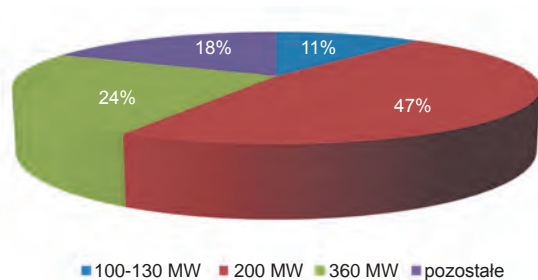


Ocena stanu technicznego i prognozowanie trwałości wirników WP i SP turbin 13K215 zaplanowanych do eksploatacji w okresie do 350 000 godzin

Assessment and forecast of HP and IP rotors' lifetime of 13K215 turbines planned to be operated up to 350 000 hours

Wśród bloków konwencjonalnych bloki 200 MW posiadają nadal największy udział w KSE. W perspektywie do ok. 2030 roku trudno wyobrazić sobie bezpieczeństwo polskiego systemu elektroenergetycznego bez tych bloków. Aby spełnić te oczekiwania bloki powinny zostać zmodernizowane, zwłaszcza w celu spełnienia Dyrektywy IED 2010/75/EU. Ze względu na wymaganą trwałość (żywość) potrzebna może być tylko wymiana najbardziej wyczerpanych elementów kotłów i rurociągów parowych. Przedłużenie czasu pracy turbozespołów do 350 000 godzin zamierza się zrealizować bez wymiany grubościennych elementów, tj. wirników WP i SP oraz elementów stalowych. Czy taki podejście jest realistyczne?



Rys.1. Udział bloków 200MW wśród bloków konwencjonalnych [1]

Podstawą do decyzji o przedłużeniu eksploatacji bloków 200 MW, w tym turbozespołów, były dobre doświadczenia eksploatacyjne i znaczna część dostępnych wyników badań diagnostycznych oraz.... zwykła konieczność, tj. brak, wystarczającej ilości nowych źródeł energii elektrycznej i ciepłej. Z technicznego punktu widzenia brakowało jednak:

- wyników badań materiałowych elementów wycofanych z eksploatacji po przepracowaniu co najmniej 250 000 godz. pracy,
- ogólnie akceptowanej metodyki oceny stanu technicznego elementów krytycznych turbin, a zwłaszcza prognozowania ich trwałości w perspektywie pracy do 350 000 godzin.

Pro Novum wraz elektrowniami wyposażonymi w bloki 200 MW, zrzeszonymi w Towarzystwie Gospodarczym Polskie Elektrownie:

- wykonało kompleksowe badania materiałowe wirników WP i SP wycofanych z eksploatacji po przepracowaniu 250 000 godzin [3],
- opracowało metodykę badania, oceny stanu technicznego i prognozowania trwałości elementów krytycznych turbin [4],
- utworzyło portal internetowy pozwalający użytkownikom turbin 200 MW korzystać z serwisu informacyjnego zawierającego m.in. aktualne statystyki uszkodzeń głównych elementów turbin na podstawie wyników badań i analizy awaryjności turbozespołów [5].

Odnosnie do elementów stalowych turbin uznano, że opracowana przez Pro Novum i wdrożona przy udziale ZRE Katowice S.A. metodyka rewitalizacji połączona z:

- naprawą przez spawanie wszystkich pęknięć powierzchniowych,
- regeneracją mikrostruktury,
- przywróceniem fabrycznej geometrii (i sprawności) układu przepływowego,

stanowi kompleksowe rozwiązanie w zakresie zapewnienia wymaganej trwałości tych elementów w okresie przekraczającym 350 000 godzin [6,7].

Turbiny 200 MW – historia pracy i modernizacji

Turbiny 13K215 posiadają szereg atutów konstrukcyjnych, które stwarzają realne szanse przedłużenia ich eksploatacji powyżej 300 000 godzin. Wiąże się to jednak ze spełnieniem określonych warunków w zakresie ich diagnozowania, odtwarzania stanu technicznego elementów krytycznych oraz warunków eksploatacji. Dotyczy to także elementów i węzłów konstrukcyjnych, które były modernizowane podczas retrofitów w latach 90-tych ubiegłego wieku.

W latach 1968-1983 zbudowano i uruchomiono w polskiej energetyce 51 turbin o mocy 200 MW, produkcji Zakładów Mechanicznych ZAMECH w Elblągu.

Sumarycznie ZAMECH wyprodukował 66 turbin o tej mocy 200 MW, z tego 15 turbin wyeksportował do:

- Jugosławii – 2 turbiny,
- Turcji – 8 turbin,
- Czechosłowacji – 5 turbin.

Pierwsze 9 turbin o symbolu TK200 i turbiny o symbolu PWK-200-130 wyprodukowano wg konstrukcji radzieckiej firmy LMZ.

Konstrukcja turbin TK200 była w przeszłości kilkakrotnie modernizowana:

- etap I modernizacji – turbiny typu 13K200 oznaczono numerami fabrycznymi 10-13,
- etap II modernizacji – turbiny typu 13K215 oznaczono numerami fabrycznymi 14-66.

W elektrowniach krajowych (tab. 1) zmontowano i uruchomiono wymienione typy i liczby turbin.

Tabela 1

Nazwa elektrowni	Typ turbiny	Liczba turbin
Elektrownia Pątnów	TK200	3
	13K215	3
Elektrownia Łaziska	TK200	3
	13K200	1
Elektrownia Turów	TK200	12
Elektrownia Jaworzno III	13K215	6
Elektrownia Ostrołęka	13K200	3
Elektrownia Rybnik	13K215	8
Elektrownia Kozienice	13K215	8
Elektrownia Dolna Odra	13K215	6
Elektrownia Połaniec	13K215	8

Turbiny w czasie swej eksploatacji były wielokrotnie modernizowane (zmieniano m.in. kadłuby, układy przepływowe), a część z nich już nie pracuje (np. *El. Turów* – 11 turbin, *El. Pątnów* – 2).

Określenie – turbina 200 MW – to obecnie tylko ogólna nazwa turbin o bardzo podobnej konstrukcji oraz zasilanych parą o takich samych parametrach.

Modernizacje nie zmieniły jednak istotnie podejścia do ich oceny stanu technicznego oraz prognozowania trwałości, z wyjątkiem części NP, które w zdecydowanej większości zostały wymienione na nowe. Ich wymiana była jednak podyktowana chęcią podwyższenia sprawności, a nie wyczerpaniem trwałości wałów wirników.

Wspólne, podstawowe cechy konstrukcyjne wirników wszystkich typów turbin:

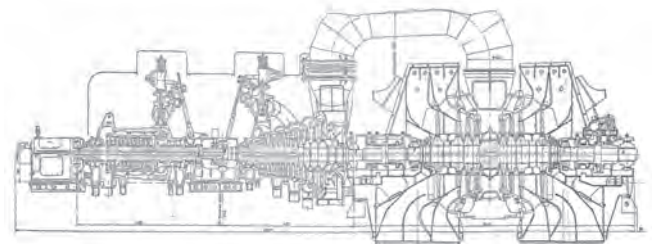
- **turbiny** trzykadłubowe, kondensacyjne, akcyjne, z międzystopniowym przegrzewem pary, z siedmioma upustami pary do regeneracji, na parametry pary świeżej 13 MPa/535°C i pary wtórnie przegrzanej 2,2 MPa/535°C,
- **wirnik WP** pełnokuty z tarczami wirnikowymi koła regulacyjnego i stopni od 2 do 12 oraz z tarczą łożyska oporowego i tarczą sprzęgła WP – SP,
- **wirnik SP** pełnokuty, z tarczami wirnikowymi stopni 1-7 i tarczą sprzęgła WP – SP oraz z nasadzonymi tarczami stopni 8-11, tulejami dławnicy wylotowej, łącznie z odrzutnikiem olejowym i tarczą sprzęgła SP - NP,

- **wirnik NP**, z wszystkimi elementami nasadzonymi: tj. tarczami stopni 1-4 L i P, tulejami dławnic przedniej i tylnej, łącznie z odrzutnikami olejowymi oraz tarczami sprzęgła SP – NP i NP – GEN; topatki stopni 3L i 3P typu Baumanna, z przylutowanymi płytkami staliowymi, identycznie jak topatki stopni 4L i 4P oraz z zamontowanymi drutami tłumiącymi; topatki stopni 3L i 3P i 4L i 4P cechowała duża awaryjność (urywanie topatek, przemieszczanie drutów tłumiących i odpadanie płytek staliowych).

Podstawowe cechy charakterystyczne poszczególnych typów turbin

Turbiny TK200

Turbiny te zostały zaprojektowane i przeznaczone do pracy podstawowej, ciągłej, z małą ilością uruchomień, z płynną i powolną zmianą parametrów pracy, ze zmianą obciążenia w pracy ciągłej w zakresie 75-100 %, o stabilnej i z małymi odchyłkami częstotliwości sieci energetycznej. Wyższe ograniczenia nie były spełniane do końca lat 80-tych XX wieku. Ponieważ sytuacja energetyczna kraju wymuszała całkowicie odmienne warunki eksploatacji tych turbin, miało to wpływ na stopień wyczerpania trwałości ich elementów krytycznych. Ograniczenia wynikały z konstrukcji (rys. 2) jej poszczególnych zespołów.



Rys. 2. Układ przepływowy turbiny TK200

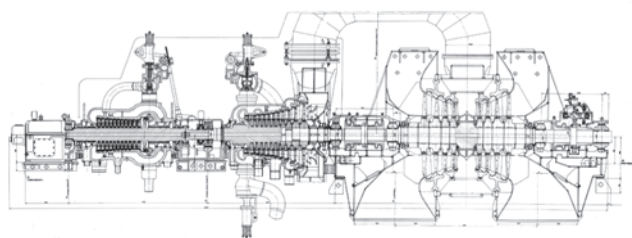
Turbiny 13K200

Turbina tego typu, z kolejnym numerem fabrycznym 10, została poddana pierwszemu etapowi modernizacji, w którym m.in. jednopowłokowy korpus WP zastąpiono dwupowłokowym. W nowej konstrukcji korpusie zewnętrznym WP zastosowano cieńsze kołnierze w poziomej płaszczyźnie podziału i śruby o mniejszych średnicach. Pozwoliło to na zlikwidowanie, stanowiącej utrudnienia w eksploatacji, instalacji do grzania kołnierzy i wirnika.

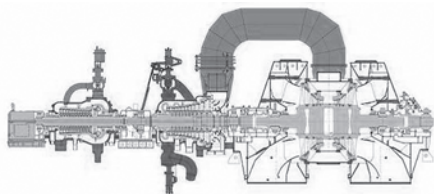
Turbiny 13K215

Podstawowym celem modernizacji turbin TK200, a następnie 13K200, było przystosowanie ich do pracy dwuzmianowej i szybkich uruchomień, zwiększenia pewności ruchowej i zmniejszenia awaryjności oraz ułatwienie pracy obsługi poprzez udoskonalenie układów automatyki, pomiarów, zabezpieczeń i sterowań. Wymagania te miała spełniać turbina o symbolu 13K215, w której wprowadzono dalsze modernizacje, m.in. zmodernizowano korpus SP na dwupowłokowy (rys. 3). Zlikwidowano instalację grzania kołnierzy korpusu SP, ponieważ cieńsze kołnierze

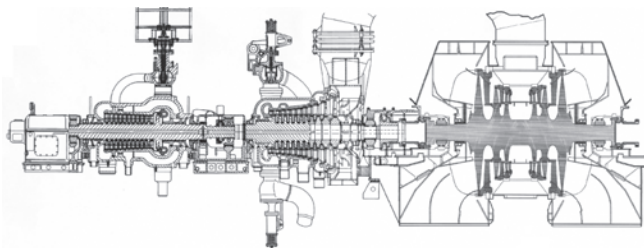
tego nie wymagają. Zastosowano w pełni symetryczne usytuowanie zaworów regulacyjnych SP i ich napędów, przenosząc je z boków do dołu pod korpus. Spowodowało to zmianę kształtu rurociągów przepustowych SP, łączących zawory regulacyjne pod turbiną z zaworami odcinającymi SP. Zmodernizowano część NP, wymieniając wirnik z nasadzonymi elementami i niskosprawnym układem przepływowym, na nowej konstrukcji wirnik i układ przepływowy, wg konstrukcji firmy *Alstom* (rys. 4) lub *Westinhouse* (rys. 5). Modernizacje takie przeprowadzili prawie wszyscy użytkownicy tych turbin.



Rys. 3. Przekrój osiowy turbiny 13K215 przed modernizacją części NP



Rys. 4. Turbina 13K125 po modernizacji wg *ABB*



Rys. 5. Turbina 13K125 po modernizacji wg *Westinghouse*

Kompleksowe badania materiałowe wirników eksploatowanych przez 250 000 godzin

Historię eksploatacji wirników poddanych badaniom podano w tabeli 2.

Tabela 2

Historia eksploatacji wirników WP i SP

Czas pracy od przekazania do eksploatacji	251 000 godzin
Całkowita liczba uruchomień	872
Liczba uruchomień ze stanu zimnego	466
Liczba uruchomień ze stanu ciepłego	224
Liczba uruchomień ze stanu gorącego	182

Zakres badań wirników obejmował:

- przygotowanie do badań oraz wykonanie badań nieniszczących,
- przygotowanie do badań niszczących – opracowano plan rozkroju wirników i pobierania próbek,
- wykonanie badań nieniszczących wirników:
 - badania metalograficzne: makro- i mikrograficzne,
 - badania własności mechanicznych przy temperaturze otoczenia i temperaturze, pracy elementów,
 - skrócone próby pełzania,
 - niskocyklowe badania zmęczeniowe przy temperaturze otoczenia i temperaturze pracy,
 - badania odporności na pękanie KIC.

Wyniki badań nieniszczących przedstawiono w tabelach 3 i 4.

Tabela 3

Wyniki badań wirnika WP

Obszar badań	Metoda badań	Wynik badania
Łopatkki stopnia regulacyjnego	MT/ PT	brak wskazań wymagających rejestracji
Tarcza stopnia regulacyjnego	MT	
Wrąb łopatkowy stopnia regulacyjnego	UT	
Wrąb stopnia regulacyjnego po rozłopatkowaniu	MT/ VTE	
Stopień regulacyjny i „zimny” koniec	REP	struktura bainityczna
Stopień regulacyjny i „zimny” koniec	TWAR	199-210HV ₅
Otwór centralny	VTE, ET	brak wskazań wymagających rejestracji
	UT	

VTO – badania wizualne, MT – badania magnetyczno-proszkowe, PT – badania penetracyjne, UT – badania ultradźwiękowe, REP – badania metalograficzne (metodą replik), TWAR – ultradźwiękowy pomiar twardości, ET – badania wiroprądowe, Dt. – pomiar średnicy, VTE – badania wizualne (endoskopowe).

Tabela 4

Wyniki badań wirnika SP

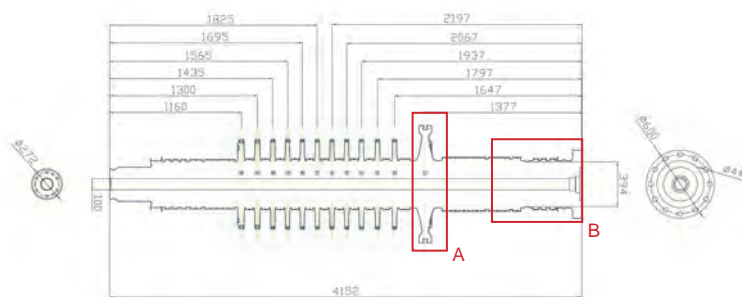
Obszar badań	Metoda badań	Wynik badania
Układ łopatkowy i bandaże	MT	brak wskazań wymagających rejestracji
Karby geometryczne wału	MT	
Tarcze wirnika w tym konieczne otwory odciążające	MT	
Druły usztywniające	MT/ PT	
Czopy wirnika	UT	
Wręby łopatkowe stopnia regulacyjnego i stopni nr 2÷7	UT	wykruszenia, pęknięcia
Wpusty tarcz nasadzanych	UT	struktura bainityczna
Pierwszy stopień i zimny koniec	REP	195-215HV ₅
Pierwszy stopień i zimny koniec	TWAR	brak wskazań wymagających rejestracji
Otwór centralny	VTE, ET	brak wskazań wymagających rejestracji
	UT	

VTO – badania wizualne, MT – badania magnetyczno-proszkowe, UT – badania ultradźwiękowe, REP – badania metalograficzne (metodą replik), TWAR – ultradźwiękowy pomiar twardości, ET – badania wiroprądowe, VTE – badania wizualne (endoskopowe).

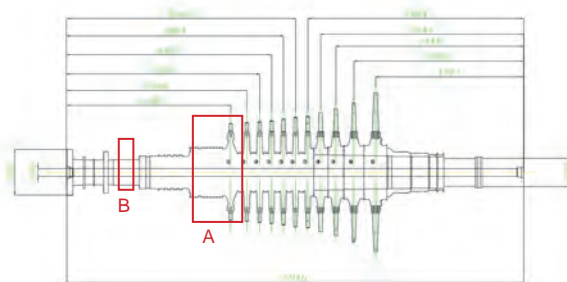
Sposób przygotowania materiału do badań niszczących w zakresie rozkroju wirników i pobierania próbek opisano poniżej. Do badań niszczących wytypowano dwa obszary o najbardziej różniących się warunkach pracy oraz takie miejsca w odkuwkach wałów, aby można było uwzględnić wpływ technologii wykonania, zwłaszcza stopień przekucia:

- część gorąca - tarcza stopnia nr 1 – A,
- część zimna - końcówka wału – B.

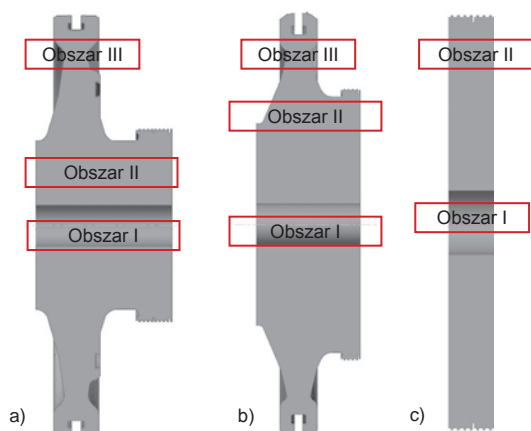
Schemat rozkroju wirników pokazano na rysunkach 8-11.



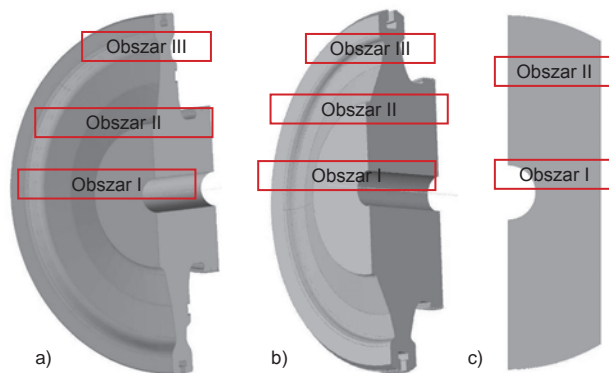
Rys. 6. Wirnik WP – obszary wirnika wytypowane do badań niszczących



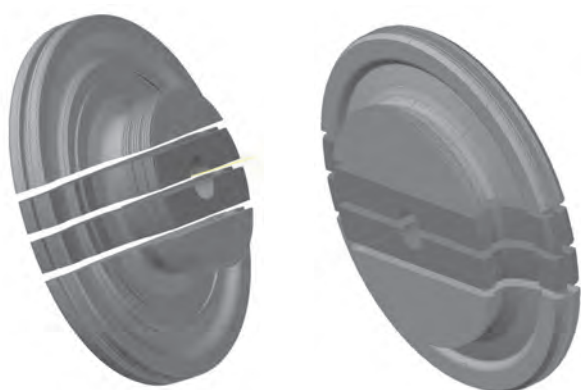
Rys. 7. Wirnik SP – obszary wirnika wytypowane do badań niszczących



Rys. 8. Obszary pobierania próbek osiowych: a) i c) wirnik WP, b) i c) wirnik SP



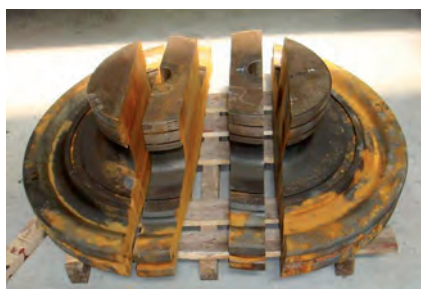
Rys. 9. Obszary pobierania próbek obwodowych: a) i c) wirnik WP, b) i c) wirnik SP



Rys. 10. Stopień regulacyjny wirnika WP, turbiny 200 MW po rozcięciu



Rys. 11. Sposób pocięcia pierwszego stopnia wirnika SP, turbiny 200 MW



Rys. 12. Stopień regulacyjny wirnika WP, turbiny 200 MW po rozcięciu

Odkuwki badanych wirników WP i SP zostały wykonane ze stali 23H2MF (zgodnie z PN-75/H-84024). Na podkreślenie zasługuje bardzo wysoka czystość metalurgiczna badanych stali, determinowana zawartością S i P, a także niska (w stosunku do obecnych wymogów norm) zawartość Cu.

Właściwości wytrzymałościowe (określone w statycznej próbie rozciągania) oraz udarność, są wyższe od wymagań przedstawionych w normie przedmiotowej dla gatunku stali 23H2MF (tab. 5).

Tabela 5

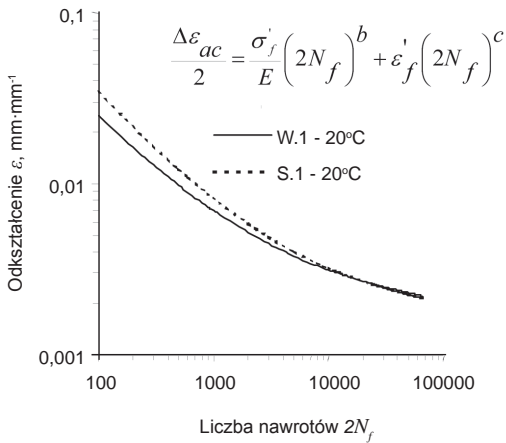
Właściwości stali 23H2MF w temperaturze otoczenia

Cecha	Wg PN-75/H-84024	Wyniki badań Wirnik WP	Wyniki badań Wirnik SP
Re, MPa	490	544-608	515-578
Rm, MPa	620 _{MIN}	671-741	651-719
A5, %	11-16	12,5-19,0	14,5-20,4
Z, %	30-40	(27), 55-65	46-67
KCU2, J/cm ²	30-40	44,5-126,6	53,2-74,2
HB	200	226-233	219-232

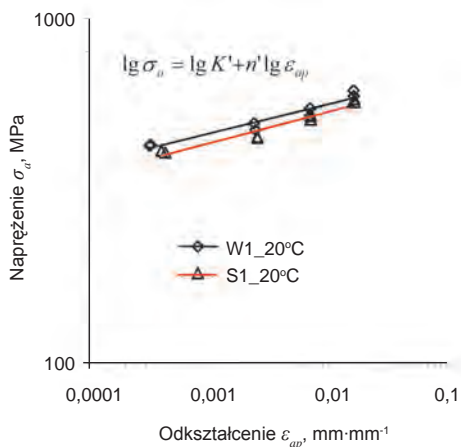
Materiał odkuwek miał strukturę wysoko odpuszczonego martenzytu z pasmami segregacyjnymi. Ze względu na niewielki stopień plastycznego przerobu, w wirnikach zachowany został charakterystyczny, międzydendrytyczny układ pasm segregacyjnych. Nie stwierdzono objawów degradacji struktury wywołanych warunkami pracy. Temperatura przejścia w stan kruchy badanych wirników zawiera się w przedziale 80-140°C.

Warunki badania KIC nie pozwoliły zapewnić płaskiego stanu odkształcenia. Uzyskanych wyników KQ nie można uznać za wartości KIC. Z dużą pewnością można stwierdzić, że podawane w literaturze wartości KIC na poziomie 55-70 MPa m^{1/2} są zbyt niskie.

Niskocyklowe badania zmęczeniowe pozwoliły na wyznaczenie typowych charakterystyk zmęczeniowych przy temperaturze otoczenia i w temperaturze pracy. Na rysunkach 13 i 14 pokazano przykłady wykresów dla temperatury otoczenia.



Rys. 13. Właściwości stali wirnika WP i SP w temperaturze 20°C – wykresy zmęczeniowe



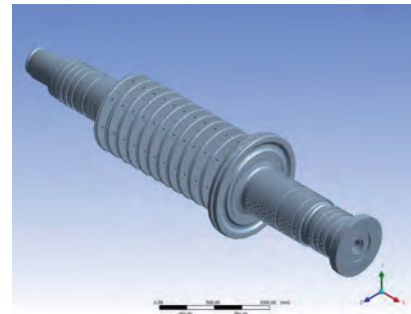
Rys. 14. Właściwości stali wirnika WP i SP w temperaturze 20°C – wykresy cyklicznego odkształcenia

Uzyskane, w skróconej próbie pełzania, wyniki mogą świadczyć o niepełnej przydatności metody wyznaczania trwałości resztkowej i trwałości rozporządzalnej dla stali stopowej normalizowanej i odpuszczanej przy założeniu, że przyspieszenie próby osiąga się poprzez podnoszenie temperatury badania znaczenie powyżej 600°C.

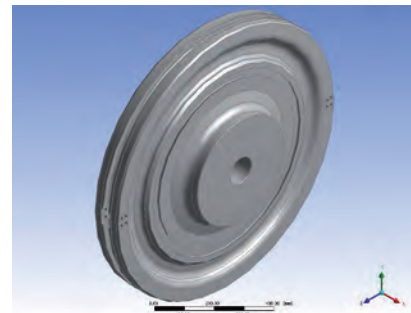
Analiza stanu naprężenia metodą MES

Analizę stanów przejściowych, w postaci symulacji uruchomień ze stanu zimnego i gorącego, jak również analizę w warunkach ustalonych wykonano przy użyciu oprogramowania ANSYS Multiphysics. Zastosowano metodę 3D oraz model materiału z liniowym uplastycznieniem.

Modele geometryczne wirników i ich detali przygotowano na podstawie dokumentacji technicznej elementów uzupełniającej o własne, wykonane przez Pro Novum, pomiary rzeczywiste. Przykłady modeli pokazano na rysunkach 15 i 16.



Rys. 15. Wirnik WP



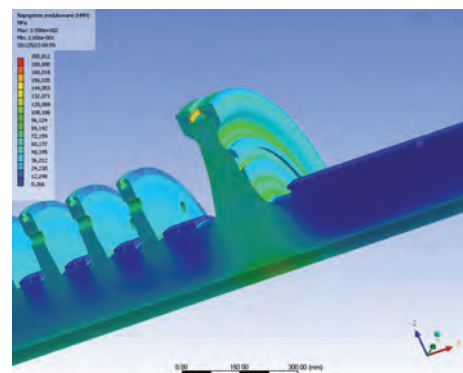
Rys. 16. Stopień regulacyjny wirnika WP

Naprężenia mechaniczne

Analizę naprężeń dla wirników prowadzono w stanie ustalonym dla obciążenia znamionowego. W obliczeniach uwzględniono siły pochodzące od tarcz wirnikowych obciążonych siłami pochodzącymi od łopatek, szczególnie nacisk położono na sposób mocowania łopatek zamkowych we wrębie. Przykład wyników analizy naprężeń pokazano na rysunku 17. Naprężenia zredukowane wyznaczono dla 3000 [1/min].

Uzyskane wielkości naprężeń zostały wykorzystane do wyznaczenia:

- potencjalnych stref występowania uszkodzeń,
- stopnia wyczerpania trwałości SWT.



Rys. 17. Wirnik WP – naprężenia zredukowane [MPa] – 3000 obr./min

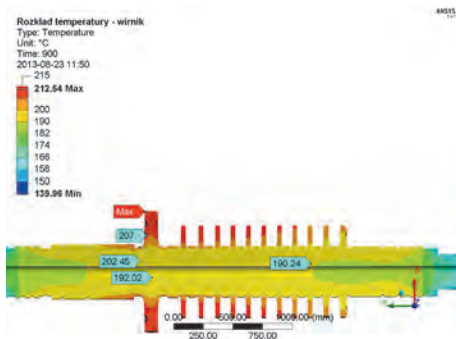
Naprężenia cieplne

Analizę naprężeń cieplnych prowadzono dla układów osiowo-symetrycznych. Obliczenia przeprowadzono dla uruchomień od stanu zimnego do gorącego.

W obliczeniach uwzględniono siły:

- pochodzące od różnicy temperatur,
- pochodzące od siły odśrodkowej,
- ciśnienia od chwili podania pary na turbinę do stanu ustalonego.

Wielkość naprężeń była przedstawiana w 3-4 krokach czasowych, na wykresach dla poszczególnych punktów dla danego kroku czasowego oraz przebiegu naprężeń w czasie całego procesu nagrzewania. Przykład wyniku obliczeń pokazano na rysunku 18.



Rys. 18. Rozkład naprężeń w wale wirnika WP po 15 min. od uruchomienia ze stanu zimnego

Otrzymane wyniki wykorzystano do wyznaczenia:

- potencjalnych stref występowania uszkodzeń,
- stopnia wyczerpania zapasu trwałości od niskocyklowego zmęczenia.

Metodyka oceny stanu technicznego i prognozowania trwałości – najważniejsze założenia

Opracowana metodyka oceny stanu technicznego i prognozowania trwałości opiera się na niżej przedstawionych założeniach. Podstawą do prognozowania trwałości są obliczenia stopnia wyczerpania trwałości (SWT) oraz ekwiwalentnego czasu pracy z uwzględnieniem rodzaju oraz prędkości uruchamiania.

- W obliczeniach określa się wpływ pełzania SWT(P) oraz zmęczenia cieplno-mechanicznego SWT(Z) na ubytek trwałości elementu. Stopnie wyczerpania trwałości sumuje się wg Palmgren-Mainera w celu wyznaczenia sumarycznej wartości SWT(Σ).
- Stopień wyczerpania trwałości od zmęczenia SWT(Z) określa się dla wszystkich typów uruchomień uwzględniając ich rodzaj lub/i prędkość nagrzewania.
- Stopień wyczerpania trwałości od pełzania SWT(P) określa się dla okresów stabilnej pracy turbiny.
- Oprócz SWT określa się ekwiwalenty czasu pracy wg dwóch formuł liczenia uwzględniając:

- rodzaj uruchomień (ze stanu zimnego, ciepłego i gorącego),
- prędkość uruchamiania.

- Opisany system obliczeń zakłada dysponowanie następującymi danymi i informacjami:

- czas pracy (efektywny),
- liczba uruchomień (sumaryczna, ze stanu zimnego, ciepłego i gorącego),
- prędkość uruchomień.

- Prędkość uruchomień wyznacza się na podstawie wytypowanych parametrów pracy turbiny.

- Naprężenia cieplno-mechaniczne i temperaturowe w elementach turbiny wyznaczane są metodą MES.

- Do obliczeń wykorzystywane są następujące dane i charakterystyki materiałowe:

Wirniki WP i SP	SWT(Z)	charakterystyki materiałowe określone w badaniach własnych dla wirników WP i SP po przetworzeniu 250 000 godzin
	SWT(P)	norma TRD, PN-75/H84024

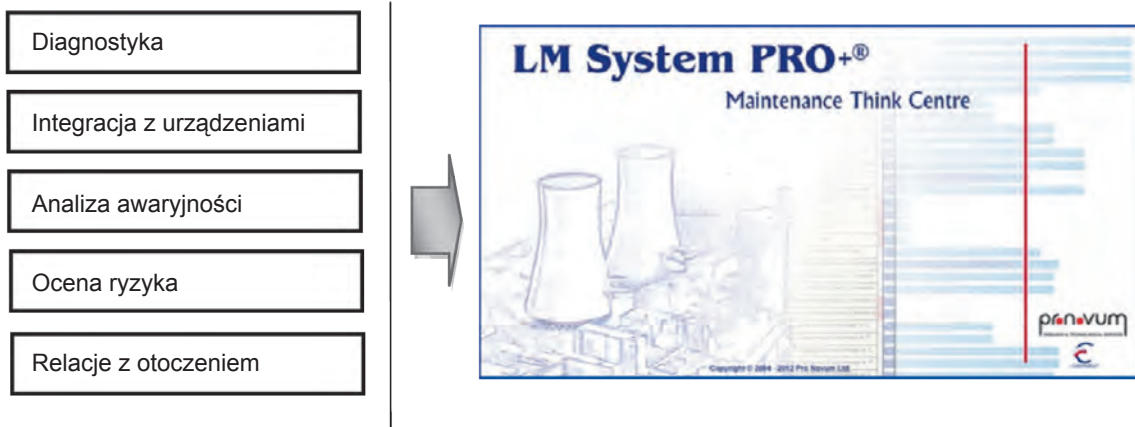
- W miejscach potencjalnych uszkodzeń określa się, przy wykorzystaniu MES, amplitudy naprężenia, uwzględniające prędkość uruchomień. Temperatury cyklu przyjmuje się dla momentu, w którym wystąpiło największe naprężenie cieplno-mechaniczne.

- Ostatecznym kryterium, na podstawie którego dopuszcza się element do eksploatacji oraz określa jego teoretyczną trwałość, są wyniki badań. Przy prognozowaniu trwałości (horyzontu bezpiecznej eksploatacji) przyjmuje się, że:

- przy łącznej analizie pełzania i zmęczenia $SWT(\Sigma) \leq 0,7$ - jeśli w miejscach gdzie SWT osiągną wartości większe od 0,7 nie wykrywa się metodami badań standardowych lub/i specjalnych fizycznych uszkodzeń,
- podczas indywidualnej analizy pełzania lub zmęczenia $SWT(P) \text{ SWT}(Z) \leq 0,5$ - jeśli w miejscach, w których określono SWT nie wykrywa się metodami badań NDT (patrz wyżej) fizycznych oznak uszkodzeń.

- Dla elementów turbiny, które wkroczyły w okres trwałości indywidualnej ich dalsza praca powinna być rozpatrywana ze względu na indywidualną geometrię, własności materiału oraz warunki eksploatacji, co oznacza, że prognoza trwałości musi być weryfikowana:

- w badaniach diagnostycznych, które w odpowiednim zakresie należy wykonywać podczas kolejnych postojów remontowych; zakres badań diagnostycznych powinien być adekwatny do stanu technicznego turbiny i wynikać z analizy warunków pracy oraz wyników ostatnich badań,
- poprzez systematyczną analizę warunków pracy.



Rys.19. Platforma informatyczna realizująca kompleksowy nadzór diagnostyczny [8]

Podsumowanie i wnioski

Turbiny – które często określa się umowną nazwą „200 MW” – przeszły wieloetapowy proces modernizacji. Praktycznie każda z nich posiada odrębną, własną historię eksploatacji, co oznacza, że stan techniczny należy rozpatrywać indywidualnie. Remonty i badania były realizowane w bardzo zróżnicowany sposób, nie-rzadko – podobnie jak eksploatacja – słabo udokumentowany. Znane nam wyniki badań, zwłaszcza własnych, wskazywały jednak, że ich krytyczne elementy, tj. wirniki WP i SP oraz kadłuby turbin i komory zaworowe mogą pracować nadal, bez wymiany, aż do osiągnięcia co najmniej 350 000 godzin. Założenia te postanowiliśmy zweryfikować:

- próbując wyjaśnić przyczynę(y) tak wysokiej trwałości zwłaszcza wirników WP i SP,
- opracowując metodykę nadzoru nad bezpieczną, z wysoką dyspozycyjnością, pracą tych maszyn przez kolejne ok. 15 lat.

Badania wykazały, że materiały po przepracowaniu 250 tys. godz. nie zmieniły istotnie swojej struktury, a ich konstrukcja sprawia, że przy zalecanych przez dostawcę turbin warunkach pracy nie występuje:

- pełzanie, nawet w najbardziej obciążonych, podczas stacjonarnej pracy, miejscach wirników,
- niskocyklowe zmęczenie podczas wszystkich typów, prawidłowo wykonywanych, uruchomień.

W przyszłości można więc oczekiwać uszkodzeń o charakterze zmęczeniowym, praktycznie tylko w przypadku nieprze-strzegania warunków zalecanych przez dostawcę lub/i związanych z intensywnym, regulacyjnym trybem pracy bloku.

W związku z powyższym opracowana metodyka oceny bieżącego stanu elementów krytycznych turbin, a zwłaszcza ich wirników WP i SP, zakłada odpowiednie wykonywanie okresowych badań oraz monitorowanie warunków pracy. Nadzór diagnostyczny realizować można ze wsparciem specjalistycznego oprogramowania [8], które w modułach obliczeniowych wykorzystuje dane o rzeczywistych własnościach materiałowych określonych na podstawie opisanych badań niszczących wirników, które są konfrontowane z aktualnymi własnościami materiału wirnika określanymi na podstawie badań mikroprobek pobieranych z miejsc najbardziej wyciężonych (bez potrzeby naprawy tych miejsc).

PIŚMIENNICTWO

- [1] Trzeczcyński J.: Wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła – źródła konwencjonalne, stan istniejących źródeł, możliwość dalszej eksploatacji, główne problemy. Materiały Konferencji „Polityka Energetyczna Polski 2013 – Elektroenergetyka”. TGPE. Warszawa, listopad 2013.
- [2] Grzesiczek E., Kotowski S., Rajca S.: Możliwości, ograniczenia i warunki przedłużania eksploatacji turbin 200 MW powyżej 300 000 godzin. Materiały XII Sympozjum Informacyjno-Szkoleniowe „Diagnostyka i remonty urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni - Modernizacje urządzeń energetycznych w celu przedłużenia ich eksploatacji powyżej 300 000 godzin”. Wiśła, wrzesień 2010.
- [3] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 41.2921/2012: Opracowanie wytycznych przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW. ETAP II. Badania wybranych elementów krytycznych bloków 200 MW po długotrwałej eksploatacji dla określenia możliwości przedłużenia ich eksploatacji do 350 000 godzin. Katowice, marzec 2013, niepublikowane.
- [4] PN/030.2910/2013 Wytyczne przedłużania eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW. Część I: Założenia ogólne oraz Część II: Diagnostyka elementów krytycznych turbin i generatorów. *Pro Novum/TGPE*, marzec 2013.
- [5] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 31.2911/2012: Specyfikacja portalu internetowego użytkowników bloków 200 MW. Katowice, marzec 2013, niepublikowane.
- [6] Trzeczcyński J.: Możliwości i warunki przedłużania czasu eksploatacji zrewitalizowanych elementów stalowych turbin parowych. *Energetyka* 2011, nr 6. Biuletyn *Pro Novum* nr 1/2011.
- [7] Rajca S., Grzesiczek E., Rewitalizacja stalowych elementów turbin parowych technologia bez mankamentów. Materiały XIV Sympozjum Informacyjno-Szkoleniowym „Diagnostyka i remonty urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni - Diagnostyka wspierająca modernizację i planowanie remontów”. Ustroń, październik 2012.
- [8] Trzeczcyński J., Murzynowski W., Biątek S.: Monitorowanie stanu technicznego urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków energetycznych przy wykorzystaniu platformy informatycznej LM System PRO+®. *Dozór Techniczny* 2011, nr 5.