



Diagnostyka wspierająca elastyczną eksploatację

„Koniec epoki węgla” to opinia jednego z ekspertów na wieść o udanej próbie uzyskania paliwa poprzez destylację ropy naftowej

„Scientific American”, 1867 r.

Jerzy Trzeszczyński

Pro Novum sp. z o.o.

Streszczenie

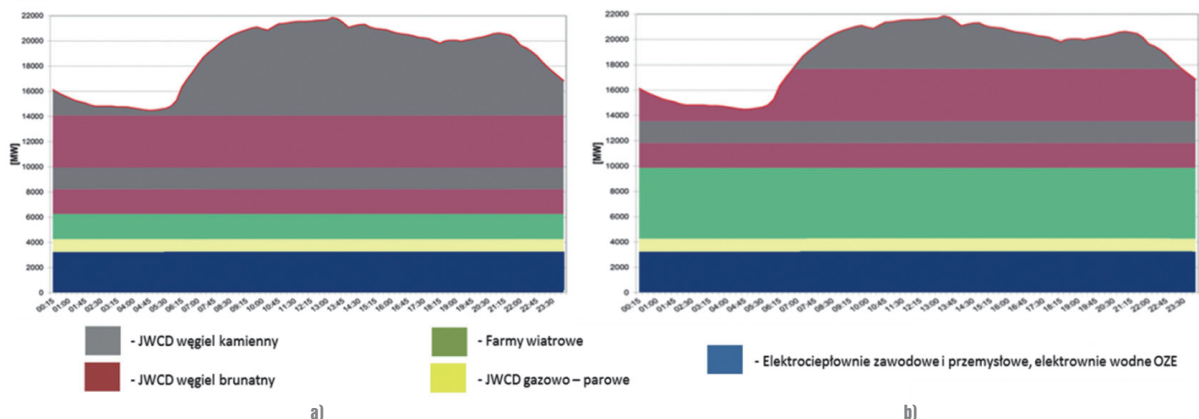
Wśród wymagań stawianych blokom energetycznym najważniejsze są wymagania techniczne, decydują bowiem o ich dyspozycyjności. Dla bloków klasy 200 MW, które w przyszłości jeszcze bardziej niż obecnie będą stabilizować Krajowy System Elektroenergetyczny wysoka dyspozycyjność będzie najbardziej pożądaną cechą. Zapewnić ją może tylko wiedza z odpowiednio zorganizowanej i wykonywanej diagnostyki oraz kreowany na jej podstawie maintenance posiadający odpowiedni zakres i poziom przy akceptowalnych kosztach. W tym celu opracowano kompletny system diagnostyczny, który integruje prognozowanie trwałości i predykcję awarii, uwzględniając warunki eksploatacji ponad 30 bloków klasy 200 MW.

Wstęp

Żyjemy w czasach transformacji, która dotyka praktycznie wszystkich dziedzin życia i ma globalny charakter. Kierunek jej nie jest do końca jasny, natomiast jej tempo wydaje się przyspieszać. Obejmuje także energetykę prawie w każdym jej obszarze. Gospodarka 4.0 stanowi wyzwanie dla wszystkich rodzajów generacji zarówno

w obszarze produkcji, utrzymania technicznego jak również modeli biznesowych¹. Podnosi wysoko poprzeczkę wymagań. Odpowiednio zmodernizowane i dostosowane bloki klasy 100 MW a zwłaszcza 200 MW i 360 MW nie stoją na straconej pozycji, pełnią bowiem w coraz większym stopniu rolę stabilizatora KSE. Ich stan techniczny jest nadal bardzo dobry, od dawno stanowią bardziej problem dla dostawców nowych urządzeń niż dla użytkowników. Problem tych drugich polega głównie na tym, że brakuje dla nich miejsca w KSE, a rola którą przeznacza im operator, jest coraz mniej komfortowa. Ważne miejsce w KSE (rys. 1) będą miały tak długo, jak długo magazynowanie energii generowanej przez wiatrowe i fotowoltaniczne źródła energii oraz bardziej elastyczne bloki węglowe, gazowo-parowe lub odpowiednio zaprojektowane silniki² istotnie nie ograniczą ich liczby, a w dłuższym horyzoncie czasowym (ok. 15–20 lat) nie wykluczą ich z rynku energii. Zagrożeniem dla nich nie są ani wybudowane, ani obecnie budowane węglowe bloki dużej mocy, bowiem ich niewątpliwe atuty uzewnętrznią się wyłącznie w pracy podstawowej, przy jak najmniejszej liczbie odstawień i postojów. Ponieważ wyposażane są w wiele rozwiązań prototypowych, trzeba poczekać kilka lat, aby ocenić ich dyspozycyjność oraz realne koszty utrzymania, zwłaszcza w trybie LTSA. Miejsca w KSE (rys. 1) nie jest dla nich zbyt dużo, może go nadal ubywać, a regulacyjne oczekiwania operatora mogą niewiele odbiegać od warunków, które mają bloki klasy 200 MW, ponieważ w znaczącym stopniu będą zajmowały ich miejsca w KSE.

Wśród wymagań stawianych blokom energetycznym: prawnych, ekonomicznych i technicznych, te ostatnie są najważniejsze. Stan techniczny urządzeń energe-



Rys. 1 Strategie operatora KSE w zakresie zaspokajania chwilowych potrzeb na energię elektryczną: a) rok 2016, b) prognoza na rok 2020 (w okresach zwiększonej generacji energii przez farmy wiatrowe). Źródło: PSE (opracowanie własne)

bloków klasy 200 MW

tycznych decyduje bowiem o ich bezpiecznej eksploatacji i dyspozycyjności. Wydaje się, że coraz bardziej kreatywna ekonomia i prawo stanowią mniejsze zagrożenie, jakkolwiek nie można ich bagatelizować – zależą bowiem od polityki.

Ważny dla przyszłości bloków 200 MW będzie sposób ich przystosowania do jeszcze bardziej elastycznej pracy. Koncepcja powinna uwzględniać podstawowe, konstrukcyjne atuty tych bloków oraz modernizacje, zwłaszcza te, które wpłynęły na trwałość/dyspozycyjność oraz spełnienie wymagań dyrektywy IED 2010/75/EU.

1. Jak długo mogą bezpiecznie pracować bloki klasy 200 MW?

Konstrukcja, doświadczenia eksploatacyjne i obecny stan techniczny bloków klasy 200 MW sprawiają, że mogą one pracować tak długo, jak długo będzie to ekonomicznie opłacalne i prawnie dopuszczalne. Z technicznego punktu widzenia sens ich dalszej eksploatacji limituje trwałość elementów krytycznych głównych urządzeń ciepłno-mechanicznych. Badania elementów wycofanych z eksploatacji po przepracowaniu ok. 250 tys. godzin wskazują, że mogą przepracować co najmniej 350 tys. godz., co oznacza, że najstarsze z nich mają jeszcze perspektywę ok. 15 lat pracy (zakładając ok. 4000 godz./rok), przy zapewnieniu odpowiedniej jakości maintenance'u^{3,4} dostosowanego do ich bieżącego stanu technicznego i warunków eksploatacji.

2. Podstawowe cechy i niektóre konsekwencje elastycznej pracy bloków energetycznych

Według przedstawionych dotąd oczekiwań operatora elastyczna praca bloku oznacza spełnienie wymagań:

- krótszy niż dotąd czasów uruchamiania, także ze stanu zimnego (do 5 godz.),
- zwiększona do 4 proc. mocy nominalnej/min. prędkość uruchamiania i zmiany obciążenia,
- obniżone minimum technicznego do ok. 40 proc. mocy nominalnej,
- zwiększona do ok. 200 liczba uruchomień na rok.

Zakłada się, że bloki odpowiednio zmodernizowane/przystosowane do eksploatacji:

- pracować będą ok. 1500–4000 godz./rok,
- pozostaną w KSE do ok. 2035 roku.

W takim trybie pracy powinny być spełnione wymagania BAT Conclusions i odpowiednio wysoka dyspozycyjność wynikająca zwłaszcza ze spełnienia wymagań Rynku Mocy.

Bardziej elastyczna praca bloków ma swoje konsekwencje, z których większości nie da się uniknąć, można starać się je jednak ograniczyć. Praca elastyczna ma swoją cenę zależną od głębokości regulacji oraz trybu pracy bloku (liczby i czasu postojów). Najważniejsze składniki tych kosztów to:

- zwiększona utrata trwałości (zwłaszcza jako rezultat większej liczby uruchomień i pracy przy obniżonym minimum technicznym),
- krótszy czas pracy (większa liczba postojów) i niższa niż nominalna moc średnia bloku,
- generacja przy niższej sprawności,
- wzrost kosztów uruchomień,
- możliwość niedotrzymania limitów emisji,
- pogorszenie jakości popiołu, żużla i gipsu,
- utrzymywanie rezerwy wirującej na większym poziomie.

Zwiększona utrata trwałości będzie implikować kolejne zagrożenia i koszty:

- a) obniżenie dyspozycyjności,
- b) wzrost liczby i zakresów oraz kosztów remontów,
- c) potrzebę dalszych modernizacji.

W obszarze chemii energetycznej można dodatkowo oczekiwać niżej wymienionych problemów⁷:

- brak możliwości utrzymania stabilnych parametrów fizykochemicznych w układzie kondensacji i wody zasilającej, zwłaszcza w układach, gdzie całość korekcji prowadzona jest przez te dwa układy, a układy dozujące nie są zaprojektowane do nadążania za zmieniającym się strumieniem czynnika;
- przyrost ilości osadów na powierzchniach ogrzewalnych może być przyczyną zwiększania się liczby uszkodzeń korozyjnych;
- zmiany prędkości przepływu (turbulencja) w układzie wody zasilającej przy dodatkowych zmianach w obszarze wymienionych parametrów mogą być z kolei przyczyną zintensyfikowania zjawisk związanych z FAC (Flow Accelerated Corrosion);
- układy wodno-parowe, w których stosowany jest stały alkalizator wody kotłowej, będą bardziej elastyczne, jednakże pojawi się problem unosu mechanicznego fosforanów (i innych zanieczyszczeń) do pary w momencie przyrostu mocy na turbinie i spadku ciśnienia w kotle, w czasie którego woda w walcu szybko odparowuje, przedostając się do traktu parowego i dalej do turbiny. Efekt zjawiska podobny jak dla zanieczyszczeń z układu zasilającego;
- regulacyjność to również odstawienia urządzeń do rezerwy i wiele zjawisk związanych z korozją postojową, niedotrzymywanie parametrów przy ponownym



Diagnostyka wspierająca elastyczną eksploatację bloków klasy 200 MW

uruchomieniu, transport zanieczyszczeń w trakcie uruchamiania.

Stan techniczny urządzeń zależy od historii i warunków ich eksploatacji oraz od zakresów i poziomu technicznych planowych remontów, które zależą z kolei od jakości diagnostyki. Identyfikowanie uszkodzeń związanych z pracą regulacyjną wymaga specjalnie dostosowanej do tego diagnostyki i personelu o odpowiednich kompetencjach.

Poniżej przedstawiono kilka wybranych przykładów uszkodzeń związanych w znacznym stopniu z pracą regulacyjną jako konsekwencje:

- zerwania cyrkulacji w kotle – praca rur powierzchni ogrzewalnych w warunkach sprzyjających ich przegrzaniu (rys. 2 i 3);



Rys. 2 Zakończenia cyrkulacji czynnika w kotle – korozja wysokotemperaturowa – obustronne pocienienie ścianki węzownicy aż do perforacji: a) przekrój poprzeczny, b) powierzchnia zewnętrzna. Źródło: opracowanie własne

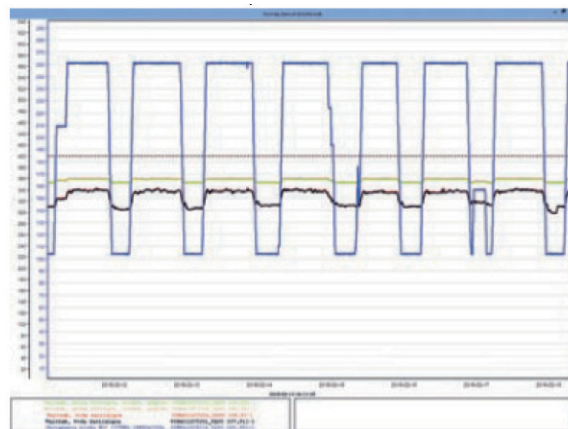


Rys. 3 Zakończenia cyrkulacji czynnika w kotle – przegrzanie rur przegrzewacza pary. Źródło: opracowanie własne

- niedogrzaną wodę zasilającą w momencie zwiększenia mocy bloku – wzrost różnicy temperatur między wodą kotłową w walczaku/temperaturą ścianki walczaka a wody zasilającej – pęknięcia w strefie wodnej walczaka (rys. 4 i 5);
- wzrostu amplitudy i częstotliwości różnic temperatur pomiędzy czynnikiem a metalem jako rezultat szybszych uruchomień ze stanu gorącego bloku (rys. 6);
- szlakowaniem rur ekranowych jako rezultat pracy kotła z licznymi uruchomieniami i obniżonym minimum technicznym (rys. 7);



Rys. 4 Pęknięcia na krawędzi otworu pod rurę opadową w strefie wodnej walczaka. Źródło: opracowanie własne



Rys. 5 Okresowy wzrost różnicy temperatur pomiędzy temperaturą wody zasilającej a temperaturą ścianki płaszczu walczaka. Źródło: opracowanie własne

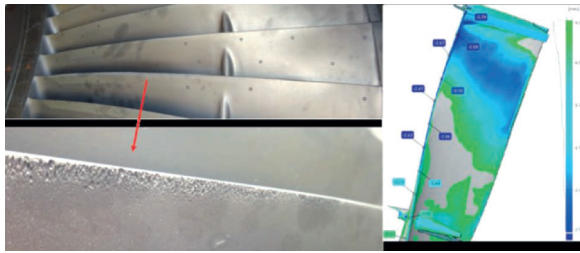


Rys. 6 Pęknięcia krawędzi otworu w komorze wylotowej przegrzewacza pary świeżej jako rezultat zwiększonej liczby i prędkości uruchomień bloku ze stanu gorącego. Źródło: opracowanie własne

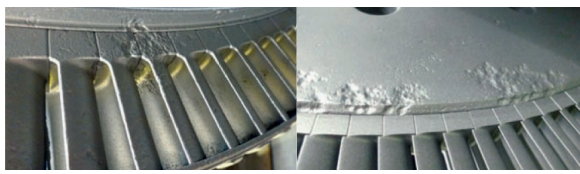


Rys. 7 Szlakowanie rur ekranowych jako rezultat spalania biomasy oraz pracy kotła z licznymi uruchomieniami i obniżonym minimum technicznym

- intensyfikacją erozji łopatek ostatnich stopni NP jako rezultat pracy turbiny z obniżoną mocą (rys. 8);
- korozją postojową elementów układu przepływowego turbiny jako skutek niedostatecznego zabezpieczenia turbiny przed korozją postojową (rys. 9).



Rys. 8 Wpływ pracy turbiny z obniżoną mocą na intensyfikację erozji łopatek ostatniego stopnia NP turbiny



Rys. 9 Korozja postojowa zidentyfikowana na tarczach wirnikowych jako rezultat nieskutecznego zabezpieczenia układu przepływowego turbiny podczas postojów dłuższych niż 20 dni

Elektrownie/grupy energetyczne oraz niektóre firmy zajmujące się nowoczesnym utrzymaniem stanu technicznego urządzeń energetycznych¹⁻⁵ rozpoczęły kilka lat temu prace nad niskokosztowymi sposobami ich modernizacji/dostosowania bloków klasy 200 MW i 360 MW do pracy elastycznej. Wykonano także sporo testów przemysłowych, które wskazują, że takie podejście jest realistyczne.

3. Przedłużanie eksploatacji bloków klasy 200 MW ponad trwałość projektową

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 indywidualnej trwałości elementu w perspektywie oczekiwanej eksploatacji bloku (na podstawie badań NDT i DT przyjęto ok. 350 tys. godz.)¹³;
- bieżące weryfikowanie stopnia redukcji zapasu trwałości, uwzględniając zwłaszcza analizę awaryjności oraz rzeczywiste warunki eksploatacji;
- technologie przedłużające trwałość poprzez:
 - regenerację tj. naprawę uszkodzeń połączoną z przywróceniem pierwotnej geometrii oraz poprawą własności w obszarach narażonych na lokalne uszkodzenia/erozję,
 - rewitalizację - proces polegający na przywróceniu początkowych własności materiału na drodze obróbki cieplnej usuwającej skutki degradacji mikrostruktury¹¹⁻¹²;
- działania mające na celu usunięcie naprężeń dodatkowych, zwłaszcza głównych rurociągów parowych poprzez korektę ich trasy oraz modernizację/regulację zamocowań⁸⁻¹⁰.

Uwzględniając to, że problem ten dotyczy ponad 40 bloków klasy 200 MW oraz 16 bloków klasy 360 MW, „Pro Novum” przy współpracy ze specjalistami wszystkich elektrowni wyposażonych w obydwie rodzaje bloków opracowało metodykę przedłużania czasu ich eksploatacji w formie wytycznych⁹⁻¹¹. Ważną częścią tego działania było wykonanie badań elementów krytycznych bloków 200 MW (wirników WP i SP, kadłubów i komór zaworowych turbin oraz kolan rurociągów pary świeżej i wtórnie przegrzanej) wycofanych z eksploatacji po przekroczeniu 250 tys. godz. pracy⁸.

W metodyce opisanej w wytycznych¹⁴⁻¹⁶ przyjęto, że:

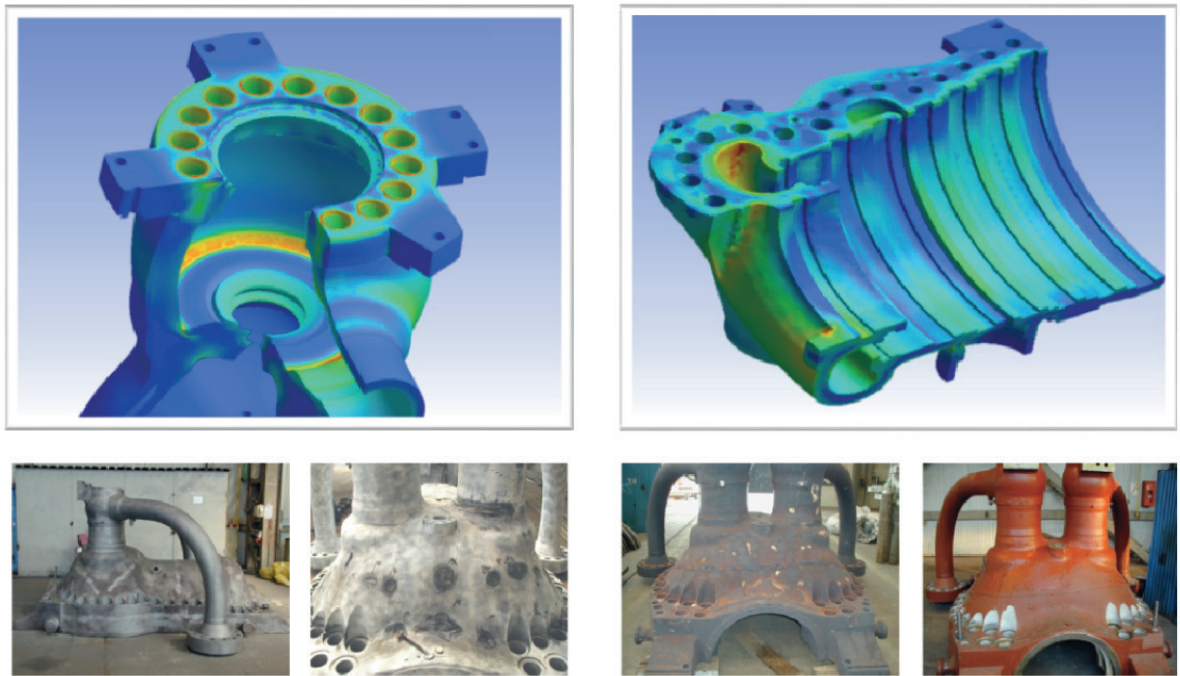
1. po przekroczeniu trwałości projektowej element może pracować, wykorzystując swoją trwałość indywidualną.

Uwagi:

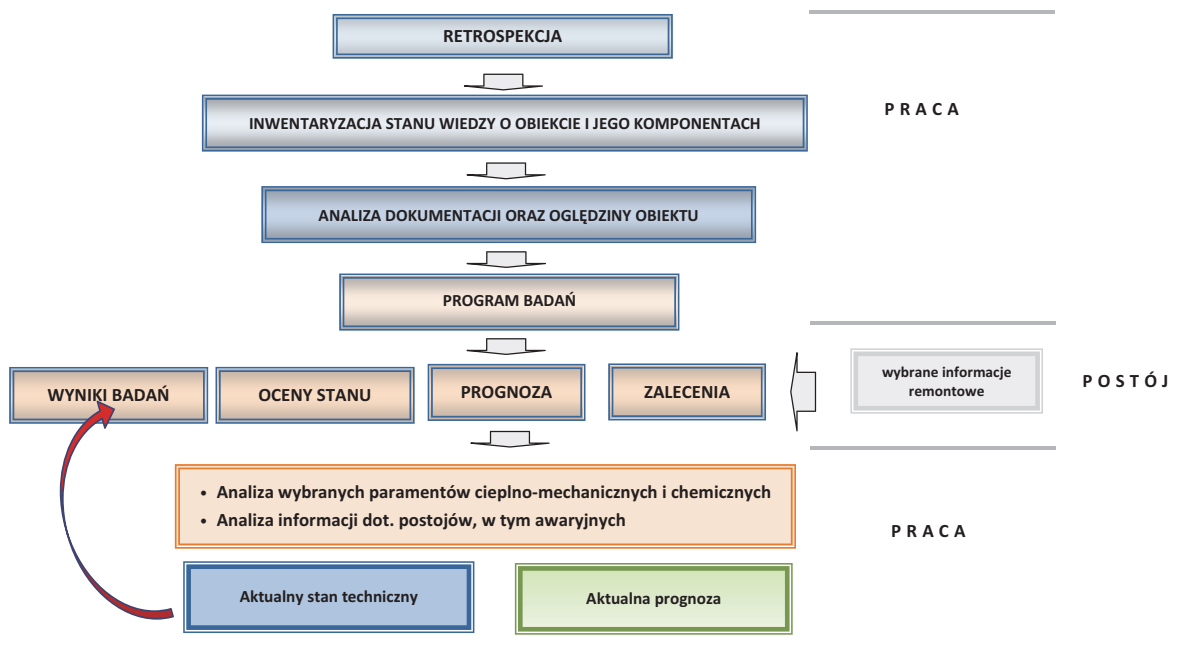
- poprawnie wykonane naprawy/regeneracje a zwłaszcza rewitalizacje mogą przywrócić „pierwotną trwałość projektową”, a działania usuwające naprężenia dodatkowe, np. na rurociągach mogą zatrzymać lub znacznie ograniczyć postęp SWT,
- SWT, którego obrazem są fizyczne (uszkodzenia, np. pustki pełzaniowe, wyklucza eksploatację elementu w czasie do ok. 20 tys. godz. pracy, zwłaszcza dla



Diagnostyka wspierająca elastyczną eksploatację bloków klasy 200 MW



Rys. 10 Rewitalizacja stalowych elementów turbin – dotychczasowe doświadczenia wskazują, że może on wydłużyć trwałość co najmniej o 150 tys. godz.



Rys. 11 Metodyka "Pro Novum" – diagnostyka jako proces zintegrowany z eksploatacją urządzenia. Źródło: opracowanie własne

tęgo że materiału w tym stanie degradacji struktury i własności nie da się ani rewitalizować, ani naprawić przez spawanie.

2. Zapas trwałości indywidualnej określa się, uwzględniając indywidualne cechy elementu:
- geometrię,

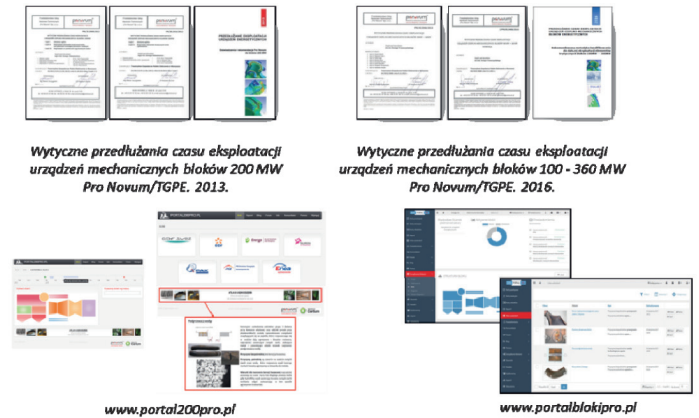
- własności materiału,
 - warunki pracy,
3. Zapas trwałości konfrontuje się z oczekiwanym czasem i warunkami pracy,
 4. Bieżący ubytek trwałości monitorowany jest przy wykorzystaniu:
 - okresowych badań,
 - monitorowania warunków pracy,
 - analizy awaryjności.

Zakres diagnostyki określa się indywidualnie na podstawie retrospekcji. Sama diagnostyka to proces ściśle powiązany z eksploatacją urządzenia (rys. 11). Zakres naprawy, sposób wydłużenia żywotności (np. poprzez rewalizację) określa się na podstawie oceny stanu technicznego. W okresie przedłużonej eksploatacji nad urządzeniem sprawuje się nadzór diagnostyczny, na ogół w zdalny sposób, którego celem jest aktualizowanie diagnozy, weryfikowanie prognozy trwałości oraz formułowanie odpowiednich, adekwatnych do potrzeb zaleceń profilaktycznych.

Istotnymi elementami metodyki „Pro Novum” są badania materiałowe, w tym:

1. badania specjalne niszczące - umożliwiające określenie wybranych własności wytrzymałościowych poprzez pobranie odpowiednich wycinków z miejsc najbardziej wyęzonych. Ubytek materiału po wycinku nie powinien wymagać naprawy poprzez spawanie;
2. badania specjalne nieniszczące - pozwalające na pośrednie określenie stanu (własności) metalu na podstawie badań metalograficznych z zastosowaniem odpowiedniej preparatyki;
3. badania reprezentatywnych elementów wycofanych z eksploatacji, których wyniki służą m.in. do:
 - weryfikacji diagnoz i prognoz,
 - korekcji prawdopodobieństwa uszkodzenia,
 - interpretacji wyników badań podstawowych i specjalnych, w tym na mikropróbkach;
4. LM System PRO+® - system diagnostyczny do nadzoru bloków eksploatowanych w trybie regulacyjnym.

Metodyka „Pro Novum” wymaga rejestracji i przetwarzania dużej ilości informacji, także udostępnianych w trybie online, dlatego zaimplementowano ją na platformie informatycznej LM System PRO+®. LM System PRO+® jest rozwijany od 2004 roku¹⁷⁻²¹ (rys. 12). Platforma informatyczna składa się z pakietów funkcjonalnych i modułów. Zbudowana została w taki sposób, by wspierać zarządzanie wiedzą o stanie technicznym urządzeń przed i w czasie ich modernizacji, a także w okresie wydłużonej eksploatacji. Obecnie oferowana jest najbardziej zaawansowana wersja 3.0. Podjęto prace nad wersją 4.0, m.in. wyposażoną w algorytmy zaawansowanej analityki data mining oraz maszynowego uczenia.



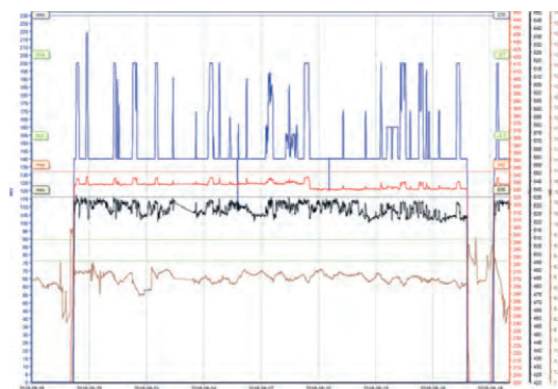
Rys. 12 Ewolucja systemu diagnostycznego, od wytycznych przedłużania eksploatacji do Portalu Bloki PRO^{®25}

System w obecnej wersji pozwala monitorować większość negatywnych zjawisk pracy regulacyjnej, jeśli chodzi o ich wpływ na trwałość elementów i węzłów konstrukcyjnych bloków, m.in. na automatyczną, bieżącą analizę:

- warunków pracy w zakresie parametrów:
 - cieplno-mechanicznych,
 - chemicznych;
- warunków uruchamiania i odstawiania bloków;
- powiązania wpływu czynników cieplno-mechanicznych i chemicznych;
- statystyk awaryjności.

System będzie wyznaczał wskaźnik charakteryzujący pracę regulacyjną (index of flexible operation - IFO), uwzględniając:

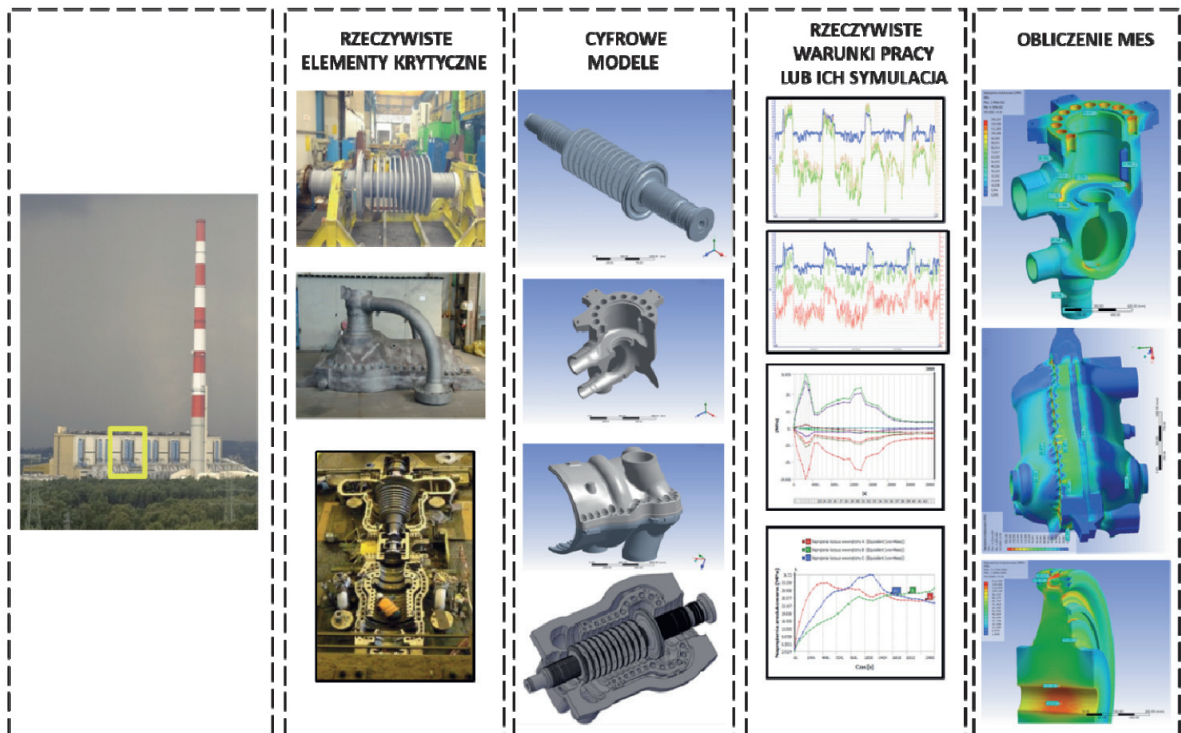
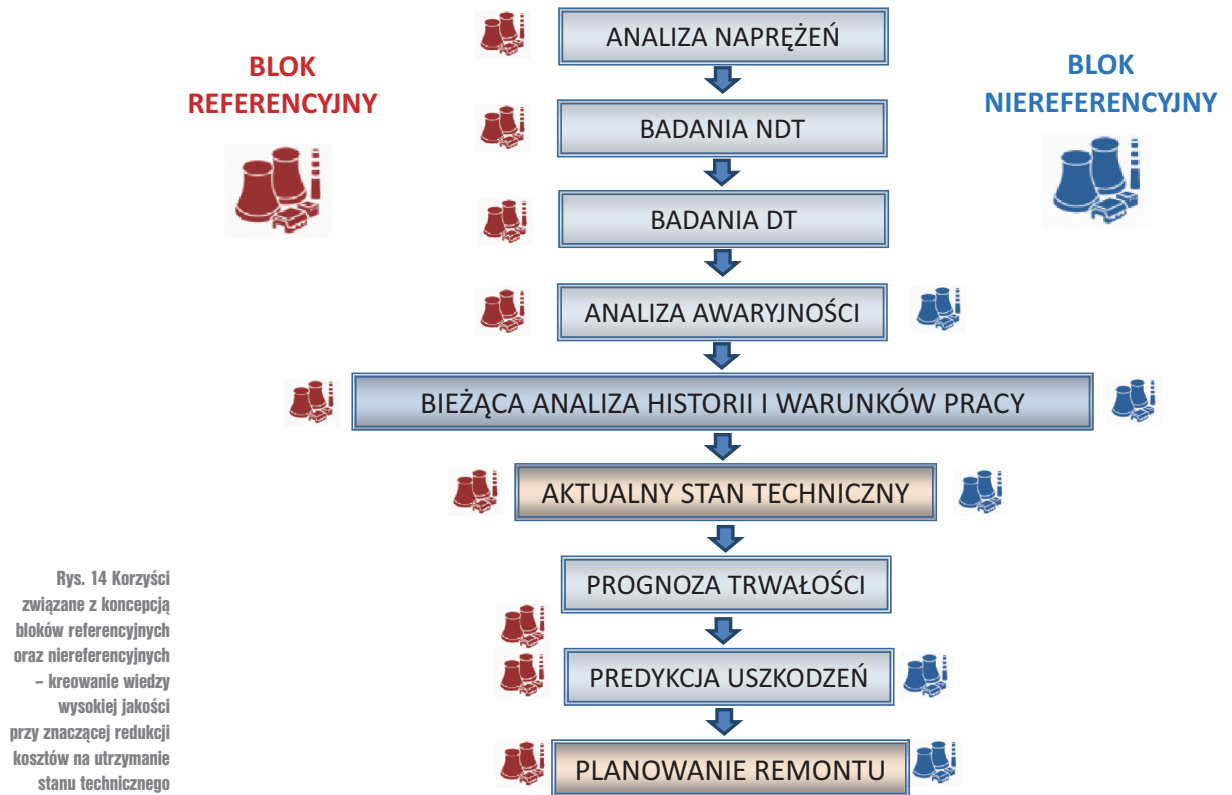
- liczbę, rodzaj i prędkość uruchomień,
- liczbę, rodzaj i czas trwania postojów,
- liczbę podjazdów i zjazdów mocy,
- prędkość zmian mocy,
- czas pracy bloku z mocą większą od znamionowej,



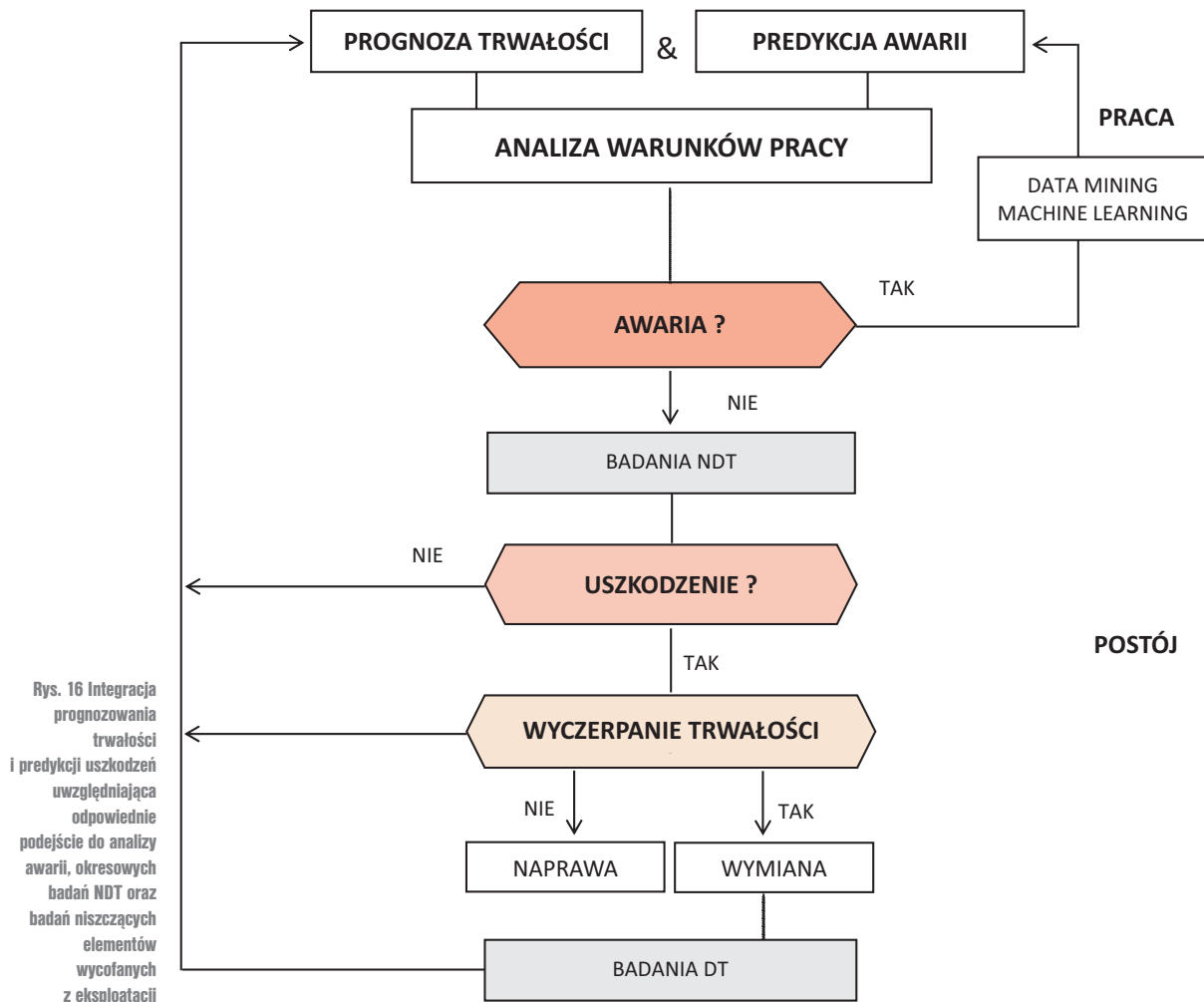
Rys. 13 Przykład monitorowania warunków pracy bloku w celu wyznaczenia indeksu intensywności pracy regulacyjnej IFO²³⁻²⁵. Źródło: opracowanie własne



Diagnostyka wspierająca elastyczną eksploatację bloków klasy 200 MW



Rys. 15 Technologia Digital Twins numerycznego modelowania geometrii elementów i procesów jest istotną częścią diagnostyki wykorzystującej koncepcję bloków referencyjnych zarówno w zakresie obliczeń online rozkładów naprężeń i temperatur, jak również symulacji



Rys. 16 Integracja prognozowania trwałości i predykcji uszkodzeń uwzględniająca odpowiednie podejście do analizy awarii, okresowych badań NDT oraz badań niszczących elementów wycofanych z eksploatacji

- czas pracy bloku z mocą mniejszą od minimum technicznego,
- zmiany wartości wybranych parametrów cieplno-mechanicznych i chemicznych synchronicznie do zmian mocy (rys. 12).

Wartość IFO może być przydatna do optymalizowania zależności pomiędzy głębokością regulacji, dyspozycyjnością bloku, kosztów maintenance'u oraz ceną energii/wielkością produkcji. To ważna wiedza zarówno dla producenta energii, jak również operatora KSE, dysponenta bloków o statusie JWCD.

LM System PRO+® w wersji 4.0 zostanie wyposażony w technologię bloków referencyjnych¹⁴ oraz digital twin, co pozwoli odpowiednio:

- uwzględnić różnice konstrukcyjne oraz posiadany zakres wiedzy o stanie technicznym bloków w skali elektrowni, grupy elektrowni i KSE (rys. 14, 16, 17),

- określać rozkłady temperatur oraz naprężeń/odkształceń/przemieszczeń, w tym ich wartości dopuszczalne w trybie online i symulacji (rys. 15).

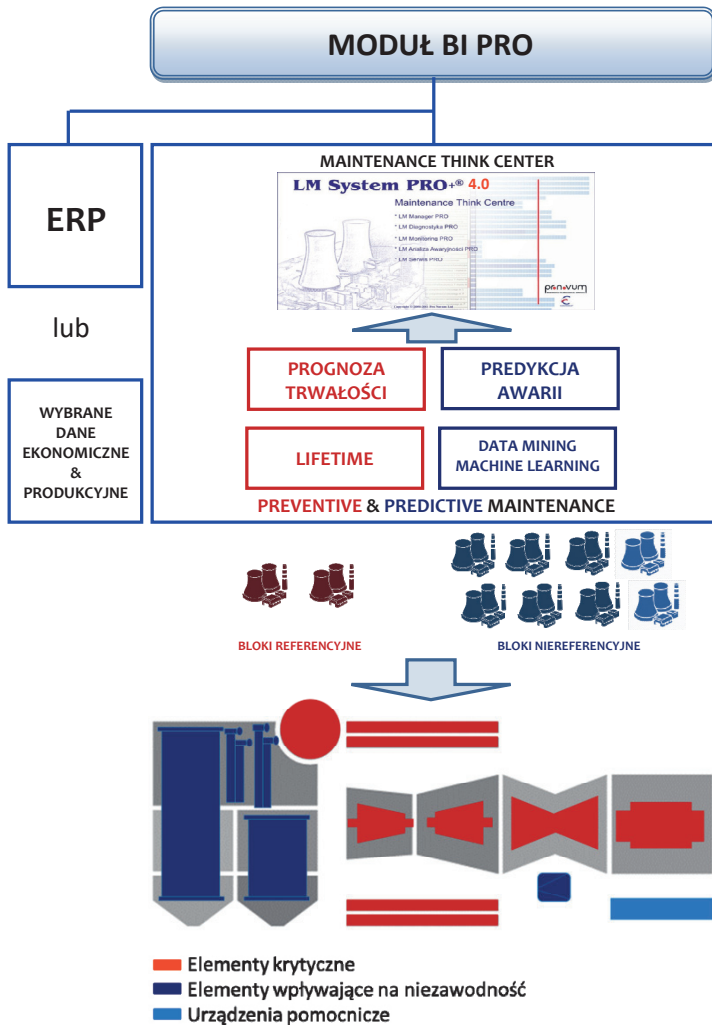
Technologie te skojarzone z możliwościami Portalu Bloki PRO^{®25} zapewnią wysoki poziom aktualnej wiedzy o stanie technicznym wszystkich bloków przy zoptymalizowanych kosztach.

Na rys. 18 przedstawiono schematycznie kompletny system diagnostyczny dla bloków 200 MW, zwłaszcza dla tych z nich, które będą eksploatowane w trybie głębokiej regulacji z uwzględnieniem bezpiecznego przedłużenia eksploatacji elementów krytycznych (grubościennych) bez ich wymiany.

Platforma informatyczna LM System PRO+® według standardów opisanych w wytycznych przedłużania eksploatacji integruje wyniki badań, ocen stanu technicznego i prognoz trwałości oraz informacje na temat historii i warunków eksploatacji. Za pośrednictwem ³²



Diagnostyka PRO⁺



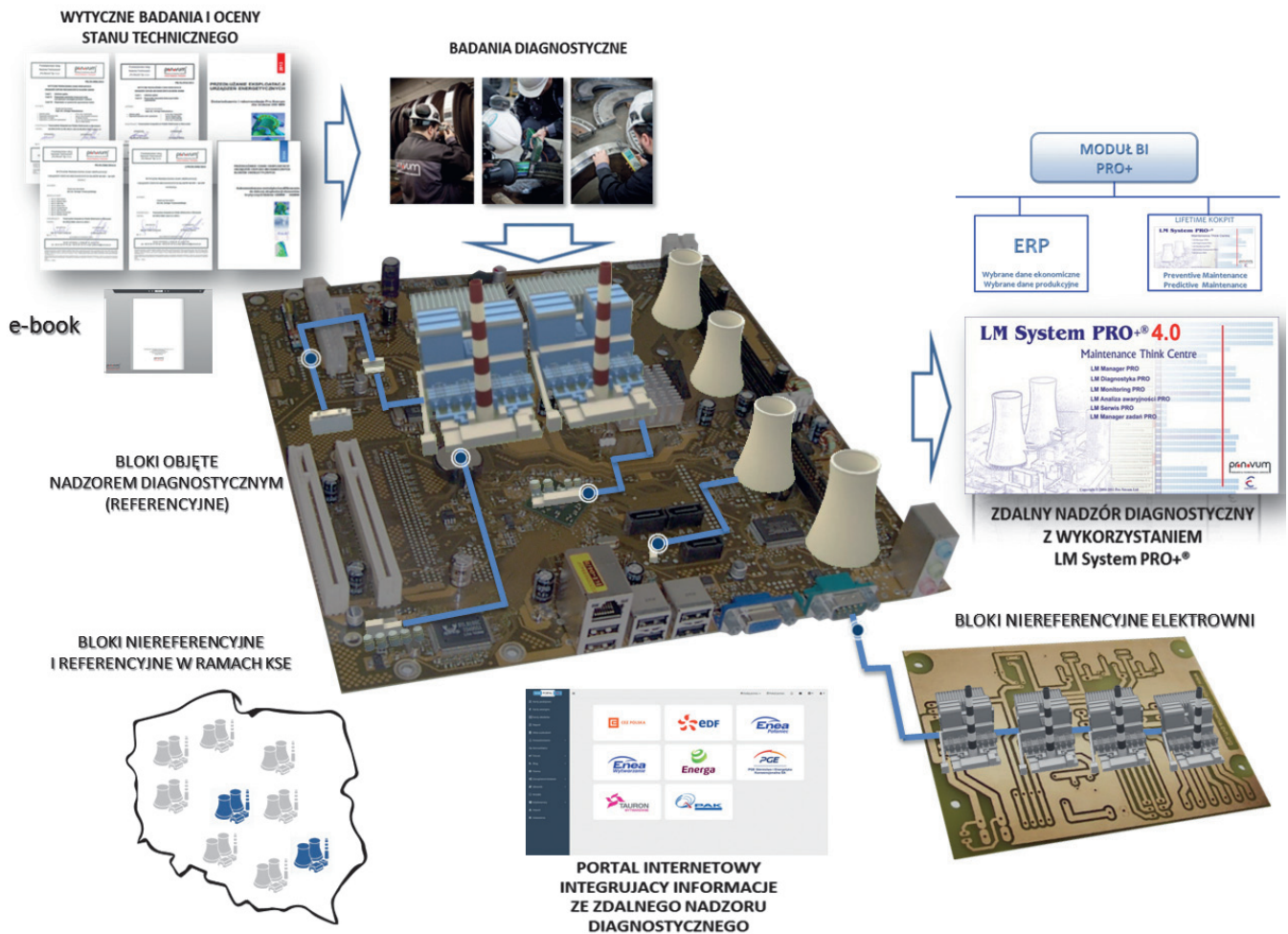
Rys. 17 Usytuowanie w infrastrukturze IT elektrowni systemu integrującego nadzór diagnostyczny bloków referencyjnych i pozostałych, integrującego prognozowanie trwałości elementów krytycznych oraz predykcję awarii elementów wpływających na niezawodność i urządzeń pomocniczych

portalu internetowego integruje wszystkich użytkowników bloków 200 MW, generując automatycznie okresowe raporty zawierające zwłaszcza wyniki analizy awaryjności w zależności od historii oraz od warunków eksploatacji.

System generuje wysokiej jakości bazy informacji i wiedzy, pozwalając na integrację podejścia lifetime opartego na prognozach trwałości (żywności) z podejściem predykcyjnym pozwalającym na przewidywanie awarii, zwłaszcza w obszarze elementów wpływających na niezawodność (np. elementów powierzchni ogrzewalnych oraz urządzeń pomocniczych (rys. 16, 17).

5. Podsumowanie i wnioski

- Ciągle rosnąca ilość niestabilnych źródeł w KSE sprawia, że elastyczne reagowanie na chwilowe potrzeby systemu elektroenergetycznego to podstawowe wyzwanie w dającej się przewidzieć przyszłości. Elastyczność systemu należy rozpatrywać i kreować na wszystkich jego poziomach. Elastyczne źródło energii to jeden z poziomów regulacji.
- Bloki klasy 200 MW mogą być wykorzystane jako jeszcze bardziej elastyczne niż dotąd źródła stabilizacji KSE, mimo że nie były projektowane do takiej pracy, zwłaszcza że zostały wyposażone w kotły z naturalnym obiegiem czynnika.
- Główne atuty bloków klasy 200 MW to: ich duża liczba - 48 sztuk i znaczący udział w mocy o statusie JWCD (ponad 40 proc.), mała moc jednostkowa o względnie dużym zakresie regulacji (ok. 50 proc. mocy nominalnej), dobry stan techniczny, niskie koszty zwiększenia elastyczności w rozsądnych granicach oraz względnie niskie koszty utrzymania stanu technicznego.
- O czasie i warunkach dalszej eksploatacji bloków klasy 200 MW w największym stopniu będą decydować:
 - bezpieczeństwo eksploatacji,
 - wysoka dyspozycyjność,
 - stopień i sposób dostosowania do wymagań środowiskowych.
- Zapewnienie bezpieczeństwa i wysokiej dyspozycyjności będzie uzależnione od ekonomicznych efektów pracy bloków. W tym celu należy w odpowiedni sposób powiązać wolumen i wartość produkcji z warunkami pracy jakich wymaga operator.
- Opracowanie uniwersalnego podejścia do zwiększania elastyczności bloków klasy 200 MW wymagać będzie uwzględnienia licznych i istotnych różnic konstrukcyjnych powstałych zarówno w okresie budowy, jak również w trakcie ich kolejnych modernizacji. Dotyczy to elementów krytycznych i wpływających na niezawodność (zwłaszcza powierzchni ogrzewalnych, urządzeń pomocniczych i układów AKPiA).
- Wyniki badań elementów krytycznych wycofanych z eksploatacji po przepracowaniu ok. 250 tys. godz. i wyniki badań diagnostycznych elementów, których czas pracy zbliża się do 300 tys. godz. wskazują, że indywidualny zapas trwałości jest wystarczający do przepracowania co najmniej 350 tys. godz. bez wymiany. Niektóre elementy, zwłaszcza staliwne elementy turbin mogą wymagać rewitalizacji, jeśli dotąd nie została wykonana w ogóle lub w sposób zapewniający wymaganą trwałość. Kompleksowego przeglądu i oceny stanu technicznego wymagać będą instalacje rurociągowo parowe oraz wody zasilającej,



Rys. 18 Platforma informatyczna LM System PRO+® integrująca wytyczne przedłużania eksploatacji, wyniki badań, informacje na temat historii i warunków eksploatacji bloków wraz z portalem internetowym integrującym użytkowników bloków 200 MW i generującym okresowe raporty. Źródło: opracowanie własne

- zwłaszcza pod kątem prawidłowości ich trasy oraz stanu zamocowań.
- h. Elastyczny tryb pracy, w szczególności zwiększenie prędkości i liczby uruchomień oraz naboru mocy będzie wymagał wdrożenia odpowiedniego systemu diagnostycznego, który umożliwi w sposób zdalny monitorowanie bieżącego stanu technicznego, a zwłaszcza indywidualnego zapasu trwałości elementów krytycznych oraz przewidywanie czasu do awarii elementów wpływających na niezawodność, w tym elementów powierzchni ogrzewalnych kotła i urządzeń pomocniczych.
- i. Należy mieć na uwadze, że:
- skutki elastycznej pracy bloków i związanych z tym modernizacji ujawniać się będą w dłuższym czasie, tylko ewidentne błędy konstrukcyjne, technologiczne i montażowe będą ujawniać się względnie szybko,

- teoretyczne obliczenia wyczerpania trwałości będą miały tylko szacunkowy, przybliżony charakter,
 - odpowiednio wykonywane badania diagnostyczne, a zwłaszcza towarzyszące analizie awaryjności oraz w skali większej liczby bloków (najlepiej w skali KSE) będą źródłem najbardziej użytecznych informacji.
- j. W artykule opisano kompletny system diagnostyczny, który oparty na standardach badania i oceny stanu technicznego sprawdzonych w różnym stopniu podczas badań ponad 30 bloków 200 MW został zaimplementowany na kilkunastu blokach w formie platformy informatycznej LM System PRO+®. Zakłada się, że informacje dotyczące bezpieczeństwa i dyspozycyjności w relacji do warunków pracy zostaną zintegrowane przy pomocy Portalu Bloki PRO®, co pozwoli na budowanie

34



Diagnostyka wspierająca elastyczną eksploatację bloków klasy 200 MW

- wspólnej wiedzy i doświadczenia użytkowników 34 bloków,
- k. Zaplanowano modernizację platformy informatycznej LM System PRO+® w celu wyposażenia jej w pakiet funkcjonalny Diagnostyka PRO+ zawierający m.in. moduły zaawansowanej analityki wykorzystującej metody data mining i machine learning oraz digital twins, co stworzy warunki do uzyskania korzyści, na jakie pozwala koncepcja bloków referencyjnych,
- l. Połączenie możliwości LM System PRO+® w wersji 4.0 i Portalu Bloki PRO® stworzy warunki do integracji podejścia wykorzystującego prognozowanie trwałości z predykcją awarii w taki sposób, że prognozowanie trwałości będzie wspierać diagnostykę elementów krytycznych (grubościennych) zwłaszcza na blokach referencyjnych, natomiast predykcja awarii będzie służyć głównie do przewidywania nieplanowanych postojów spowodowanych przez uszkodzenia elementów wpływających na niezawodność (zwłaszcza elementów powierzchni ogrzewalnych) i urządzeń pomocniczych,
- m. Połączenie diagnostyki integrującej prognozowanie trwałości i predykcję awarii z wykorzystaniem bloków referencyjnych to podejście zapewniające zachowanie najwyższych standardów diagnostyki przy niskich kosztach jej wykonywania. To korzyść w skali elektrowni, grupy elektrowni i KSE. Dla bloków klasy 200 MW i 360 MW to optymalne podejście zapewniające bezpieczne, z wysoką dyspozycyjnością, wydłużenie czasu eksploatacji w warunkach pracy regulacyjnej.

LITERATURA

- [1] J. Trzecznyński, *Diagnostyka 4.0 wspierająca przedłużanie eksploatacji bloków 100 MW – 360 MW* [w:] „Dozór Techniczny” nr 4, 2017.
- [2] Piston Power – For flexible generation and high efficiency in the renewables era – Modern Power Systems, November 2017.
- [3] J. Trzecznyński, *Aktualny stan techniczny oraz możliwości dalszej eksploatacji konwencjonalnych źródeł wytwórczych* [w:] Monografia II Kongresu Elektryki Polskiej, tom II, grudzień 2014 – wrzesień 2016.
- [4] J. Trzecznyński, *Doświadczenia i zamierzenia Pro Novum związane z przystosowaniem długoeksploatowanego majątku produkcyjnego elektrowni w Polsce do pracy w perspektywie do 2030 roku* [w:] „Dozór Techniczny” nr 1, 2016.
- [5] J. Trzecznyński, M. Dąbrowski, *Śląskie Forum Energii – dlaczego jeszcze jeden think- thank?* [w:] „Śląskie Wiadomości Elektryczne” nr 4, 2016.
- [6] S. Rajca, E. Grzesiczek, *Uszkodzenia turbozespołów powodowane pracą regulacyjną oraz długotrwałymi postojami* [w:] „Energetyka” nr 12, 2016.
- [7] P. Gawron, *Działania ograniczające wpływ pracy regulacyjnej oraz postojów na uszkodzenia korozyjne elementów obiegów wodno-parowych bloków energetycznych*, XVIII Sympozjum Informatyko-Szkoleniowe „Pro Novum”. Diagnostyka i Remonty Urządzeń Ciepłno-Mechanicznych Elektrowni, Katowice, Hotel Qubus, 6–7 października 2016.
- [8] W. Brunne, *Usuwanie źródeł naprężeń w elementach krytycznych rurociągów poprzez zmiany konstrukcyjne* [w:] Biuletyn „Pro Novum” nr 1, „Energetyka”, czerwiec 2016.
- [9] W. Brunne, *Wpływ trasy rurociągów na ich bezpieczną eksploatację* [w:] Biuletyn „Pro Novum” nr 1, czerwiec – lipiec 2007.
- [10] W. Brunne, *Propozycje zmian zamocowań rurociągów wysokoprężnych kotłów OP-650* [w:] „Energetyka” nr 9, 1997.
- [11] E. Grzesiczek, J. Trzecznyński, S. Rajca, *Możliwości wydłużania czasu eksploatacji elementów części przepływowych turbin parowych* [w:] „Energetyka” nr 12 (594), grudzień 2003.
- [12] E. Grzesiczek, S. Rajca, *Retwalizacja stalowych elementów turbin parowych – technologia bez mankamentów* [w:] „Energetyka”, nr 12 (702), grudzień 2012.
- [13] Sprawozdanie Pro Novum 049.3096/2014, *Badania wybranych elementów krytycznych bloków 200 MW po długotrwałej eksploatacji dla określenia możliwości przedłużania ich eksploatacji do 350 000 godzin*, Katowice, 2014 (niepublikowane).
- [14] 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 kotłów*, „Pro Novum”, Katowice, 2013 (niepublikowane).
- [15] PN/30.2910/2013, *Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW. Część I. Założenia ogólne. Część II. Diagnostyka elementów krytycznych turbin i generatorów*, „Pro Novum”, Katowice, luty 2013 (niepublikowane).
- [16] PN/045.3360/2016, *Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100-360 MW*, „Pro Novum”, Katowice, 2016 (niepublikowane).
- [17] J. Trzecznyński, W. Murzynowski, S. Białek, *Monitorowanie stanu technicznego urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków energetycznych przy wykorzystaniu platformy informatycznej LM System PRO+®* [w:] „Dozór Techniczny” nr 5, 2011.
- [18] J. Trzecznyński, *Concept and Present State of Implementation of LM System PRO® – the System Supporting Supporting Maintenance of Thermo-Mechanical Power Equipment. 3rd ETC Generation and Technology Workshop* [w:] „Life Time Management of Pressurized Equipment”, Dublin, 2007.
- [19] J. Trzecznyński, *System diagnostyczny zapewniający bezpieczną pracę bloków 200 MW eksploatowanych po przekroczeniu 300 000 godzin* [w:] „Dozór Techniczny” nr 2, 2012.
- [20] Technical-Scientific Report, Availability of Power Plants 2007-2016, VGB-TW 103Ve, 2017.
- [21] W. Murzynowski, J. Trzecznyński, *Dotychczasowe doświadczenia związane z wykonywaniem zdalnej diagnostyki oraz kierunki rozwoju platformy informatycznej LM System PRO+®* [w:] Biuletyn „Pro Novum” nr 1, 2017, „Energetyka” nr 12, 2017.
- [22] J. Ayd, J.-F. Lehougre, R. Ulich, S. Prost, *VGB-database supports performance analysis* [w:] „VGB PowerTech” nr 9, 2017.
- [23] J. Trzecznyński, R. Stanek, R. Szyja, K. Staszałek, *Cyclic operation of modernized power units of 200 MW and 360 MW*, ETD Conference – Flexible Operation & Preservation of Power Plants. London, 23–24 November 2015.
- [24] J. Trzecznyński, R. Stanek, S. Rajca, K. Staszałek, A. Sobczyszyn, *Diagnostics of Long Time Operated Power Units Planned for Flexible Operation*, VGB Workshop „Materials and Quality Assurance”, Maria Enzersdorf, Austria, 18–19 May 2017.
- [25] J. Trzecznyński, A. Sobczyszyn, K. Staszałek, R. Stanek, R. Sławomir, *Diagnostyka długoeksploatowanych bloków energetycznych przeznaczonych do pracy regulacyjnej* [w:] Biuletyn „Pro Novum” nr 1, 2017, „Energetyka”, czerwiec 2017.
- [26] R. Stanek, J. Trzecznyński, M. Dąbrowski, *Diagnostyka jednego typu urządzeń w skali KSE z wykorzystaniem portalu internetowego integrującego informacje eksploatacyjne* [w:] Biuletyn „Pro Novum” nr 2, 2017, „Energetyka” nr 12, 2017.