

Zastosowanie techniki numerycznej CFD do modernizacji stopni turbin parowych części NP w obrębie upustów regeneracyjnych

CFD technique applied for the modernisation of a steam turbine construction in the regenerative steam extraction area

Materiały z XX SKWPIE, Jurata 2016 r.
DOI: 10.17814/mechanik.2016.7.197

MARIUSZ SZYMANIAK *

W artykule przedstawiono sposób poprawy pracy stopnia turbinowego wraz z wymiennikiem regeneracyjnym poprzez wprowadzenie pierścienia zgarniającego parę z przecieku nad niebandażowaną łopatką wirnikową bezpośrednio do komory upustowej. Przedstawiono porównanie wyników obliczeń numerycznych dotyczących konstrukcji z zamontowanym pierścieniem i oryginalnej. Obliczenia numeryczne niezmodernizowanej konstrukcji zostały wykalibrowane na podstawie pomiarów wykonanych na rzeczywistym obiekcie pracującym w jednej z polskich elektrowni.

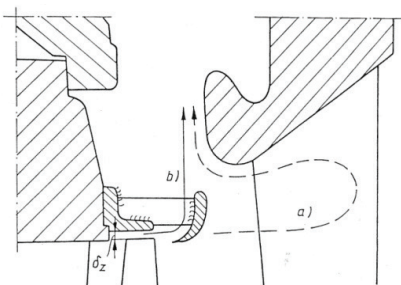
SŁOWA KLUCZOWE: modernizacja, stopnie turbinowe, upusty, przecieki

The article presents a methodology which has led to the improvement of turbine stage performance in the area of the regenerative steam extraction chamber by introducing a ring which collects the leakage flow from over unshrouded rotor blade tips and directs it to the extraction chamber. Comparison is made between the results obtained for the initial design (without a ring) and that with the mounted ring. The results obtained for the initial construction were calibrated on the data measured on a real turbine in a Polish power plant.

KEYWORDS: modernization, turbine stage, extraction point, leakage

W konstrukcji stopni turbinowych, ze względu na ruchomość elementów, konieczne jest utrzymanie szczelin nad łopatkami wirnikowymi. Strumień pary przepływającej przez szczeliny posiada wyższą energię w stosunku do strumienia głównego, inny ma też kierunek przepływu. Jest to powodem występowania w tej części kanału turbinowego strat, nieszczelności; para przecieku nie oddaje pracy w łopatkach wirnikowych, a dodatkowo wywołuje w przepływie niekorzystne dla sprawności procesy mieszania i intensywnych zawirowań. Sprawność obiegu turbiny pogarsza przy tym dodatkowo fakt, że para wypływająca ze szczeliny z dużą prędkością utrudnia odpływ czynnika do upustu regeneracyjnego. Te efekty stwierdzono w wyniku własnych badań przepływu pary w części NP turbiny 200 MW.

Na podstawie szczegółowych analiz tych zjawisk zaproponowano stosowne rozwiązanie nowego stopnia, a jego ideę pokazano na rys. 1 [1].



Rys. 1. Stopień turbiny parowej przed upustem, strzałkami zaznaczono przepływ pary przed a) i po b) wstawieniu pierścienia

Głównym celem rozwiązania było zmniejszenie strat i niedo-
godności związanych z przeciekiem przez szczelinę nadłopatkową. Zadanie realizuje się w ten sposób, że stopień turbiny posiada za palisadą wirnikową, na wysokości szczeliny nad łopatkami, pierścień kierujący parę przepływającą w przecieku do upustu regeneracyjnego. Jak pokazano na rys.1, pierścienie przymocowany jest za pomocą wsporników do tarczy kierowniczej. Strumień przecieku wpływa bezpośrednio do komory upustu.

Geometria i siatka obliczeniowa

Obliczenia numeryczne w celu wykazania przewagi modernizowanej konstrukcji nad oryginalną w obrębie upustu regeneracyjnego ograniczono do dyfuzora pomiędzy 3 i 4 stopniem części NP turbiny 200 MW. Te obliczenia przeprowadzono przy wykorzystaniu programu do obliczeń numerycznych Fluent [2]. Dane geometryczne pozyskano z dokumentacji technicznej, która znajduje się w archiwum Zakładu Turbin IMP PAN w Gdańsku.

Charakter zagadnienia obliczeniowego uzasadniał sprowadzenie trójwymiarowego zadania przepływu osiowosymetrycznego z zawirowaniem do modelu dwuwymiarowego. Uproszczenie to nie wpływa na jakość wyników, natomiast znacznie skraca czas obliczeń numerycznych na wykorzystywanych dla tego celu komputerach.

Do przeprowadzenia koniecznych porównań przygotowano dwa warianty geometryczne: bez uwzględnienia pierścienia oraz z pierścieniem separacyjnym.

Parametry termodynamiczne

Parametry termodynamiczne do obliczeń wygenerowano z protokołów pomiarowych z pomiarów przepływu pary w części niskoprężnej turbiny 13K-225 bloku nr 8 elektrowni Połaniec [3]. Ze wszystkich serii pomiarowych wybrano jako reprezentatywne pomiary nr 1 dla obciążenia 220 MW.

Pomiaru dokonano za pomocą sond w miejscu wprowadzenia pierścienia, co pozwalało określić rozkłady w funkcji wysokości kanału przepływowego takich parametrów pary, jak: ciśnienie statyczne i całkowite, prędkość całkowita oraz jej składowa osiowa, temperatura całkowita, kąty napływu i kąty wzniosu strug. Z tych wielkości określono drogą przeskalowania dane wlotu i wylotu do obliczeń numerycznych dyfuzora międzystopniowego.

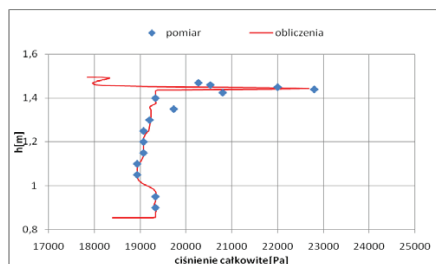
W obliczeniach porównawczych bez i z pierścieniem separacyjnym przyjmowano identyczne warunki brzegowe dotyczące przepływu pary. Parametry wlotu dyfuzora wzdłuż promienia za łopatką wirnikową trzeciego stopnia wynikały z określonych w pomiarach sondowania rozkładów ciśnień statycznych i całkowitych, temperatur, oraz kątów przepływu pary. Natomiast konieczne do obliczeń ciśnienie statyczne na wylocie z dyfuzora określono drogą kolejnych przybliżeń

* Dr inż. Mariusz Szymaniak (masz@imp.gda.pl) – Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szwalskiego, Polskiej Akademii Nauk

zmierzonego w strumieniu głównym masowego natężenia przepływu pary. To ciśnienie na wylocie z dyfuzora zmieniano wzdłuż wysokości łopatki przy uwzględnieniu równania równowagi promieniowej.

W rezultacie przeprowadzonych obliczeń dyfuzora międzystopniowego otrzymano zmianę ciśnienia w komorze upustowej, która wynika z usunięcia z przepływu głównego wypływającego z dużą prędkością przecieku ze szczeliny nad łopatką wirnikową. Energia tego przecieku, jak wiadomo, może być wykorzystana w pierwszym wymienniku regeneracyjnym.

Porównanie wartości obliczonych i pomierzonych składowych prędkości i ciśnienia uzyskanych w linii trawersowania sondy, w funkcji wysokości kanału przepływowego, potwierdziło poprawność przygotowanych warunków brzegowych na wlocie. Przedstawiono je na wykresie na rys. 2.



Rys. 2. Porównanie rozkładu ciśnienia całkowitego wzdłuż wysokości promienia otrzymanego z pomiarów na rzeczywistym obiekcie z danymi obliczonymi

Na wykresie widoczny jest bardzo duży wpływ przecieku pary nad łopatką wirnikową trzeciego stopnia na rozkład poszczególnych parametrów termodynamicznych w dyfuzorze. Daje to w konsekwencji nieprawidłowy napływ na łopatkę kierowniczą czwartego stopnia.

Wyniki obliczeń CFD

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń numerycznych przepływu pary otrzymano rozkłady parametrów w modelowanym obszarze obliczeniowym. Pierwsza seria obliczeń dotyczyła wariantu przepływu przez dyfuzor bez pierścienia. Zrealizowano ją dla warunków pomiaru nr 1, które były bliskie parametrom nominalnym: $N \sim 220$ MW; $G \sim 62,5$ kg/s [3].

Widać wyraźnie, że przepływ pary do upustu blokowany jest przez strumień przecieku wypływającego z łopatki wirnikowej trzeciego stopnia [4]. Potwierdzeniem takiego stanu rzeczy były osady soli na łopatkach kierowniczych ostatniego stopnia, które zaobserwowano podczas oględzin w rzeczywistej turbinie [5].

Główną funkcją, którą ma to rozwiązanie spełniać, jest skierowanie „jetu” z łopatki wirnikowej bezpośrednio do upustu dla zmniejszenia procesu erozji, która w ostatnim stopniu niszczy profile łopatek wirnikowych poniżej części zahartowanej. Ten niebezpieczny dla eksploatacji turbiny proces erozji wynikał z faktu, że strumień przecieku porywał i rozpylał na te profile zbierające się krople wody na wierzchołku łopatek wirnikowych przedostatniego stopnia.

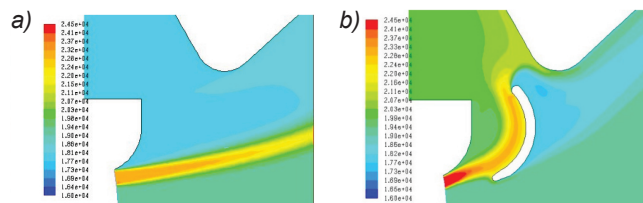
W przypadku wprowadzenia nowego rozwiązania w przygotowaniu geometrii trzeba było przewidzieć szereg różnych wariantów dla wyboru najkorzystniejszego położenia pierścienia. Z jednej strony pierścien powinien całkowicie eliminować z przepływu strumień przecieku, dla eliminacji zagrożenia erozyjnego. Z drugiej strony zaś powinien zapewnić jak największe ciśnienie w komorze upustowej, co jest w tym przypadku równoznaczne z osiągnięciem największej sprawności turbozespołu.

Przy prawidłowym ustawieniu pierścienia widać wyraźnie, że wyeliminowano skutecznie przeciek ze strumienia głównego. Ten przeciek prawidłowo wpływa do komory upustowej i w sposób dość płynny rozdziela się na dwa strumienie skierowane do wymiennika i z powrotem do przepływu w układzie łopatkowym. Widać też, że został zminimalizowany

śląd aerodynamiczny za pierścieniem i lepiej w stosunku do starej konstrukcji układu się przepływ na wlocie do czwartego stopnia.

Zanotowane prędkości w strumieniu głównym są zdecydowanie bardziej wyrównane. Zamontowanie pierścienia spowodowało wyhamowanie strumienia przecieku, korzystne ze względów erozyjnych dla krawędzi wlotu pierścienia i mocujących żeber. Widać to wyraźnie na porównaniu pól prędkości obu przypadków przed modernizacją i po modernizacji, rys. 3.

Dla wybranego ustawienia pierścienia zanotowano także wzrost ciśnienia w komorze upustowej o 2,5 kPa do wartości $p = 20,4$ kPa. Wzrost ten jest równoznaczny ze zwiększeniem temperatury pary upustowej o ponad 3 °C, przez co można bardziej efektywnie podgrzać wodę zasilającą w niedogrzanym pierwszym wymienniku regeneracyjnym [6, 7].



Rys. 3. Porównanie ciśnień całkowitych w konstrukcji przed modernizacją (a), po modernizacji (b)

Podsumowanie

Zaproponowane nowe rozwiązanie konstrukcji stopnia w obrębie upustu mieści się w dyfuzorze międzystopniowym i nie stwarza zagrożenia zatarcia w trakcie stanów rozruchu i zatrzymań. Dodatkowo rozwiązanie to zapewnia łatwy montaż elementów, które powinny być ustawione względem łopatek wirnikowych z dużą dokładnością. Optymalizacja położenia pierścienia w dyfuzorze, którą dokonano w oparciu o stosowne obliczenia i oględziny, wykazała, że z zastosowania patentu należy się spodziewać zysków mocy sięgających 400 kW. Wynikają one z dociążenia cieplnego wymiennika regeneracyjnego oraz poprawy sprawności przepływu pary przez układ łopatkowy. Przyjęte położenie pierścienia w dyfuzorze powinno zapewnić całkowite usunięcie z przepływu przecieku pary o wysokiej prędkości, który w starej konstrukcji unosił i rozpylał obecne w tej części krople wody na obszary sięgające niezahartowanych krawędzi wlotowych łopatek ostatniego stopnia i był powodem niebezpiecznych dla eksploatacji turbozespołu zniszczeń erozyjno-korozyjnych.

Dodatkowo należy zwrócić uwagę na niski koszt wykonania i montażu pierścieni separujących w porównaniu z innymi podobnie działającymi konstrukcjami, które wiążą się często w wymianą całego stopnia turbiny.

LITERATURA

- Gardzilewicz A., Marcinkowski S. „St.: Stopień turbiny, Patent P 160-805” Urząd Patentowy RP, Warszawa, 1993.
- <http://www.ansys.com>
- Marcinkowski S., Gardzilewicz A. „Protokoły i wyniki pomiarów przepływu w części NP. zmodernizowanej turbiny 13K-215 w Elektrowni Polaniec”, Oprac. nr 06/93, *Diagnostyka Maszyn*, Gdańsk, 1993.
- Szymaniak M. „Zastosowanie techniki numerycznej do obliczeń stopni turbin parowych z uwzględnieniem przecieków i upustów regeneracyjnych”. Rozprawa doktorska, Wyd. IMP PAN, Gdańsk, 2007.
- Marcinkowski S., Gardzilewicz A., Szymaniak M. „Oględziny i analiza zagrożenia erozyjnego wylotowych stopni turbiny 200 MW bl. 3 w EI. Koźienice”, Oprac. 06/08, *Diagnostyka Maszyn*, Gdańsk, 2008.
- Szymaniak M., Gardzilewicz A. „CFD Calculation of New LP Stage Before the Extraction Point in a 225 MW Turbine”, *The 16th International Conference on Fluid Flow Technologies*, Budapest, Hungary, September 1-4, 2015.
- Szymaniak M., Gardzilewicz A. „Wdrożenie nowego stopnia części NP turbiny 13K-225 na bloku nr 2 w Elektrowni Koźienice wg patentu IMP PAN P 160-805”, oprac. wew. IMP PAN nr 738/15.