położeniach tłoka w tulei cylindrowej, w których obserwuje się duże wartości sił wymuszających.

5. PODSUMOWANIE

Zastosowanie w badaniach symulacyjnych przedstawionego w pracy algorytmu wyznaczania sił wymuszających drgania oraz modelu MES kadłuba umożliwiło wyznaczenie przybliżonych drgań kadłuba silnika w szerokim zakresie zmian prędkości obrotowej.

Przeprowadzone symulacje wykazały, że model kadłuba jest wrażliwy na zmianę wartości sił wymuszających, a generowane drgania kadłuba zwiększają się wraz ze wzrostem prędkości obrotowej silnika.

Prezentowana metoda wymaga prowadzenia dalszych badań, z wykorzystaniem bardziej złożonych modeli dynamicznych układów korbowo-tłokowych i modeli MES silników wielocylindrowych.

Bibliografia

1. Köhler E.: Verbrennungsmotoren. ATZ-MTZ-Fachbuch. Braunschweig/Wisbaden 2002.
2. Beitz W., Grote K. H.: Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau. 19 Auflage. Springer-Verlag. Berlin 1997.
3. Figlus T., Wilk A.: Symulacyjna metoda wyznaczania drgań kadłuba silnika spalinowego, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 61 Gliwice 2007, s. 7-14.
4. Figlus T.: Propozycja metody obliczania drgań kadłuba silnika spalinowego. XIII Konferencja Naukowa Wibroakustyki i Wibrotechniki, VIII Ogólnopolskie Seminarium Wibroakustyka w Systemach Technicznych, Wibrotech 2007. Jachranka 29-30 listopada 2007, s. 113-120.
5. Figlus T., Madej H., Wilk A.: Diagnostowanie uszkodzeń hydraulicznych kasowników luzu zaworowego silnika spalinowego, XXXV Jubileuszowe Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn, Węgierska Górka 03-08.03.2008.
6. Heim R.: FEM mit NASTRAN. Carl Hanser Verlag München Wien, 2005.
7. Ubysz A., Figlus T.: Ćwiczenia laboratoryjne z silników spalinowych i ochrony środowiska. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski

Praca wykonana w ramach BK-296/RT2/2008