

Ocena trwałości wybranych elementów turbin parowych o mocy 215 MW

Life assessment of 215 MW steam turbine components

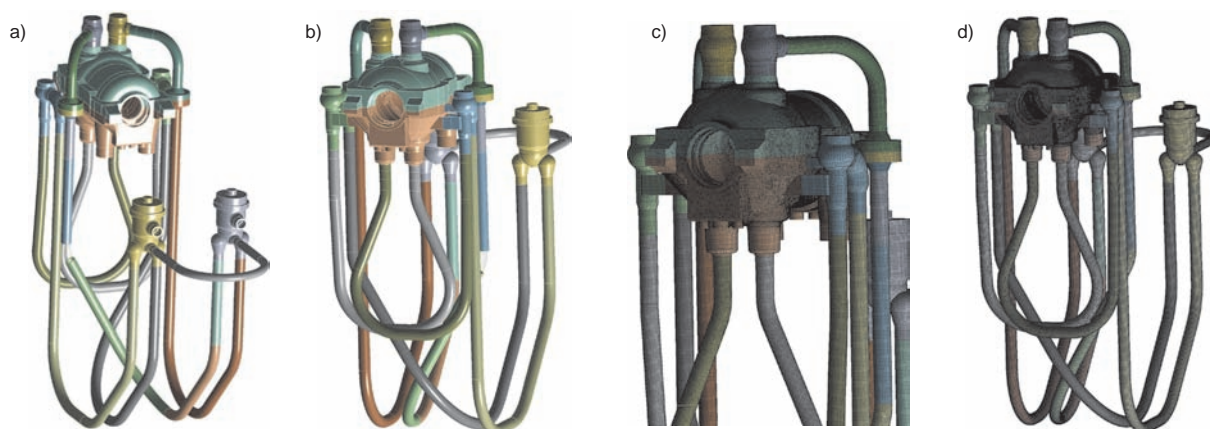
Turbiny parowe, ze względu na charakter swojej pracy są narażone na oddziaływanie pary o wysokich wartościach temperatury i ciśnienia. W wyniku działania przepływającego medium może dojść do uszkodzenia jej podzespołów. Mechanizm niszczenia może być różnorodny. Z jednej strony, podczas pracy nieustalanej, takiej jak rozruch lub wygaszanie bloku energetycznego, w wyniku zmian temperatury pary w czasie, w elementach grubościennych takich jak korpusy i zawory powstają lokalnie duże gradienty temperatury. Na skutek różnicy w rozszerzalności cieplnej materiałów dla różnych obszarów objętości tychże elementów pojawiają się koncentracje naprężeń, które mogą przekraczać wartości dopuszczalne, określone dla danego zakresu temperatury. Zatem może dojść w tych miejscach do uplastycznienia, a z czasem do powstania pęknięć i ich propagacji. Z drugiej zaś strony podczas pracy ustalonej, na skutek długotrwałego wpływu wysokiej temperatury i ciśnienia, występuje zjawisko pełzania wysokotemperaturowego. Dlatego też bardzo istotną kwestią jest ciągły monitoring tego typu maszyn. Jednym z elementów ich monitoringu jest określanie tzw. trwałości resztkowej, czyli przewidywanego czasu ich bezpiecznej pracy aż do przeprowadzenia ich remontu lub całkowitego wycofania z użytku. [2]

Analiza numeryczna

W celu przeprowadzania obliczeń numerycznych elementów części WP turbiny parowej o mocy 215 MW, w pierwszej kolejności opracowano ich geometryczny model bryłowy (rys.1a i b).

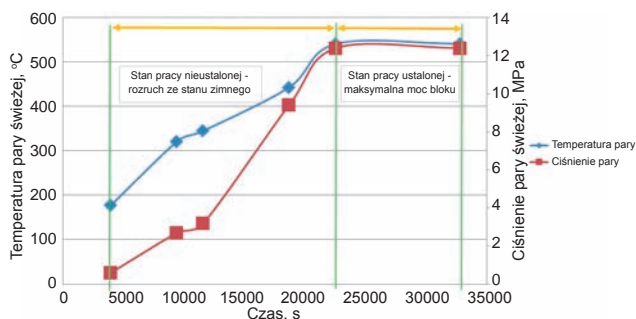
Tak opracowany model w następnej kolejności wykorzystano do wygenerowania modelu dyskretnego. W tym celu użyto elementów skończonych wyższego rzędu HEXA 20 oraz Tetra 10. Poszczególne elementy składowe turbiny, takie jak korpusy, zawory oraz rurociągi pośrednie, połączono ze sobą za pomocą metody wykorzystującej warunki połączenia elementów na powierzchniach ich rozdziału. Otrzymany w ten sposób model dyskretny został przedstawiony na rysunkach 1c i d [3].

W celu przeprowadzenia obliczeń numerycznych w następnej kolejności zdefiniowano warunki brzegowe do obliczeń termicznych i strukturalnych. Na podstawie rzeczywistych charakterystyk rozruchowych określono krzywe zmian temperatury i ciśnienia w czasie (rys. 2). Są one niezbędne do opisu w późniejszym etapie prac zjawiska przejmowania ciepła podczas rozruchu w wyniku konwekcji wymuszonej między parą a ściankami wewnętrznymi podzespołów tego urządzenia.



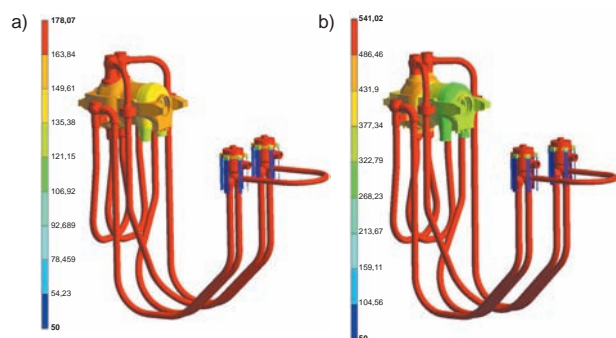
Rys. 1. Geometryczny i dyskretny model numeryczny części WP turbiny parowej o mocy 215 MW:

a) model geometryczny – widok od strony zaworów szybkozamykających, b) model geometryczny – widok od strony dolnych zaworów regulacyjnych, c) model dyskretny – widok w obszarze korpusu zewnętrznego, d) model dyskretny – całość maszyny



Rys. 2. Charakterystyki zmian temperatury i ciśnienia pary świeżej, przepływającej przez część WP turbiny parowej o mocy 215 MW, w funkcji czasu

Na obydwu wykresach na rysunku 2 odpowiednimi znacznikami zaznaczono 5 kroków czasowych, dla których zdefiniowano warunki analizy cieplnej dla procesu rozruchu ze stanu zimnego do osiągnięcia pełnej mocy przez turbinę. W tym celu określono odpowiednie współczynniki przejmowania ciepła dla różnych obszarów turbiny na podstawie zależności przedstawionych w pracy [4]. Przykładowe wyniki nieustalony i ustalonej analizy termicznej dla różnych kroków czasowych zostały przedstawione na rysunku 3.



Rys. 3. Rozkłady pola temperatury w °C na powierzchni elementów części WP turbiny parowej o mocy 215 MW dla wybranych kroków czasowych: a) stan nieustalony związany z rozruchem dla czasu $t = 3960$ s, b) stan ustalony po osiągnięciu przez turbinę pełnej mocy dla czasu $t = 89\ 640$ s

Na podstawie wyników obliczeń termicznych można zauważyć, że najszybciej nagrzewają się podzespoły o stosunkowo małej grubości ścian, takie jak rurociągi oraz króćce wlotowe i wylotowe zaworów. Duże gradienty temperatury wystąpiły między innymi w obszarach kontaktu między górnymi zaworami regulacyjnymi a górną pokrywą korpusu zewnętrznego części WP. Od chwili czasu równej 22500 s do końca analizy parametry pary ustabilizowały się i odpowiadały maksymalnej mocy bloku energetycznego. Od tego momentu turbina weszła w stan pracy ustalonej, a co za tym idzie, wartość temperatury metalu zaczęła się stabilizować w całej objętości obiektu.

Dla tych samych kroków czasowych co dla analizy termicznej przeprowadzono obliczenia wytrzymałościowe, w przypadku których obciążeniami, oprócz ciężaru własnego i ciśnienia pary, określonego dla danej chwili czasu, pod uwagę brany był również odpowiadający jej rozkład pola temperatury. W przypadku tego typu obciążenia cieplno-mechanicznego obiektu, napręż-

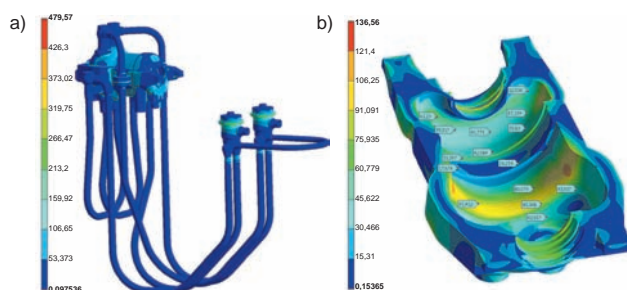
nia w elementach skończonych są określone poprzez następujący związek konstytutywny [5]:

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} - \alpha T \{D_T\} \quad (1)$$

gdzie:

$\{\sigma\}$ – macierz składowych tensora naprężenia,
 $[D]$ – macierz sprężystości.

Na rysunkach 4a i b przedstawiono przykładowe warstwy naprężeń zredukowanych dla wybranych chwil czasu obliczeń. Przeprowadzone badania numeryczne wykazały, iż koncentracje naprężeń wystąpiły głównie na powierzchniach wewnętrznych elementów grubościennych w miejscach zmian geometrii, czyli tzw. krawędziach geometrycznych.



Rys. 4. Warstwy naprężeń zredukowanych wg hipotezy Hubera-Misesa, w MPa, dla różnych chwil czasu: a) całość części WP turbiny parowej, dla czasu $t = 18\ 660$ s stanu nieustalonego, b) rozkład na powierzchni wewnętrznej i przekroju pokrywy dolnej korpusu zewnętrznego części WP dla stanu ustalonego po czasie $t = 89\ 640$ s

Otrzymane wartości naprężeń i odkształceń, wyznaczone dla stanu pracy nieustalony i ustalonej, zostały następnie wykorzystane do określenia trwałości resztkowej podzespołów turbiny parowej metodą liniowej kumulacji uszkodzeń wg Palmgren-Minera [3,6].

Określanie trwałości resztkowej elementów turbiny

Wyznaczone pola odkształceń elementów podczas stanów nieustalonych posłużyły do wyliczenia ubytku trwałości spowodowanego zmęczeniem niskocyklowym. Wartości naprężeń zredukowanych wg hipotezy Hubera-Misesa były z kolei wykorzystane dla określenia czasowej granicy pełzania w maksymalnej temperaturze pracy elementu w warunkach ustalonych [3,7].

Obliczono stopień całkowitego wyeksploatowania (będący superpozycją uszkodzeń spowodowanych zmęczeniem niskocyklowym i pełzaniem) elementów części WP turbiny 13K215; wyniki zestawiono w tabeli 1 [8].

Wyniki były o tyle zaskakujące, że silnie obciążone zawory szybkozamykające wykazały mniejszy stopień wyczerpania trwałości od korpusu zewnętrznego, pracującego w znacznie niższej temperaturze. Powodem tego jest m.in. znaczna różnica własności wytrzymałościowych materiałów konstrukcyjnych tych elementów (zawory szybkozamykające wykonane są ze staliwa L17HMF, zaś korpus zewnętrzny z L20HM) oraz ich cech geo-

metrycznych. Niskie własności wytrzymałościowe korpusu wewnętrznego stwierdzono w statycznej próbie rozciągania. Z kolei dobre własności mechaniczne (udarność, twardość) i mikrostruktura komór zaworów regulacyjnych (staliwo L21HMF) w połączeniu z niskim poziomem naprężeń roboczych podczas pracy ustalonej skutkują stosunkowo niskim ubytkiem trwałości zaworów regulacyjnych w porównaniu z pozostałymi elementami [9].

Tabela 1

Prognozowany resztkowy czas pracy analizowanych elementów

Element	Całkowity stopień wyeksploatowania Ec, %	Prognozowana dopuszczalna liczba godzin pracy, h
Komory zaworów odcinających WP	63	142 000
Komory zaworów regulacyjnych WP górnych	53	214 000
Komory zaworów regulacyjnych WP dolnych	55	198 000
Korpus WP zewnętrzny	67	119 000
Korpus WP wewnętrzny	66	124 000

Wnioski końcowe

Wyniki obliczeń MES, jak i ocena trwałości resztkowej wykonana na ich podstawie są cenną informacją dla użytkowników turbin na temat rozporządzalnego okresu ich bezpiecznej pracy. Analizy te w sposób ilościowy określają ramy czasowe użytkowania poszczególnych elementów maszyn, pozwalając z góry zaplanować wymianę tych najsilniej wyeksploatowanych. Do pełnej oceny trwałościowej niezbędne są jednakże badania nieniszczące i niszczące (wytrzymałościowe), które weryfikują trafność oceny opartej na symulacjach numerycznych.

- [1] Czmochocki J., Górski A., Iluk A.: Analiza wytrzymałościowa kotła wodnorurowego parowego OR-45. *Transport Przemysłowy* 2008, nr 2, s. 195-199.
- [2] Okrajni J.: Badanie zmęczenia ciepło-mechanicznego w ujęciu obowiązujących norm i jego komputerowe modelowanie. *Acta Mechanica et Automatica* 2009.
- [3] Rusiński E., Czmochocki J., Smolnicki T.: Zaawansowana metoda elementów skończonych w ustrojach nośnych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000.
- [4] Chmielniak T., Kosman G.: Obciążenia cieplne turbin parowych. WNT, Warszawa 1990.
- [5] Czmochocki J., Górski A., Smolnicki T.: Wybrane problemy z obliczeń wytrzymałościowych ekranów komory paleniskowej kotła rusztowego wodnorurowego. *Systems* 2004 vol. 9, s. 238-244.
- [6] Rusiński E., Górski A.: Modelowanie konstrukcji nośnych kotłów w *Elektrowni Turów. Energetyka* 1998, nr 2, s. 65-72.
- [7] Czmochocki J., Górski A., Paduchowicz M., Rusiński E.: Diagnostic method of measuring hanger rods tension forces in the suspension of the power boilers combustion chamber, *Journal of Vibroengineering* 2012, vol. 14, iss. 1, s. 129-134.
- [8] Paduchowicz M., Górski A., Czmochocki J., Rusiński E.: Numerical and experimental identification of fluid power boiler convection chamber vibration, *Journal of Vibroengineering* 2012, iss. 1, s. 151-156.
- [9] Marek A., Okrajni J.: Charakterystyka procesu zmęczenia korpusu głównego zaworu pary w bloku energetycznym. *Energetyka* 2011, nr 11, s. 715-750.



Tomasz Samborski, Andrzej Zbrowski
Instytut Technologii Eksploatacji-PIB, Radom

Badania wytrzymałości uchwytów kabli energetycznych

Strength tests of power suspension clamps

Sprawną dystrybucja energii elektrycznej zależy w głównej mierze od trwałości i niezawodności komponentów tworzących sieć energetyczną [1]. Końcowym elementem sieci odpowiedzialnym za dostarczanie energii do znacznej grupy użytkowników końcowych są napowietrzne linie przesyłowe niskiego napięcia. Podstawowymi elementami linii napowietrznej, narażonej na negatywne oddziaływanie czynników środowiskowych (temperatura, wiatr, szadź, zanieczyszczenia), są: przewody, konstrukcje wspor-

cze, izolatory oraz osprzęt liniowy. W celu zapewnienia odpowiedniej trwałości i niezawodności wyroby stosowane do budowy linii podlegają surowym warunkom badań, zgodnie z obowiązującymi przepisami i normami [2]. W zależności od przeznaczenia wyroby sprawdzane są przez uprawnione instytucje (np. Instytut Energetyki) z wykorzystaniem specjalizowanych urządzeń [3, 4] lub laboratoria bądź działy kontroli jakości producentów. Przykładem badań laboratoryjnych w obszarze wytrzymałości mechanicznej są