

Szanowni Państwo,

Bloki konwencjonalne, w tym także największe bloki węglowe, pracują od dłuższego czasu w trybie regulacyjnym. W największym stopniu problem ten dotyczy bloków na węgiel kamienny, dla których scenariusz przyszłej eksploatacji zakłada pracę w głębokiej regulacji, tj. jako bloków podszczytowych i szczytowych z dużą liczbą odstawień/uruchomień. Jednocześnie oczekuje się, że bloki te powinny pozostać w KSE przez 15-20 lat. To wielkie wyzwanie pod każdym względem: prawnym, ekonomicznym, a zwłaszcza technicznym. Pro Novum „od zawsze” było i jest zaangażowane w diagnostykę oraz w modernizację i przedłużanie czasu eksploatacji, zwłaszcza bloków 200 MW. Opracowaliśmy standardy diagnostyczne oraz programy komputerowe wspierające diagnostykę, a także wymianę informacji i wiedzy pomiędzy użytkownikami, także zmodernizowanych bloków 100 MW - 360 MW. Tematyka ta była prezentowana w licznych referatach specjalistów Pro Novum oraz Gości XVIII Sympozjum. Część z nich zamieszczamy w niniejszym Biuletynie Pro Novum. Zapraszamy do ich lektury, a także do zapoznania się z relacją z XVIII Sympozjum.

Jerzy Trzeczcyński & Jerzy Dobosiewicz

Jerzy Trzeczcyński

Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o.

Diagnostyka 4.0 wspierająca przedłużanie eksploatacji bloków 100 MW – 360 MW

Life extension of 100 MW – 360 MW power units accompanied by Diagnostics 4.0

Zmianom w technologiach wytwarzania energii elektrycznej oraz jej dystrybucji towarzyszą wyzwania charakterystyczne dla Gospodarki 4.0. Odbiorca energii ma coraz większe ambicje, aby ją także generować. Bloki węglowe stają się w coraz mniejszym stopniu źródłem energii, a w coraz większym stopniu stabilizatorem systemu elektroenergetycznego. Zarządzanie majątkiem stało się jednym z trudniejszych zadań. Wykonywanie diagnostyki musi to uwzględniać, zarówno jeśli chodzi o możliwość identyfikowania nowych rodzajów uszkodzeń, jak również przetwarzania informacji on-line, zdalnego nadzoru i automatycznego

kreowania wiedzy integrowanej ze wskaźnikami ekonomicznymi i szacowaniem ryzyka. Potrzebne jest nowe podejście do efektywnego zarządzania produkcją, w tym do systemowego zarządzania wiedzą o stanie technicznym urządzeń oraz prognozowania ich trwałości, zwłaszcza na podstawie analizy awaryjności. Dla zmodernizowanych bloków 100 MW - 360 MW to jeden z podstawowych warunków ich pozostania w KSE.

Spośród bloków zakwalifikowanych jako JWCD najlepiej nadają się one do stabilizowania systemu elektroenergetycznego. Takie podejście od wielu lat proponuje Pro Novum opracowując

zarówno wytyczne przedłużania pracy długo eksploatowanych urządzeń [1-3], jak również systemy informatyczne umożliwiające zdalny nadzór diagnostyczny oraz planowanie utrzymania stanu technicznego urządzeń.

Nadchodzi Gospodarka 4.0

Jeśli przyjąć, że jedną z cech Gospodarki 4.0 jest elastyczne dostosowanie się do potrzeb Klienta, to energetyka, także polska, znalazła się w obszarze standardów 4.0. Elastyczne dostosowywanie się do potrzeb rynku/klienta dotyczy poszczególnych bloków energetycznych, a nawet urządzeń. Czas eksploatacji urządzeń ma drugorzędne znaczenie, liczą się – i odpowiednio są wynagradzane – gotowość i stopień dostosowania do wymagań technicznych i prawnych. Zmiany dotyczyć będą także modeli biznesowych w obszarach wytwarzania, dystrybucji i sprzedaży. Zapewnienie efektywnej produkcji/wytwarzania to wyzwanie także dla utrzymania stanu technicznego, w tym diagnostyki. Pro Novum od ponad 10-ciu lat rozwija ten rodzaj diagnostyki, który może wspierać takie potrzeby, opracowując standardy badań i oceny [1-3], (rys. 1), implementując je w formie software'u oraz organizując wymianę informacji i wiedzy w skali grupy energetycznej oraz KSE. Dla „Elektrowni 4.0” rozpoczęliśmy prace nad platformą informatyczną LM System PRO+® ver. 4.0 – będziemy wyposażać ją w zaawansowane algorytmy analityczne, w tym z dziedziny sztucznej inteligencji (rys. 2).

Wyzwania związane z regulacyjną pracą elektrowni

Duża, jak na wielkość naszego KSE, liczba niestabilnych źródeł energii, zwłaszcza farm wiatrowych, sprawia, że istotnemu skróceniu ulega rynkowo uzasadniony (zapewniający dodatnią marżę na kosztach zmiennych) czas wykorzystania mocy osiągalnej JWCD na węglu kamiennym. Bloki węglowe ewoluują od dłuższego czasu w kierunku źródeł podszczytowych i szczytowych. Zakres ich handlowego wykorzystania będzie silnie zależał od poziomu generacji farm wiatrowych.

Uzyskanie efektów ekonomicznych przez wytwórców posiadających JWCD na węglu kamiennym będzie uzależnione od zdolności poszczególnych elektrowni do elastycznej pracy, tj.:

- możliwości pracy bloków z niskim minimum technicznym,
- możliwości częstego (a nawet codziennego) uruchamiania,
- możliwości zapewnienia bezpieczeństwa elektrowni przy jak najmniejszej liczbie pracujących jednostek wytwórczych.

Regulacyjna praca elektrowni konwencjonalnych (rys. 3) sprawia, że wiele tradycyjnych wskaźników oceny ich pracy:

- sprawność,
- zużycie jednostkowe ciepła,
- efektywność,

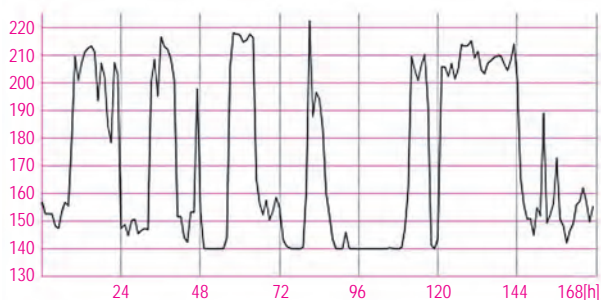
zmienia sens, przestając być jednoznacznym kryterium optymalizacji strategii eksploatacji.



Rys. 1. Wytyczne przedłużania eksploatacji bloków 100 MW - 360 MW [3]



Rys. 2. Evolucja platformy informatycznej LM System PRO+®



Rys. 3. Przykładowe obciążenie bloku 200 MW

Diagnostyka wspierająca bezpieczeństwo techniczne bloków energetycznych pracujących w intensywnej regulacji

Rekomendowana w „Wytycznych...” [3] diagnostyka uwzględnia aktualny stan techniczny bloków oraz spodziewane warunki przyszłej eksploatacji, eksponując przede wszystkim:

- systemowe podejście do diagnostyki pozwalające na:
 - identyfikację nowych i długo eksploatowanych – diagnozowanych w trybie nadzoru diagnostycznego – elementów krytycznych,
 - odpowiednie dokumentowanie wyników badań i ocen stanu technicznego,
 - rejestrację historii eksploatacji,
 - rejestrację i bieżącą analizę warunków pracy,
 - nadanie wysokiego statusu analizie awaryjności,
 - obowiązkowe badanie elementów wycofanych z eksploatacji,
 - zarządzanie informacją i wiedzą,
 - wymianę wybranych informacji i wiedzy pomiędzy użytkownikami bloków;
- integrację informacji z diagnostyki z wybranymi wskaźnikami ekonomicznymi (volumen produkcji, koszty remontowe) w celu możliwości uzyskiwania kompromisu uwzględniającego:
 - aktualny stan techniczny obiektu,
 - przepisy Urzędu Dozoru Technicznego,
 - uwarunkowania produkcyjne Użytkownika.

Praca regulacyjna może mieć negatywny wpływ na trwałość, zwłaszcza elementów kotła i turbiny. Diagnostyka powinna uwzględniać wyniki analizy cieplno-mechanicznych i chemicznych warunków pracy oraz w przypadku wykrycia uszkodzeń o charakterze eksploatacyjnym ustalać ich ewentualny związek z pracą regulacyjną.

W ogólności, postoje bloków należy traktować jako jedną z cech pracy regulacyjnej, stosując odpowiednie środki zabezpieczające przed korozją postojową w zależności od czasu trwania postoju.

Ze względu na występowanie „obok siebie” (rys. 4.) elementów/węzłów konstrukcyjnych nowych i długo eksploatowanych oraz ewentualne, negatywne skutki pracy regulacyjnej, w tym postojów, diagnostyka opisana w „Wytycznych...” [3] nadaje wysoki status analizie awaryjności. Poprawnie wykonywana analiza awaryjności może nie tylko poprawiać jakość diagnostyki, ale także w znacznym stopniu ją zastępować. Awaria to niepożądane zdarzenie, któremu towarzyszy utrata produkcji oraz koszty remontowe. Może i powinna być także okazją do wykonania

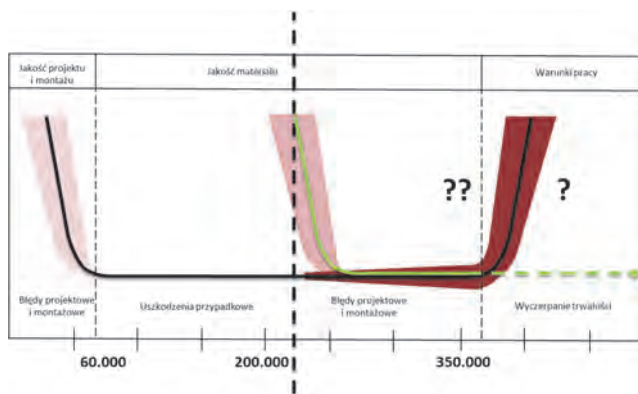
diagnostyki pozwalającej na określenie przyczyny bezpośredniej uszkodzenia, stanu technicznego identycznych lub podobnych nieszkodzonych elementów, ale także ustalenia przyczyny pośredniej, której usunięcie lub ograniczenie może poprawić dyspozycyjność urządzenia.

Diagnostyka opisana w „Wytycznych...” nadaje wyższy status wynikom badań materiałowych, w tym metalograficznych niż obliczeniom, które zwłaszcza w zakresie określania stopnia wyczerpania i prognozowania trwałości mogą przyczyniać się do znacznych błędów i w nieuzasadniony sposób prowadzić do wykluczenia elementu z eksploatacji.

W tym celu wykorzystuje się tzw. badania specjalne weryfikujące, w określonych przypadkach, wyniki obliczeń SWT (stopnia wyczerpania trwałości).

Opisana w „Wytycznych...” metodologia badań preferuje klasyczne badania NDT, w tym metalograficzne. Parudziesięcioletnia wiedza i doświadczenie na temat badań materiałowych elementów długo eksploatowanych wskazuje na potrzebę unikania badań nietypowych, których wyniki bywają trudne do zweryfikowania i mogą prowadzić do nieuzasadnionego wykluczenia elementów z eksploatacji.

Planowanie zakresów i harmonogramów badań rekomenduje się wykonywać uwzględniając wyniki analizy bieżących warunków pracy bloków/urządzeń. W przypadku pracy urządzenia odbiegającego istotnie od eksploatacji w trybie podstawowym, tj. gdy czas pracy w roku jest krótszy od 6000 godzin i liczba sumarycznych uruchomień przekracza 50/rok, należy indywidualizować harmonogramy badań uwzględniając aktualny stan techniczny, jakość wiedzy, przepisy UDT oraz uwarunkowania produkcyjne. Działanie takie powinno być wspierane przez analizę ryzyka.



Rys. 4. Skutki dla awaryjności/dyspozycyjności jednoczesnej obecności w urządzeniu elementów długo eksploatowanych i nowych/zmodernizowanych [3]

Jednym z istotnych czynników mających wpływ na bezawaryjną pracę bloków energetycznych jest utrzymywanie wysokiej czystości układu wodno-parowego. Wpływ na to ma właściwie dobrany i należyście kontrolowany reżim wodno-chemiczny. W warunkach pracy regulacyjnej nie zawsze można zapewnić jego stabilność. Skutkować to może m.in. pojawieniem się większej ilości zanieczyszczeń w układzie, które należy usuwać wykonując okresowo badania oraz chemiczne czyszczenia, w tym także dmuchanie przegrzewaczy pary. Czynności te, prawidłowo wykonywane, zwiększają nie tylko trwałość elementów, zwłaszcza parownika kotła, ale także poprawiają efektywność produkcji.

Zarządzanie informacją i wiedzą

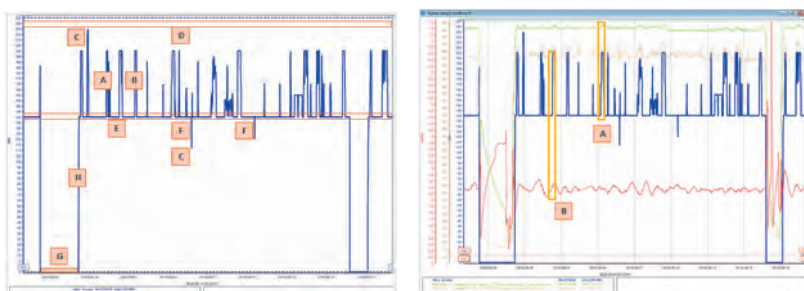
Kluczowa dla zapewnienia bezpieczeństwa technicznego urządzeń oraz ich wysokiej dyspozycyjności, zwłaszcza tych pracujących jako podszczytowe i szczytowe, jest rejestracja i analiza dużej liczby informacji. Typowe informacje charakteryzujące dotąd historię i warunki pracy urządzeń, jak czas pracy, liczba uruchomień, parametry robocze czynnika, etc. to zdecydowanie za mało. Liczba istotnych informacji charakteryzujących ciepło-mechaniczne i chemiczne warunki pracy istotnie wzrosła. W ostatnim wydaniu „Wytycznych...” [3] zaproponowaliśmy analizę on-line indeksu pracy elastycznej (IFO), który może być traktowany jako kryterium wyboru rodzaju i zakresu diagnostyki oraz maintenance'u.

W diagnostyce dostosowanej do pracy regulacyjnej bloków energetycznych rośnie status analizy awaryjności. Jakość predykcji awarii/prognozowania trwałości urządzeń zależeć będzie od jakości informacji, w tym od możliwości analizy jak największej liczby odpowiednio opisanych awarii. Można to osiągnąć poprzez integrację za pośrednictwem portalu internetowego systemów informatycznych klasy LM System PRO+® wyposażonych w odpowiednie moduły akwizycji i analizy parametrów pracy oraz zdarzeń eksploatacyjnych (rys. 6).

Podsumowanie i wnioski

- Odpowiednio diagnozowane i remontowane bloki 100 MW -360 MW mogą, z wysoką dyspozycyjnością, pracować w każdym z trybów (praca podstawowa, podszczytowa, szczytowa) ok. 15 lat bez wymiany elementów krytycznych.
- To czas, który powinniśmy wykorzystać na mądrą transformację naszej elektroenergetyki.
- Można to osiągnąć odpowiednio diagnozując i remontując bloki 100 MW -360 MW oraz organizując wymianę informacji, wiedzy i doświadczeń pomiędzy ich użytkownikami.
- Diagnostyka wspierająca bezpieczeństwo techniczne i wysoką dyspozycyjność bloków pracujących w intensywnej regulacji powinna sprostać potrzebom akwizycji i analizy dużej liczby informacji. Status analizy awaryjności powinien wzrosnąć.
- Wiedza z diagnostyki powinna być odpowiednio integrowana z danymi ekonomicznymi dotyczącymi zarówno kosztów wytwarzania jak i ceny energii. Utrzymanie stanu technicznego urządzeń powinno być w odpowiedniej relacji do warunków pracy urządzeń oraz efektu ekonomicznego wytwarzania.

PRACA REGULACYJNA – ZAKRES ANALIZY	
Liczba / częstotliwość zjazdów i podjazdów mocy	rys. 13 – A, B
Prędkość zjazdów i podjazdów mocy	rys. 13 – A, B
Maksymalna i minimalna prędkość zjazdów i podjazdów mocy	rys. 13 – A, B
Maksymalna i minimalna wartość obciążenia	rys. 13 – C
Czas pracy bloku przy obciążeniu nominalnym	rys. 13 – D
Czas pracy bloku przy minimum technologicznym	rys. 13 – E
Liczba zjazdów mocy i czas pracy bloku poniżej minimum technologicznego	rys. 13 – F
Liczba i czas trwania postojów	rys. 13 – G
Liczba uruchomień, w tym z poszczególnych stanów ciepłych	rys. 13 – H
Zmiana temperatury wody zasilającej synchronicznie do zmian mocy	rys. 14 – A
Zmiana wartości wybranych parametrów chemicznych, zwłaszcza reżimowych	rys. 14 – B



Rys. 5. Informacje służące do wyznaczania indeksu pracy regulacyjnej bloku energetycznego [3]



Rys. 6. Kompleksowy system informatyczny sprawujący nadzór diagnostyczny nad urządzeniami bloków energetycznych oraz raportujący okresowo w zakresie pozwalającym na predykcję awarii/prognozowanie trwałości

- [1] PN/20.2900/2013: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW. Część I. Założenia ogólne. Część II. Diagnostyka elementów krytycznych kotła oraz głównych rurociągów parowych i wodnych. Część III. Diagnostyka rur powierzchni ogrzewalnych. Katowice, luty 2013.
- [2] PN/30.2910/2013: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW.

Część I. Założenia ogólne. Diagnostyka elementów krytycznych turbin i generatorów. Katowice, luty 2013.

- [3] PN/45.3360/2016/A (Wydanie II): Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100 MW - 360 MW. Katowice, czerwiec 2016.

Jerzy Trzeszczyński, Paweł Gawron, Wojciech Murzynowski
Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o.

Wytyczne przedłużania eksploatacji zmodernizowanych bloków 100 MW – 360 MW

Guidelines for life extension of modernized power units 100 MW – 360 MW

Wytyczne stanowią wsparcie dla modernizacji i bieżącego utrzymania stanu technicznego elementów krytycznych, głównych urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100 MW - 360 MW po przekroczeniu trwałości projektowej bez potrzeby ich wymiany.

Przyjęto:

- umowną trwałość projektową na poziomie 200 000 godzin,
 - możliwy rezsurs bezpiecznej eksploatacji na poziomie ok. 350 000 godzin,
 - dyspozycyjność, jak dla pozostałych elementów bloków.
- Uwzględniono:
- regulacyjny tryb pracy bloków,
 - wpływ ciepłno-mechanicznych i chemicznych warunków pracy,

- analizę ryzyka,
- odpowiednio zorganizowaną, bieżącą wymianę wiedzy i doświadczeń pomiędzy użytkownikami bloków.

Geneza dokumentu

Wytyczne przedłużania eksploatacji powstały na podstawie badań i analiz wykonanych w latach 2011-2016 (rys. 1-2) przy udziale specjalistów wszystkich grup energetycznych działających w Polsce [1-6] i konsultacji z Urzędem Dozoru Technicznego oraz z uwzględnieniem obowiązujących przepisów i wytycznych UDT [7-8].



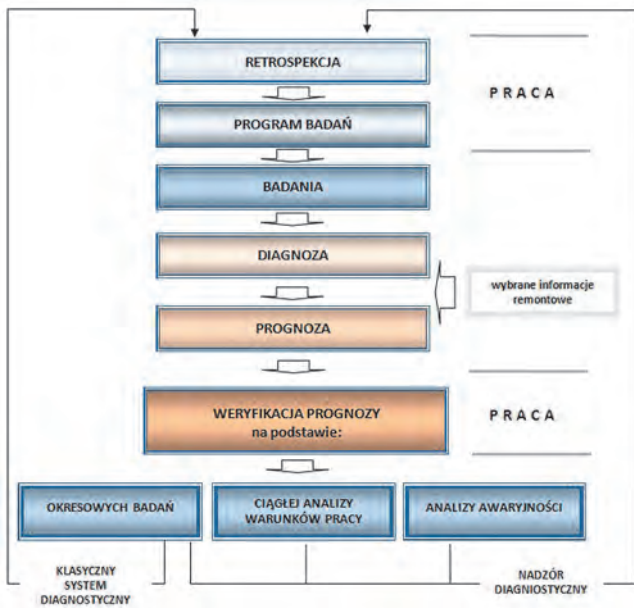
Rys. 1. PN/20.2900/2013 [1] i PN/30.2910/2013 [2]: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń mechanicznych bloków 200 MW. Pro Novum/TGPE. 2013



Rys. 2. „Wytyczne...” dla bloków 100 MW-360 MW w formie „Poradnika”, „Instrukcji” oraz e-booka

Diagnostyka wspierająca przedłużanie eksploatacji

Diagnostykę należy traktować jako proces w odpowiedni sposób zintegrowany z eksploatacją i remontami urządzeń w sposób przedstawiony na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat podejścia do oceny stanu technicznego elementów eksploatowanych w zakresie trwałości projektowej („klasyczny system diagnostyczny”), jak również pracujących w zakresie trwałości indywidualnej („nadzór diagnostyczny”)

Element po przekroczeniu 200 000 godzin eksploatacji pracuje w zakresie trwałości indywidualnej, której zapas określa się z uwzględnieniem jego indywidualnych:

- wymiarów,
- własności materiałów,
- warunków pracy.

Zakres diagnostyki określa się indywidualnie na podstawie retrospekcji. Zakres naprawy, sposób wydłużenia żywotności (np. poprzez rewitalizację) określa się na podstawie badań, oceny stanu technicznego i prognozy trwałości.

W okresie przedłużonej eksploatacji nad urządzeniem sprawuje się nadzór diagnostyczny, którego celem jest aktualizowanie diagnozy, weryfikowanie prognozy trwałości oraz formułowanie odpowiednich, adekwatnych do potrzeb, zaleceń profilaktycznych.

Analiza warunków pracy

Analizę czasowych przebiegów wybranych parametrów pracy należy wykorzystywać do oceny aktualnego stanu technicznego oraz bieżącej weryfikacji prognozy trwałości. W tym celu należy rejestrować przekroczenia cieplno-mechanicznych oraz chemicznych parametrów pracy mogących mieć wpływ na obniżenie trwałości. Bieżącej analizie podlegają wybrane parametry cieplno-mechaniczne oraz chemiczne. Zakłada się korzystanie z odpowiednio zweryfikowanych pomiarów ruchowych. W przypadku braku odpowiednio zlokalizowanych pomiarów o odpowiedniej jakości należy je uzupełnić podczas remontów modernizacyjno-odtworzeniowych.

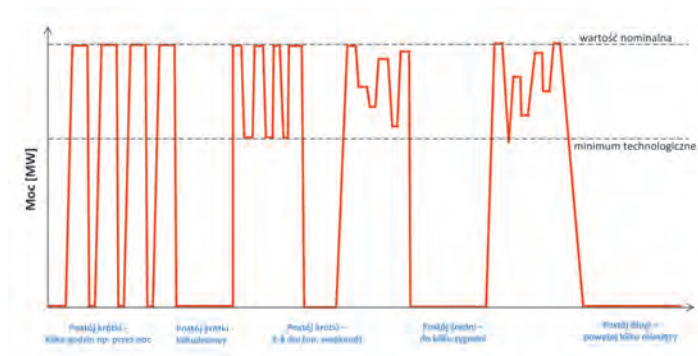
Uwzględnianie, przy ocenie stanu technicznego, a zwłaszcza przy prognozowaniu czy weryfikacji trwałości, rzeczywistych warunków pracy ma zasadnicze znaczenie dla dokładności obliczeń oraz w konsekwencji dla bezpieczeństwa pracy elementów. Analizie wybranych parametrów pracy należy zapewnić odpowiednią jakość, dane pomiarowe powinny być rzeczywiste, niemodyfikowane w jakikolwiek sposób, czyli:

- bez stosowania ograniczeń na wartości pomiarów typu: filtry, bramki, w szczególności bez stosowania ograniczeń wartości minimalnych i maksymalnych, z wyjątkiem mającym na celu odrzucenie nieprawdziwych wartości,
- bez stosowania agregacji, np. uśrednienia,
- bez pomijania zapisu wartości czasowej, np. przez stosowania tzw. deadbandu,
- przy stałej minimalnej częstotliwości próbkowania.

Tzw. ustalone stany pracy bloków, typowe dla ich pracy podstawowej, to raczej rzadkość. Przeważa praca regulacyjna, stąd zaleca się określanie wskaźnika/indexu głębokości/intensywności pracy regulacyjnej. W tym celu Pro Novum opracowało odpowiedni moduł LM System PRO+® – nazwany IFO (Index of Flexible Operation (rys. 4.)), który uwzględniając specyfikę pracy regulacyjnej będzie rejestrować i analizować:

- liczbę/częstotliwość zjazdów i podjazdów mocy,
- prędkości zjazdów i podjazdów mocy,
- maksymalną i minimalną prędkość zjazdów i pojazdów mocy,
- maksymalną i minimalną wartość obciążenia,
- czas pracy bloku przy obciążeniu znamionowym,
- czas pracy bloku przy minimum technologicznym,
- liczbę zjazdów mocy i czas pracy bloku poniżej minimum technologicznego oraz powyżej mocy znamionowej,
- zmiany wartości wybranych parametrów cieplno-mechanicznych i chemicznych synchronicznych ze zmianami obciążenia,
- liczbę i czas trwania postojów w połączeniu z kosztami uruchomień.

Do warunków pracy, często niedostatecznie rozpoznanych, które mogą prowadzić do uszkodzeń o charakterze awarii należy zaliczyć wszelkiego rodzaju naprężenia „dodatkowe”, których



Rys. 4. IFO – moduł analizy pracy regulacyjnej

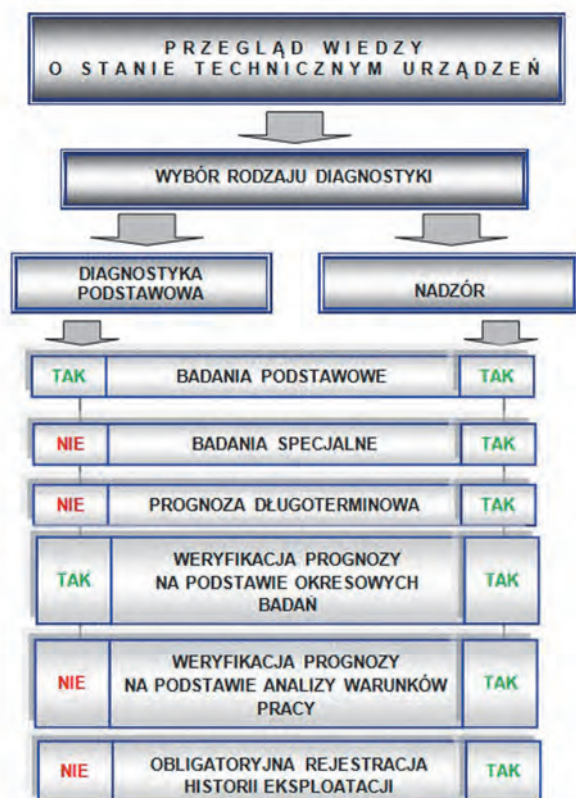
teoretycznie powinno nie być, a obliczeniowo nie można ich uwzględnić przy ocenie stanu technicznego, a zwłaszcza podczas prognozowania trwałości.

Źródłem dodatkowych naprężeń mogą być:

- wady materiałowe,
- błędy konstrukcyjne,
- błędy montażowe,
- błędy eksploatacyjne.

Nadzór diagnostyczny

Elementy, których czas pracy przekroczył 200 000 godzin, pracują w zakresie trwałości indywidualnej w trybie nadzoru diagnostycznego (rys. 5).



Rys. 5. Porównanie Diagnostyki Podstawowej i Nadzoru Diagnostycznego

Istotą nadzoru diagnostycznego jest okresowa kontrola:

- stanu materiału na podstawie badań nieniszczących,
- geometrii elementu,
- rzeczywistych warunków pracy,
- awaryjności,
- stopnia wyczerpania trwałości.

Nadzór Diagnostyczny elementów urządzeń powinien być wspierany odpowiednio do tego przygotowanym oprogramowaniem eksperckim, integrującym w jednym miejscu wszystkie elementy nadzoru diagnostycznego.

Analiza awaryjności

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 wcześniej naprawy wydłużającej remont (czy zwiększającej koszty remontu) i powodującej utratę produkcji.

Prawidłowa analiza stanu awaryjnego elementów urządzeń energetycznych powinna m.in. uwzględniać poniżej wymienione informacje:

- opis objawów uszkodzenia,
- określenie przyczyn(y) bezpośredniej i pośredniej awarii¹⁾,
- opis lokalizacji uszkodzenia,
- usunięcie/ograniczenie przyczyny pośredniej uszkodzenia,
- szkice, rysunki, dokumentacja fotograficzna uszkodzonych elementów i inne dokumenty związane,
- koszty awarii z rozróżnieniem strat produkcyjnych i kosztów usuwania awarii.

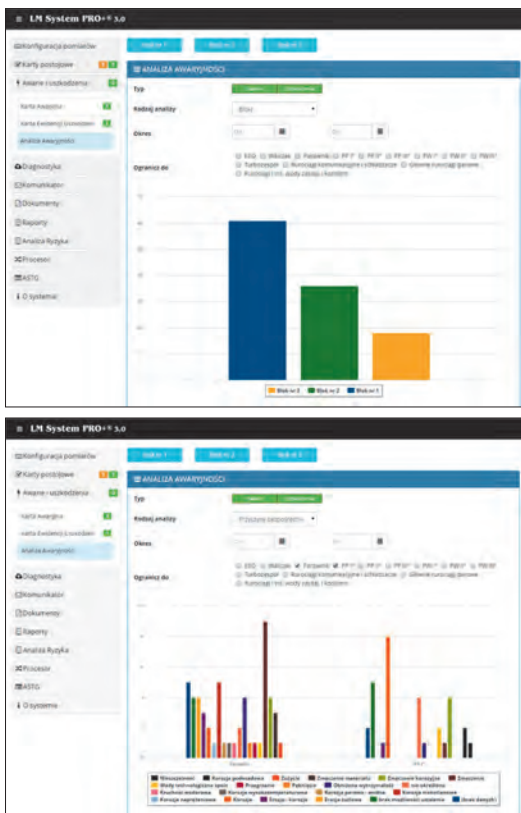
W związku z pracą bloków energetycznych w trybie regulacyjnym należy ustalać charakter uszkodzenia: technologiczny/eksploatacyjny, a wśród uszkodzeń eksploatacyjnych określać stopień powiązania z pracą regulacyjną.

Na podstawie informacji z poszczególnych awarii należy wykonywać okresową, statystyczną analizę awaryjności z uwzględnieniem co najmniej: częstotliwości, lokalizacji i przyczyn awarii (rys. 6).

¹⁾ Uwaga: określenie przyczyn bezpośrednich i pośrednich uszkodzenia powinno być udokumentowane w postaci odpowiednio sporządzonego protokołu poawaryjnego.

- Analiza awaryjności w sposób jw. powinna umożliwiać:
- eliminowanie lub ograniczanie przyczyn kolejnych awarii,
- weryfikowanie i aktualizowanie prognoz trwałości elementów,
- sporządzanie statystyk uszkodzeń, co jest niezbędne do:
 - prognozowania trwałości elementów pracujących poniżej temperatury granicznej,
 - analizy ryzyka.

Analiza awarii wykonywana w opisany sposób może być ważnym źródłem informacji o stanie technicznym urządzeń, zwłaszcza wtedy, gdy postoje planowe nie pozwalają na wykonywanie diagnostyki w pełnym zakresie.



Rys. 6. Statystyczna, systemowa analiza awaryjności

Analiza ryzyka

Uzupełnienie analizy awaryjności o analizę kosztów utraty produkcji oraz usuwania awarii pozwolą na prowadzenie analizy ryzyka rozumianego jako iloczyn prawdopodobieństwa uszkodzenia i jego konsekwencji.

Analiza ryzyka rozumianego jako koszt (konsekwencja) prawdopodobieństwa określonego rodzaju uszkodzenia to jeszcze niedoceniany (a niekiedy źle realizowany) sposób na szukanie racjonalnego konsensusu pomiędzy wymaganiami techniki a oczekiwaniami (możliwościami) ekonomicznymi.

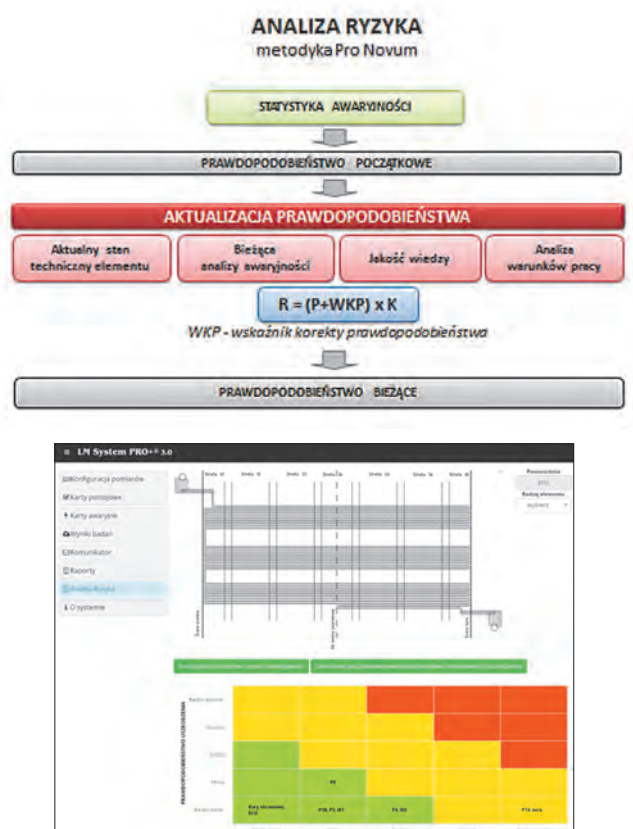
Analiza ryzyka to podejście do utrzymania stanu technicznego (diagnostyki i remontów) (rys. 6) integrujące zagadnienia techniczne, ekonomiczne i bezpieczeństwa.

Wymaga dysponowania:

- danymi konstrukcyjnymi,
- historią eksploatacji,
- danymi dotyczącymi aktualnego stanu technicznego urządzeń,

- informacjami o warunkach pracy,
- informacjami dot. awaryjności (przyczyny i statystyki uszkodzeń),
- informacjami na temat konsekwencji awarii w zakresie:
 - zagrożenia dla bezpieczeństwa ludzi i stanu technicznego infrastruktury technicznej,
 - kosztów remontowych,
 - utraty produkcji,
 - zagrożenia dla środowiska (m.in. kar w zakresie niedotrzymania limitów emisji).

Analiza ryzyka (rys. 7) może udostępniać aktualną wiedzę użyteczną dla inżyniera, ekonomisty i ubezpieczyciela oraz menedżera na obszarze zarządzania majątkiem. Wymaga to przetwarzania stosunkowo dużej liczby danych i informacji o wysokiej jakości, aktualizowanych w trybie on-line. Zarówno te wymagania jak i udostępnianie bieżącej wiedzy we właściwej formie wymaga wykorzystywania odpowiednio zbudowanych i skonfigurowanych aplikacji informatycznych.



Rys. 7. Analiza ryzyka

Komercjalizacja produkcji energii i potrzeba elastycznego dostosowania się do wymagań rynku wymusza oprócz stosowania sztywnych procedur także wykorzystywanie metod „racjonalnego hazardu” wtedy, gdy takie podejście nie stwarza nieakceptowalnego wzrostu zagrożenia dla życia i zdrowia obsługi.

Kwalifikowanie elementów do dalszej eksploatacji

Uwzględniając oczekiwania produkcyjne dla bloków długo eksploatowanych należy wyróżnić dwa etapy kwalifikowania elementów krytycznych do dalszej pracy:

- na podstawie długoterminowej prognozy – w celu rozstrzygnięcia możliwości pracy bez wymiany, w perspektywie oczekiwanej liczby godzin pracy,
- do kolejnej weryfikacji długoterminowej prognozy lub/i do następnej rewizji wg przepisów Urzędu Dozoru Technicznego.

Długoterminową prognozę należy sporządzić najpóźniej po remoncie modernizacyjno-odtworzeniowym. Zakres badań konieczny dla jej opracowania należy wyznaczyć na podstawie retrospekcji wykonanej przed remontem jw. Weryfikację prognozy należy przeprowadzać analizując rzeczywiste warunki pracy oraz uwzględniając wyniki kolejnych badań dostosowując ich zakres do indywidualnych potrzeb.

Kryteria dopuszczania elementów do kolejnych badań (kolejnych rewizji) należy przyjmować na podstawie przepisów Urzędu Dozoru Technicznego oraz zaleceń opisanych w opracowaniu Pro Novum [1].

Dokumentowanie diagnostyki

Dokumentowanie diagnostyki powinno być jedną z wymaganych czynności w okresie przedłużania eksploatacji zmodernizowanych bloków energetycznych. Duża różnorodność elementów w zakresie czasu i warunków pracy oraz historii eksploatacji sprawia, że dokumentowanie oraz odpowiednie archiwizowanie informacji staje się ważnym warunkiem jakości wiedzy. Wykorzystywanie indywidualnego zapasu trwałości obliuguje do tego, aby każdy element podlegający nadzorowi diagnostycznemu posiadał zapisaną historię w zakresie niezbędnym do diagnozowania zgodnie z zaleceniami „Wytucznych ...”. Regulacyjna praca bloków energetycznych dodatkowo wymusza takie podejście.

Dokumenty powinny mieć formę elektroniczną, co ułatwia zarówno ich archiwizację jak i dostęp do nich oraz pozwala je powiązać z elementami struktury obiektu.

Zarządzanie informacją i wiedzą

W związku z potrzebą rejestrowania/dokumentowania oraz analizowania dużej liczby informacji zaleca się korzystanie z oprogramowania, które takie zarządzanie umożliwi i dodatkowo ogranicza pracochłonność. Poniżej podano przykład funkcjonalności takiego programu (rys. 8).

Wymiana informacji, wiedzy i doświadczeń – portal internetowy

Doświadczenia eksploatacyjne Użytkowników urządzeń – jednego typu lub bardzo do siebie podobnych – to wiedza często ważniejsza niż wyniki badań elementów urządzeń, które są eksploatowane. Mówią one o problemach rzeczywistych, ujawnianych po różnym czasie pracy oraz w różnych warunkach eksploatacji.

Bezpieczną pracę i wysoką dyspozycyjność urządzeń wyposażonych w długo eksploatowane elementy krytyczne trudno wyobrazić sobie bez wymiany doświadczeń i wiedzy.

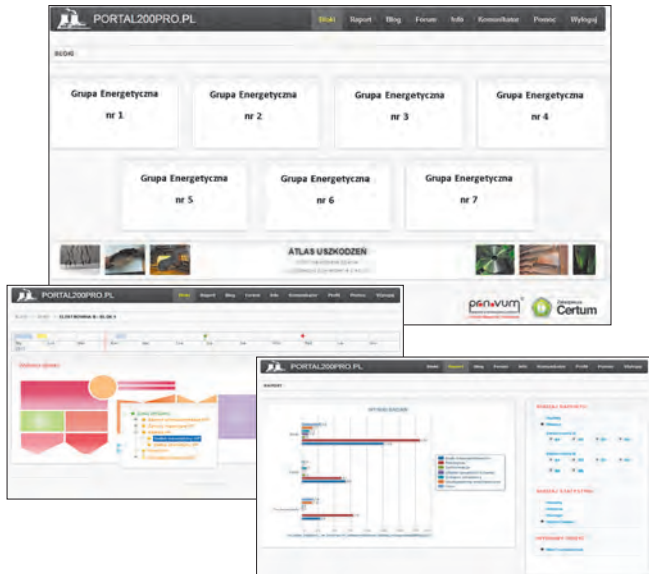
Statystyka uszkodzeń dla elementów pracujących poniżej temperatury granicznej to często jedyna przesłanka do prognozowania ich trwałości. Dla pozostałych elementów to także szansa na zapewnienie bezpieczeństwa przy możliwie najniższych kosztach badań. Na ogół taką wiedzę zapewniają dostawcy urządzeń. Dla bloków 100-360 MW tę „lukę” może zastąpić wspólna inicjatywa ich Użytkowników wspierana przez instytucję/firmę o odpowiednim doświadczeniu i kompetencjach.

Bez wymiany wiedzy i doświadczeń, w szczególności dotyczącej statystyki uszkodzeń, trudno sobie wyobrazić bezpieczną pracę urządzeń i wysoką dyspozycyjność przy możliwie niskich nakładach na utrzymanie. Kierując się tymi przesłankami utworzono portal internetowy www.portal200pro.pl – (rys. 9), służący wymianie informacji, wiedzy i doświadczeń związanych z przedłużaniem eksploatacji bloków 200 MW (może być



Rys. 8. Zarządzanie informacją i wiedzą z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego

w stosunkowo prosty sposób adaptowany do potrzeb Użytkowników bloków 100 MW oraz 360 MW). Raporty generowane przez portal powinny być źródłem wiedzy dla specjalistów zajmujących się utrzymaniem stanu technicznego bloków wyposażonych w długo eksploatowane elementy krytyczne kotłów, turbozespołów i rurociągów, wykonujących diagnostykę według podobnych standardów technicznych.



Rys. 9. Wymiana informacji, wiedzy i doświadczeń – portal internetowy

Korekcja chemiczna w warunkach pracy regulacyjnej

Praca w regulacji ma istotny wpływ na warunki fizykochemiczne w całym układzie wodno-parowym bloków 100-360 MW. Cykliczne zmiany warunków fizykochemicznych w czasie pracy są zawsze niekorzystne z punktu widzenia konieczności utrzymania dobrego stanu technicznego urządzeń.

Ze względu na stan pracy bloku energetycznego rozróżniamy trzy przypadki istotne ze względów chemicznych.

1. Uruchomienie:

- konieczność zagwarantowania określonych reżimów parametrów fizykochemicznych w układzie wodno-parowym;
- ograniczenie czasu dostępnego do osiągnięcia właściwych parametrów fizykochemicznych w układzie wodno-parowym;
- praca na parametrach fizykochemicznych „poślizgowych”.

2. Praca w ciągłej regulacji:

- zmiana wartości parametrów fizykochemicznych w układzie wodno-parowym; w tabeli 1 zamieszczono schemat zmian wielkości mierzonych w zależności od spadku lub wzrostu mocy z określeniem wpływu (negatywnego / obojętnego/pozytywnego);
- konieczność utrzymania określonych reżimów parametrów fizykochemicznych w układzie wodno-parowym.

Tablica 1

Czynnik obiegowy	pH	$\gamma 20^{\circ}\text{C}$	O_2	SiO_2	P_2O_5	Cu	Fe	Parametr	MOC
Woda zasilająca	-	-	-/+	o		+	+	↑	
Woda kotłowa	-/+	-	-/+	-/+	-	+	+		
Para	-/+	+		+		+	+		
Kondensat	-/+	+		o		+	+	↓	
Woda zasilająca	+	-/+	-	-/+		+	+		
Woda kotłowa	-/+	-/+	-	o	+	+	+		
Para	-/+	-		-		-/+	-/+		
Kondensat	-/+	-		o		-/+	-/+		

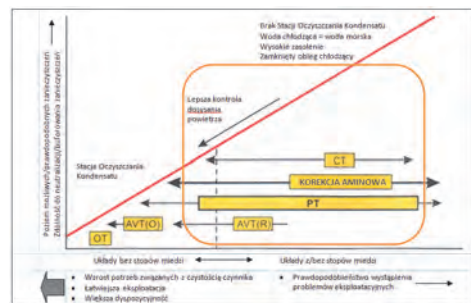
3. Odstawienie:

- konieczność utrzymania określonych reżimów parametrów fizykochemicznych w układzie wodno-parowym w sytuacji braku dedykowanych metod konserwacji,
- właściwa konserwacja na czas postoju,
- monitoring wartości parametrów fizykochemicznych w układzie wodno-parowym.

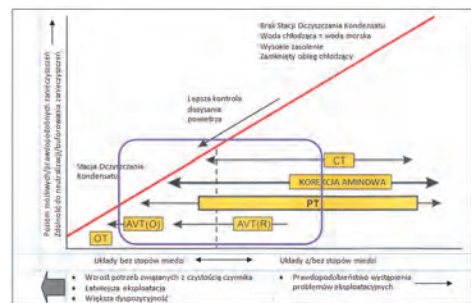
W tabeli 2 przedstawiono zalecane metody korekcji chemicznej na poszczególnych typów bloków uwzględniające wymagania dla pracy w regulacji.

Tablica 2

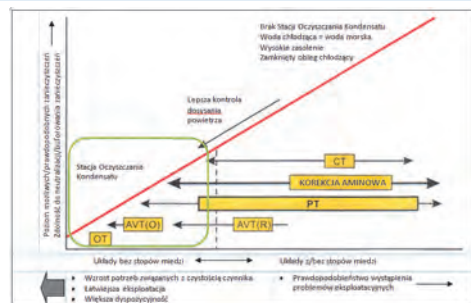
Zalecany rodzaj stosowanej korekcji chemicznej dla bloków 100 MW



Zalecany rodzaj stosowanej korekcji chemicznej dla bloków 200 MW



Zalecany rodzaj stosowanej korekcji chemicznej dla bloków 360 MW



OT – oxygenated treatment (reżim kombi)
 AVT(O), AVT(R) – oxidizing/reducing all-volatile treatment (korekcja amoniakiem AVT(O) lub amoniakiem z dodatkiem środka redukującego AVT(R)
 PC – phosphate continuum (korekcja fosforanami)
 PC(L), PC(H) – phosphate treatment with low/high level of phosphate
 CT – caustic treatment (korekcja wodorotlenkiem sodu)

Dla wszystkich wymienionych systemów korekcji zaleca się wprowadzenie kart reżimowych opartych na systemie poziomów akcji (Action level), pozwalających na przewidywanie możliwości wystąpienia przekroczenia w obszarze parametrów, z reakcją po stronie eksploatacji eliminującą/ograniczającą przyczynę i wizualizację konsekwencji (oraz koniecznych działań) w funkcji czasu i wielkości przekroczenia.

Zabezpieczanie urządzeń ciepłno-mechanicznych przed korozją postojową

Każdemu postojowi urządzeń energetycznych towarzyszą zagrożenia związane z wystąpieniem uszkodzeń spowodowanych korozją postojową. Im czas postoju urządzeń niezabezpieczonych antykorozyjnie jest dłuższy, tym większe negatywne skutki procesów korozyjnych obserwujemy w czasie eksploatacji bloków energetycznych.

Negatywne skutki korozji postojowej układu wodno-parowego bloku energetycznego uwidaczniają się zwłaszcza w czasie rozruchu, kiedy to obserwuje się znaczne ilości żelaza w wodzie zasilającej i kotłowej.

Dla różnych trybów postoju:

- krótkie (dotyczące postojów w rezerwie, generalnie bez realizacji prac remontowych, kilkugodzinnych lub kilku dniowych),
- średnie (dotyczące postojów remontowych od kilku tygodni do paru miesięcy),
- długie (dotyczące postojów kilkumiesięcznych, w tym postojów z określonym zakresem remontu),
- odstawienia długookresowe (powyżej pół roku lub bez dokładnie określonego horyzontu czasowego)

możliwy jest wybór różnych metod konserwacji:

- konserwacja mokra,
- konserwacja sucha,
- konserwacja z wykorzystaniem gazów obojętnych,
- konserwacja z wykorzystaniem lotnych inhibitorów korozji,
- konserwacja z wykorzystaniem związków amin,
- metody kombinowane.

Obecnie ważnym zagadnieniem decydującym o pewności ruchowej urządzeń jest ich częstotliwość odstawiń do postoju, zwłaszcza na coraz dłuższe okresy, choć krótkie również powinny być objęte nadzorem. Zaniechanie zabiegu konserwacji na okres postoju (szczególnie dłuższych – powyżej 20 dni), może być przyczyną występowania bezpośrednich awarii powierzchni ogrzewalnych, elementów turbin, wymienników ciepła i innych w okresie eksploatacji, jak również wtórnych niekorzystnych zjawisk (aż do niemożności uruchomienia urządzeń) związanych z obecnością produktów korozji postojowej w układzie.

Czynnikami, które w istotny sposób wpływają na dynamikę procesów korozji postojowej są:

- stan powierzchni metalu,
- struktura metalu,
- obecność tlenu,
- stężenie zanieczyszczeń gazowych jak CO₂ i SO₂,
- stężenie soli i ilość osadów eksploatacyjnych.

Z wyżej wymienionych czynników szczególne znaczenie ma obecność wilgoci (lub wody), tlenu i zanieczyszczeń w postaci gazów czy soli.

Korozję elementów ciśnieniowych bloków energetycznych można ograniczyć przez odstawianie bloku w taki sposób, aby pozostało w nim jak najmniej wilgoci. Dlatego też konieczne jest stosowanie określonych procedur postępowania przy odstawięniach bloków energetycznych obejmujących nie tylko wdrażanie technologii ich zabezpieczeń, lecz również takich działań, jak:

- opróżnianie wymienników ciepła z wody,
- osuszanie urządzeń,
- obniżanie stężenia jonów agresywnych w roztworach wodnych,
- korekta reżimów chemicznych przed odstawięniem bloku itp.

Wdrożenie właściwych sposobów odstawiania bloków energetycznych oraz opracowanie i stosowanie skutecznych technologii konserwacji przyczynia się do zminimalizowania nakładów związanych z remontami urządzeń energetycznych, a zwłaszcza kotłów.

Wyborem metody konserwacji (kombinacji metod) „rządzi” możliwość hermetyzacji układu.

I. Z możliwością całkowitej hermetyzacji (odcięcia od atmosfery zewnętrznej):

- a) kocioł po stronie czynnika obiegowego,
- b) trakt wody zasilającej, zbiornik wody zasilającej, odgazowywacz,
- c) regeneracja po stronie wody zasilającej.

II. Z częściową możliwością hermetyzacji:

- a) układ przepływowy turbiny
- b) układ chłodzenia generatora,
- c) strona parowa regeneracji,
- d) kondensator po stronie parowej.

III. Bez możliwości hermetyzacji:

- a) kocioł po stronie spalin,
- b) elektrofiltr,
- c) obrotowy podgrzewacz powietrza,
- d) inne.

Część urządzeń bloku energetycznego (m.in. wentylatory, dmuchawy, układ wyprowadzenia spalin, układ odpopielenia, układ rozpałkowy, układy olejowe, różnego rodzaju pompy technologiczne, w tym zasilające i inne) nie podlega (głównie ze względu na ograniczenia techniczne i brak skutecznej oraz racjonalnej ekonomicznie metody zabezpieczenia) procesowi konserwacji, niezależnie od czasu postoju, jednak z określonym zakresem nadzoru obejmującym wykonanie określonych działań właściwych dla danej grupy urządzeń.

W wyborze odpowiedniej metody konserwacji należy uwzględnić poniższy zakres zagadnień:

- częstotliwość odstawiń,
- czas odstawięni do rezerwy,
- maksymalny, dostępny czas na ponowne uruchomienie,
- obsługa i wydatki na „technikę” samego procesu konserwacji,
- wtórne oddziaływanie na człowieka i elementy zabezpieczonego układu,
- utylizacja środków konserwujących,
- zagrożenie mrozem,
- efektywność ekonomiczna.

Tablica 3

Podstawowe metody konserwacji w zależności od czasu postoju

Rodzaj Postoju	Działanie			
	kocioł	turbina	układ kondensatu	układ wody zasilającej
1	2	3	4	5
Postój krótki (ok. 12 h)	-	-	-	-
Postój krótki (weekend)	W, W1, WA, S	PO, S	O	-
Postój krótki, kilka dni	W, W1, WA, S	PO, S	P	-
Postój średni, kilka tygodni	VCL, AF, S	PO, S, VCL	P	-
Postój długi, kilkanaście miesięcy Postój bardzo długi, kilka lat	VCL, AF, S	PO, S, VCL	S, VCL	S, VCL, AF

W – układ ciśnieniowy zalany wodą obiegową,
W1 – układ ciśnieniowy zalany wodą obiegową z korekcją odczynu pH,
WA – układ ciśnieniowy zalany wodą obiegową, dodatkowe zabezpieczenie azotem,
S – konserwacja sucha – obniżenie wilgotności względnej w układzie,
PO – właściwa procedura odstawienia turbiny w celu zminimalizowania kondensacji wody,
O – spuszczenie kondensatu z przestrzeni wodnej i osuszenie powierzchni,
VCL – konserwacja lotnymi inhibitorami korozji,
AF – aminy filmujące,
P – utrzymanie przepływu przez rury wymiennika.

Technologie przedłużające trwałość długo eksploatowanych elementów krytycznych

Przedłużanie czasu pracy nawet powyżej 300 tys. godzin wiąże się z potrzebą stosowania odpowiednich technologii remontowych, w tym zwłaszcza regeneracji i rewitalizacji. Najwięcej korzyści przynosi stosowanie rewitalizacji stalowych elementów turbin. Jeśli wykonywana jest prawidłowo, przedłuża trwałość tych elementów do 150 tys. godzin, co zostało wielokrotnie, praktycznie udowodnione. Rewitalizacji korpusów towarzyszy przywrócenie znamionowej (fabrycznej) sprawności poprzez przywrócenie znamionowych luzów w układzie przepływowym części WP i SP.

Podsumowanie

Diagnostyka opisana w „Wytycznych..” nadaje wyższy status wynikom badań materiałowych, w tym metalograficznych, niż obliczeniom, które zwłaszcza w zakresie określania stopnia wyczerpania i prognozowania trwałości mogą przyczynić się do znacznych błędów i w nieuzasadniony sposób prowadzić do wykluczenia elementu z eksploatacji. W tym celu wykorzystuje się tzw. badania specjalne weryfikujące, w określonych przypadkach wyniki obliczeń SWT.

Planowanie zakresów i harmonogramów badań należy wykonywać uwzględniając zalecenia przedstawione w „Wytycznych..” oraz wyniki analizy bieżących warunków pracy bloków/urządzeń. W przypadku pracy urządzenia odbiegającego istotnie od pracy w trybie podstawowym, tj. gdy czas pracy w roku jest krótszy od 6000 godzin i liczba sumarycznych uruchomień przekracza 50/rok, należy indywidualizować harmonogramy badań uwzględniając aktualny stan techniczny, jakość wiedzy, przepisy UDT oraz uwarunkowania produkcyjne. Zaleca się, aby takie działania było wspierane przez analizę ryzyka.

Praca regulacyjna może mieć negatywny wpływ na trwałość, zwłaszcza elementów kotła i turbiny. Diagnostyka powinna uwzględniać wyniki analizy cieplno-mechanicznych i chemicz-

nych warunków pracy oraz w przypadku wykrycia uszkodzeń o charakterze eksploatacyjnym ustalać ich ewentualny związek z pracą regulacyjną.

W ogólności, postoje bloków należy traktować jako jedną z cech pracy regulacyjnej, stosując odpowiednie środki zabezpieczające przed korozją postojową w zależności od czasu trwania postoju.

Jednym z istotnych czynników mających wpływ na bezawaryjną pracę bloków energetycznych jest utrzymywanie wysokiej czystości układu wodno-parowego. Wpływ na to ma właściwie dobrany i należyście kontrolowany reżim wodno-chemiczny. W warunkach pracy regulacyjnej nie zawsze można zapewnić jego stabilność. Skutkować to może m.in. pojawieniem się większej ilości zanieczyszczeń w układzie, które należy usuwać wykonując okresowo badania oraz chemiczne czyszczenia, w tym także dmuchanie przegrzewaczy pary. Czynności te prawidłowo wykonywane zwiększają nie tylko trwałość elementów, zwłaszcza parownika kotła, ale także poprawiają efektywność produkcji.

Stan techniczny bloków 100 MW-360 MW oraz kompetencje techniczne specjalistów odpowiedzialnych za zarządzanie majątkiem produkcyjnym to ważna część naszego bezpieczeństwa energetycznego w perspektywie najbliższych ok. 15 lat.

PIŚMIENNICTWO

- [1] PN/20.2900/2013: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń cieplno-mechanicznych bloków 200 MW. Część I. Założenia ogólne. Część II. Diagnostyka elementów krytycznych kotła oraz głównych rurociągów parowych i wodnych. Część III. Diagnostyka rur powierzchni ogrzewalnych. Katowice, luty 2013.
- [2] PN/30.2910/2013: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń cieplno-mechanicznych bloków 200 MW. Część I. Założenia ogólne. Diagnostyka elementów krytycznych turbin i generatorów. Katowice, luty 2013.
- [3] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 041.2921/2013: Wykonanie badań wirników WP i SP bloku 200 MW po długotrwałej eksploatacji. Katowice, marzec 2013.
- [4] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 042.2922/2013: Wykonanie badań niszczących kolan rurociągów bloku 200 MW po długotrwałej eksploatacji. Katowice, marzec 2013.
- [5] PN/45.3360/2016/A (Wydanie II): Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń cieplno-mechanicznych bloków 100 MW -360 MW. Katowice, czerwiec 2016.
- [6] I/PN/85.3400/2016: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń cieplno-mechanicznych bloków 100 MW -360 MW. Instrukcja. Katowice, lipiec 2016.
- [7] WUDT/UC/2003 – Urządzenia ciśnieniowe. Wydanie II. Warszawa, styczeń 2005.
- [8] Wytyczne Urzędu Dozoru Technicznego nr 1/2015 – Zasady Diagnostyki i Oceny Trwałości Eksploatacyjnej Elementów Kotłów i Rurociągów Pracujących w Warunkach Pełzania. Urząd Dozoru Technicznego 2015.

Monitorowanie warunków eksploatacji kotłów na blokach 200 MW w celu oceny wpływu pracy regulacyjnej na stan techniczny ich wybranych elementów i węzłów konstrukcyjnych

Monitoring of operating conditions of boilers of 200 MW power units to assess the impact of cycle load on the technical condition of selected components and construction nodes

Obecnie w Polsce pojawiły się istotne zmiany dotyczące wymagań stawianych konwencjonalnym elektrowniom działającym w warunkach deregulacji rynku energii elektrycznej i rosnącego udziału odnawialnych źródeł energii. Wzrasta znaczenie zdolności przejścia z pracy podstawowej do pracy regulacyjnej bloku:

- zakresu i szybkości zmian obciążenia,
- czasu rozruchu.
- oraz obniżenia minimum technicznego, nawet do 40% mocy znamionowej bez istotnych modernizacji urządzeń.

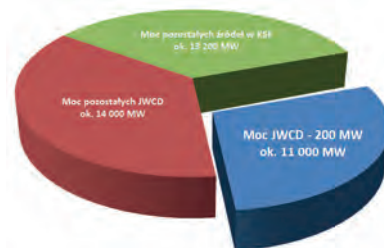
Rosnący udział odnawialnych źródeł energii, zwłaszcza niestabilnych elektrowni wiatrowych, tworzy w systemie elektroenergetycznym sytuację, w której nie tylko po stronie odbiorców energii, ale także po stronie wytwórców występują coraz głębsze i coraz częstsze wahania, trudne do przewidzenia z odpowiednią pewnością. Z tych też powodów przed polskim sektorem elektroenergetycznym pojawiły się trudne do sprostania wyzwania w zakresie dostosowania się do rosnących wymagań operatora KSE.

Znaczenie bloków 200 MW dla Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE)

Obecnie moc osiągalna wszystkich źródeł w KSE wynosi ok. 38 200 MW. W tym ok. 25 000 MW pochodzi z jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych (JWCD). Wśród nich jest 48 konwencjonalnych bloków 200 MW, których moc osiągalna to ok. 11 000 MW (rys. 1), co stanowi istotną część KSE [1].

Bloki 200 MW to bloki, których czas pracy wynosi od ok. 180 000 do ok. 320 000 godzin. W tym czasie były one wielokrotnie i w różnym stopniu modernizowane. Dodatkowo ci, którzy zainwestowali w modernizacje oczekują, że urządzenia te będą

pracować do lat 2025-2030. Istotnym oczekiwaniem jest także to, że większa ich część (jeśli nie całość) będzie stanowić regulacyjną część KSE.



Rys. 1. Udział mocy generowanej z bloków 200 MW w KSE

Charakterystyka pracy regulacyjnej bloków 200 MW w KSE

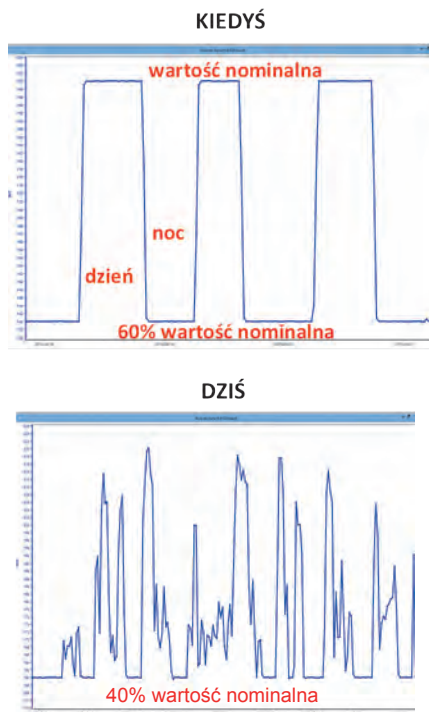
Stan techniczny długo eksploatowanych urządzeń zależy od historii eksploatacji oraz od zakresów i poziomu technicznego remontów planowych. Stan techniczny po remoncie modernizacyjno-odtworzeniowym (retrofitcie) będzie zależał od tego, na ile rozpoznano aktualny stan techniczny i wykonano remont/modernizację adekwatnie do tego stanu.

Najlepszym testem jest (będzie) dyspozycyjność, w tym rodzaj uszkodzeń identyfikowanych w trybie awaryjnym. Warunki „testów” będą (już są) niezwykle wymagające, bo bloki JWCD pracują w regulacji od dłuższego czasu (rys. 2), a jak by tego było mało rozważa się ich pracę przy znacznie obniżonym minimum produkcyjnym.

Elastyczność pracy bloku energetycznego rozumiana jest jako zdolność do jego bezpiecznej pracy w teoretycznie dowolnych stanach nieustalonych wynikających z potrzeb bilansowania i stabilizacji systemu elektroenergetycznego. Pojęcie to dotyczy

zarówno zmian obciążenia bloku, jak również jego odstawiania do różnych rodzajów rezerwy, w tym nawet dłuższych niż 20 dni postojów. Miarą elastyczności bloku jest:

- dopuszczalny zakres jego obciążenia mocą czynną,
- dopuszczalna szybkość zmian obciążenia,
- zdolność do szybkich uruchomień i odstawień.



Rys. 2. Typowy wykres mocy bloku pracującego w regulacji – dobowe podjazdy i zjazdy mocy

Świadczenie przez blok energetyczny usług regulacyjnych wymaga jego dostosowania do następujących sytuacji ruchowych:

- trwałej pracy z mocą maksymalną i zdolności do jej szybkiego osiągnięcia w przypadku nagłego pojawienia się deficytu mocy w systemie,
- trwałej pracy z mocą minimalną,
- zdolności do codziennych odstawień i szybkich uruchomień,
- zdolności do szybkiego przyrostu mocy.

Jednocześnie oczekuje się optymalizacji wielu parametrów:

- redukcji kosztów paliwa,
- jak najmniejszej redukcji sprawności,
- możliwie największej efektywności produkcji,
- spełnienia wymagań ekologicznych,
- minimalizacji redukcji trwałości – zapewnienie wysokiej dyspozycyjności.

Koncepcja Pro Novum dotycząca przedłużania czasu pracy elementów krytycznych bloków 200 MW

Z technicznego punktu widzenia bezpieczne przedłużanie czasu eksploatacji urządzeń pracujących ponad trwałość projektową jest możliwe, jeśli uwzględni się w odpowiedni sposób następujące zagadnienia:

- określenie zapasu trwałości elementu w perspektywie oczekiwanej eksploatacji bloku (na ogół 350 000 godzin),
- bieżące weryfikowanie stopnia redukcji zapasu trwałości uwzględniając zwłaszcza rzeczywiste warunki eksploatacji.

Uwzględniając fakt, że problem ten dotyczy 48 bloków stanowiących ważną część Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, *Pro Novum*, na zlecenie Towarzystwa Gospodarczego Polskie Elektrownie przy współpracy ze specjalistami elektrowni wyposażonych m.in. w bloki 200 MW, opracowało metodykę przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych:

- 2013 rok „Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno- mechanicznych bloków 200 MW” [2]
- 2016 rok „Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100 MW - 360 MW” [3]. W metodyce jw. przyjęto, że:
- po przekroczeniu trwałości projektowej element może pracować wykorzystując swoją trwałość indywidualną;
- zapas trwałości indywidualnej określa się uwzględniając indywidualne cechy elementu:
 - geometrię,
 - własności materiału,
 - warunki pracy;
- zapas trwałości konfrontuje się z oczekiwanym czasem i warunkami pracy;
- bieżący ubytek trwałości monitorowany jest przy wykorzystaniu:
 - okresowych badań,
 - **monitorowania warunków pracy**,
 - analizy awaryjności.

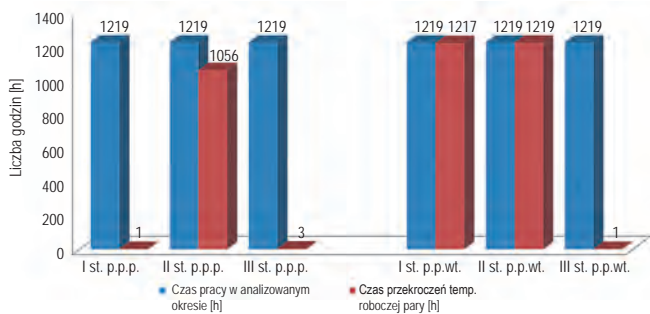
Monitorowanie warunków eksploatacji kotłów na blokach 200 MW przy wsparciu systemu diagnostycznego LM System PRO+®

Bez systemowego analizowania warunków pracy oraz analizy awaryjności nie sposób wyobrazić sobie bezpieczeństwa i wysokiej dyspozycyjności zwłaszcza, jeśli przyjąć, że większość bloków będzie pracowała w intensywnej regulacji.

W *Pro Novum* zauważyliśmy to paręnaście lat temu, a od 2004 roku rozwijamy projekt, który przybrał formę platformy informatycznej LM System PRO+® ver. 2.0 [4]. Platforma ta, zbudowana z pakietów funkcjonalnych i modułów, przygotowana jest w taki sposób, by wspierać zarządzanie wiedzą o stanie technicznych urządzeń przed i w czasie ich modernizacji, a także w okresie wydłużonej eksploatacji. Obecnie oferuje najbardziej zaawansowaną wersję 3.0 Systemu.



Rys. 3. Platforma informatyczna LM System PRO+®



Rys. 4. Analiza warunków pracy ciepłno-mechaniczno-chemicznych

System w aktualnej wersji pozwala monitorować większość negatywnych zjawisk regulacji, jeśli chodzi o jej wpływ na trwałość elementów i węzłów konstrukcyjnych bloków. Pozwala m.in. na automatyczną, bieżącą analizę:

- warunków pracy w zakresie parametrów:
 - ciepłno-mechanicznych – rysunek 4,
 - chemicznych,
- warunków uruchamiania i odstawiania bloków,
- powiązania wpływu czynników ciepłno-mechanicznych oraz chemicznych,
- statystyk awaryjności.

Uwzględnianie przy ocenie stanu technicznego, a zwłaszcza prognozowaniu trwałości, rzeczywistych warunków pracy ma zasadnicze znaczenie dla dokładności obliczeń oraz w konsekwencji dla bezpieczeństwa pracy elementów. Rzeczywiste temperatury elementów pracujących w warunkach pełzania należy określać wykorzystując odpowiednio zwerifikowane pomiary ruchowe. W pozostałych przypadkach, dla elementów pracujących powyżej temperatury granicznej, należy je określać poprzez pomiar grubości warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej. W przypadku braku odpowiednio zlokalizowanych pomiarów o odpowiedniej jakości należy je uzupełnić podczas remontów modernizacyjno-odtworzeniowych. Identyczne podejście jak dla pomiarów ciepłno-mechanicznych dotyczy pomiarów chemicznych. Wyniki bieżącej

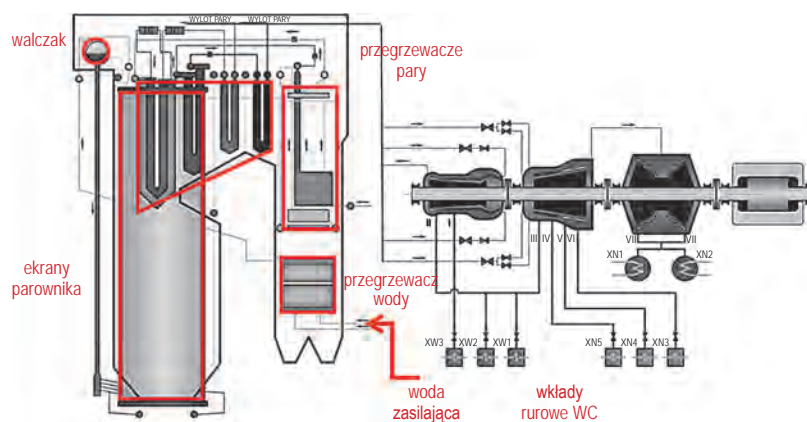
analizy warunków pracy powinny być obok badań i analizy awaryjności ważnym elementem weryfikacji długoterminowej prognozy.

Wpływ pracy regulacyjnej na stan techniczny wybranych elementów i węzłów konstrukcyjnych bloków 200 MW

Praca bloków w intensywnej regulacji może wpływać na trwałość elementów/węzłów konstrukcyjnych (rys. 5), szczególnie w warunkach szybkich, a niekiedy procentowo znaczących zmian w odniesieniu do znamionowego obciążenia (ARCM). Oczywiście praca w głębokiej regulacji ma swoje ograniczenia, nawet jeżeli jest czas, aby się do znaczącej zmiany obciążenia przygotować technicznie.

W obszarze ciepłno-mechanicznym można spodziewać się poniżej wymienionych problemów.

- Możliwość zerwania cyrkulacji w kotle – praca ekranów w warunkach sprzyjających ich przegrzaniu.
- Pogorszenie stopnia suchości pary.
- Niedogrzanie wody zasilającej w momencie podjazdu – wzrost różnicy temperatur między wodą kotłową w walczaku a dopływem wody zasilającej – pęknięcia w strefie wodnej walczaka (rys. 6).

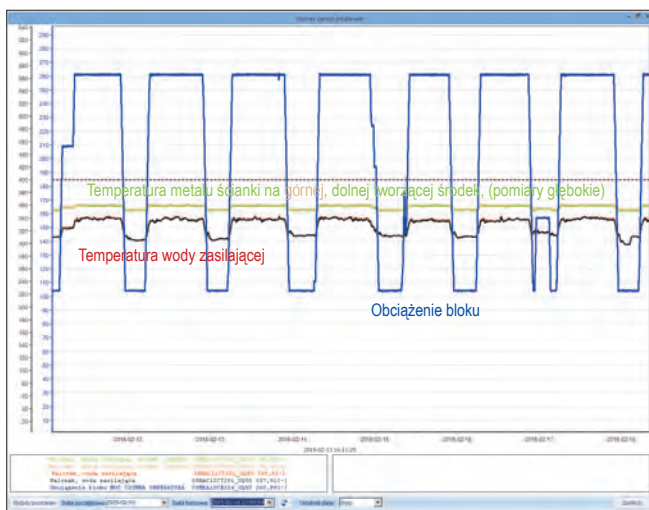


Rys. 5. Lokalizacja stref szczególnie narażonych na negatywny wpływ pracy regulacyjnej bloku energetycznego w obrębie kotła



Rys. 6. Pęknięcia na krawędzi otworu pod rurę opadową w strefie wodnej walczaka

- Obniżenie temperatury wody zasilającej w momencie zjazdu, w stosunku do niewielkiego obniżenia temperatury ścianki, które może prowadzić do uszkodzeń termoszkowych (rys. 7).



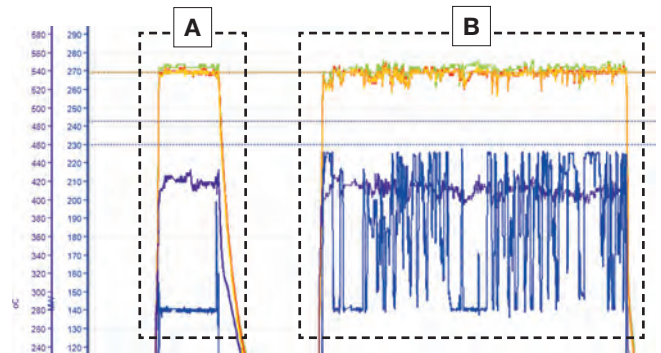
Rys. 7. Różnica między temperaturą wody zasilającej a temperaturą ścianki walczaka

- Zmiany profilu temperatur w kotle w momencie konieczności nadążenia kotła za zapotrzebowaniem turbiny, wzrost temperatur na powierzchniach przegrzewaczy, tak w I jak i w II ciągu. Możliwość przekraczania temperatur dopuszczalnych na przegrzewaczach – utlenianie, korozja wysokotemperaturowa (rys. 8).



Rys. 8. Korozja wysokotemperaturowa – obustronne pocienienie ścianki węzownicy aż do perforacji

- Intensyfikacja procesów zmęczeniowych (większa liczba cykli) prowadzących do uszkodzenia [5]. Na rysunku 9 przedstawiono zmiany temperatury metalu komór wylotowych PPP II° (kolor granatowy) i PPP IV° (pomiarzy na różnych głębokościach – kolor zielony, czerwony i żółty) w trakcie zmian obciążenia (kolor niebieski). W obszarze A praca przy stałym obciążeniu, w obszarze B przy zmiennym.



Rys. 9. Zmiany temperatury metalu komór w czasie pracy przy stałym (A) i zmiennym (B) obciążeniu

- Większa ilość pęknięć na mostkach obwodowych i wzdłużnych komór. Problem pojawić się może np. w trakcie gorących uruchomień (gdy zgromadzony podczas odstawienia kondensat dostanie się do gorącej komory), podczas uruchomień (gdy stosunkowo gorąca para dostaje się komór o niższych temperaturach), w trakcie niedostatecznie kontrolowanej pracy schładzacza (nadmierna ilość wody) [5] (rys. 10).



Rys. 10. Pęknięcie krawędzi otworu / mostka obwodowego komory

- Uszkodzenia króćców komór w wyniku wielokrotnych wydłużeń cieplnych rur lub węzownic.
- Uszkodzenia węzownic w wyniku niedotrzymywania temperatur dopuszczalnych.
- Problemy związane ze szlakowaniem powierzchni (rys. 11).



Rys. 11. Szlakowanie powierzchni

- Problemy w układach odazotowania spalin, gdzie wtrysk reagentów do komory musi odbywać się w ściśle określonym oknie temperaturowym, którego zmiana będzie skutkować niedotrzymaniem limitów emisji oraz nasileniem się uszkodzeń korozyjnych.
- Problemy z przechłodzeniem kondensatu, szczególnie w zimie, w obiegach otwartych, przy zmniejszonej ilości pary z turbiny i brakiem regulacyjności po stronie wody chłodzącej – uszkodzenia orurowania skraplaczy.

Podsumowanie i wnioski

W wyniku szybkiego rozwoju odnawialnych źródeł energii krajowy system elektroenergetyczny będzie wymagał w ciągu najbliższych kilku lat znacznie większej elastyczności w celu zbilansowania chwilowych potrzeb oraz utrzymania jego stabilności. Metodyki diagnozowania bloków pracujących w regulacji powinny uwzględniać szkodliwy dla trwałości (dyspozycyjności i kosztów remontowych) nowy tryb pracy bloków. Badania powinny pozwalać na identyfikację degradacji i uszkodzeń wywołanych niestacjonarną pracą urządzeń. Metodyki diagnozowania stanu technicznego powinny uwzględniać m.in. wyniki analizy warunków pracy. Wyższy status musi uzyskać analiza awaryjności. Trudno wyobrazić sobie diagnostykę uwzględniającą wymienione wymagania bez systemowego podejścia i informatycznego wsparcia.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Trzeszczyński J., Murzynowski W., Zapewnienie bezpieczeństwa technicznego zmodernizowanych bloków 200 MW – podejście *Pro Novum* na etapie modernizacji i eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych. *Energetyka* 2014, Biuletyn *Pro Novum* nr 2/2014.
- [2] Sprawozdanie *Pro Novum* nr PN/20.2900/2013 – Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW. Część I Z założenia ogólne. Część II. Diagnostyka elementów krytycznych kotła oraz głównych rurociągów parowych i wodnych. Część III. Diagnostyka rur powierzchni ogrzewalnych kotłów. Katowice, luty 2013.
- [3] PN/45.3360/2016/A (Wydanie II): Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100 MW – 360 MW. Katowice, czerwiec 2016.
- [4] Trzeszczyński J., System diagnostyczny zapewniający bezpieczną pracę bloków 200 MW eksploatowanych powyżej 300 000 godzin, *Dozór Techniczny* 2012, nr 2.
- [5] Viswanathan V., Gray D., Damage to Power Plants Due to Cycling. Technical Report. EPRI, July 2001.



Ewald Grzesiczek, Sławomir Rajca

Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o.

Uszkodzenia turbozespołów powodowane pracą regulacyjną oraz długotrwałymi postojami

Damages caused by flexible operation and long standstills of turbine sets

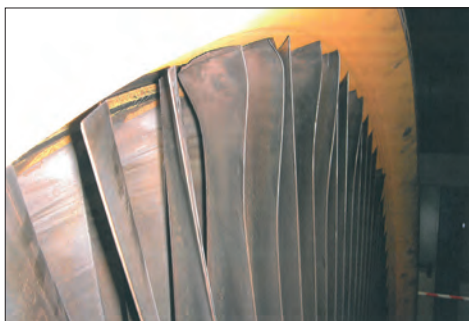
Praca regulacyjna turbin parowych

Turbiny parowe nie są krytycznym elementem regulacji obciążenia systemu elektroenergetycznego w okresach, w których zachodzi potrzeba pracy przy minimalnych obciążeniach. Znacznie więcej problemów występuje przy minimalnych obciążeniach na kotłach. Typowe minimalne obciążenia (przepływy pary przez turbiny) występują w wymienionych poniżej okolicznościach.

1. W czasie rozruchu turbiny lub bloku – czas pracy w takich sytuacjach nie powinien przekroczyć kilku (do kilku-

dziesięciu) godzin. Ma to często miejsce podczas pierwszego uruchomienia po remoncie w trakcie wykonywania prób elektrycznych. Praca na biegu luzem lub ewentualnie z mocą kilku MW może powodować przekroczenie dopuszczalnych wydłużeń względnych i tym samym powstanie przytarć w układzie przepływowym. Ilość pary przepływającej przez turbinę wynosi na ogół kilka % znamionowego przepływu. W układzie blokowym nadwyżka produkowanej przez kocioł pary jest schładzana i zrzucana do skraplacza.

- Zrzut mocy w przypadku odłączenia generatora od sieci elektrycznej. Regulacja turbiny oraz zabezpieczenia elektryczne są przystosowane w takich przypadkach do utrzymania obciążenia pokrywającego potrzeby własne bloku i pracę na tzw. sieć wydzieloną. Nadwyżki pary produkowanej przez kocioł są kierowane do układu zrzutowego i ewentualnego odprowadzenia przez zawory bezpieczeństwa. Utrzymanie bloku w pracy na potrzeby własne pozwala na przełączenie odbiorców, co może mieć znaczenie w przypadku lokalnego „blackoutu”.
- Minimalne, bezpieczne obciążenie turbin kondensacyjnych, na ogół, wynosi ~10% ilości pary wylotowej z części NP. Wielkość ta powoduje, że w wyniku strat wentylacji nie nastąpi przyrost entalpii pary na ostatnich stopniach. W przypadku pracy turbiny poniżej tych wielkości może nastąpić wzrost temperatury, a w konsekwencji może dojść do uszkodzenia łopatek (rys. 1 i 2).
Jeśli na zbyt rozgrzane łopatki podany zostanie wtrysk, w celu ich schłodzenia, może dochodzić do powstawiania pęknięć od krawędzi wylotowych (rys. 3).



Rys. 1. Zdeformowane łopatki ostatniego stopnia wirnika



Rys. 2. Zdeformowane łopatki ostatniego stopnia wirnika



Rys. 3. Pęknięcia na krawędziach wylotowych łopatek

- W układach blokowych turbiny mają określone dopuszczalne minimalne trwałe obciążenia. Dla bloków o parametrach pary podkrytycznych na ogół wynosi ono 60% wydajności

znamionowej, a wynika to z separacji pary w układzie walcowym. Dla bloków na parametry nadkrytyczne pary z kotłami przepływowymi minimalne dopuszczalne trwałe obciążenie na ogół wynosi 40%. Turbina przy powyższych obciążeniach może pracować bez obawy wystąpienia uszkodzeń. W przypadku duobloków minimalne obciążenia mogą osiągać nawet 20% obciążenia znamionowego.

Negatywne zjawiska związane z pracą regulacyjną turbin parowych

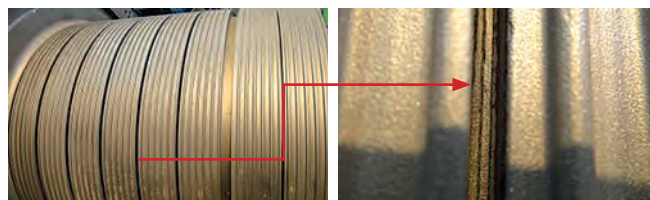
Bloki pracujące w naszej energetyce były zaprojektowane do pracy podstawowej, a od dłuższego czasu pracują w trybie regulacyjnym, przy zwiększonej liczbie odstawień i postojach w różnych okresach.

Przejście turbiny z pracy podstawowej do pracy regulacyjnej powoduje powstanie szeregu negatywnych zjawisk wpływających na niezawodność, a także na bezpieczeństwo eksploatacji turbin.

Zmęczenie małocykliczne

Częste zmiany obciążenia z mocy znamionowej w godzinach szczytu do mocy minimalnej w godzinach nocnych powodują powstanie uszkodzeń związanych ze zmęczeniem cieplnym małocyklicznym. Najbardziej narażone na tego typu uszkodzenia są wirniki turbin. Miejscami szczególnie uprzywilejowanymi dla tego typu uszkodzeń na wirnikach są:

- dławnice końcowe o dużych rozmiarach (rys. 4),
- otwory centralne wirników (rys. 5).

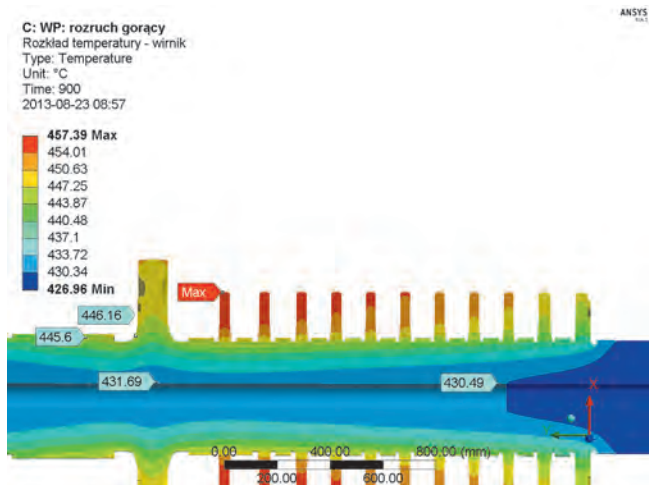


Rys. 4. Pęknięcie w kanale cieplnym dławnicy wirnika SP turbiny 200 MW

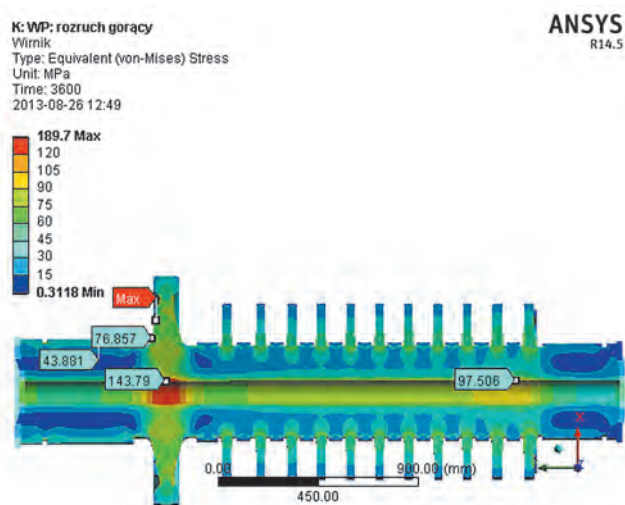


Rys. 5. Wskazanie o dł. 3 mm na powierzchni otworu centralnego wirnika 30 MW

Wyniki obliczeń MES dla wirnika WP i SP turbiny 200 MW, po różnych czasach, przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

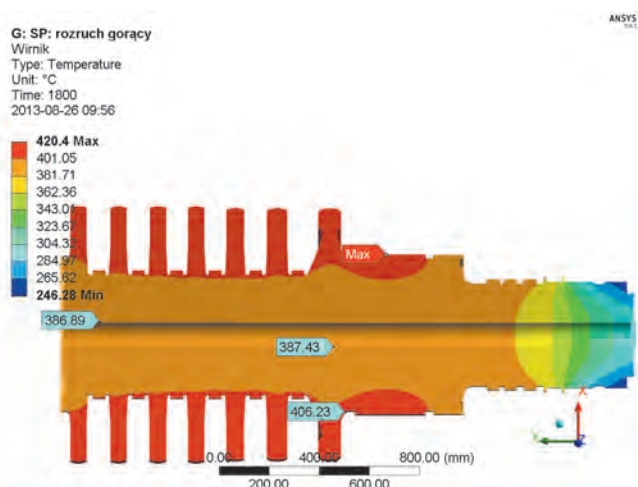


Po 15 min

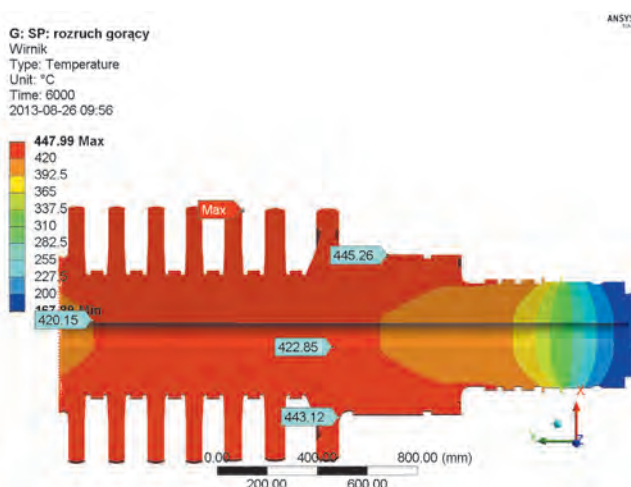


Po 60 min

Rys. 6. Nagrzewanie wirnika WP w czasie uruchomienia ze stanu gorącego

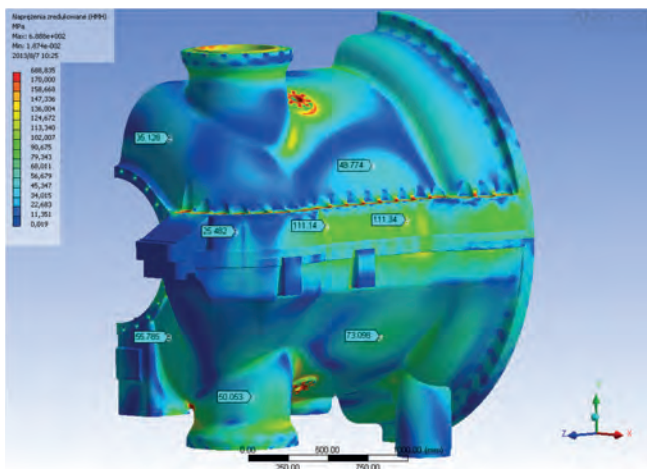


Po 30 min



Po 100 min

Rys. 7. Nagrzewanie wirnika SP w czasie uruchomienia ze stanu gorącego



Rys. 8. Rozkład naprężeń w kadłubie zewnętrznym SP turbiny 200 MW

Kolejnymi elementami, na których można stwierdzić uszkodzenia związane z zmęczeniem cieplnym małyocyklicznym są elementy stalowe, takie jak kadłuby turbin i komory zaworowe. Na elementach tych występują liczne pęknięcia i deformacje. Część z tych problemów można łączyć z pracą regulacyjną. Miejsca maksymalnej koncentracji naprężeń wyznaczone w trakcie obliczeń MES są najważniejszymi (krytycznymi) obszarami badanymi w trakcie badań NDT (rys. 8).

Erozja

Z erozją krawędzi wlotowych łopatek spotykamy się od bardzo dawna. Wzrost sprawności części NP to również wzrost niebezpieczeństwa erozji krawędzi wlotowych. Oddzielną sprawą jest erozja krawędzi wylotowych. Można powiedzieć, że w energetyce obowiązuje zasada, że układ przepływowy chłodzony jest parą przepływającą do części NP, a przestrzeń parowa na wylocie przez wtrysk kondensatu.

Przy niskich obciążeniach części NP występuje przepływ nawrotny (recyrkulacja), tj. zasysanie pary wylotowej do układu przepływowego.

Zasysana para mokra powoduje erozję krawędzi wylotowych ostatnich stopni (rys. 9 i 10).

Zmieniające się warunki eksploatacji turbin parowych:

- intensywna regulacja,
- obniżane minima techniczne,
- zwiększona liczba uruchomień,
- stwarzają warunki, w których erozja krawędzi wylotowych może przebiegać w intensywny sposób.



Rys. 9. Ubytki erozyjne na krawędziach wylotowych. Turbina 200 MW, wirnik NP



Rys. 10 Ubytki erozyjne na krawędziach wylotowych. Turbina 120, wirnik NP

Postój turbiny

Nie tylko praca może być identyfikowana jako źródło powstawania problemów, również postój, przy braku odpowiedniego zabezpieczenia, może prowadzić do uszkodzeń elementów turbin. W czasie postoju na uszkodzenia najbardziej narażone są elementy układu przepływowego – łopatki i koła wirnikowe. Przykłady charakterystycznych uszkodzeń korozyjnych przedstawiono na rysunkach 11-14.

Wnioski

1. Prowadzona od dawna regulacyjna praca w systemie elektroenergetycznym ujawniła i ujawniać będzie w dalszym ciągu negatywne skutki dla elementów turbin parowych.
2. Badania diagnostyczne układów łopatkowych i elementów stalowych turbin parowych ujawniają wiele rodzajów uszkodzeń, z których część można łączyć z pracą w regulacji.
3. Liczba i zakres uszkodzeń elementów turbin parowych możemy ograniczać ograniczając przyczyny ich powstawania.
4. Obecne wymagania stawiane blokom energetycznym, czyli:
 - praca w intensywniej regulacji,
 - praca poniżej minimum technologicznego,
 - zwiększona liczba uruchomień - podstawień sprzyjają powstawaniu większej liczby uszkodzeń i wzrostowi ryzyka awarii.



Rys. 11 Korozja postojowa. Turbina 100 MW, wirnik NP



Rys. 12 Korozja postojowa. Turbina 5 MW, wirnik turbiny



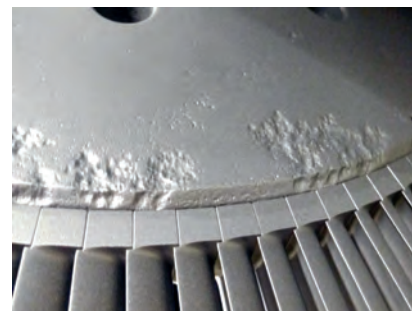
Rys. 13 Korozja postojowa. Turbina 25MW, wirnik turbiny



Rys. 14. Układ łopatkowy wirnika turbiny 30 MW porażony korozją postojową



Rys. 15 Korozja postojowa. Turbina 55 MW, wirnik turbiny



Rys. 16 Korozja postojowa. Turbina 55 MW, wirnik turbiny

- [1] Dobosiewicz J., Przedłużanie okresów międzyremontowych turbin parowych. *Energetyka* 2001, Biuletyn *Pro Novum* nr 1/2001.
- [2] Grzesiczek E., Kotowski S., Rajca S., Możliwości, ograniczenia i warunki przedłużania eksploatacji turbin 200 MW powyżej 300 000 godzin. XII Sympozjum *Pro Novum*.
- [3] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 032.3212/2015 – „Wykonanie badań diagnostycznych rezerwowego wirnika NP turbiny 200MW”. Katowice, maj 2015.
- [4] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 068.3248/2015 – „Ocena stanu technicznego turbiny bloku nr 1 wraz z prognozą trwałości”. Katowice, sierpień 2015.
- [5] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 117.2997/2013 – „Wykonanie badań nieniszczących i oceny stanu technicznego wirników SP i NP turbiny Tg 10”. Katowice, październik 2013.

- [6] Dobosiewicz J., Niektóre przyczyny uszkodzeń łopatek turbin parowych. *Energetyka* 2013, Biuletyn *Pro Novum* nr 1/2013.
- [7] Dobosiewicz J., Eksploatacyjna przydatność turbin małej mocy po przekroczeniu 200 000 godzin pracy, *Energetyka* 1993, nr 7, s. 237.
- [8] Krzyżanowski J., Erozja łopatek turbin parowych, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Warszawa 1991.
- [9] Stanisa B., Ivusic V., Erosion behaviour and mechanisms for steam turbine rotor blades, *Wear* 1995, 186-187, s. 395.
- [10] PN/45.3360/2016/A (Wydanie II): Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100 MW – 360 MW. Katowice, czerwiec 2016.

Rafał Szyja, Bartosz Borcz

Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o.

Przedłużanie eksploatacji instalacji rurociągowych ponad czas obliczeniowy na podstawie wytycznych UDT oraz *Pro Novum*

Lifetime extension of pipelines over calculated time on the basis of UDT and *Pro Novum*

Remonty modernizacyjne konwencjonalnych bloków energetycznych w Polsce mające na celu w głównej mierze spełnienie wymagań środowiskowych i zapewnienie dalszej bezpiecznej eksploatacji w długoterminowym horyzoncie zbliżają się ku końcowi. Od strony zapewnienia odpowiedniego stanu technicznego majątku produkcyjnego po modernizacji przedsięwzięcie to było niezwykle skomplikowane, jednocześnie umożliwiając wypracowanie i wdrożenie lepszego, bardziej adekwatnego podejścia do diagnostyki urządzeń energetycznych. Główne wyzwanie związane z tematem jak wyżej dotyczyły czasu eksploatacji znacznie przekraczającego czas obliczeniowy oraz wpływu zmian w trybie pracy na stan techniczny urządzeń energetycznych [1, 2]. Historycznie czas pracy urządzeń projektowanych na 100 tys. godzin przedłużano do 200 tys. h na podstawie instrukcji...[3]. Przy czym nie powstały żadne przepisy państwowe precyzujące warunki/wytyczne do dalszego wydłużania czasu eksploatacji. Koncepcja takiego dokumentu została zaprezentowana w 2008 roku przez firmę Pro Novum. Wiele z późniejszych modernizacji w zakresie diagnostyki wykonano uwzględniając zaproponowaną w dokumencie [4] metodologię postępowania. Zmiany zachodzące w kolejnych latach

na rynku energii w Polsce, wymuszające rewizję horyzontu czasu eksploatacji długoeksploatowanych bloków jak i warunków ich eksploatacji spowodowały rozpoczęcie w 2014 roku prac nad dostosowaniem „Wytycznych..” Pro Novum nowej sytuacji. Dzięki zawartej z TGPE w 2015 roku umowy i przy współpracy z Użytkownikami elektrowni 100-360 MW powstał nowy rozszerzony dokument [5]. W roku 2015 „Wytyczne...” [6] dotyczące urządzeń pracujących powyżej temperatury granicznej przedstawił Urząd Dozoru Technicznego. Współpraca Pro Novum z UDT na przełomie 2015/2016 roku zaowocowała wypracowaniem i zatwierdzeniem dedykowanej instrukcji dotyczącej przedłużania czasu eksploatacji instalacji rurociągowych.

Geneza problemu/ rozwiązania

Brak państwowych przepisów dotyczących sposobu diagnostyki, oceny stanu technicznego i przedłużania czasu eksploatacji w momencie podejmowana przez Inwestorów decyzji o zakresach remontów modernizacyjnych stał się powodem

problemów, które nie wszędzie, ale zaczynają się pojawiać gdy podczas kolejnych remontów przeprowadzana jest rewizja zakresu przeprowadzonej wcześniej diagnostyki. Inne z kluczowych aspektów problemu jak np.: ekstremalnie długi czas planowanej dalszej eksploatacji, ograniczona wymiana wiedzy i doświadczeń między użytkownikami długoeksploatowanych elektrowni, zmiany pokoleniowe i organizacyjne nie napawały optymizmem. Między innymi z wyżej wymienionych powodów w 2008 roku podjęto próbę zapobieżenia sytuacji, w której zaproponowany zakres i metodologia oceny stanu technicznego byłaby niewystarczające do prawidłowej oceny i prognozy trwałości danego elementu/installacji.

Jednym z głównych założeń tworzonego dokumentu było indywidualne podejście do każdego z elementów krytycznych elektrowni. Praca powyżej trwałości obliczeniowej oznacza bowiem pracę elementu w zakresie jego trwałości indywidualnej. Remonty modernizacyjne były idealnym momentem na przeprowadzenie kompleksowej diagnostyki, w której określony i prawidłowo zarchiwizowany byłby stan techniczny każdego z elementów. W praktyce „Wytyczne...” zostały wykorzystane w większości grup energetycznych w różnym zakresie. Sukcesem można jednak nazwać przeskok jakości jaki uzyskano w miejscach w których zaimplementowano podejście oraz idee zawarte w ww. dokumencie. Diagnostyka została lepiej zorganizowana, przywrócono sens jej ciągłości, istotę historii eksploatacji, indywidualnej historii elementu, stworzono narzędzie informatyczne [7] – LM System PRO+® wspomagające elektrownie w prowadzeniu diagnostyki (plany remontów, analizy warunków pracy i stanu technicznego on-line, analizy awaryjności, analizy ryzyka). Weryfikacja postawionej prognozy trwałości wyznaczana była i jest na podstawie okresowych badań diagnostycznych.

Zauważalna zmiana warunków pracy elektrowni (m.in. praca regulacyjna), indywidualne cechy różnych bloków 100÷360 oraz nowe doświadczenia spowodowały rozpoczęcie w 2014 roku prac nad rozszerzeniem „Wytycznych...”. Weryfikowane

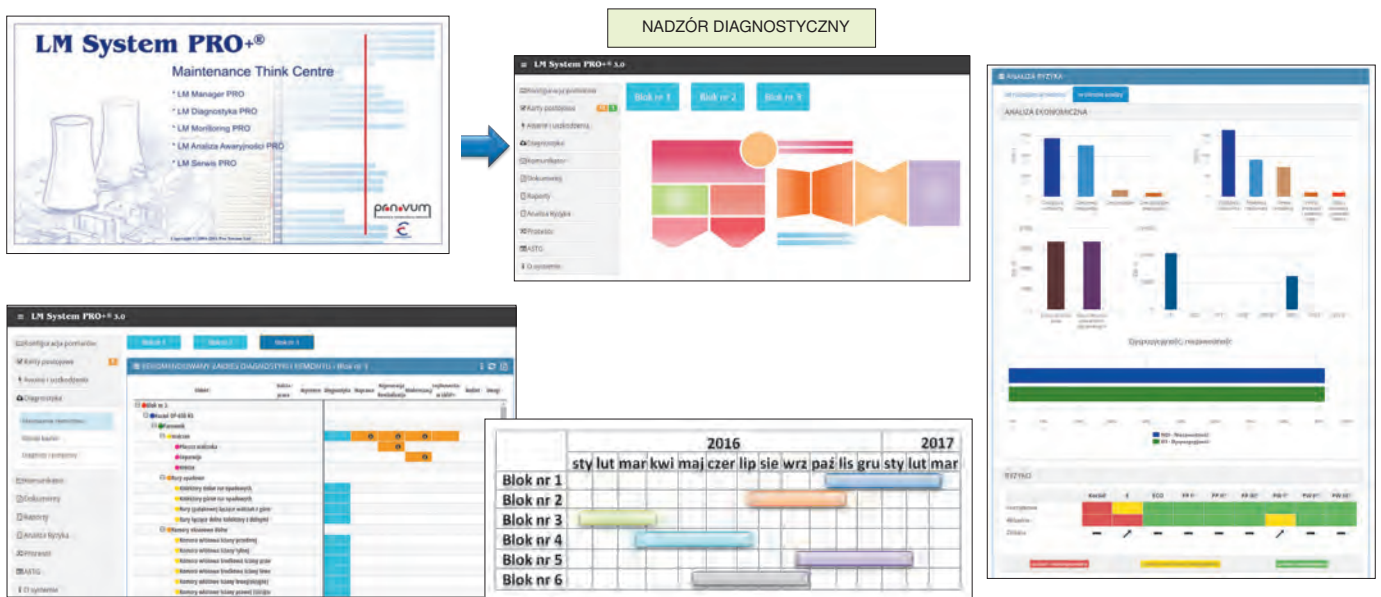
prognozy trwałości z uwzględnieniem warunków pracy urządzeń oraz bardzo długa perspektywa dalszej eksploatacji wymogła potrzebę dokładniejszego dokumentowania i analizy: warunków pracy, stanu technicznego poszczególnych elementów, analizy awaryjności. Specjalnego znaczenia nabrała interpretacja uszkodzeń (przyczyn pierwotnych, wtórnych, która wraz z ujednoliconym systemem badań oraz wymiany informacji, wiedzy i doświadczeń pozwala zachować wysokie standardy w dzisiejszej diagnostyce.

W roku 2015 UDT przedstawił „Wytyczne Urzędu Dozoru Technicznego nr 1/2015 – Zasady diagnostyki i oceny trwałości eksploatacyjnej elementów kotła i rurociągów pracujących w warunkach pełzania” [6]. Celem opracowania było przedstawienie metodologii oceny stanu materiału i sposobu szacowania pozostałej trwałości eksploatacyjnej elementów kotłów i rurociągów, które pracują w warunkach pełzania. W pracy dla jednego z największych polskich przedsiębiorstw Pro Novum wraz z UDT stworzyło na podstawie ww. dokumentów szczegółową instrukcję przedłużania czasu eksploatacji instalacji rurociągowych.

Instrukcje Pro Novum integrujące „Wytyczne...” Pro Novum i „Wytyczne...” UDT

Podobieństwa „Wytycznych...” Pro Novum i „Wytycznych...” UDT związane są z podstawowymi/universalnymi zasadami diagnostyki. Najbardziej istotne z nich to:

- Przedstawienie metodologii postępowania z zaleceniami, na podstawie których mogą/powinny powstawać szczegółowe, dedykowane różnym Użytkownikom, Instrukcje przedłużania eksploatacji poszczególnych instalacji danego bloku. Wynika to z różnych możliwych specyficznych problemów danej elektrowni/installacji.
- Plan oraz zakres badań powinien wynikać z retrospekcji i analizy warunków pracy.

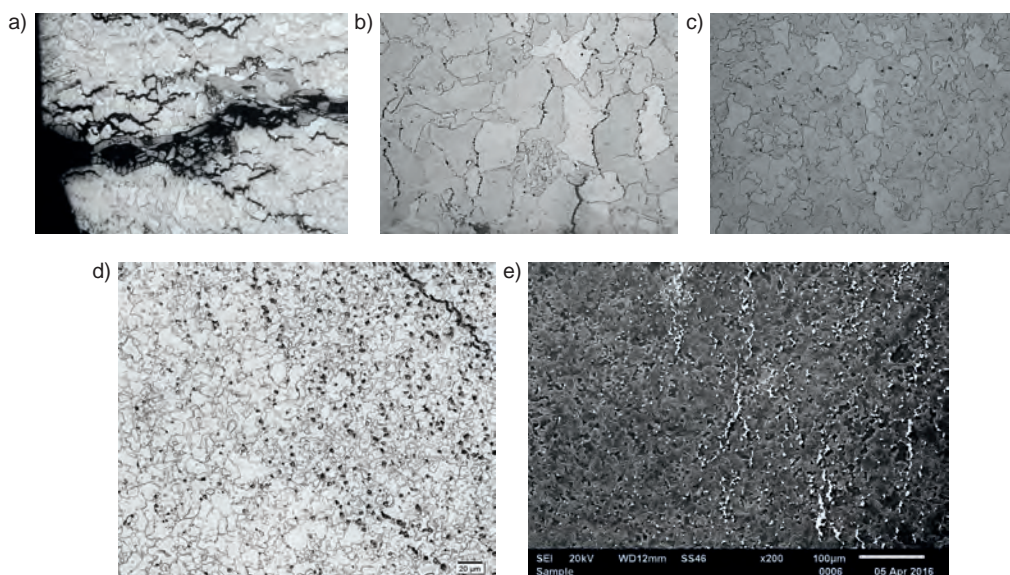


Rys. 1. Rozwój i implementacja systemu IT wspierającego diagnostykę elektrowni – LM System PRO+®

- Odniesienie się do wyników obliczeń jako narzędzia pomocniczego, natomiast wskazanie wyników badań zwłaszcza metalograficznych jako kryterium nadrzędnym przy decyzji o dopuszczeniu do eksploatacji (urządzeń pracujących w warunkach pełzania).
- Konieczność wykonania badań niszczących po przekroczeniu trwałości obliczeniowej.
Główne różnice dotyczą:
- Zakresu stosowania poszczególnych Wytycznych. Dokument Pro Novum jest dokumentem kompleksowym obejmującym poza elementami ciśnieniowymi kotła pracującymi w warunkach pełzania również diagnostyką turbin oraz wszystkich pozostałych elementów ciśnieniowych kotła i rurociągów pracujących także w warunkach poniżej temperatury granicznej. Bezpieczeństwo ludzi i urządzeń wg Pro Novum nie może być związane jedynie z poprawnym stanem części instalacji ($T > T_g$). W przypadku instalacji rurociągowych – tam gdzie wdrożono „Wytyczne...” Pro Novum podczas modernizacji wykrywane były krytyczne uszkodzenia elementów rurociągów wody zasilającej jak i istotne nieprawidłowości na tzw. rurociągach przelotowych WP/SP.
- Elementy krytyczne pracujące powyżej trwałości projektowej traktowane są przez Pro Novum jako elementy wykorzystujące swoją trwałość indywidualną. Po przekroczeniu trwałości projektowej konieczna jest wiedza o stanie technicznym każdego z takich elementów. Zakresy kolejnych badań mogą być modyfikowane o ile jest do tego podstawa (wyniki badań niszczących, analiza warunków pracy i awaryjności wykonywane w sposób systemowy).
- „Wytyczne...” Pro Novum traktują stan przekroczenia naprężeń ponad wartości dopuszczalne jako sytuację nadzwyczajną, która wymaga podjęcia działań mających na celu obniżenie poziomu naprężeń do poziomu dopuszczalnego, jednakże czas, w którym należy podjąć działania naprawcze uzależniony jest od stanu materiału w miejscu występowania przekroczeń naprężeń (brak nieciągłości powierzchni-

wych oraz brak zmian fizycznych mikrostruktury pozwalają na lepsze zaplanowanie naprawy/wymiany lub modernizacji elementu/węzła)

- „Wytyczne...” Pro Novum przewidują wykonywanie badań specjalnych na karkach trepanacyjnych pobranych z miejsc najbardziej wyciężonych np. strefa rozciągana łuku kolana. Badania te stosuje się w celu poznania własności mechanicznych oraz stanu struktury na przekroju bez konieczności wycofania elementu z eksploatacji.
- W „Wytycznych...” Pro Novum uwzględniono wpływ pracy regulacyjnej na stan urządzeń zwłaszcza w zakresie zmian dot. chemii energetycznej.
- Ocena stanu technicznego na podstawie analizy obrazu mikrostruktury w „Wytycznych...” Pro Novum jest łatwa do interpretacji w kluczowym punkcie zmian struktury spowodowanych procesem pełzania. Decydującym w ocenie stanu struktury materiału jest moment pojawienia się pustek pełzaniowych oraz ich rozwój w łańcuszki. Wykrywalność tego zjawiska jest wysoka zarówno dla mikroskopu skaningowego jak i świetlnego. Mikroskopia skaningowa wykorzystywana jest jako badanie specjalne, uzupełniające podstawowy zakres badań.
- Metodyka UDT w tym zakresie badań metalograficznych jest prawidłowa jednak ze względu na szczegółowość koniecznych do przeprowadzenia analiz, ich koszt oraz czasochłonność może znacznie ograniczyć wykorzystanie metody skaningowej na skalę jaka jest potrzebna do określenia stanu technicznego wszystkich elementów krytycznych instalacji.
- Wraz z „Wytycznymi...” Pro Novum, firma dostarcza narzędzia umożliwiające bezpieczną eksploatację poprzez zdalny nadzór nad elementami krytycznymi. Narzędzia te obejmują między innymi analizę ryzyka, analizę awaryjności, monitoring i archiwizację parametrów pracy oraz wyników badań. Narzędzia te pozwalają w trybie on-line śledzić Stopień Wyczerpania Trwałości (SWT) materiału. Analiza ryzyka jest narzędziem pozwalającym na racjonalne zarządzanie



Rys. 2. Zmiany fizyczne mikrostruktury stali 13HMF (a,b,c,d – obserwacje LM; e- obserwacja SEM)



Rys. 3. Podejście do oceny stanu technicznego urządzenia uwzględniające analizę ryzyka

majątkiem elektrowni np. poprzez pomoc w podjęciu decyzji o ewentualnej zmianie terminu rewizji, zmianie zakresu badań/wymian, uwzględniając uwarunkowania produkcyjne/eksploatacyjne Użytkownika.

Podsumowanie

1. Obecnie jedynym dokumentem kompleksowo traktującym diagnostykę w zakresie kotła, turbiny i rurociągów bez względu na temperaturę medium są „Wytyczne...” *Pro Novum*.
2. Ostatnie doświadczenia *Pro Novum* związane z zatwierdzeniem w UDT dedykowanej instrukcji przedłużania czasu eksploatacji instalacji rurociągowych wskazują, że możliwe jest wspólne wypracowanie szczegółowych rozwiązań zapewniających bezpieczną eksploatację instalacji po przekroczeniu 200 000 godzin, która uwzględni specyfikę pracy i cechy urządzeń danego użytkownika.
3. Dokument o nadanej, państwowej randze jest nadal niezbędny i pożądany. Wskazują na to dalsze rozbieżności pomiędzy zakresami badań/wymaganiami, jakie są omawiane w różnych oddziałach UDT.
4. Urządzenia niepodlegające UDT są szczególnie narażone na nieprawidłowe praktyki w zakresie diagnostyki i oceny stanu technicznego.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Trzszczyński J., Eksploatacja urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni po przekroczeniu trwałości projektowej – rekomendacje i doświadczenia *Pro Novum, Nowa Energia* 2014, nr 1.
- [2] Trzszczyński J., Stanek R., Murzynowski W., Doświadczenia i zamierzenia *Pro Novum* związane z przystosowaniem długo eksploatowanego majątku produkcyjnego elektrowni w Polsce do pracy w perspektywie do 2030 r., *Dozór Techniczny* 2016.
- [3] „Instrukcja oceny stanu i kwalifikowania wymiany komór, kolektorów, rurociągów kotłowych i głównych rurociągów parowych, pracujących w warunkach pełzania”, Ministerstwo Górnictwa i Energetyki, Warszawa 1986.
- [4] Sprawozdanie *Pro Novum* nr PN/30.2910/2013, „Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW”, praca niepublikowana, 2013.
- [5] Sprawozdanie *Pro Novum* nr PN/45.3360/2016, „Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100 MW – 360 MW”, praca niepublikowana, 2016.
- [6] Wytyczne Urzędu Dozoru Technicznego nr 1/2015, „Zasady diagnostyki i oceny trwałości eksploatacyjnej elementów kotłów i rurociągów pracujących w warunkach pełzania”.
- [7] Trzszczyński J., Murzynowski W., Białek S., Monitorowanie stanu technicznego urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków energetycznych przy wykorzystaniu platformy informatycznej LM System PRO+®, *Dozór Techniczny* 2011, nr 5.

pronovum®
RESEARCH & TECHNOLOGICAL SERVICES
Centrum Badawczo – Rozwojowe

**Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych
„Pro Novum” Sp. z o.o.**

ul. Wróbli 38, 40-534 Katowice
tel. 32 251 87 39
fax 32 251 36 19
e-mail: pronovum@pronovum.pl

www.pronovum.pl

W dniach 6-7 października 2016 r. w Hotelu Qubus w Katowicach odbyło się zorganizowane przez Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o. o.

XVIII Sympozjum Informacyjno-Szkoleniowe

DIAGNOSTYKA I REMONTY URZĄDZEŃ CIEPLNO-MECHANICZNYCH ELEKTROWNI

Diagnostyka wspierająca pracę regulacyjną i efektywną produkcję elektrowni

Sympozjum zostało zorganizowane przy współpracy z Towarzystwem Gospodarczym Polskie Elektrownie, Izłą Gospodarczą Energetyki i Ochrony Środowiska, TAURON Wytwarzanie S.A., PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A. Oddział Elektrownia Turów, EDF Polska S.A. oraz ENERGA Elektrownie Ostrołęka S.A.

Urząd Dozoru Technicznego po raz kolejny objął Sympozjum Honorowym Patronatem.

Dodatkowo w tym roku nad Sympozjum patronat objęły: Regionalna Izba Gospodarcza w Katowicach oraz Polsko-Niemiecka Izba Przemysłowo-Handlowa (AHK).

Patronat medialny nad Sympozjum sprawowały branżowe czasopisma: Energetyka, Dozór Techniczny, Przegląd Energetyczny, Energetyka Ciepła i Zawodowa, Nowa Energia, a także Biuletyn Urzędu Dozoru Technicznego „Inspektor” oraz portal Elektroenergetyka i przemysł on-line. Inżynieria w praktyce, a także miesięcznik „Euro-perspektywy”.

W Sympozjum wzięło udział 130 przedstawicieli prawie wszystkich polskich elektrowni i elektrociepłowni, Urzędu Dozoru Technicznego, krajowych firm remontowych i diagnostycznych, innych podmiotów związanych z polską energetyką, a także zagranicznych firm i ośrodków naukowych. W ciągu dwóch dni Sympozjum wygłoszonych zostało 27 referatów, które dotyczyły aktualnych problemów i wyzwań branży energetycznej.

Sympozjum towarzyszyła wystawa, gdzie oprócz Przedsiębiorstwa Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o. stoiska wystawowe przygotowały: Conco East sp. z o.o., EthosEnergy sp. z o.o., Pentair Valves & Controls Polska sp. z o.o. i Romica Aparatura Elektroniczna.

Tegoroczne Sympozjum, podobnie jak jego poprzednie edycje, zdominowała aktualna dla polskiej energetyki tematyka oraz informacja, że Pro Novum rozpoczęło 30 rok swojej działalności. Tematyka XVIII Sympozjum była skoncentrowana w głównej mierze na pracy regulacyjnej bloków energetycznych, która jest rezultatem głębokiej transformacji jaką przechodzi energetyka europejska i polska. Dotyczy ona praktycznie wszystkich dziedzin jej funkcjonowania. Zmianom w technologiach wytwarzania oraz dystrybucji towarzyszą wyzwania charakterystyczne dla Gospodarki 4.0. Odbiorca energii ma coraz większe ambicje, aby ją także generować. Bloki węglowe stają się w coraz mniejszym stopniu źródłem energii, a w coraz większym stopniu stabilizatorem systemu elektroenergetycznego.

Zarządzanie majątkiem, a zwłaszcza efektywnością produkcji, to jedno z trudniejszych zadań. Wykonywanie diagnostyki musi to uwzględniać zarówno, jeśli chodzi o możliwość identyfikowania nowych rodzajów uszkodzeń, jak również przetwarzania informacji on-line, zdalnego nadzoru i automatycznego kreowania wiedzy integrowanej





ze wskaźnikami ekonomicznymi i szacowaniem ryzyka. Potrzebne są odpowiednie narzędzia do efektywnego zarządzania produkcją, w tym do systemowego zarządzania wiedzą o stanie technicznym urządzeń oraz prognozowania ich trwałości na podstawie analizy awaryjności.

Dla zmodernizowanych bloków 100 MW – 360 MW to jeden z podstawowych warunków ich pozostania w KSE. Spośród bloków zakwalifikowanych jako JWCD najlepiej nadają się one do regulacji.

Takie podejście od wielu lat proponuje Pro Novum opracowując zarówno wytyczne przedłużania pracy długo eksploatowanych urządzeń, jak również systemy informatyczne umożliwiające zdalny nadzór diagnostyczny oraz planowanie remontów na podstawie strategii RCM i RBM.

Swoje doświadczenia w zakresie problemów i skutków pracy regulacyjnej przedstawili zarówno przedstawiciele elektrowni zwłaszcza z EDF Polska S.A. oraz TAURON Wytwarzanie S.A., jak również specjaliści Pro Novum sp. z o.o. Tematyka referatów Pro Novum, w tym jednego wspólnego z IASE, obejmowała praktycznie wszystkie aspekty pracy regulacyjnej, od propozycji standardów diagnostycznych poprzez zdalne systemy diagnostyczne monitorujące warunki pracy i bieżący stan techniczny bloków energetycznych oraz analizę jej skutków, w tym zwłaszcza uszkodzeń i awarii wywołanych pracą regulacyjną.

W sześciu sesjach Sympozjum znalazło się także miejsce na prezentacje nowych metod badań przedstawionych przez NNT Sp. z o.o., Urząd Dozoru Technicznego oraz firmę Inspecta Technology, a nawet na prezentacje wyzwań, jakie stoją przed energetyką Republiki Południowej Afryki uwarunkowanej nie tylko charakterystycznym dla niej klimatem, ale także europejską/światową polityką klimatyczną.

Za największą nagrodę za wysiłek organizatorów Sympozjum należy uznać wysoką frekwencję, ciekawe dyskusje oraz liczne gratulacje od jej uczestników. Zobligowało to organizatorów do publicznego podania daty kolejnego, XIX Sympozjum w 2017 roku.

