

Streszczenie

Numeryczne i eksperymentalne badania turbiny Tesli w celu doboru jej geometrii

Jednym z największych problemów energetyki jest zapewnienie ciągłości dostaw energii elektrycznej. Z uwagi na rosnące zapotrzebowanie energetyczne oraz limity emisji, jednym z proponowanych rozwiązań jest zastosowanie systemów kogeneracji rozproszonej zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie odbiorcy. Kluczowym elementem takiego układu jest ekspander. Turbina Tesli ze względu na swoją specyfikę, może być tanią alternatywą dla obecnie stosowanych ekspanderów.

Badania przedstawione w rozprawie doktorskiej dotyczyły doboru cech geometrycznych bezłopatkowej turbiny Tesli w celu maksymalizacji jej osiągnięć. Cel ten został zrealizowany przy wykorzystaniu metod numerycznych, analitycznych oraz badań eksperymentalnych. Badania prowadzone na małym prototypie turbiny o średnicy wirnika 73mm i 5 dyskach pozwoliły na wstępne oszacowanie potencjału turbiny. Badania eksperymentalne wykonane na stanowisku zasilanym sprężonym powietrzem pozwoliły na wyznaczenie charakterystyk mocy oraz sprawności, które posłużyły do walidacji modelu numerycznego. Maksymalna moc turbiny wynosiła 81.9W, a jej sprawność 10.8%. Model numeryczny wykonany przy użyciu pakietu ANSYS CFX charakteryzował się wysokim stopniem złożoności. Wieloetapowa analiza zarówno doboru obszaru obliczeniowego, jak i siatki numerycznej wskazała na krytyczne miejsca w geometrii modelu, w których konieczna była bardziej dokładna dyskretyzacja jak i obszary istotne dla zapewnienia stabilnego procesu rozwiązywania. Wykonano jakościową i ilościową analizę wpływu modeli turbulencji na otrzymane rezultaty i przeprowadzono walidację modeli na danych eksperymentalnych. Porównanie osiągnięć turbiny przewidzianych z analizy numerycznej oraz otrzymanych z eksperymentu wykazało dobrą zgodność.

Doświadczenie zebrane z pierwszego etapu badań posłużyło do zaprojektowania i wykonania nowego modelu turbiny z 5 dyskami o średnicy 160mm. W ramach pracy wykonano nowe stanowisko pomiarowe działające w warunkach zasilania powietrzem atmosferycznym i podciśnienia na wylocie. System pomiarowy został stworzony w oparciu o oprogramowanie LabView i umożliwiał zapis najważniejszych parametrów pracy turbiny, w tym mocy, strumienia czynnika roboczego, temperatur oraz ciśnień statycznych w różnych elementach turbiny. Proces projektowy turbiny wykorzystywał zarówno metody analityczne jak i numeryczne. Wykonana turbina w konfiguracji referencyjnej posiadała 4 zbieżne dysze o wysokości przekroju minimalnego 2.85mm i była zasilana w sposób ciągły powietrzem. Jej elastyczna konstrukcja umożliwiała przeprowadzenie badań przy różnej konfiguracji wirnika oraz dysz. Nowy model numeryczny został ulepszony poprzez uwzględnienie w schemacie numerycznym modelu uwzględniającego przejście laminarno-turbulentne. Maksymalna moc wyznaczona eksperymentalnie dla stosunku ciśnień 1.88 wynosiła 126W, zaś maksymalna sprawność była niezależna od stosunku ciśnień i wyniosła 8.3%. Różnice względne w predykcji mocy między analizą numeryczną a eksperymentem wynosiły średnio 10%, cechując się idealną dokładnością dla prędkości obrotowej poniżej 10 000 obr/min. Wyniki otrzymane z modeli analitycznych dostępnych w literaturze zostały zestawione z wynikami uzyskanymi z analiz numerycznych. Porównanie wykazało dobrą zgodność rozkładów ciśnienia i prędkości obwodowej w wirniku w modelach uwzględniających ściśliwość czynnika.

Optymalizacja turbiny wykonana została przy użyciu metamodelu opartego o metodę Kriging. Funkcją celu była sprawność turbiny, zaś zmiennymi optymalizowanymi były: kąt dysz, przekrój minimalny dysz, szerokość szczeliny między dyskami wirnika, prędkość wirowania oraz stosunek ciśnień. Analiza statystyczna potwierdziła wcześniejszy wniosek, że stosunek ciśnień nie wpływa na maksymalną sprawność, stąd też w drugim etapie optymalizacji pominięto ten parametr. Największa sprawność dla jednej szczeliny wyniosła 35%, dla całego modelu numerycznego turbiny niecałe 17%, zaś pomiar eksperymentalny wykazał 13.8%.

Wnioski płynące z przeprowadzonych badań pozwoliły na określenie krytycznych węzłów konstrukcyjnych turbiny Tesli, a także pozwoliły na sformułowanie ogólnych wytycznych dotyczących sposobów poprawy jej sprawności.