

Analiza numeryczna wpływu przewietrzników na efektywność chłodzenia maszyn elektrycznych

Jerzy Madej, Bartłomiej Będkowski

Wstęp

Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne stawiają coraz większe wymagania dotyczące zwiększenia sprawności, miniaturyzacji, przy jednoczesnej redukcji kosztów [1]. Straty i sprawność są wielkościami, które interesują użytkownika, ponieważ decydują one o wskaźnikach technicznych i ekonomicznych maszyny [4]. Są one bezpośrednio powiązane z temperaturą jej pracy.

Stosowanie elementów wrażliwych na wzrost temperatury, takich jak magnesy trwałe, enkodery, uszczelnienia czy łożyskowanie, zmuszają projektantów do zwrócenia większej uwagi na zjawiska przepływu i odprowadzania ciepła, co wiąże się z koniecznością przeprowadzenia wnikliwej analizy zjawisk termicznych zachodzących w konstrukcjach mechanicznych, a szczególnie w urządzeniach elektrycznych [1].

Przeprowadzenie efektywnej analizy przepływu ciepła, gazów i cieczy [2, 3] w otoczeniu maszyny oraz w jej wnętrzu [5] jest możliwe dzięki wyspecjalizowanym systemom obliczeniowym bazującym na CFD, które umożliwiają dobór optymalnych rozwiązań konstrukcyjnych, zapewniających zastosowanie efektywnych systemów chłodzenia.

Cel i zakres pracy

Celem niniejszej pracy jest analiza efektywności chłodzenia silnika elektrycznego w zależności od rodzaju zastosowanego w nim przewietrznika. Rozważono silnik z magnesami trwałymi o wzniosie 80 mm i mocy 1 kW, pracujący z prędkością obrotową 1500 obr/min, którego uproszczony model, wykonany w programie Autodesk Inventor 2012, przedstawiono na rys. 1.

Rys. 2 przedstawia rozłożony widok zespołu silnika ze wskazaniem materiału, jaki przyjęto do obliczeń dla poszczególnych



Rys. 1. Model geometryczny silnika

Streszczenie: Celem niniejszej pracy jest analiza efektywności chłodzenia silnika elektrycznego w zależności od rodzaju zastosowanego w nim przewietrznika. Analiza została przeprowadzona za pomocą systemu obliczeniowego wyposażonego w narzędzia do analizy przepływów ciepła, cieczy i gazów. Przeprowadzone symulacje numeryczne pozwalają określić obszary działania podwyższonych temperatur, które mogą mieć destrukcyjny wpływ na łożyska, magnesy trwałe lub inne podzespoły, a także na sprawność urządzenia. Obliczenia przepływu powietrza przez silnik zostały przeprowadzone dla czterech różnych typów przewietrzników. Uzyskane wyniki mogą być przydatne zarówno w diagnostyce silników elektrycznych, jak i projektowaniu układów chłodzących. Przybliżają też rzeczywisty stan pracy urządzenia, co umożliwi optymalne jego użytkowanie, uwzględniające różnorodne rodzaje warunków pracy i zabudowy.

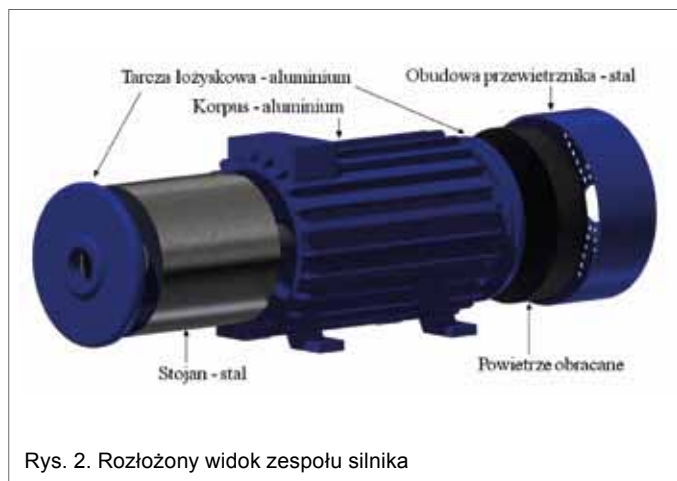
Słowa kluczowe: analiza przepływu gazów i ciepła, silniki elektryczne, chłodzenie.

NUMERICAL ANALYSIS OF VENTILATING FANS INFLUENCE FOR ELECTRICAL MASHINES COOLING EFFICIENCY

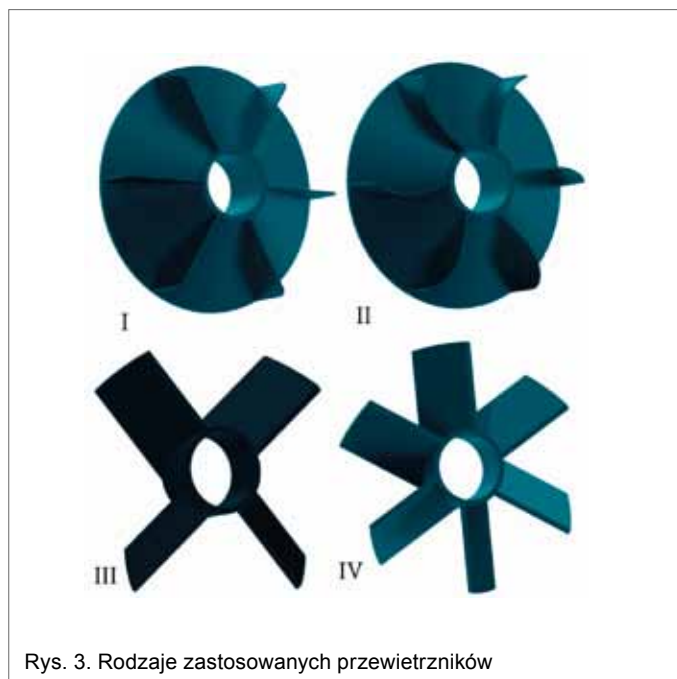
Abstract: The analysis of electrical motor cooling efficiency depending on the ventilating fan type applications is presented in this study. The analysis is conducted with the use of numerical system equipped with tools essential for heat, liquid and gas flows analysis. The numerical simulations let for the elevated temperature zones which can have destructive influence on bearings, permanent magnets, the others components and also on the efficiency of a machine determining. The calculations of air flow through the motor for four different types of ventilating fans are presented. Obtained results could be useful in electrical motors diagnostics as well as in cooling system design. The results introduce real work device conditions which enable its optimal operating to consider difrent types of work conditions and location.

Key words: gas and thermal flow analysis, electrical motors, cooling.

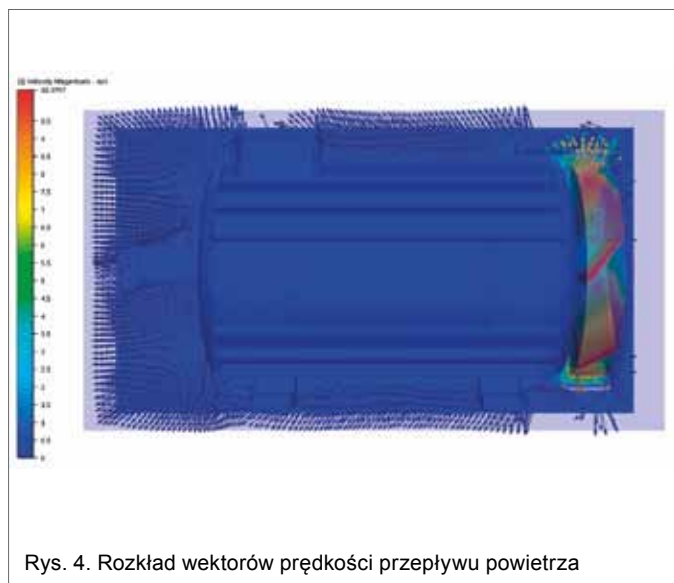
części. Założono, że temperatura początkowa powietrza w otoczeniu silnika wynosi 20°C oraz że taką samą temperaturę ma powietrze wpływające pod obudowę przewietrznika. Przyjęto w uproszczeniu, że jedynym źródłem energii cieplnej rzędu 250 W jest bryła stojana. Obejmuje ona straty w żelazie ΔP_{Fe} oraz straty w uzwojeniach stojana wynikające z przepływu prądu obciążenia ΔP_{Cu} . Pominięto straty mechaniczne pochodzące od przewietrznika, łożysk i straty w wirniku, które dla maszyn



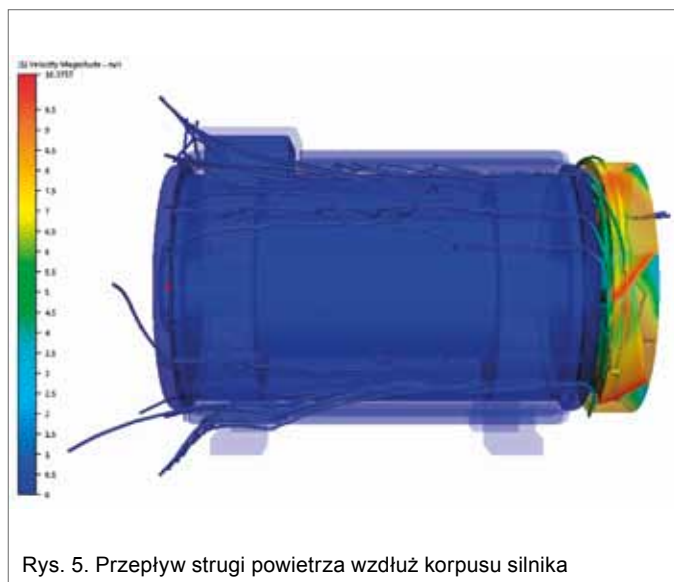
Rys. 2. Rozłożony widok zespołu silnika



Rys. 3. Rodzaje zastosowanych przewietrzników



Rys. 4. Rozkład wektorów prędkości przepływu powietrza



Rys. 5. Przepływ strugi powietrza wzdłuż korpusu silnika

z magnesami trwałymi pracujących z tymi prędkościami obrotowymi są zwykle pomijalne.

Przeprowadzone symulacje numeryczne przepływu powietrza wokół urządzenia oraz analiza rozkładu temperatury silnika przy zastosowaniu różnych rodzajów przewietrzników, pokazanych na rys. 3, pozwoliły oszacować efektywność chłodzenia i dokonać wyboru najlepszego z rozważanych wentylatorów. Przyjęto do obliczeń 1500 obrotów wału na minutę.

Symulacje numeryczne

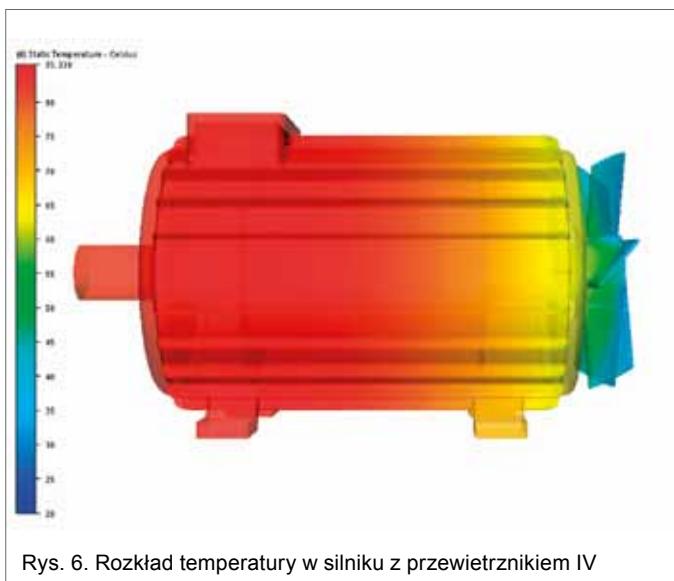
Obliczenia przeprowadzono, wykorzystując system do analizy przepływów Autodesk Simulation CFD 2012. W programie tym analiza przepływu wymuszonego obrotem jest możliwa do przeprowadzenia tylko jako analiza typu *transient*. Ten typ analizy wymaga długotrwałych obliczeń i dużych mocy obliczeniowych. Ma jednak istotną zaletę, ponieważ pozwala sterować wielkością przyrostu czasowego i umożliwia śledzenie rozkładu parametrów badanego obiektu od momentu początko-

wego aż do osiągnięcia stanu uznanego za ustalony. Program Autodesk Simulation CFD 2012 pozwala ponadto na bieżącą prezentację i zapamiętanie parametrów przepływu wyliczonych w kolejnych krokach iteracyjnych, co ma duże znaczenie dla późniejszej weryfikacji doświadczalnej.

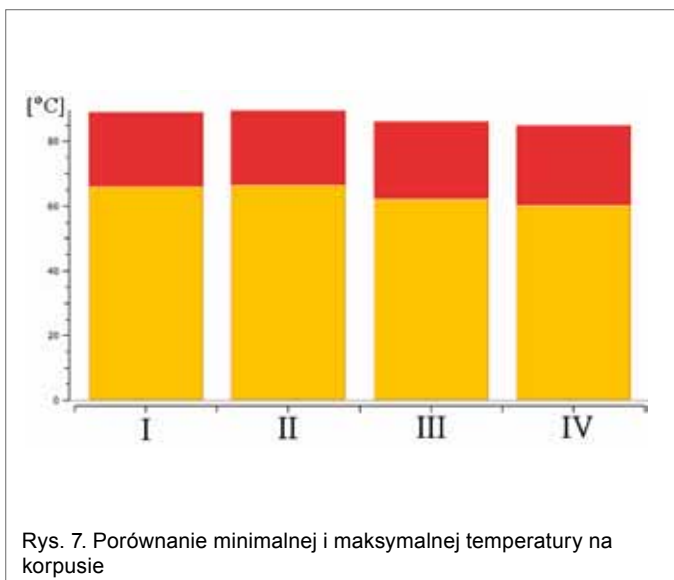
Wyniki analizy przepływu powietrza dla wybranych rodzajów przewietrzników pokazują praktycznie takie same maksymalne prędkości krawędzi łopatek przewietrzników. Rozkład wektorów prędkości powietrza wokół kadłuba silnika zilustrowano na rys. 4 dla silnika z przewietrznikiem IV, jednak dla wszystkich rozpatrywanych typów przewietrzników ma on bardzo podobny charakter.

Rys. 5 przedstawia przepływ strugi powietrza wzdłuż korpusu silnika. Ma on podobny charakter dla wszystkich rozważanych typów przewietrzników.

Analizując otrzymane wyniki, widać, że dla każdego z rozważanych przewietrzników przepływ powietrza chłodzącego po opuszczeniu obudowy przewietrznika ma charakter turbulentny i wzdłuż korpusu odbywa się z niewielką prędkością. Duża



Rys. 6. Rozkład temperatury w silniku z przewietrznikiem IV



Rys. 7. Porównanie minimalnej i maksymalnej temperatury na korpusie

część powietrza ulega bocznemu rozproszeniu, przez co chłodzenie jest mało efektywne. Potwierdza to rozkład temperatury na powierzchni silnika oraz w powietrzu otaczającym korpus. Maksymalna temperatura osiągnięta wewnątrz silnika w 40 minucie pracy silnika z pełną mocą wynosi 89,6°C przy zastosowaniu przewietrznika I typu, 90°C dla przewietrznika II typu, 86,7°C dla przewietrznika III typu i 85,3°C dla przewietrznika IV typu. Obraz pola temperatur w silniku z przewietrznikiem typu IV pokazano na rys. 6.

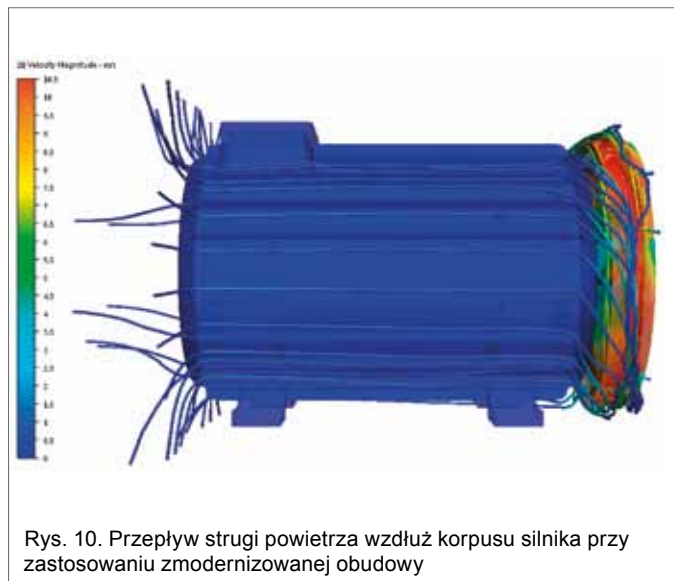
Analogiczny charakter mają pola temperatur dla pozostałych przewietrzników. Różnica w poszczególnych przypadkach dotyczy jedynie wartości temperatury.

Diagram na rys. 7 przedstawia porównanie minimalnej i maksymalnej temperatury na korpusie dla poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych.

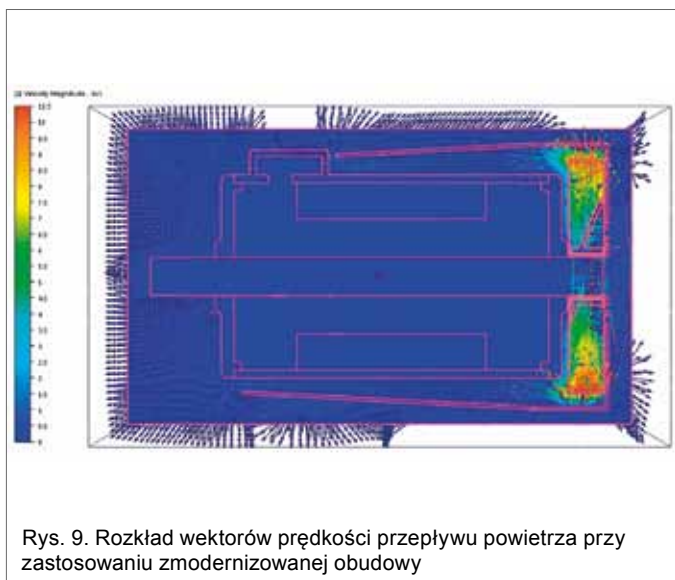
Z przedstawionego porównania wynika, że spośród wszystkich rozważanych typów przewietrzników najbardziej efektywne chłodzenie korpusu zapewnia przewietrznik IV, dla którego maksymalna temperatura na krawędzi radiatora w 40 minucie



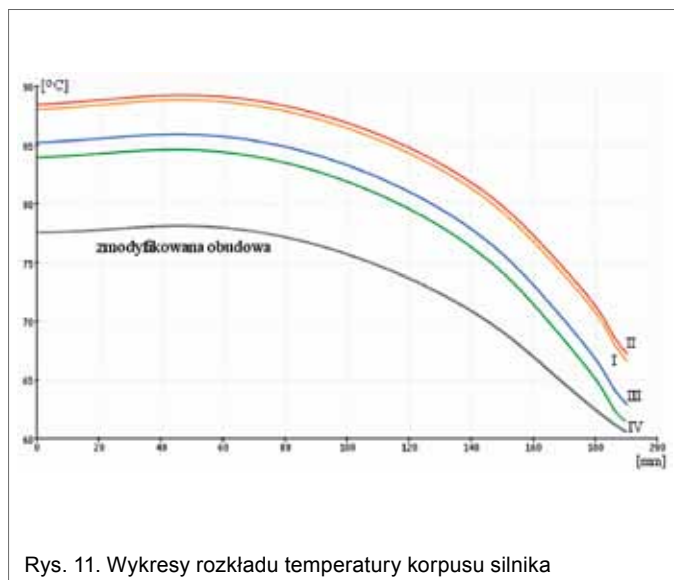
Rys. 8. Model silnika ze zmodernizowaną obudową



Rys. 10. Przepływ strugi powietrza wzdłuż korpusu silnika przy zastosowaniu zmodernizowanej obudowy



Rys. 9. Rozkład wektorów prędkości przepływu powietrza przy zastosowaniu zmodernizowanej obudowy



Rys. 11. Wykresy rozkładu temperatury korpusu silnika

pracy silnika wynosi 84,87°C. Dla pozostałych przewietrzników uzyskano gorsze wyniki. Spadek temperatury o 4,7°C uzyskany przy zastosowaniu przewietrznika IV nie zmienia faktu, że wzrost efektywności chłodzenia uzyskany w wyniku zmiany geometrii wentylatora jest niewielki. Dalszy wzrost efektywności chłodzenia może zostać osiągnięty poprzez modyfikację kąta natarcia łopatek przewietrznika IV lub wprowadzenie innych zmian konstrukcyjnych, zmierzających do ukierunkowania strugi przepływającego powietrza i zwiększenia prędkości przepływu wzdłuż korpusu silnika bez zmiany parametrów obrotu wentylatora. Jedną z takich zmian może być zwiększenie średnicy obudowy przewietrznika o 10 mm i wydłużenie jej przy jednoczesnym zwięźaniu w kierunku czoła korpusu. Zmianę tę ilustruje rys. 8.

Wprowadzona modyfikacja konstrukcji wywołała zmianę charakteru przepływu powietrza chłodzącego w stosunku do rozwiązania poprzedniego. Zmiany te ilustrują rysunki 9 i 10.

Taki przepływ spowodował obniżenie maksymalnej temperatury w 40 min pracy w stanie do 79°C, natomiast maksymal-

na temperatura na korpusie wynosi 78,4°C, a na powierzchni osłony 77,9°C.

Na rys. 11 przedstawiono wykresy rozkładu temperatury wzdłuż korpusu w 40 minucie pracy silnika dla wszystkich rozważanych rozwiązań. Widać, że w miarę wzrostu odległości od przewietrznika następuje dość szybki wzrost temperatury, co wskazuje na spadek efektywności chłodzenia silnika w miarę oddalania się od wentylatora. Najlepszą efektywność chłodzenia wskazuje wykres dla przewietrznika IV przy zmodyfikowanej obudowie (wykres narysowany kolorem czarnym).

Podsumowanie

Przeprowadzone symulacje numeryczne pozwoliły stwierdzić, że najczęściej stosowane w praktyce systemy chłodzenia silników elektrycznych charakteryzują się niewielką efektywnością i są wystarczające jedynie w przypadku krótkiej pracy silnika z pełną mocą lub dłuższej pracy przy niewielkim obciążeniu. Ponadto stosowany powszechnie w silnikach elek-

trycznych pierwszy typ wentylatora nie jest rozwiązaniem optymalnym. Efektywniejszym rozwiązaniem wydaje się być znacznie prostszy w budowie i lżejszy wariant czwarty wentylatora. Niezależnie jednak od konstrukcji samego przewietrznika, w celu zapewnienia efektywnego chłodzenia silników pracujących przez dłuższy czas z pełną mocą należy wymusić taki przepływ powietrza wzdłuż całego korpusu silnika, aby lepiej wykorzystać parametry przepływu powietrza uzyskane w wyniku wirowego obrotu przewietrznika i w efekcie osiągnąć efektywniejsze chłodzenie.

Wyniki przeprowadzonych analiz przepływu powietrza i rozkładu temperatury dla poszczególnych przewietrzników mogą być przydatne zarówno w diagnostyce silników elektrycznych, jak i projektowaniu układów chłodzących. Przybliżają też rzeczywisty stan pracy maszyny, co umożliwia optymalne jej użytkowanie, uwzględniające różnorodne rodzaje warunków pracy. Uzyskane wyniki analiz numerycznych zostaną wkrótce poddane wnikliwej weryfikacji doświadczalnej.

Literatura

- [1] BĘDKOWSKI B., MADEJ J.: *Możliwości metod 3D FEM i CFD w analizie systemów chłodzenia maszyn elektrycznych – część wstępna*. Zeszyty Problemowe „Maszyny Elektryczne” 3/2012, wyd. BOBRME Komel, s. 139–143.
- [2] BOGLIETTI A., CAVAGNINO A., STATON D., SHANEL M., MUELLER M., MEJUTO C.: *Evolution and Modern Approaches for Thermal Analysis of Electrical Machine*. IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 56, 3/2009, pp. 871–882.
- [3] DORRELL D.G., STATON D.A., HAHOUT J., HAWKINS D., MCGILP M.I.: *Linked Electromagnetic and Thermal Modeling of a Permanent Magnet Motor*. PEMD Servo Motor Thermal Analysis, 2006.
- [4] KRÓL E.: *Silniki z magnesami trwałymi oraz silniki indukcyjne – czynniki obniżające sprawność*. Zeszyty Problemowe „Maszyny Elektryczne” 80/2008, wyd. BOBRME Komel, s. 223–226.
- [5] SZCZYPIOR J., JAKUBOWSKI R.: *Obliczenia cieplne w bezrzeniowej maszynie dyskowej z magnesami trwałymi o chłodzeniu bezpośrednim*. Zeszyty Problemowe „Maszyny Elektryczne” 83/2009, wyd. BOBRME Komel, s. 59–66.

Jerzy Madej, dr hab. inż. jest zatrudniony na stanowisku profesora na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej. Kieruje Zakładem Wytrzymałości Materiałów i Maszyn Przepływowych w Katedrze Podstaw Budowy Maszyn. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z wytrzymałością materiałów konstrukcyjnych, mechaniką uszkodzeń i metodami diagnozowania uszkodzeń w materiałach i elementach maszyn oraz metodami obliczeniowymi MES. e-mail: juma@ath.bielsko.pl

Bartłomiej Będkowski mgr inż. mechanik, zatrudniony na stanowisku konstruktora w Instytucie o nazwie Branżowy Ośrodek Badawczo Rozwojowy-Maszyn Elektrycznych „KOMEL”. Zajmuje się projektowaniem i konstrukcją maszyn elektrycznych, w tym z magnesami trwałymi. e-mail: b.bedkowski@komel.katowice.pl

artykuł recenzowany

reklama