



Doświadczenia i zamierzenia Pro Novum związane majątku produkcyjnego elektrowni w Polsce do

Jerzy Trzeszczyński
Radosław Stanek
Wojciech Murzynowski

Pro Novum Sp. z o.o.

Streszczenie

Program modernizacji bloków 200 MW rozpoczęty w 2010 r. zakłada, oprócz spełnienia wymagań prawnych, zwłaszcza w zakresie limitów emisji pyłów, SO_x i NO_x, zapewnienie bezpiecznej eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych, w horyzoncie ok. 350 tys. godzin. Dotyczy to zwłaszcza elementów krytycznych, które przekroczyły trwałość projektową. Aby sprostać temu wyzwaniu, Pro Novum wraz ze specjalistami ze wszystkich elektrowni w Polsce wyposażonych w bloki 200 MW przy współpracy z Urzędem Dozoru Technicznego opracowało „Wytyczne przedłużania eksploatacji elementów urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW”. Zasady opisane w dokumencie wykorzystano w różnym stopniu podczas modernizacji większości bloków 200 MW. Dokument będzie aktualizowany w związku z przewidywaną zmianą warunków pracy nie tylko bloków 200 MW. Użytkownicy zmodernizowanych bloków – z uwagi na bezpieczeństwo KSE – powinni współpracować ze sobą w sposób pozwalający na wymianę informacji dotyczących zapewnienia bezpieczeństwa i oczekiwanej przez operatora dyspozycyjności jednostek o statusie Jednostek Wytwórczych Centralnie Dysponowanych (JWCD).

Summary

PRO NOVUM EXPERIENCES AND INTENSIONS CONNECTED WITH ADAPTING LONG TIME OPERATED ASSETS OF NATIONAL POWER SYSTEM TO WORK IN A PERSPECTIVE UP TO YEAR 2030

Despite fulfilment of legal requirements, especially in scope of emission limits for dusts, SO_x and NO_x, the program of modernization of 200 MW commenced in 2010 implies assuring safe operation of thermos-mechanical power equipment in a perspective of about 350.000 hours. This refers especially to critical elements operated beyond designed lifetime. To rise this challenge Pro Novum together with experts from all power plants in Poland equipped with 200 MW units and in cooperation with the Office of Technical Inspection elaborated, Guidelines for qualification of elements

of thermo-mechanical equipment of 200 MW power units to life extension up to 350 000 working hours'. The rules described in this document have been used in varying degrees during modernizations of the majority of 200 MW power units. Because of expected change of service conditions not only of 200 MW units the document will be updated. Due to National Power System safety the users of modernized power units should cooperate with each other in a way, which enables exchange of information and knowledge about safety assurance and expected availability of units with the status of JWCD (productive unit centrally predisposed).

1. Wstęp

Przedłużenie czasu eksploatacji znacznej części bloków 200 MW i 360 MW w perspektywie do 2030 r. to jedyna, aktualnie realistyczna, strategia elektrowni (grup elektrowni) w Polsce zmierzająca do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego. Obecnie to najtańsze źródła energii, nadające się najlepiej do pracy regulacyjnej. Budowy nowych źródeł, które miałyby w przyszłości zastąpić bloki 200 MW i 360 MW, jeszcze nie rozpoczęto. Chyba nawet nie wiadomo, jakiego rodzaju miałyby być to źródła. Nie chodzi tylko o proste zbilansowanie potrzeb, większym problemem jest zapewnienie stabilności KSE przy rosnącej liczbie energii z OZE. Wybudowanie większej liczby dużych bloków węglowych, w krótkim czasie, wydaje się nieuzasadnionym optymizmem.

Przedłużanie czasu pracy, jak każde zadanie, można wykonać lepiej lub gorzej, a nawet źle. Jak powinno się postępować, aby to zadanie wykonać prawidłowo? Jakie trudności czy wręcz zagrożenia mogą towarzyszyć temu działaniu?

2. Trwałość indywidualna elementu szansą na przedłużenie jego eksploatacji

Przyjęto, że elementy krytyczne, które eksploatowane są powyżej 200 tys. godzin (lub których czas pracy osiągnie tę wartość podczas przedłużonej eksploatacji), przekroczyły/przekroczą trwałość projektową i pracują (lub będą pracować) w zakresie trwałości indywidualnej. O rozporządzalnym zapasie trwałości indywidualnej elementu decydują:

- indywidualna geometria,
- indywidualne własności materiałowe,
- indywidualne warunki pracy.

W części systemu diagnostycznego dotyczącego metody badań, ocen stanu technicznego i długoterminowych

z przystosowaniem długo eksploatowanego pracy w perspektywie do 2030 r.

prognoz podstawę oceny stanu technicznego stanowią wyniki badań własności materiałowych:

- defektoskopowych,
- metalograficznych (NDT i DT),
- własności mechanicznych (niszczące badania na próbkach według Polskich Norm oraz mikropróbkach).

Badania struktury i własności materiału w celu określenia długoterminowej prognozy przeprowadza się na podstawie badań specjalnych z wykorzystaniem odpowiednio pobranych, możliwie mało inwazyjnych (wytrepanowanych) wycinków, z których wykonuje się standardowe próbki i mikropróbki do badań własności mechanicznych.

Wycofane z eksploatacji elementy krytyczne podlegają badaniom w odpowiednio zaplanowanym zakresie. Wyniki badań służą m.in. do weryfikacji ocen stanu technicznego i prognoz na podstawie badań niszczących oraz mikropróbek.

W okresie przedłużonej eksploatacji nad urządzeniem/elementem należy sprawować nadzór diagnostyczny, którego celem jest aktualizowanie diagnozy, weryfikowanie prognozy trwałości oraz formułowanie odpowiednich, adekwatnych do potrzeb, zaleceń profilaktycznych (diagnostycznych, remontowych, eksploatacyjnych).

Podczas kwalifikowania do dalszej eksploatacji elementów części ciśnieniowych bloków 200 MW, które przepracowały dotychczas ponad 200 tys. godzin, należy zwrócić uwagę przede wszystkim na to, że będą pracowały w zakresie indywidualnej trwałości oraz że warunki ich dalszej pracy będą się odbywać na podstawie przepisów Urzędu Dozoru Technicznego¹. Oznacza to, że dopuszczane będą do dalszej pracy na okres do kolejnej rewizji UDT, bez formalnego odnoszenia się do długoterminowej prognozy trwałości.

Spełnia to, jak się wydaje, kryterium bezpieczeństwa urządzeń, nie zabezpiecza jednak w wystarczającym stopniu inwestora przed ryzykiem poniesienia w przyszłości kosztów, których wcześniej nie uwzględnił, np. wymiany elementów/urządzeń, których nie zaplanował, a nawet przed ryzykiem wcześniejszego wycofania urządzenia z eksploatacji, jeśli czas pracy elementu nowego nie będzie uzasadniał ponoszenia kosztów jego wymiany.

W odniesieniu do przedłużania eksploatacji urządzeń/elementów podlegających Urzędowi Dozoru Technicznego szczególną uwagę należy zwrócić na uwarunkowania:

- elementy pracujące w warunkach pełzania liczone były na 100 tys. godz. Na podstawie instrukcji² prze-

dłużano ich czas pracy do 200 tys. godz. Dotychczas nie uzgodniono obowiązujących powszechnie w polskiej energetyce standardów kwalifikowania elementów urządzeń energetycznych do pracy w dłuższej perspektywie, np. do 300 tys. godzin, chociaż były podejmowane takie wysiłki, np. przez Instytut Energetyki³;

propozycję ogólnych wytycznych kwalifikowania do pracy do 350 tys. godzin elementów bloków 200 MW (również turbin) opracowało także Pro Novum^{4, 5}, jednak żadna z tych propozycji nie przybrała formy przepisów państwowych;

- walczaki nie były liczone na określoną trwałość. Prognozy trwałości tych elementów sporządza się na podstawie procedur i metodyk opracowanych przez poszczególne firmy. Taką metodykę ma także Pro Novum;
- prognozy trwałości pozostałych elementów pracujących poniżej temperatury granicznej sporządza się na podstawie indywidualnych procedur firm diagnostycznych. Podstawą metodyk powinny być statystyki uszkodzeń. Dane takie nie są jednak powszechnie publikowane, co oznacza, że jeśli ktoś krótko wykonuje diagnostykę i tylko u nielicznych klientów, to nie ma wystarczającej wiedzy, aby takie prognozy opracowywać.

Istotnego znaczenia nabiera przede wszystkim logiczne i konsekwentne podejście do procesu diagnostycznego poprzez:

- nadanie elementom bloku następujących statusów:
 - a) elementy niediagnostowane – badania wykonywane (lub nie) po ich awarii,
 - b) elementy badane w określonych ściśle przedziałach czasowych (TBM – time base maintenance) – np. rewizje stanu technicznego wykonywane według przepisów UDT,
 - c) elementy badane według kryterium stanu technicznego (CBM – condition base maintenance) – wszystkie elementy pracujące w zakresie trwałości indywidualnej (w warunkach nadzoru diagnostycznego),
 - d) elementy dopuszczone do pracy na podstawie oceny ryzyka (RBM – risk base maintenance);
- przyjęcie zasady, że jeśli nie można określić długo-trwałej prognozy według zasad jak wyżej, to dopuszcza się element do pracy do:
 - a) następnej rewizji UDT,
 - b) następnego remontu kapitalnego.

Z diagnostyki powinny wynikać zalecenia remontowe, w szczególności naprawy i regeneracje z zastosowaniem sprawdzonych, skutecznych technologii.



3. Geneza, cel i przedmiot „Wytucznych przedłużania eksploatacji...”

Czas pracy urządzeń energetycznych przedłuża się „od zawsze”. Specyficznych cech kolejnego przedłużania czasu pracy bloków energetycznych jest co najmniej kilka. Oto one:

- prognozowanie trwałości dotyczy ekstremalnie długiej perspektywy czasowej (15–20 lat, ok. 150 tys. godzin) – wcześniej² czas znacznie młodszych bloków przedłużano o ok. 100 tys. godzin,
- praca znacznej części elementów, w tym zwłaszcza krytycznych, odbywać się będzie po przekroczeniu trwałości projektowej w zakresie trwałości indywidualnej,
- brak ogólnie dostępnych wyników systematycznie wykonywanych badań własności materiałów po długotrwałej eksploatacji,
- brak przepisów państwowych dotyczących badań, oceny stanu technicznego i prognozowania trwałości (żywotności), których czas pracy może osiągnąć ok. 350 tys. godzin,
- zmiany pokoleniowe – odchodzenie specjalistów o wieloletnim doświadczeniu i wiedzy w zakresie eksploatacji urządzeń,
- zmiany organizacyjne – zarządzanie utrzymaniem stanu technicznego z poziomu centrum zarządzania grupy energetycznej,
- ograniczona wymiana wiedzy i doświadczeń pomiędzy użytkownikami długo eksploatowanych urządzeń energetycznych,
- nieznane (jeszcze) stanowisko firm ubezpieczeniowych.

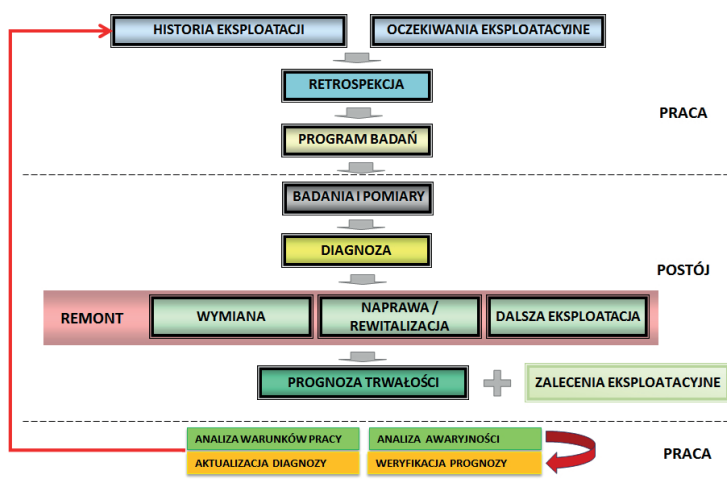
Wśród zauważalnych zagrożeń poprawnego wykonania zadania jest powszechnie przyjęta lista priorytetów, która przedstawia się następująco:

- rozwiązanie problemów prawnych, tj. dotrzymanie limitów NO_x (także pozostałych parametrów emisji) do wymagań dyrektyw Unii Europejskiej,
- poprawa efektywności produkcji,
- redukcja kosztów i problemów związanych z organizacją przetargów w sposób prowadzący do obniżenia kryteriów przetargów i integrowania zakupu diagnostyki z remontem, co może oznaczać, że diagnostykę wykonuje... firma remontowa.

Bezpieczeństwo pracy jest na ogół mocno podkreślane, jeśli jednak nie wiąże się go z konkretnymi działaniami w obszarze diagnostyki, może być uznane za zabieg głównie retoryczny. Potrzeba opracowania „Wytucznych...” została sformułowana kilka lat temu w związku z planowaną modernizacją 10 bloków 200 MW w Grupie TAURON. Następnie pomysł znalazł aprobatę wśród wszystkich grup energetycznych w Polsce. Od początku działania te wspierał Urząd Dozoru Technicznego.

Celem dokumentu jest metodyka postępowania, która pozwala przygotować i przeprowadzić modernizację oraz zapewnić nadzór diagnostyczny w całym okresie przedłużonej eksploatacji. Przedmiotem „Wytucznych...” są elementy krytyczne urządzeń ciepło-mechanicznych bloków 200 MW, które przepracowały ponad 200 tys. godz. i których czas eksploatacji planuje się na ok. 350 tys. godz.

Elementy krytyczne bloku energetycznego to takie, których awaria może wywołać katastrofalne skutki oraz których wymiana/naprawa wiąże się z dużymi kosztami; w skrajnym przypadku może prowadzić do wyłączenia urządzenia z ruchu.



Rys. 1 Diagnostyka jako proces zsynchronizowany z pracą urządzenia

4. Najważniejsze założenia systemu diagnostycznego dla elementów pracujących w zakresie indywidualnej trwałości

Bezpieczeństwa nie zapewnią żadne, nawet najbardziej innowacyjne badania. Można je osiągnąć, wdrażając system diagnostyczny, tj. zestaw procedur postępowania, które umożliwią, według jednakowych (podobnych) standardów dla wszystkich użytkowników modernizowanych bloków, wykonywanie czynności:

- retrospekcję – przegląd wiedzy o stanie technicznym elementów,
- planowanie badań,
- wybór metod badań,
- interpretację wyników i ocenę stanu technicznego,
- prognozowanie trwałości,

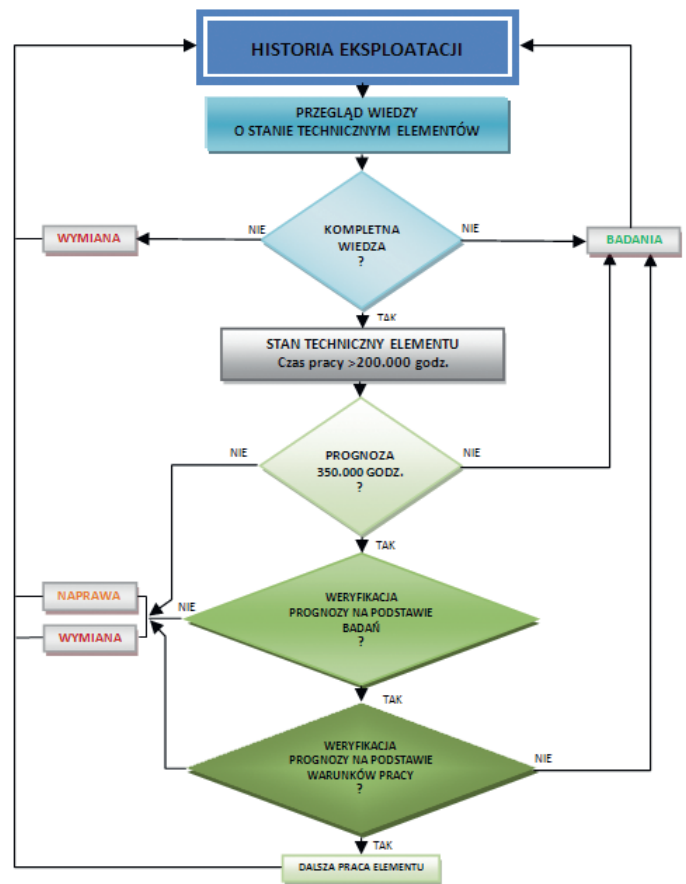
- nadzór diagnostyczny – na podstawie m.in. monitorowania rzeczywistych warunków pracy,
- dokumentowanie historii eksploatacji.

Jeśli potraktować diagnostykę jako proces, to dla elementów dopuszczonych do pracy w trybie nadzoru diagnostycznego powinna być ona zintegrowana z procesem eksploatacji i remontów w sposób przedstawiony na rys. 1.

Takiemu procesowi można nadać formę informatyczną znacznie redukującą pracochłonność, a nawet nadzorować go w zdalnym trybie⁶. Wyniki badań i ocen stanu technicznego, dane procesowe (cieplno-mechaniczne i chemiczne) oraz wybrane informacje remontowe mogą być integrowane automatycznie z bazą danych. Tylko informacje z postoju bloku, w tym także związane z obsługą karty awaryjnej (w trybie wymaganym przez procedury usuwania awarii danej elektrowni), trzeba wprowadzić ręcznie, jednak korzystając z odpowiedniego interfejsu.

Okresowe raporty dotyczące aktualnego stanu technicznego mogą być generowane automatycznie oraz uzupełniane o wnioski i zalecenia firm eksperckich i uwagi specjalistów zarządzania majątkiem (rys. 3). Takie systemy, na razie wdrożone w ograniczonym zakresie, już funkcjonują w warunkach przemysłowych.

Ogólny schemat kwalifikowania elementów do dalszej eksploatacji w zakresie ich indywidualnej trwałości przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2 Ogólny schemat kwalifikowania elementów do dalszej eksploatacji w zakresie ich indywidualnej trwałości

INWENTARYZACJA ORAZ ANALIZA KONSTRUKCJI

Nawet po długotrwałej eksploatacji spotyka się błędy wykonania i wady montażowe, które zawsze są źródłem dodatkowych naprężeń, a te z kolei najgroźniejszą przyczyną uszkodzeń. Wielkości naprężeń dodatkowych na ogół nie potrafimy policzyć. Możemy je jednak usunąć lub ograniczyć.

Program badań powinien w pierwszej kolejności uwzględniać zbadanie miejsc występowania dodatkowych naprężeń.

RETROSPEKCJA

Retrospekcja, czyli przegląd wiedzy o stanie technicznym urządzenia, powinna zawsze poprzedzać opracowanie programu badań i obejmować przegląd wiedzy w następującym zakresie:

- ewidencja czasu pracy i liczby uruchomień,
- statystyka i przyczyny stanów awaryjnych,
- wyniki ostatnich badań i ocen stanu technicznego,
- prognozy trwałości i zalecenia eksploatacyjne,
- naprawy, rewitalizacje oraz modernizacje.

5. Dokumentowanie historii eksploatacji

Po wielokrotnych modernizacjach, których kontynuacji nie należy wykluczać, historia eksploatacji urządzeń jest w wielu przypadkach bardzo skomplikowana i w znacznym stopniu indywidualna. Bez jej szczegółowego dokumentowania bardzo łatwo o pomyłki o trudnych do wyobrażenia skutkach. Nie można sobie pozwolić na to, aby ważne dla bezpieczeństwa urządzenia i jego dyspozycyjności fakty były zapisane wyłącznie w głowach i na biurkach specjalistów, z których najbardziej doświadczeni przestaną pracować w ciągu najbliższych 2–3 lat.

Wykorzystywanie indywidualnego zapasu trwałości obliguje do tego, aby każdy element podlegający nadzorowi diagnostycznemu miał zapisaną historię eksploatacji w zakresie niezbędnym do diagnozowania zgodnie z opisanymi zasadami. Szczególną uwagę należy zwrócić na rejestrację informacji dotyczących rzeczywistych warunków eksploatacji, w tym zwłaszcza ewidencji postojów oraz stanów awaryjnych (rys. 3).



Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” Sp. z o.o. ul. Wróbli 38, 40-534 Katowice www.pronovum.pl; e-mail: pronovum@pronovum.pl	RAPORT LM.2385.22/2015	pronovum RESEARCH & TECHNOLOGICAL SERVICES Centrum Badawczo - Rozwojowe
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

ZAMAWIAJĄCY:
UŻYTKOWNIK:
UMOWA:
KARTA PRACY:	2385
URZĄDZENIE:	Kocioł parowy OP-230 Turbina parowa 13P55 Kocioł parowy OP-430 Turbina parowa 13UC-108 Kocioł parowy OP-430 Turbina parowa 13UC-108
NR STACYJNY:	Blok 1 Blok 2 Blok 3
CEL PRACY:	Monitorowanie aktualnego stanu technicznego wybranych elementów urządzeń Bloków nr 1 + 3
OKRES ANALIZY:	01.04.2015+ 30.06.2015

OBJEKT	Czas pracy [h]				Liczba uruchomień				
	do rozpoczęcia serwisowania	od początku serwisowania	w bieżącym okresie serwisowym	całkowita	do rozpoczęcia serwisowania	w bieżącym okresie serwisowym			
	Z	P	Z	P	Z	Ciepłe	Gorące	Z uruchomień	
Blok nr 1	169972	30840	1130	1069	132	2	1	2	5
Blok nr 2	143870	25539	526	890	85	0	0	0	0
Blok nr 3	133423	21337	1015	736	103	3	5	0	8

* - szczegółowe liczniki czasu pracy dostępne są w elektronicznej wersji raportu.

DIAGNOZA / PROGNOZA / ZALECENIA *

Objekt	Urządzenie	Diagnoza						Prognoza	Zalecenia	
		Identyfikacja problemu			Skala ważności					
		B	K	KE	I	N	S	W		
Kocioł parowy OP-230		X							⊕	Utrzymać tryb chemiczny czynnika obiegowego.
Turbina parowa 13P55									⊕	Utrzymać tryb chemiczny czynnika obiegowego.
Układ przepływowy		X							⊕	Utrzymać tryb chemiczny czynnika obiegowego.
Blok nr 1									⊕	Utrzymać tryb chemiczny czynnika obiegowego. Przywrócić kontrolę zawartości miedzi w kondensacie i wodzie zasilającej.
Podgrzewacz regeneracyjny			X	X					⊕	Badania metaloznawcze rurek i obszarów dołotu pary do wymienników. Przywrócić kontrolę zawartości miedzi w kondensacie i wodzie zasilającej.
Wymienniki ciepłownicze			X	X					⊕	

Legenda:

Diagnoza (identyfikacja problemu): B – nie zidentyfikowano problemów krytycznych, K – korozja, KE – korozja-erozja, I – inne
Skala ważności: N – niska S – średnia W – wysoka
Prognoza: ⊕ – prognoza podtrzymana ⊗ – zweryfikuj prognozę

Recenzja przedłożona w niniejszym dokumencie podlega ochronie zgodnie z postanowieniami zawartej Umowy oraz przepisami Umowy z dnia 4 lipca 1964r. prawo autorskie i prawach pokrewnych (Dz. U. z 2004r. Nr 90 poz. 631 z późn. zm.). Korzystanie z tego dokumentu w sposób odwołany od warunków w Umowie, w szczególności jego powielanie w całości lub w części do celów innych niż wskazane w Umowie, wymaga uprzedniej pisemnej zgody Zarządu Przedsiębiorstwa Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o.

PPN: 7.10.01 02/2013

Rys. 3 Przykład automatycznie generowanego, okresowego raportu zapisującego m.in. historię eksploatacji i rzeczywiste warunki pracy

Objekt	KES	Data	Alarm	100000	200000	300000	400000	Do badań	Czas [h]	Uruchomienia	Czas [h]
176		2013-01-01							30000		
177		2013-01-01							30000		
178		2013-01-01							30000		
179		2013-01-01							30000		
K1		2013-01-01							30000		20000
K2		2013-01-01							30000		
K3		2013-01-01							30000		
K4		2013-01-01							30000		
K5		2013-01-01							30000		
K6		2013-01-01							30000		
K7		2013-01-01							30000		
K8		2013-01-01							30000		
K9		2013-01-01							30000		
K10		2013-01-01							30000		
K11		2013-01-01							30000		
K12		2013-01-01							30000		
K13		2013-01-01							30000		
K14		2013-01-01							30000		

Rys. 4 Przykład raportu generowanego w trybie automatycznym, prezentującego aktualną prognozę trwałości elementów eksploatowanych w zakresie trwałości indywidualnej

6. Prognoza trwałości i jej okresowa weryfikacja

Ocenę stanu technicznego elementu powinna uzupełniać prognoza trwałości, którą należy określać na podstawie:

- statystyki uszkodzeń/analizy awaryjności – zwłaszcza dla elementów pracujących poniżej temperatury granicznej,
- stopnia degradacji mikrostruktury – zwłaszcza dla elementów pracujących w warunkach pełzania,
- obliczeń stopnia wyczerpania trwałości SWT – dla elementów pracujących jednocześnie w warunkach pełzania i zmęczenia cieplnego. Sumowanie uszkodzeń można wykonywać w dowolny sposób. SWT dla pojedynczych procesów (Z) lub (P) nie przekracza 0,5 oraz 0,7 dla (Z)+(P), jeśli brak fizycznych uszkodzeń. Wyniki obliczeń SWT należy konfrontować z wynikami badań – zwłaszcza specjalnych,
- naprężenia w potencjalnych strefach uszkodzeń oraz różnych warunkach pracy należy wyznaczać metodą MES lub analitycznie.

Prognoza trwałości powinna zawierać:

- pozostały, bezpieczny czas pracy elementu,
- termin i zakres najbliższych badań weryfikujących prognozę,
- warunki, których spełnienie jest nieodzowne dla obowiązywania prognozy.

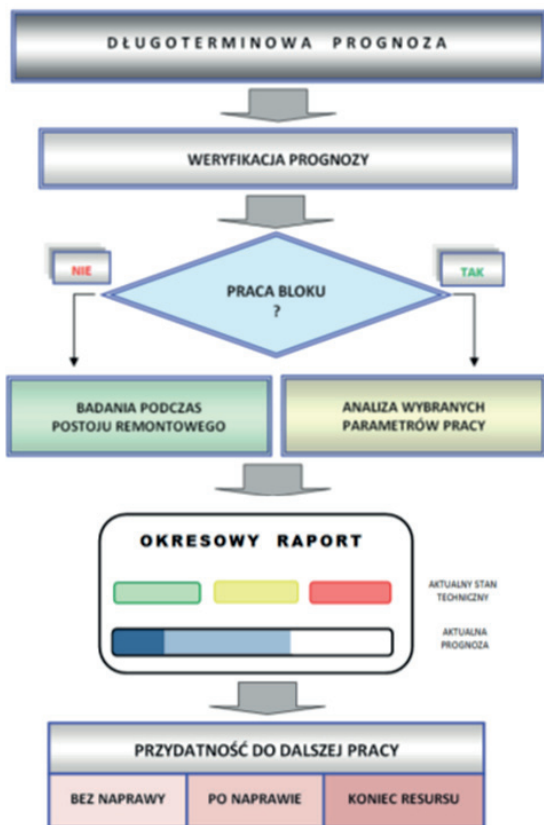
Prognozę trwałości należy weryfikować okresowo (rys. 4) na podstawie:

- badań w odpowiednim zakresie i przez zastosowanie odpowiednich metod,
 - bieżącej analizy warunków pracy oraz awaryjności.
- Prowadzona w odpowiedni sposób analiza awaryjności oraz warunków pracy może zastępować badania diagnostyczne lub ograniczać ich zakres.

Weryfikowanie prognozy z uwzględnieniem warunków pracy urządzeń/elementów i bardzo długa perspektywa jego dalszej eksploatacji stwarza potrzebę odpowiedniego dokumentowania:

- bieżącego stanu technicznego,
 - historii pracy.
- Specjalnego znaczenia nabiera potrzeba analizy:
- awarii,
 - interpretacji uszkodzeń,
 - stanu materiału elementów wycofanych z eksploatacji.

Tylko ujednoczenie systemu badań, analizy awarii (przyczyna pierwotna, wtórna) oraz wymiany informa-



Rys. 5 Weryfikacja długoterminowej prognozy na podstawie badań i analiz warunków pracy oraz dokumentowanie aktualnego stanu technicznego urządzenia

cji, wiedzy i doświadczeń może zapewnić odpowiednie w tym zakresie standardy.

OBLICZENIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE

Diagnostyce oceniającej stan techniczny długo eksploatowanych urządzeń powinny towarzyszyć obliczenia wytrzymałościowe i stopnia wyczerpania trwałości. W wielu przypadkach rozstrzygają one o dopuszczeniu elementu do dalszej eksploatacji, spełniają jednak także dodatkową, pomocniczą rolę przy:

- interpretacji wyników badań,
- formułowaniu warunków naprawy,
- prognozowaniu trwałości (żywności).

Nie wydaje się, aby wydłużanie czasu pracy urządzeń energetycznych pociągało za sobą potrzebę rewizji dotychczas znanych, opisanych i wymaganych przez odpowiednie przepisy¹ metod obliczeniowych. Problem stanowi znajomość własności materiałów po długotrwałym oddziaływaniu temperatur oraz naprężeń stacjonarnych i zmiennych, które mogą wywoływać:

Material	Wytrzymałość na pełzanie [MPa]					
	10.000 h	100.000 h	200.000 h	250.000 h	300.000 h	350.000 h
15HM						
10H2M						
12H1MF						
13HMF						
15H1MF						

- degradację struktury i utratę własności, w tym zwłaszcza przejście w stan kruchy,
- uszkodzenia pełzaniowe.

Dla materiałów pracujących przy temperaturach niższych od granicznych nie można wykluczyć zmian własności w długim okresie, przede wszystkim polegających na możliwości przejścia w stan kruchy.

Ograniczenia te pokonywane są w różny sposób. Np. te zilustrowane na tablicy 1 (za normą PN-EN-10216-2 i OCT 108.031.08-85) poprzez aproksymację do warunków (czasów), które są przedmiotem analizy, i przyjęcie odpowiednich współczynników bezpieczeństwa. Należy mieć jednak na uwadze, że konserwatywnie wykonane obliczenia z jednej strony zabezpieczają przed awarią, z drugiej jednak mogą ograniczać przydatność elementu znacznie poniżej jego rzeczywistej trwałości. Brak systematycznie wykonywanych badań elementów wycofanych z eksploatacji utrudnia (często nawet uniemożliwia) konfrontację teoretycznych założeń z rzeczywistą wytrzymałością.

Prognozowanie trwałości utrudnia brak danych materiałowych dla czasów powyżej 300 tys. godzin, niekiedy powyżej 250 tys. godzin, a także brak dokładnej histo-



Rys. 6 Wycinki materiału do badań specjalnych z tarczy wirnikowej stopnia regulacyjnego wirnika WP



rii pracy. To oznacza, że długoterminowe prognozy muszą być okresowo weryfikowane, a historia eksploatacji w końcowym resursie pracy elementów odpowiednio dokładnie rejestrowana.

7. Badania specjalne

Rzeczywisty stan metalu (własności, stan struktury) ma decydujące znaczenie, w wielu przypadkach nadrzędne, w stosunku do wyników obliczeń.

Zalecane metody badań specjalnych można podzielić na trzy rodzaje:

- specjalne badania nieniszczące, m.in. zaawansowane badania ultradźwiękowe,
- specjalne badania metalograficzne metodą replik – specjalna preparatyka przy dużych powiększeniach obrazu mikrostruktury umożliwiającą identyfikację zmian mikrostruktury,
- specjalne badania niszczące, których celem jest określenie typowych wskaźników wytrzymałościowych (R_e , R_m , R_z , A_5 , Z , KCV), temperatury przejścia w stan kruchy oraz wykonanie przyspieszonej próby pełzania.

Stan metalu (własności wytrzymałościowe, plastyczne i pełzaniowe, obraz mikrostruktury) stanowi najważniejsze kryterium dopuszczania do dalszej pracy, jeśli wyniki badań i obliczeń prowadzą do rozbieżnych wniosków.

Wycinki do specjalnych badań niszczących powinny spełniać następujące warunki:

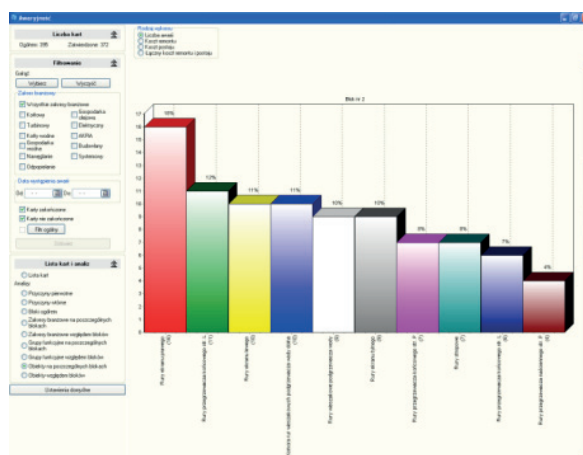
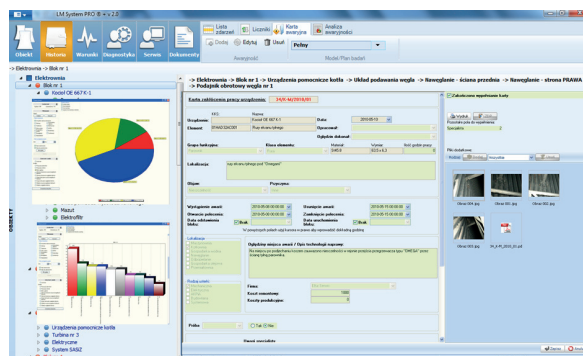
- należy je pobierać z miejsc najbardziej wyłożonych,
- ubytek materiału po wycinku nie powinien wymagać naprawy,
- jeśli ubytek materiału po wycinku wymaga naprawy, należy go pobrać tylko wówczas, gdy naprawa jest konieczna ze względu na stan techniczny elementu,



Rys. 7 Wycinki materiału do badań specjalnych wyrepanowane z kadłuba turbiny

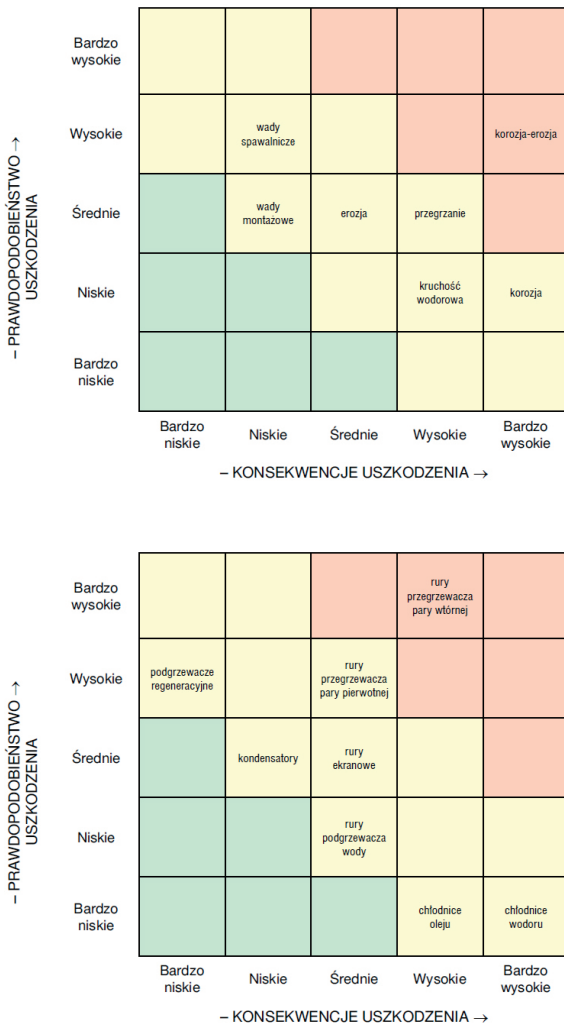
- na podstawie obliczeń konstrukcyjnych należy wykazać brak negatywnego wpływu ubytku na dalszą bezpieczną pracę elementu,
- wycinki z elementów urządzeń podlegających UDT należy pobierać wyłącznie po uzgodnieniu tej czynności z inspektorem Urzędu Dozoru Technicznego.

Dla pozostałych elementów wpływających przede wszystkim na dyspozycyjność wystarczy wykonywać standardowe badania zgodnie z przepisami Urzędu Dozoru Technicznego i szczegółowymi zaleceniami inspektora UDT. Dla rur powierzchni ogrzewal-



Rys. 8 Przykład statystyki uszkodzeń generowanej automatycznie przez program komputerowy

nych kotła (parownik, przegrzewacze pary, podgrzewacze wody) zakres badań powinien uwzględniać indywidualne warunki pracy kotła wynikające ze współspalania biomasy oraz konstrukcji i warunków pracy niskoemisyjnych palników. Miejsca po wycinkach do badań z reguły wymagają naprawy, która powinna być uzgodniona z UDT.



Rys. 9 Przykłady macierzy ryzyka wygenerowane automatycznie przez program komputerowy

8. Analiza awaryjności i analiza ryzyka

Awaria to sytuacja, gdy ze względu na uszkodzenie elementu (elementów) produkcja energii elektrycznej lub ciepłej nie jest możliwa albo gdy trzeba ją ograniczyć. Awaria to także sytuacja, gdy uszkodzenie wykryte podczas remontu wymaga niezaplanowanej naprawy wpływającej na wydłużenie remontu (strat produkcyjnych).

Dla każdej awarii należy sporządzić protokół awaryjny zawierający m.in. określenie bezpośredniej i pośredniej przyczyny awarii oraz sposobu jej usunięcia. Na podstawie informacji z poszczególnych awarii należy

wykonywać okresową analizę oraz aktualizować statystykę awaryjności.

ANALIZA RYZYKA

Stan techniczny urządzeń rozpatruje się nie tylko ze względu na bezpieczeństwo obsługi. Wśród konsekwencji awarii uwzględnia się także koszty ich usuwania oraz strat produkcyjnych.

Wśród urządzeń ciśnieniowych bloku występują instalacje i elementy niepodlegające Urzędowi Dozoru Technicznego. Ocen ich stanu technicznego nie regulują przepisy państwowe, a długoterminowe prognozy mogą być obciążone sporym błędem.

W takich przypadkach, nie tylko ze względu na wymagania firm ubezpieczeniowych, wydaje się sensowne wdrożenie dostosowanych do konkretnych potrzeb procedur analizy ryzyka. Procedury takie, dostosowane do przedłużania czasu pracy⁴, powinny uwzględniać w możliwie największym stopniu zakres, metodykę i poziom diagnostyki oraz rzeczywiste warunki eksploatacji. Zaproponowano formułę^{1, 4}, która prawdopodobieństwo uszkodzenia (awarii) uzależnia od:

- stanu wiedzy o elemencie na podstawie diagnostyki,
- rzeczywistych warunków jego pracy.

$$R = (P+WKP) \times K$$

gdzie:

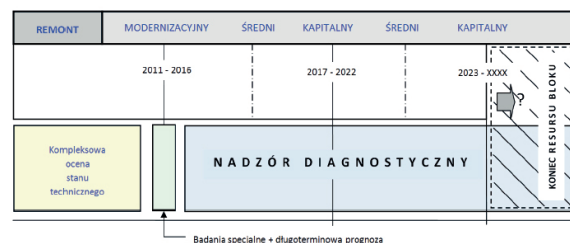
R - ryzyko uszkodzenia (awarii),

P - prawdopodobieństwo uszkodzenia,

K - konsekwencje uszkodzenia,

WKP - współczynnik korekcyjny, którego sens fizyczny polega na dokładniejszym oszacowaniu prawdopodobieństwa awarii poprzez uwzględnienie stanu wiedzy o elemencie i o jego rzeczywistych warunkach pracy.

Wydaje się, że wszędzie tam, gdzie analiza obliczeniowa może być obciążona dużym błędem, często trudnym



Rys. 10 Rekomendowany harmonogram remontów i diagnostyki bloków 200 MW eksploatowanych do ok. 350 tys. godz.



Doświadczenia i zamierzenia Pro Novum związane z przystosowaniem długo eksploatowanego majątku produkcyjnego elektrowni w Polsce do pracy w perspektywie do 2030 r.

do oszacowania, gdy brak ogólnych standardów badania i oceny stanu, a zapewnieniu bezpieczeństwa towarzyszy analiza także ekonomicznych skutków awarii, podejście oparte na analizie ryzyka może okazać się użyteczne.

Analiza ryzyka to ciągle źle realizowany i niedoceniany sposób na konsensus pomiędzy techniką a ekonomią.

9. Planowanie remontów z uwzględnieniem potrzeb diagnostyki

Szerszy opis diagnostyki, wykonywanej z wykorzystaniem opisanej koncepcji odnoszącej się do przedłużania pracy bloków 200 MW przedstawiono w opracowaniu⁴.

Przyjęto w nim, że diagnostyka będzie wykonywana podczas remontów modernizacyjno-odtworzeniowych i następujących po nich remontach kapitalnych i średnich w sposób przedstawiony na rys. 10.

Jak widać z rys. 10, przyjęto, że długoterminowe prognozy uzasadniające ponoszenie nakładów na modernizację bloków będą opracowywane podczas remontów modernizacyjno-odtworzeniowych.

10. Doświadczenia w zakresie stosowania „Wytycznych...”

Dotychczas w różnym stopniu z podejścia przyjętego w „Wytycznych...” skorzystano podczas modernizacji ok. 20 bloków 200 MW.

Można oczekiwać, że opracowanie nowej wersji „Wytycznych...” pozwoli na przedłużanie eksploatacji według jednego, zbliżonego standardu ok. 30 bloków o mocy 230 MW i 390 MW oraz wymianę informacji, wiedzy i doświadczeń dla zapewnienia bezpiecznej eksploatacji z możliwie najwyższą dyspozycyjnością.

11. Aktualizacja i rozwój metodyki

We współpracy z użytkownikami bloków 100–360 MW podjęto w bieżącym roku współpracę w celu:

- dostosowania „Wytycznych przedłużania eksploatacji...”^{4, 5} do specyfiki i potrzeb użytkowników bloków 100–360 MW,
- uwzględnienia chemii energetycznej w zakresie dostrzymywania reżimów chemicznych i konserwacji urządzeń na czas postoju,
- uwzględnienia wpływu pracy regulacyjnej na stan techniczny urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków/urządzeń/elementów.

12. Podsumowanie i wnioski

1. Przedłużanie eksploatacji bloków energetycznych należy oprzeć na udokumentowanej wiedzy o stanie technicznym urządzeń, w pierwszym rzędzie ich elementów krytycznych, których czas pracy przekroczył 200 tys. godz.
2. Bezpieczeństwo i dyspozycyjność długo eksploatowanych bloków będzie w pierwszym rzędzie zależała od jakości przeprowadzonych modernizacji oraz wiedzy o ich aktualnym stanie technicznym – wyników badań i zarejestrowanych warunków pracy i historii eksploatacji.
3. W interesie wszystkich użytkowników zmodernizowanych bloków 100–360 MW jest wykonywanie badań i ocen stanu technicznego według jednego standardu, co zapewnia warunki do wymiany wiedzy i doświadczeń, wpływając na poprawę bezpieczeństwa i redukcję kosztów.
4. Potrzeba rejestracji dużej ilości informacji w elektrowniach zarządzanych przez Centrum Zarządzania Grupy skłania do zautomatyzowania tego procesu poprzez wykorzystanie odpowiedniego oprogramowania.
5. Kontynuowanie współpracy Pro Novum z użytkownikami zmodernizowanych bloków 100–360 MW może przynieść dalsze korzyści, w szczególności w zakresie:
 - standaryzacji procedur badań i ocen stanu technicznego,
 - rozwijania niezbędnej wiedzy na podstawie badań elementów wycofanych z eksploatacji,
 - tworzenia statystyki uszkodzeń,
 - doradztwa technicznego i eksperckiego wsparcia.

LITERATURA

- [1] Warunki Urzędu Dozoru Technicznego, WUDT/UC/2003 – Urządzenia Ciśnieniowe, Warszawa 2003.
- [2] Instrukcja oceny stanu i kwalifikowania wymiany komór, kolektorów, rurociągów kotłowych i głównych rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania, Ministerstwo Górnictwa i Energetyki, Warszawa 1986.
- [3] System Diagnostyki Materiałowej Podstawowych Elementów Urządzeń Energetycznych, Instytut Energetyki, Warszawa 1996.
- [4] Sprawozdanie Pro Novum nr PN/020.2900/2013, Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200MW, część I; Założenia ogólne, część II; Diagnostyka elementów krytycznych kotła oraz głównych rurociągów parowych i wodnych, część III; Diagnostyka rur powierzchni ogrzewalnych kotłów, praca niepublikowana, 2013.
- [5] Sprawozdanie Pro Novum nr PN/030.2910/2013, Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW, część I; Założenia ogólne, część II; Diagnostyka elementów krytycznych turbin i generatorów, praca niepublikowana, 2013.
- [6] J. Trzecznyński, W. Murzynowski, S. Białek, *Monitorowanie stanu technicznego urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków energetycznych przy wykorzystaniu platformy informatycznej LM System PRO@#* [w:] Dozór Techniczny 5/2011.
- [7] W. Brunné, J. Trzecznyński, J. Haliński, *Zdalna diagnostyka głównych rurociągów parowych bloków energetycznych* [w:] Dozór Techniczny 6/2011.