

Biorąc pod uwagę kryteria ekonomiczne jak i ekologiczne, podnoszenie sprawności silników cieplnych, w tym współczesnych silników lotniczych jak i gazowych turbin energetycznych jest priorytetowym zadaniem współczesnych inżynierów. Tego typu silniki składają się ze sprężarki, komory spalania, w której sprężone powietrze miesza się z paliwem i jest spalane oraz z turbiny, w której następuje ekspansja gorących gazów. Jednym z podstawowych sposobów zwiększania sprawności jest w tym przypadku podnoszenie temperatury na wlocie do turbiny. Obecnie temperatura ta osiąga nawet ponad 1200°C. Co za tym idzie konieczne jest stosowanie wyrafinowanych technik chłodzenia łopatek turbiny oraz stosowanie odpowiednich materiałów. Łopatki turbiny są chłodzone powietrzem ze sprężarki, a ich budowa zapewnia przepływ powietrza przez wewnętrzne kanały chłodzące jak i przez otwory, które wydmuchują powietrze na zewnętrzną powierzchnię łopatki zapewniając jej chłodzenie. Kanały chłodzące powinny być zaprojektowane w taki sposób aby zapewnić odpowiednie chłodzenie całej powierzchni łopatki przy jednoczesnym zminimalizowaniu strumienia chłodzącego. Stąd należy się do intensyfikacji wymiany ciepła pomiędzy czynnikami chłodzącym, a materiałem łopatki. W tym celu stosuje się dodatkowe elementy na powierzchni kanałów chłodzących, a sam kształt kanałów jest odpowiednio optymalizowany. Mimo to pojawiają się miejsca gdzie tradycyjne chłodzenie jest znacznie utrudnione, np. wierzchołek łopatki.

Przedstawiony projekt dotyczy badań mających na celu opracowanie oraz weryfikację nowej techniki chłodzenia opartej na wykorzystaniu zjawisk niestacjonarnych o wysokiej częstotliwości. Przykładem takiego zjawiska może być generacja oraz propagacja dźwięku. Obecnie badania obliczeniowe jak i eksperymentalne dotyczące dźwięku, w tym głównie hałasu są intensywnie rozwijane z uwagi na coraz bardziej restrykcyjne normy ochrony przed hałasem, np. w lotnictwie. Skupiają się one jednak głównie na poprawnym modelowaniu generacji oraz propagacji hałasu jak i sposobach jego redukcji.

Zaproponowane w niniejszym projekcie badania idą w innym kierunku i dotyczą wykorzystania mechanizmu generacji fali akustycznej w celu intensyfikacji wymiany ciepła. Potencjalnym miejscem aplikacji omawianego rozwiązania jest układ chłodzenia łopatki turbinowej. Zaproponowane badania mają jednak charakter podstawowy i w tym celu interdyscyplinarnym skupiają się na określeniu zależności pomiędzy mechanizmem generacji fali akustycznej, a procesem wymiany ciepła.

Jednym z rodzajów fali akustycznej może być przepływ powietrza przez odpowiednio ukształtowany kanał, w którym znajduje się pionowa szczelina. W takim przypadku źródłem dźwięku są pojawiające się wewnątrz szczeliny pulsacje ciśnienia o znacznej amplitudzie. Pulsacje te występują jednak wyłącznie dla określonego zakresu prędkości zależności od przyjętej geometrii szczeliny. Związane jest to ze zjawiskiem rezonansu, który powstaje na skutek interakcji pomiędzy falami ciśnienia generowanymi wewnątrz szczeliny, a wirami które powstają na skutek przepływu nad szczeliną. Zastosowanie tego typu rezonatora akustycznego w układzie przepływowym, np. w układzie chłodzącym łopatki turbinowej jest stosunkowo proste z uwagi na brak jakichkolwiek ruchomych elementów. Mimo to opracowanie odpowiedniej geometrii rezonatora wraz z określeniem jego wpływu na proces wymiany ciepła jest zadaniem niezwykle złożonym. Związane jest to z faktem, że w tym przypadku mamy do czynienia z dwoma procesami o całkowicie różnej częstotliwości, które muszą być analizowane jednocześnie. Problem ten dotyczy zarówno badań numerycznych jak i eksperymentalnych. Mimo to obecnie możliwe jest poprawne modelowanie numeryczne tego typu zjawisk. Nie mniej jednak uzyskane rezultaty powinny zostać zawsze zweryfikowane w oparciu o badania eksperymentalne.

Stąd należy planować przeprowadzenie badań dotyczących intensyfikacji wymiany ciepła na skutek oddziaływania fali akustycznej w trzech zasadniczych etapach obejmujących częściowo numeryczny, eksperymentalny oraz proces optymalizacji wraz z implementacją generatora fali akustycznej do układu chłodzenia łopatki turbinowej. Obliczenia numeryczne przeprowadzone będą przy wykorzystaniu komercyjnego kodu z zakresu Numerycznej Mechaniki Płynów Ansys-CFX. Planuje się przeprowadzenie obliczeń niestacjonarnych umożliwiających uchwycenie procesu generacji fali akustycznej dla dwuwymiarowego oraz trójwymiarowego modelu generatora akustycznego przy różnych warunkach przepływowych.

Stanowisko badawcze do badań eksperymentalnych będzie zaprojektowane w taki sposób aby umożliwić badania wpływu generacji fali akustycznej na proces wymiany ciepła w szczelinie dla szerokiego zakresu warunków cieplno-przepływowych oraz wybranych geometrii szczeliny. Planuje się zastosowanie elementu grzejącego na wybranych powierzchniach szczeliny jak i pomiar pola temperatury, prędkości oraz pomiar oscylacji ciśnienia dla szerokiego zakresu warunków przepływowych.

Ostatnim etapem badań będzie proces optymalizacji kształtu generatora akustycznego przy wykorzystaniu komercyjnego oprogramowania z zakresu numerycznej mechaniki płynów jak i własnego algorytmu optymalizacyjnego. Celem procesu optymalizacji będzie maksymalna intensyfikacja wymiany ciepła w rejonie aplikacji rezonatora akustycznego dla wybranych warunków przepływowych. Uzyskane w tym etapie rezultaty zostaną zweryfikowane w oparciu o kolejne badania eksperymentalne.

Zaproponowane badania stanowią nowe podejście mające na celu wykorzystanie zjawisk silnie niestacjonarnych w celu znaczącej poprawy warunków wymiany ciepła. Jest to innowacyjny element w przedstawionym projekcie. Uzyskane w ramach realizacji projektu wyniki mogą przyczynić się do ulepszenia obecnie stosowanych technik chłodzenia. Rezultaty badań mogą być wykorzystane w szerokim zakresie aplikacji, nie mniej jednak głównym przeznaczeniem, które zostało zaproponowane w ramach projektu jest układ chłodzący łopatek turbiny gazowej. Dotyczy to w szczególności chłodzenia wierzchołka łopatki oraz intensyfikacji wymiany ciepła poprzez zastosowanie nowej geometrii elementów w kanałach chłodzących łopatki turbinowej.