

OPTIMALIZACJA KONSTRUKCJI ZAWIROWYWACZA SPALIN KOTŁA ENERGETYCZNEGO POD KĄTEM POPRAWY JEGO TRWAŁOŚCI

OPTIMIZATION OF POWER UNIT GAS CYCLONE IN ORDER TO THE DURABILITY INCREASING

Kazimierz Malcher, Artur Górski, Wiktor Słomski, Michał Paduchowicz – Katedra Konstrukcji i Badań Maszyn, Politechnika Wroclawska

W artykule przedstawiono wyniki badań doświadczalnych oraz prac badawczych i obliczeń numerycznych ustroju nośnego zmodernizowanego zawirowywacza spalin kotła energetycznego. Konieczność realizacji tych prac została spowodowana silną degradacją istniejących zawirowywaczy (tzw. „nurników”) po 10. latach pracy. Ich dalsza eksploatacja zagrażała bezpieczeństwu działania całego bloku energetycznego. W ramach prac przeprowadzono szereg pomiarów geometrycznych oraz prac modelowych i obliczeń numerycznych niezbędnych do opracowania projektu technicznego nowego typu nurników, które oprócz eliminacji wszystkich negatywnych cech dotychczasowego rozwiązania uwidocznionych w trakcie eksploatacji oraz znacznego podniesienia ich trwałości, musiało umożliwić ich montaż na obiekcie, a w szczególności transport elementów przez okno wylazowe o średnicy 500 mm. Etapy rozwiązania tego problemu przedstawiają kolejne rozdziały artykułu.

It was indicated results of experimental research and numerical calculation of modernized gas cyclone load-carrying structure in the article. The cyclone's mechanical degradation after 10 years of operation was a reason of the modernization. His further exploitation would be a danger for the power unit operating. A lot of geometrical measurements, design modeling and FEM simulations were made. It was necessary to develop a technical design of a new plunger type. The new structure eliminates bad design solutions of the current plunger, which has been visible since his operation beginning. A new design solution increase mechanical durability of the construction additionally and improves transport opportunities by a manhole having a diameter about 500 mm. Steps to solve this problem are shown in the article's subsequent chapters.

Wstęp

Blok energetyczny można zaliczyć do stosunkowo złożonych technicznie obiektów, w których poszczególne elementy konstrukcyjne poddane są obciążeniom strukturalnym i cieplnym. Jednym z takich elementów jest zawirowywacz spalin potocznie nazywany nurnikiem, odpowiadający za separację lotnych cząstek materiału złoża kotła fluidalnego w procesie technologicznym spalania. Środowisko pracy nurnika jest bardzo trudne z punktu widzenia wytrzymałości konstrukcji – jest to temperatura sięgająca 900°C przy równoczesnym obciążeniu masą własną. Problem konieczności wymiany oryginalnego



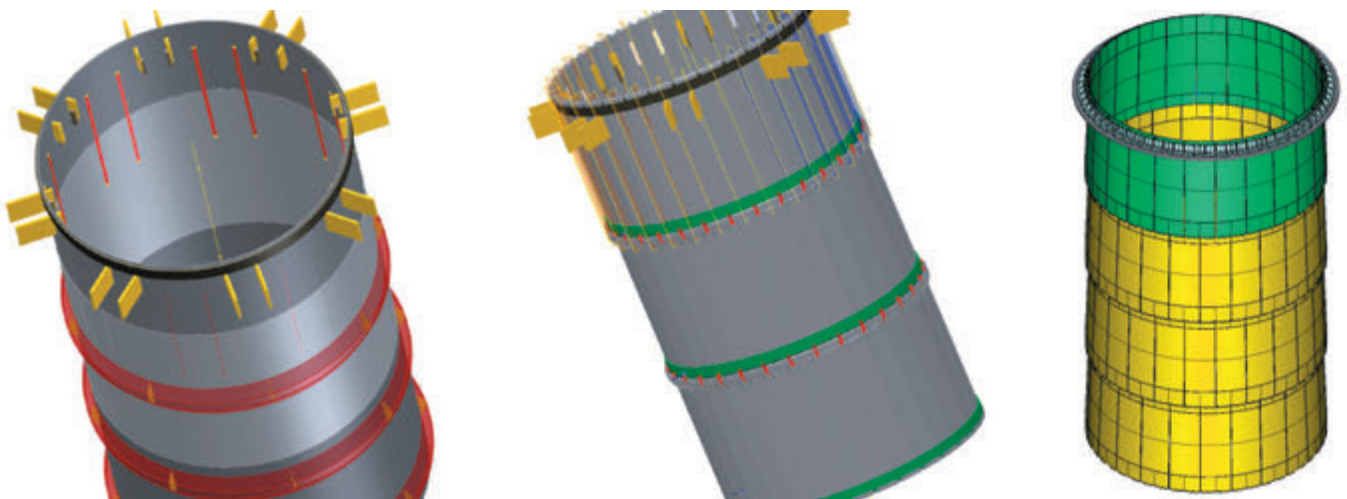
Rys. 1. Degradacja geometryczna nurnika bloku energetycznego

nurnika, zbudowanego jako lita rura o średnicy 2200 mm i wysokości 3700 mm wyniknął ze znacznej deformacji kształtu, która zagrażała dalszej pracy całego układu technologicznego bloku energetycznego. Pierwotny element osadzony na ośmiu ślizgowych podporach stałych zdeformowany po 10 latach eksploatacji pokazano na rysunku 1.

O ile, struktura geometryczna nurnika nie stanowi zaawansowanej technologii, o tyle sama wymiana na nową rodzi podstawowy problem logistyczny i montażowy. Nowa konstrukcja powinna zostać przetransportowana do wnętrza bloku energetycznego przez okno wylazowe o średnicy 500 mm, w przeciwnym razie konieczne będzie częściowe zdemontowanie ścian i stropu kotła. Takie ograniczenie spowodowało konieczność opracowania zupełnie nowej konstrukcji, której przygotowanie wymagało przeprowadzenia w szerokim zakresie prac pomiarowo-badawczych.

Koncepcja nowego typu nurnika

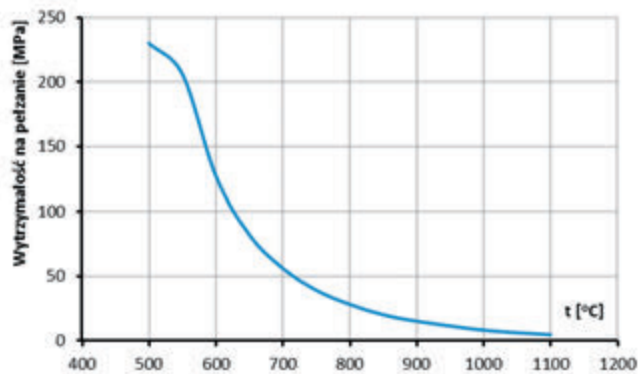
Podjęcie zadania opracowania nowej konstrukcji nośnej nurnika dla wymagań geometrycznych wynikających z transportu nowej konstrukcji przez okno wylazowe wymagało zupełnie innego spojrzenia na analizowany obiekt. Do prac projektowych przygotowano kilka wariantów koncepcyjnych nowego rozwiązania. Koncepcje te opierają się nie tylko na wymaganiach geometrycznych ale także ekonomicznych, wynikających z późniejszych kosztów montażu i eksploatacji (prac remontowych). Na rysunku 2 przedstawiono wizualizację trzech wariantów geometrycznych proponowanego rozwiązania technicznego.



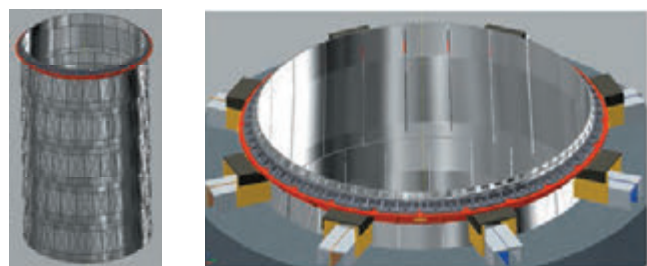
Rys. 2. Różne koncepcje budowy nowego typu nurnika

Koncepcje nowej geometrii zakładają oprócz wymagań geometrycznych, również zastosowanie specjalnej stali odpornej na bardzo wymagające środowisko pracy zarówno z punktu widzenia na temperaturę ale również ze względu na dużą erozję mechaniczną. Z tego powodu zakładanym materiałem do zastosowania było staliwo LH26N13W (353MA). Jego właściwości mechaniczne, a w szczególności wytrzymałość na pełzanie po długim czasie eksploatacji (10 000h) w przypadku konstrukcji nurnika ma zasadnicze znaczenie w procesie doboru postaci geometrycznej [1, 4]. Na rysunku 3 przedstawiono przebieg zmiany wytrzymałości na pełzanie staliwo LH26N13W w zależności od temperatury. Jako założenie projektowe przyjęto [3], że w przypadku ustroju nośnego zawirowywacza spalin dopuszczalne naprężenia zredukowane w całym ustroju nie mogą przekroczyć 7 MPa przy współczynniku bezpieczeństwa 2. Takie założenie zmusiło do przeprowadzenia wnikliwej i szczegółowej analizy wytrzymałościowej projektowanego obiektu. Wykorzystano do tego celu numeryczne metody obliczeniowe oparte na metodzie elementów skończonych. Etap obliczeniowy podzielono na fazę przygotowawczą oraz fazę wniosków i propozycji optymalizacji kształtu pod względem warunków wytrzymałościowych jak i technologicznych wykonania nowego typu nurników.

Biorąc pod uwagę uwarunkowania techniczno-ekonomiczne do dalszych prac została wybrana koncepcja układu pierście-



Rys. 3. Wytrzymałość na pełzanie staliwo LH26N13W (353MA) w zależności od temperatury



Rys. 4. Ostateczna koncepcja nurnika o budowie segmentowej

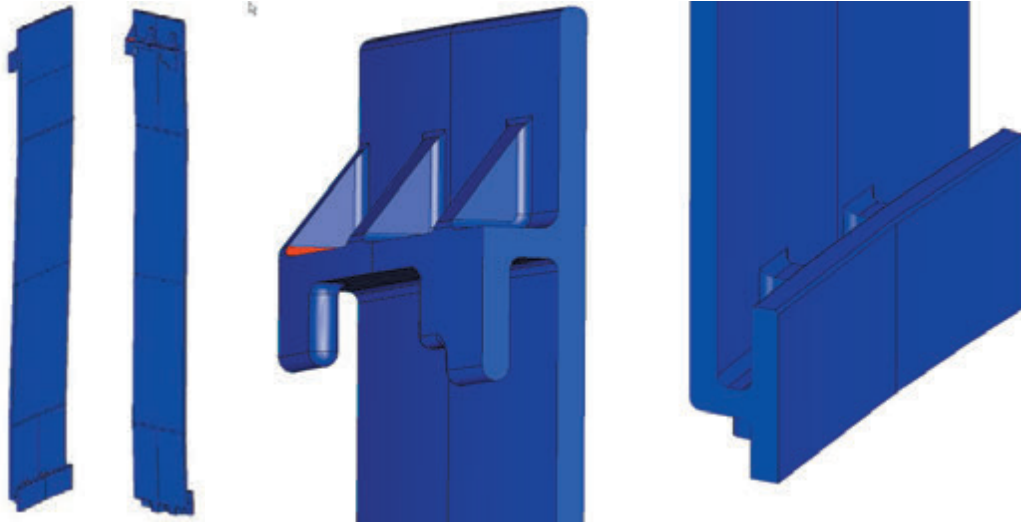
niowego składającego się ze 120 płyt ułożonych w 5 warstwach (rys. 4). Pierwsza warstwa 24 płyt mocowana jest na bazie wsporczej, którą stanowi specjalna konstrukcja pierścienia nośnego wraz z elementami łącznymi, a kolejne warstwy płyt zawieszane są na płytach warstwy poprzedniej za pomocą specjalnych połączeń kształtowych (zamków). Rozwiązanie to zapewniło minimalizację masy jednostkowej płyty nurnika i dostosowanie ich do możliwości transportowych na obiekcie.

Modele obliczeniowe nowego typu nurnika

Faza obliczeń numerycznych, w ogólnym pojęciu, składa się z opracowania numerycznych modeli geometrycznych oraz modeli dyskretnych projektowanego ustroju nośnego [2]. Geometria nowego typu nurnika, oprócz głównych elementów płytowych stanowiących rdzeń konstrukcji (rys. 5), zawiera również elementy wsporcze składające się z pierścienia głównego wspartego na ośmiu podporach stałych i kształtek do mocowania pierwszej warstwy płyt (rys. 6).

Opracowanie adekwatnego modelu geometrycznego ustroju nośnego nurnika jest niezbędne nie tylko ze względu na konieczność późniejszej definicji modeli dyskretnych do symulacji MES, ale również ze względu na możliwość adaptacji geometrii do warunków rzeczywistych. Otoczenie geometryczne w jakim zamontowana zostanie nowa konstrukcja nurnika charakteryzuje się bardzo dużą zmiennością wymiarową.

Parametry bloku energetycznego, a zwłaszcza rzeczywiste wymiary i położenie poszczególnych jego elementów po kilku latach eksploatacji bardzo często odbiegają od założeń projektowych. Można by to określić mianem ciągłego dostosowywania się elementów konstrukcyjnych bloku energetycznego

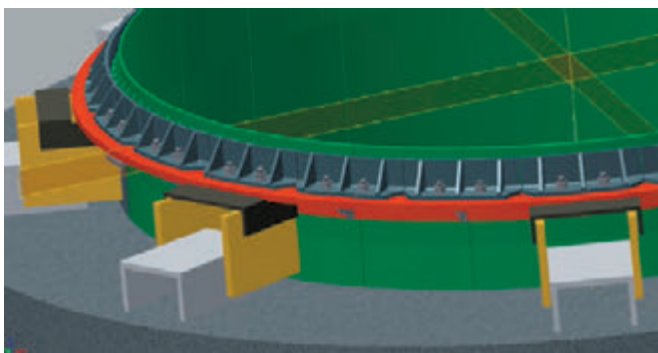


Rys. 5. Model geometryczny płyty głównej nowego typu nurnika

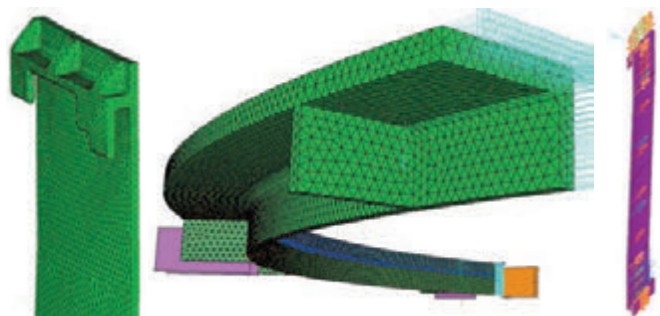
poddanych działaniu wysokich temperatur do stanu równowagi. Elementy bloku zmieniają swoje położenie geometryczne nie tylko poprzez mechanizm deformacji termicznej, czy pełzania. Dużą rolę w tym procesie odgrywa również bezpośrednia ingerencja w geometrię obiektu podczas prowadzenia prac remontowych. Wymiana niektórych elementów bloku niejednokrotnie powoduje zmianę położenia sąsiednich co w konsekwencji prowadzi do różnic rzeczywistych i projektowych wymiarów geometrycznych. Dlatego też opracowanie parametrycznego modelu geometrycznego, w szczególności górnej części nurnika (rys. 6), pozwala na wyeliminowanie ewentualnych różnic wymiarowych już na etapie projektu lub przygotowanie wariantu dla zmiennych założeń wymiarowych.

Kolejnym krokiem fazy obliczeniowej jest zdefiniowanie numerycznych modeli obliczeniowych wraz z warunkami obciążeń zewnętrznych. W przypadku nowej koncepcji nurnika wykorzystano elementy objętościowe wyższego rzędu [2], dla których adekwatna funkcja kształtu pozwala na uzyskanie stosunkowo dokładnych wyników obliczeń numerycznych. Na rysunku 7 przedstawiono wybrane opracowane modele dyskretnie nurnika wraz z charakterystyką warunków brzegowych.

Przy definicji obciążeń, oprócz założonych mas poszczególnych rzędów płyt, symulowano również środowisko pracy konstrukcji w wysokich temperaturach. Wpływ wysokiej temperatury (ok. 900°C) zaimplementowano, zarówno w wartościach węzłowych temperatury, jak również w zmiennych



Rys. 6. Parametryczny model geometryczny górnej części zawirowywacza spalin – pierścienia nośny wraz z uchwytami pierwszego rzędu płyt



Rys. 7. Model dyskretny zawirowywacza spalin wraz z warunkami brzegowymi

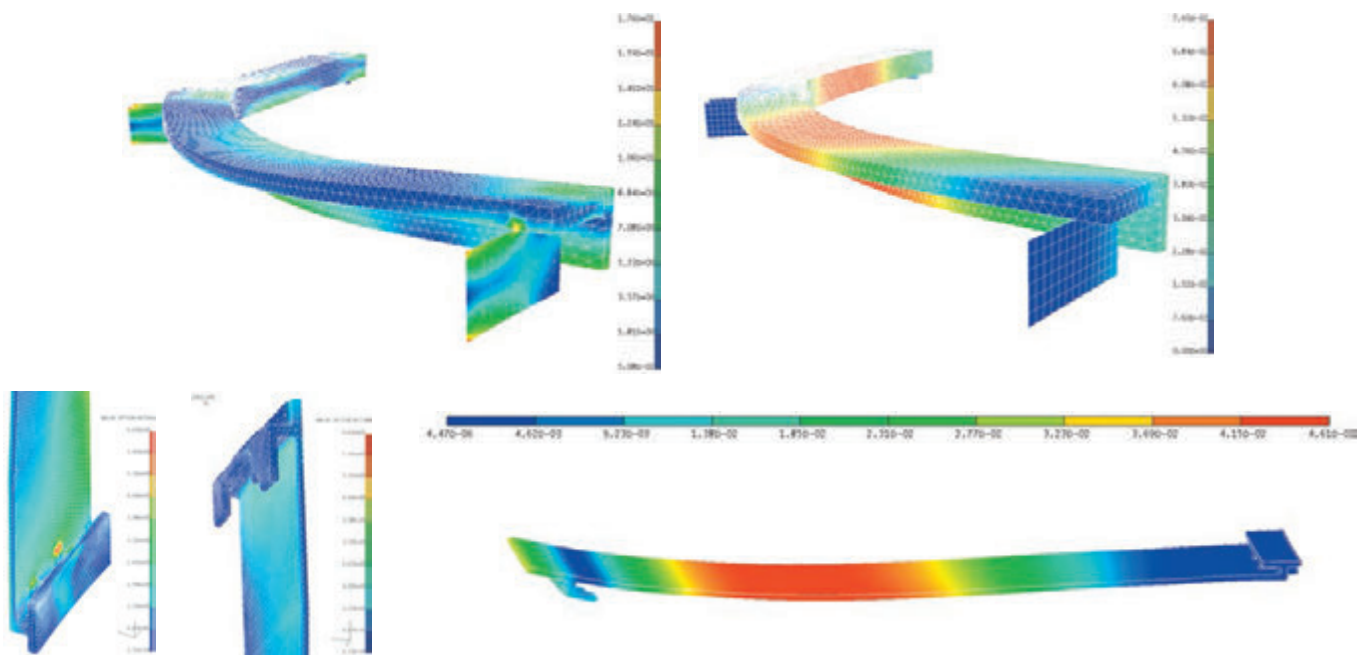
z temperaturą parametrach materiałowych modułu Younga jak i współczynnika rozszerzalności cieplnej [4].

Analiza numeryczna

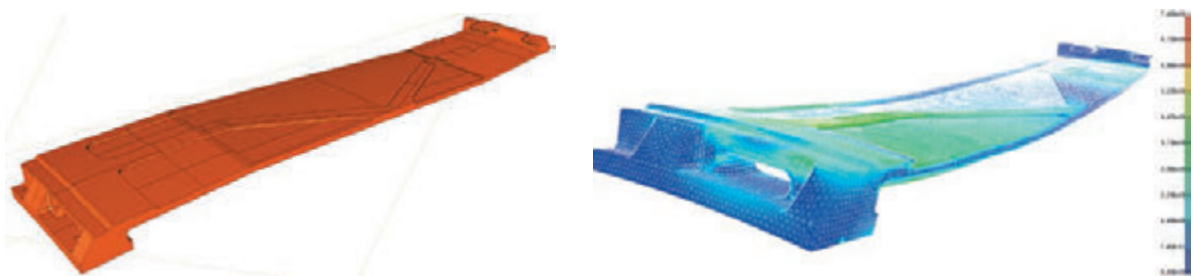
Zdefiniowane modele obliczeniowe pierścienia górnego wraz z elementami płytowymi zostały poddane symulacjom komputerowym, w wyniku których otrzymano warstwicę deformacji i naprężeń zredukowanych według hipotezy Hubera. Kluczowy dla poprawnej eksploatacji projektowanej konstrukcji jest nie tylko stan wyężenia konstrukcji, ale także wartości przemieszczeń poszczególnych elementów nurnika względem siebie dla założonych maksymalnych warunków obciążeń cieplnych. W projekcie zastosowano dylatacje niwelujące rozszerzalność cieplną płyt nurnika przy zachowaniu minimalnej szczelności całego układu. Na rysunku 8 przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń numerycznych pierścienia i płyt głównych nurnika.

Wyniki symulacji komputerowych poszczególnych elementów struktury nośnej nurnika pokazują wartości naprężeń zredukowanych oraz efekt wymiarowy „zamknięcia” szczelin dylatacyjnych po rozgrzaniu konstrukcji nośnej nurnika do temperatury 900°C.

Biorąc pod uwagę warunki technologiczne wykonania płyt głównych oraz wartości naprężeń zredukowanych, przeprowadzono proces optymalizacji masowej struktury płyty. Z jednej



Rys. 8. Przykładowe wyniki obliczeń numerycznych nurnika w postaci deformacji i warstwic naprężeń zredukowanych



Rys. 9. Model zmodyfikowanego głównego segmentu nurnika wraz z wynikami obliczeń numerycznych

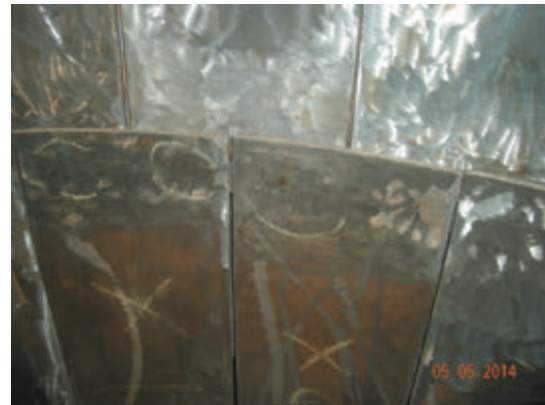
strony uzyskanie minimalnej masy własnej płyty można uzyskać poprzez minimalizację grubości płyty, biorąc pod uwagę zapas wytrzymałości na pełzanie. Z drugiej strony działanie takie stoi w sprzeczności z możliwością wykonania odlewu, który przy stosunkowo smukłym elemencie jest trudny do wykonania. Rozwiązaniem pośrednim było zmniejszenia grubości płyty z równoczesnym zastosowaniem żeber usztywniających poprawiających docelowo proces odlewania. W tym celu przeprowadzone zostały szczegółowe obliczenia numeryczne dla nowego rozwiązania konstrukcyjnego płyty głównej nurnika przedstawionej na rysunku 9.

Reasumując, po przeprowadzeniu szeregu ponownych obliczeń numerycznych zdefiniowano ostateczną postać geome-

tryczną nurnika spełniającą wymagania zarówno wytrzymałości na pełzanie, odpowiednich dylatacji termicznych, możliwości technologicznych wykonania odlewu oraz minimalnej masy jednostkowej.

Wnioski

W artykule przedstawiono problematykę opracowania nowego rozwiązania konstrukcji nośnej nurnika jako elementu zamiennego dla oryginalnego układu w eksploatowanym bloku energetycznym. Ze względu na obiektywne ograniczenia wynikające z konieczności transportu projektowanych elementów przez włady rewizyjne w komorze paleniskowej bloku opraco-



Rys. 10. Prototypowa instalacja nowego typu nurników na bloku energetycznym

wano kilka koncepcji nowego rozwiązania, które zostały poddane analizie ekonomiczno-technicznej. Równolegle, w celu eliminacji błędów projektowych, przeprowadzono identyfikację rzeczywistego stanu technicznego otoczenia geometrycznego, w którym nowe rozwiązanie będzie eksploatowane. Po przeprowadzeniu kolejnych kroków projektowo-obliczeniowych zdefiniowano wstępną postać geometryczną poszczególnych

elementów nurników. Ostatnim krokiem prac projektowych było przeprowadzenie procesu optymalizacji kształtu ze względu na wymagania wytrzymałościowe i technologiczne. Zadowolające wyniki prac projektowych zostały wdrożone w postaci wymiany zdegradowanych zawirówy waczy spalin na nowe w jednym z bloków energetycznych (rys. 10)

Literatura

- [1] Kocańda S., Szala J., *Podstawy obliczeń zmęczeniowych*, Wyd. PWN, 1998
- [2] Rusiński E., Czmochowski J., Smolnicki T., *Advanced Finite Element Method for Load-carrying Structures of Machines* (in Polish), Oficyna Wydawnicza PWr., Wrocław 2000
- [3] Czmochowski J., Górski A., Smolnicki T., *Wybrane problemy z obliczeń wytrzymałościowych ekranów komory paleniskowej kotła rusztowego wodnorurowego*. Systems 2004 vol. 9, s. 238-244
- [4] Okrajni J., *Badanie zmęczenia cieplno-mechanicznego w ujęciu obowiązujących norm i jego komputerowe modelowanie*, Acta Mechanica et Automatica, 2009

