

Inż. Bartosz MOCZULAK

DOI: 10.17814/mechanik.2015.7.273

Dr inż. Wojciech MIĄSKOWSKI

Dr inż. Krzysztof NALEPA

Dr inż. Paweł PIETKIEWICZ

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski Olsztynie

ANALIZA KONCEPCYJNA SYMULATORA MIKROTURBINY ENERGETYCZNEJ

Streszczenie: W artykule przedstawiono tok postępowania podczas opracowywania symulatora mikroturbiny energetycznej przeznaczonego do testowania systemów łożyskowania opartych o szybkoobrotowe łożyska ślizgowe z elastyczną panwią. Systemy łożyskowania budowane w ramach projektu POIG pt. „Wykorzystanie materiałów i konstrukcji inteligentnych do opracowania koncepcji i wykonania innowacyjnego systemu łożyskowania wirników mikroturbin energetycznych” dedykowane są do maszyn szybkoobrotowych, a w szczególności mikroturbin energetycznych zasilanych czynnikiem niskowrzącym.

CONCEPTUAL ANALYSIS OF POWER MICROTURBINE SIMULATOR

Abstract: The article presents the course of action in the development of the power microturbine simulator dedicated to test bearing systems based on high-rotating flexible-sleeve slide bearings. Bearing systems constructed within the POIG project entitled “Using intelligent materials and structures to develop and implement the concept of the innovative bearing system in power microturbine rotors” are dedicated for high-rotating machines in particular low-boiling-factor-supplied power microturbines.

Słowa kluczowe: łożysko foliowe, mikroturbina, analiza koncepcyjna
Keywords: foil bearing, micro-turbine, conceptual analysis

1. WPROWADZENIE

Celem projektu jest opracowanie materiałów, konstrukcji i technologii wytwarzania systemu łożyskowania szybkoobrotowych maszyn wirnikowych, a w szczególności mikroturbin energetycznych, opartego o łożyska foliowe, przy jednoczesnym odzyskiwaniu części energii traconej podczas pracy urządzeń wydzielających ciepło. Mikroturbina energetyczna wykorzystuje jako medium robocze organiczną ciecz o niskiej temperaturze wrzenia, tzw. ciecz niskowrzącą. Mikroturbina nazywana jest również mikroturbiną ORC – pracującą w obiegu Rankina (ORC – Organic Rankine Cycle). Badanie łożysk i systemów łożyskowania przeznaczonych do pracy w tego typu środowisku powinno odbywać się w warunkach zbliżonych do rzeczywistych warunków pracy (Miąskowski i inni 2010).

2. ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE

Główne kierunki badań dotyczące łożyskowania maszyn skupiały się dotychczas na badaniu najczęściej stosowanych łożysk w budowie maszyn. Coraz częściej zachodzi potrzeba stosowania dedykowanych systemów łożyskowania oraz analizy, rozwijania i weryfikowania mniejszych szybkoobrotowych łożysk o średnicach rzędu kilku milimetrów i prędkościach obrotowych dochodzących do 100 000 obr/min. Takie systemy łożyskowania mogą znaleźć zastosowanie np. w budowie mikroturbin energetycznych [Breńkacz, Miąskowski 2009].

Do rzetelnej oceny pracy łożysk niezbędne jest ich obiektywne porównanie. Do analizy oraz porównania parametrów łożysk szybkoobrotowych niezbędne jest odpowiednie stanowisko laboratoryjne. Ma ono umożliwiać badanie i porównywanie różnego rodzaju łożysk oraz systemów łożyskowania wirników szybkoobrotowych opartych np. o łożyska foliowe, ślizgowe, magnetyczne (Miąskowski i inni 2010).

Możliwości konstrukcyjne projektowanego stanowiska uzależnione są od skonkretyzowanych założeń. Do najważniejszych parametrów technicznych stanowiska należą:

- prędkość obrotowa do 100 000 obr/min,
- wał łożyskowany w łożyskach o niezmiennym położeniu,
- średnica osadzenia łożyska foliowego 20 mm,
- temperatura robocza w komorze do 250°C, z możliwością ogrzewania i chłodzenia,
- ciśnienie czynnika niskowrzącego – do 10 barów,
- obciążenie poprzeczne łożyska będzie realizowane przez wprowadzenie niewyważenia na tarczy rotora.

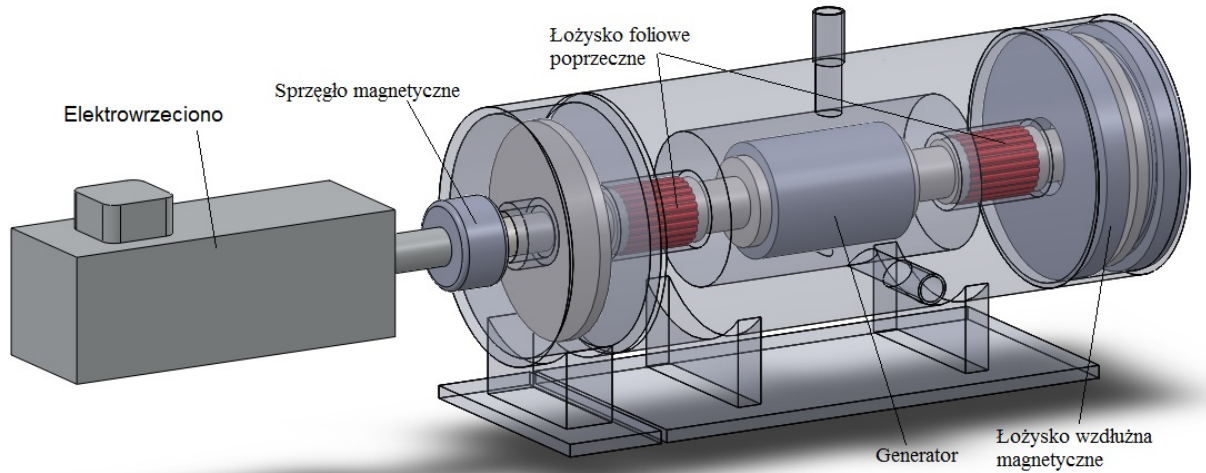
Prędkość obrotowa realizowana będzie przez elektrowrzeciono, którego maksymalna prędkość obrotowa wynosi 105 000 obr/min. Elektrowrzeciono zastępuje układ zasilania mikroturbiny energetycznej. Takie rozwiązanie pozwoli uniknąć budowania całego układu wytwarzania pary czynnika roboczego do zasilania mikroturbiny energetycznej. Medium robocze doprowadzone będzie w postaci ciekłej oraz w postaci pary o maksymalnej temperaturze około 250°C, jest to temperatura pary zasilającej tego typu turbiny. Obudowa, wyposażona w układ odsysania nadmiaru czynnika niskowrzącego w komorach, powinna być łączona w sposób umożliwiający wymianę poszczególnych elementów mikroturbiny, tj. wirnika, łożysk, zmianę niewyważenia tarczy rotora itd.

W trakcie badań pomiary będą obejmować następujące wielkości:

- temperatura,
- prędkość obrotowa wału,
- położenie wału,
- moment przenoszony przez łożysko,
- przemieszczenie poprzeczne łożyska.

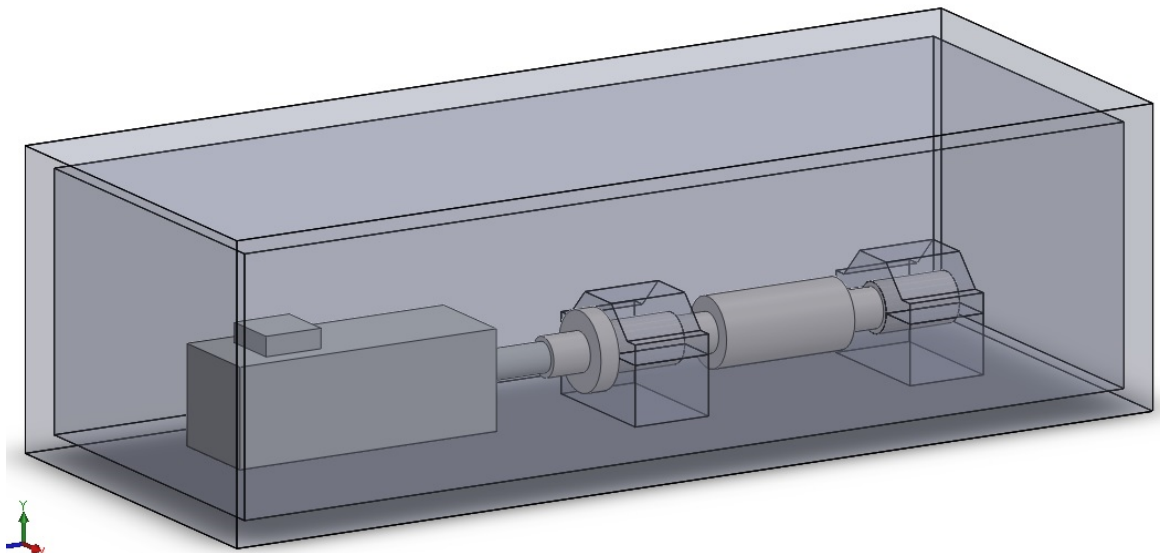
3. KONCEPCJE STANOWISKA

Na podstawie założeń do projektu zaproponowano kilka koncepcji stanowiska. Z uwagi na możliwy szkodliwy charakter medium roboczego przepływającego z temperaturą około 250°C przyjęto hermetyczną budowę stanowiska, uniemożliwiającą swobodny wpływ czynnika niskowrzącego do środowiska (rys. 1).



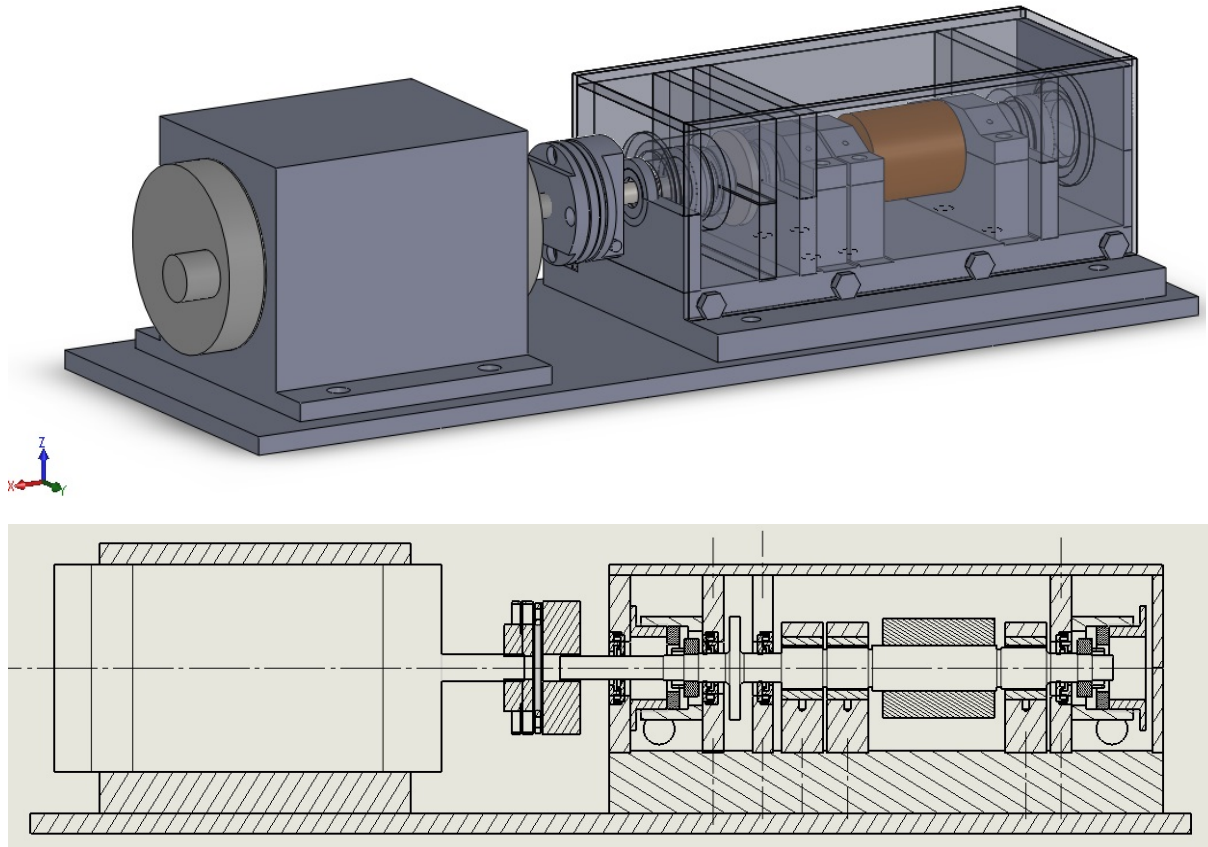
Rys. 1. Konceptcja hermetycznej budowy stanowiska

Koncepcję tę odrzucono z uwagi na docelowe zastosowanie w stanowisku materiałów termoelektrycznych, dzięki którym odzyskiwane będzie ciepło. Zastosowanie materiałów termoelektrycznych wymaga przygotowania płaskich ścian obudowy.



Rys. 2. II koncepcja stanowiska

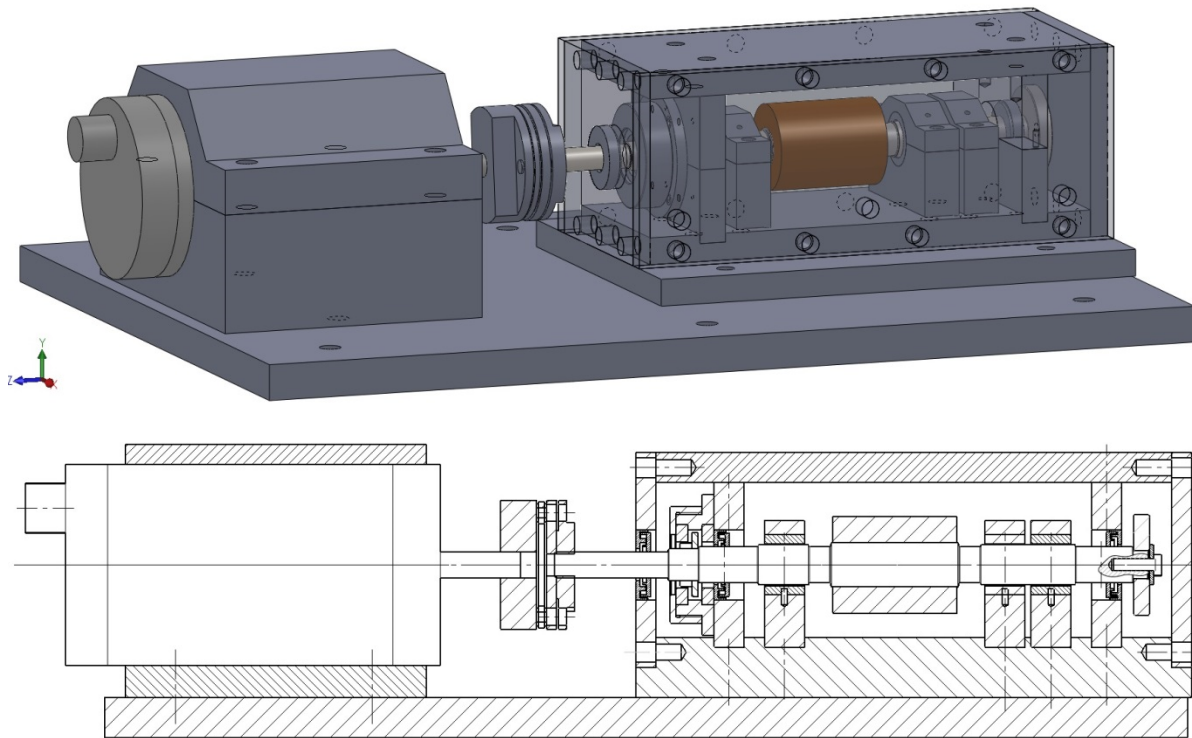
W II koncepcji (rys. 2) w sposób uproszczony i schematyczny przedstawiono zarys stanowiska oraz sposób ułożyskowania wirnika mikro-turbiny. Do osadzenia wirnika na łożyskach foliowych wykorzystano dzielone oprawy łożyskowe, dzięki którym możliwa będzie wymiana poszczególnych podzespołów układu łożyskowania. Czynniki robocze doprowadzane do komory łożyskowej będą wchodzić w reakcję chemiczną z elektrowrzecionem, dlatego zdecydowano przenieść elektrowrzeciono poza komorę stanowiska.



Rys. 3. III koncepcja stanowiska

W koncepcji przedstawionej na rysunku 3 uwzględniono podwójny blok łożyskujący wykorzystujący poprzeczne łożyska foliowe znajdujące się przy tarczy wirnika, łożyskowanie wzdłużne wirnika z wykorzystaniem łożysk magnetycznych, sprzęgło płytkowe przystosowane do prędkości obrotowej 100 000 obr/min. Konstrukcję osłonę wirnika podzielono na cztery komory, z których odsysany będzie nadmiar czynnika niskowrzącego w postaci cieczy lub pary. Tarcza do wymuszeń poddawana byłaby niewyrównowazeniu poprzez nawiercanie otworów na jej obwodzie lub obciążana poprzecznie poprzez elektromagnesy. Jednak z takim usytuowaniem tarczy wirnika i łożysk magnetycznych osiowych wiążą się komplikacje związane z technologicznością wirnika oraz niestabilnością pola magnetycznego łożysk magnetycznych w wysokich temperaturach.

Analizując wcześniejsze koncepcje pod kątem technologiczności, możliwości badania układu w różnych konfiguracjach, łatwości montażu stanowiska, zaproponowano budowę symulatora przedstawioną na rys. 4. Zastosowano podwójne łożysko magnetyczne osiowe umieszczone od strony elektrowrzeciona. Zdecydowano się na połączenie rozłączne tarczy wirnika do czoła wału. Komora, w której znajduje się tarcza, będzie zasilana czynnikiem niskowrzącym w postaci pary o temperaturze roboczej turbiny. Poprzez nieszczelności wynikające z zastosowania uszczelnienia labiryntowego między poszczególnymi komorami badany będzie wpływ przepływającego czynnika niskowrzącego na stabilność działania poprzecznych łożysk foliowych. Cała obudowa mikroturbiny oklejona zostanie materiałami termoelektrycznymi w celu odzyskania części energii traconej podczas pracy urządzeń wydzielających ciepło.

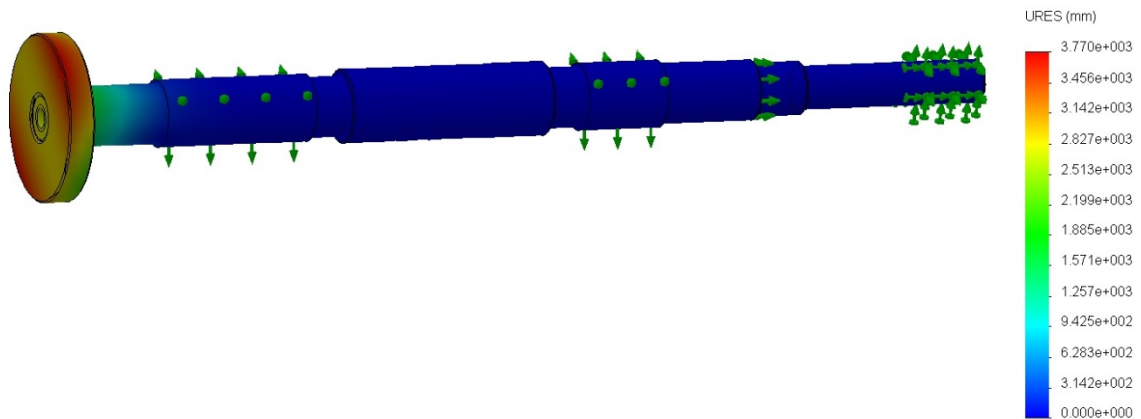


Rys. 4. IV koncepcja

4. BADANIA SYMULACYJNE

Analizę modalną przeprowadzono dla wirnika mikroturbiny (rys. 5) i dla obudowy stanowiska (rys. 6). W celu uproszczenia modelu pominięto łączniki (śruby, podkładki). Model MES wirnika i obudowy wykonano w systemie SolidWorks.

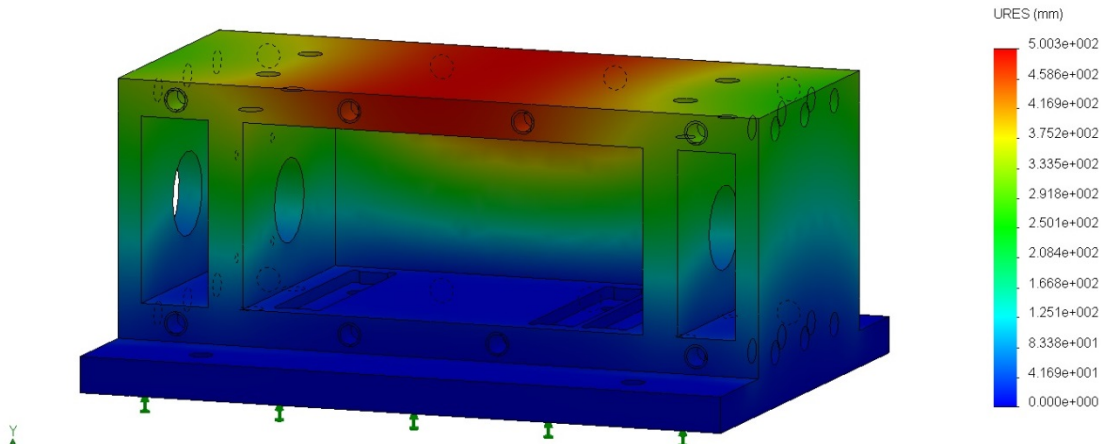
Nazwa modelu: Złożenie1
 Nazwa badania: Badanie 1
 Typ wykresu: Częstotliwość Przemieszczenie1
 Postać drgań: 1 Wartość = 2799.3 Hz



Rys. 5. Analiza modalna wirnika mikroturbiny

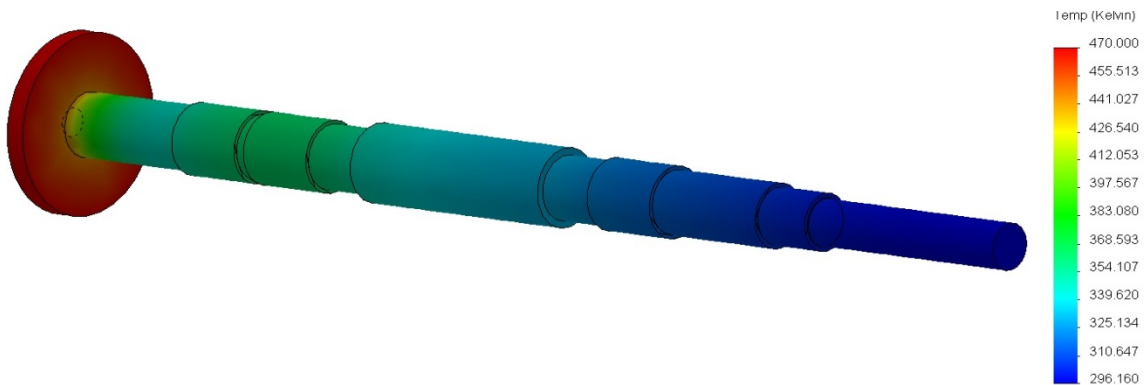
Dla wirnika odebrano wszystkie stopnie swobody w miejscu jego połączenia ze sprzęgłem i elektowrzecionem. Podpory łożysk foliowych zamodelowano podparciem ścian cylindrycznych z możliwością przesunięcia promieniowego o 0,1 mm. Brak możliwości przesunięcia osiowego przyjęto w miejscu osadzenia wzdłużnego łożyska magnetycznego. Pierwsza częstość drgań własnych wirnika wynosi 2799 Hz.

Nazwa modelu: Zlozenie_termiczne
 Nazwa badania: Badanie 2
 Typ wykresu: Częstośćiwość Przemieszczenie1
 Postać drgań: 1 Wartość = 2951.1 Hz



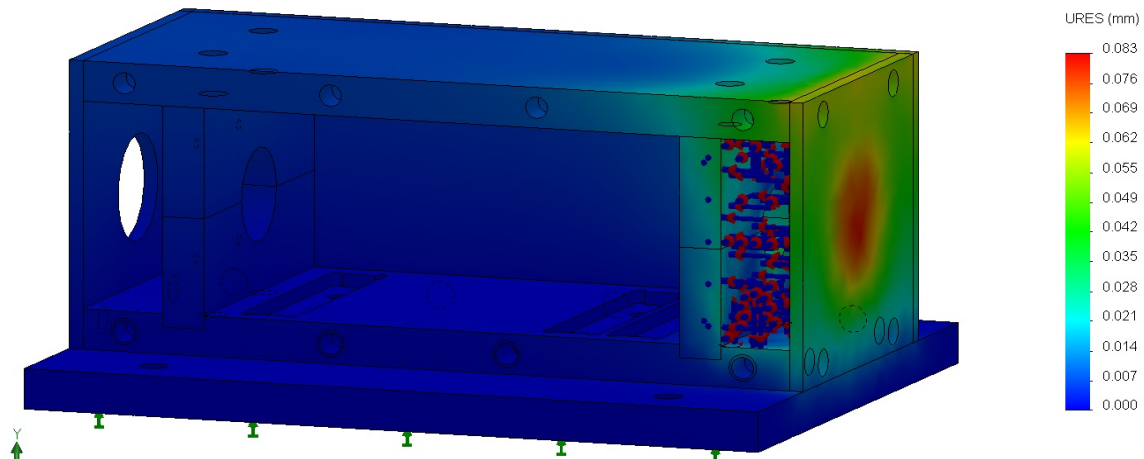
Rys. 6. Analiza modalna obudowy stanowiska

Obudowę podparto w miejscu styku z płytą stołu. Pierwsza częstość drgań własnych obudowy wynosi 2951 Hz. Uwzględniono globalny kontakt komponentów. Uproszczoną analizę termiczną przeprowadzono jak w poprzednim przypadku dla jednej konfiguracji wirnika i obudowy stanowiska.



Rys. 7. Rozkład temperatur dla wirnika

Nazwa modelu: Złożenie_termiczne
 Nazwa badania: Badanie 1
 Typ wykresu : Statyczne przemieszczenie Przemieszczenie1
 Skala deformacji: 1



Rys. 8. Rozkład temperatur dla obudowy stanowiska

Do analizy statycznej wirnika przyjęto działanie temperatury na tarczę wirnika. Dla obudowy przyjęto temperaturę 250°C i ciśnienie 1 MPa przyłożone do ścian znajdujących się w komorze tarczy wirnika. Rozkład temperatur przyjmuje założoną formę. Analiza termiczna obudowy miała na celu oszacowanie odkształceń i dobór odpowiedniego uszczelnienia statycznego do połączeń spoczynkowych między płytami obudowy stanowiska.

5. PODSUMOWANIE

Symulator mikroturbiny z wałem podpartym na poprzecznych łożyskach foliowych pracujących w środowisku czynnika niskowrzącego projektowany był pod kątem optymalizacji czasu wymiany poszczególnych elementów układu (elementów nośnych łożyska foliowego, sztywnych tulei łożyskowych, tarczy wirnika, zmiany wielkości niewyważenia), uwzględniając również pokrycie zewnętrznej strony obudowy materiałami termoelektrycznymi. Z poszczególnych komór stanowiska odprowadzany będzie nadmiar oparów czynnika niskowrzącego i skroplin.

Przedstawione prace zostały wykonane w ramach realizacji projektu *Wykorzystanie materiałów i konstrukcji inteligentnych do opracowania koncepcji i wykonania innowacyjnego systemu łożyskowania wirników mikroturbin energetycznych.*

LITERATURA

- [1] Breńkacz Ł., Miąskowski W.: *Stanowisko do badania systemów łożyskowania wirników szybkoobrotowych*, XIII Międzynarodowa Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji – Materiały Konferencyjne s. 43-54, Warszawa, 2009.
- [2] Miąskowski W., Nalepa K., Pietkiewicz P., Breńkacz Ł.: *Koncepcja budowy stanowiska do badania łożysk szybkoobrotowych*, Opracowanie wewnętrzne, nr arch. 002/B/LOZ/2010, Olsztyn, 2010.
- [3] Miąskowski W., Nalepa K., Pietkiewicz P.: *Dobór aparatury pomiarowej modułowego stanowiska do badania łożysk szybkoobrotowych*, Opracowanie wewnętrzne, nr arch. 010/B/LOZ/2010, Olsztyn, 2010.
- [4] Miąskowski W., Nalepa K., Pietkiewicz P., Kiciński J., Wilamowska-Korsak M.: *Przegląd i analiza konstrukcji oraz materiałów wykorzystywanych w łożyskach wysokoobrotowych* (POIG.01.03.01-00-027/08), UWM, Arch. 001/B/LOZ/2010, Olsztyn, 2010.