

Szanowni Państwo

Energetyka polska od dłuższego czasu przechodzi transformację, w znacznej mierze wykreowaną przez prawo Unii Europejskiej oraz potrzeby Operatora KSE. Diagnostyka próbuje towarzyszyć tej transformacji. Pro Novum posiada w tym procesie znaczący udział, zarówno w zakresie standaryzacji badań urządzeń ciepłno-mechanicznych, jak również ich software'owej implementacji oraz organizacji nadzoru diagnostycznego w skali prawie całej klasy urządzeń, zwłaszcza bloków 200 MW. Takie kompleksowe podejście, przedstawione w pierwszym artykule niniejszego Biuletynu, zaprezentowaliśmy, kolejny raz, także za granicą^{*)}. Konfrontacja z zagranicznymi, współczesnymi metodami podejścia do diagnostyki wypadła dla nas pozytywnie. To dobra informacja dla wszystkich polskich użytkowników naszych Systemów Diagnostycznych zaimplementowanych na platformie LM System PRO+[®]. Zachęca to nas do podjęcia prac nad wersją 4.0 naszego Systemu, umożliwiającego m.in. współpracę z portalem internetowym integrującym wymianę informacji, wiedzy i doświadczeń użytkowników bloków klasy 200 MW.

Jerzy Trzeszczyński & Jerzy Dobosiewicz

Jerzy Trzeszczyński, Adrian Sobczyszyn,
Kamil Staszalek, Radosław Stanek, Sławomir Rajca
Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o.

Diagnostyka długoeksploatowanych bloków energetycznych przeznaczonych do pracy regulacyjnej

Diagnostics of long time operated power units planned for flexible operation

Rosnąca ilość energii generowanej z niestabilnych źródeł OZE, mająca priorytet w zasilaniu systemu elektroenergetycznego oraz prosumenckie nastawienie coraz większej liczby uczestników na rynku energii sprawia, że stabilizacja systemu elektroenergetycznego staje się coraz częściej ważniejsza niż prosta generacja. W takiej roli występują bloki opalane węglem, w polskiej elektroenergetyce zwłaszcza bloki spalające węgiel

kamienny. Tak długo jak magazyny energii nie złagodzą tego problemu stanowi to wielkie wyzwanie zarówno dla wytwarzania, dystrybucji jak również sprzedaży energii. Problemy dotyczące wytwarzania przekładają się na nowe wyzwania w zakresie utrzymania stanu technicznego urządzeń. Eksploatowane są nie tylko w nowych warunkach pod względem wyęźnienia w zakresie ciepłno-mechanicznym. Także zachowanie środowiska chemicznego (para, woda, kondensat), zapewniającego trwałość wielu elementów i węzłów konstrukcyjnych bloków, stało się trudniejsze i bardziej kosztowne.

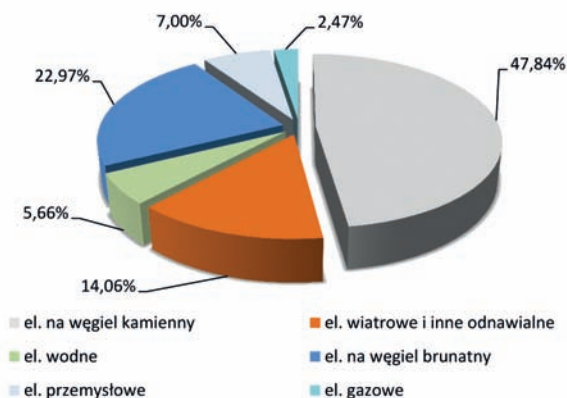
^{*)} VGB Workshop „Materials and Quality Assurance” 18/19 May 2017 in Maria Enzersdorf/Austria

Regulacyjna praca bloków energetycznych stawia bardzo wysokie wymagania w zakresie utrzymania stanu technicznego według kryterium niezawodności, a zwłaszcza dyspozycyjności. Z wielu względów, opisanych w dalszej części niniejszego artykułu, stawia to nie tylko większe, ale także nowe wymagania dla diagnostyki. Diagnostyka powinna pozwalać zarówno na identyfikowanie nowych rodzajów uszkodzeń, jak również na przetwarzanie informacji on-line, zdalny nadzór oraz automatyczne kreowanie wiedzy integrowanej ze wskaźnikami ekonomicznymi i szacowaniem ryzyka.

W polskim systemie elektroenergetycznym takim wyzwaniem powinny sprostać m.in. bloki klasy 200 MW, które przepracowały dotychczas ponad 200 000 godzin przechodząc liczne modernizacje. Ostatnie, które dobiegają końca, mają na celu spełnienie wymagań dyrektywy IED 2010/75/EU. Następne, planowane modernizacje będą dotyczyć spełnienia BAT Conclusions.

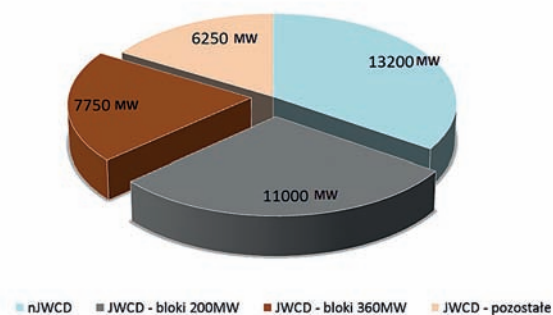
Specyfika polskiego systemu elektroenergetycznego

Bloki wyposażone w kotły spalające węgiel, zwłaszcza kamienny, stanowią istotną część polskiego systemu elektroenergetycznego, którego ogólną strukturę przedstawiono na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Struktura mocy zainstalowanej w polskim systemie elektroenergetycznym wyrażona w procentach (stan na grudzień 2015 r.)

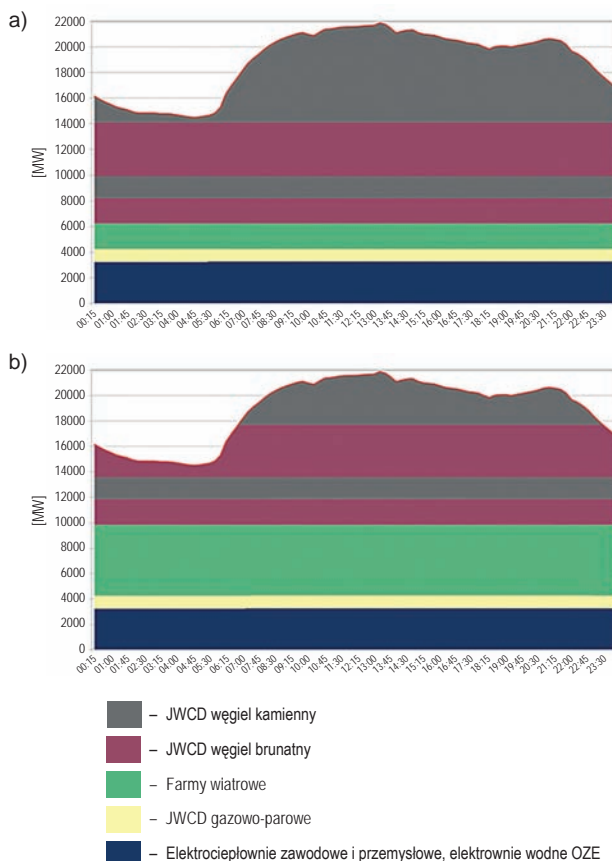
Źródło: *Rzeczpospolita*, wydanie: 10739, 2-3 maja 2017 r. (opracowanie własne)



Rys. 2. Bloki klasy 200 MW jako podstawowa część polskiego podsystemu elektroenergetycznego w zakresie Jednostek Wytwórczych Centralnie Dysponowanych (stan na grudzień 2015 r.)

Źródło: PSE (opracowanie własne)

Wśród bloków spalających węgiel, bloki klasy 200 MW opalane węglem kamiennym stanowią ważną część źródeł energii bezpośrednio zarządzanych (JWCD) przez operatora Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE). Obecna struktura mocy KSE oraz prognozy w zakresie jej zmian, zwłaszcza wzrost udziału OZE, źródeł rozproszonych oraz importu istotnie wpłyną na warunki eksploatacji bloków węglowych, w tym zwłaszcza bloków klasy 200 MW. Efekty tego widać już obecnie. Jak przedstawiono to na rysunku 3 bloki klasy 200 MW w malejącym stopniu będą pracować w trybie podstawowym, w coraz większym stopniu będą pełniły funkcje regulacyjne, stabilizując pracę systemu elektroenergetycznego.



Rys. 3. 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)

Z wyżej opisanych powodów rozważana jest nowa strategia eksploatacji bloków na węgiel kamienny, która może obowiązywać po 2020 roku. Ważnym elementem tej strategii będzie rola bloków 200 MW w KSE, zwłaszcza tych, które będą spełniały wymagania BAT Conclusions. Na szczególną uwagę zasługiwać będą te bloki, które mają być przeznaczone do pracy podszczytowej i szczytowej, co będzie wynikać z konkretnych potrzeb KSE (rys. 3). Od takich jednostek będzie się wymagać m.in.:

- krótszych niż dotąd czasów uruchamiania, zwłaszcza ze stanu zimnego,
- zwiększonych do 4% mocy znamionowej/min prędkości uruchamiania i zmiany obciążenia,

- obniżenia minimum technicznego do ok. 40% mocy znamionowej,
- zwiększonej do ponad 200 liczby uruchomień/rok.
Zakłada się, że bloki odpowiednio przystosowane do pracy jw.:

- pracować będą 500-1500 godz./rok,
- pozostaną w KSE do ok. 2035 roku.

Rozpoczęto prace nad możliwie niskokosztowymi sposobami ich modernizacji m.in. dlatego, że trudno obecnie przewidzieć konsekwencje, zwłaszcza dla polskiej energetyki zdominowanej przez konwencjonalne elektrownie węglowe, polityki dekarbonizacji UE oraz postępu technicznego w energetyce, w szczególności w zakresie efektywnego magazynowania energii.

Bloki 200 MW i 360 MW w polskim systemie elektroenergetycznym

Obecnie moc osiągalna wszystkich źródeł w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym wynosi ok. 38200 MW, w tym ok. 26000 MW pochodzi z Jednostek Wytwórczych Centralnie Dysponowanych (rys. 1 i 2).

Podstawę KSE stanowią trzy rodzaje bloków mających status JWCD (rys. 2):

- zmodernizowane bloki 200 MW,
- zmodernizowane bloki 360 MW,
- bloki nowe, w tym bloki węglowe na parametry nadkrytyczne o mocy powyżej 400 MW i bloki gazowo-parowe.

Czas eksploatacji bloków klasy 200 MW wynosi ok. 200 000 – 300 000 godzin, natomiast bloków 360 MW od ok. 120 000 do

200 000 godzin. Obydwa rodzaje bloków, zwłaszcza 200 MW, były wielokrotnie modernizowane w celu:

- przedłużenia trwałości (rewitalizację elementów stalowych turbin, wymiany elementów o najbardziej wyczerpanej trwałości),
- poprawy sprawności/zwiększenia mocy (modernizacja części NP turbozespołów, podwyższenie parametrów pracy).

Wszystkie bloki klasy 360 MW oraz większość bloków klasy 200 MW spełnia wymagania dyrektywy europejskiej IED 2010/75/EU. Z tego względu uważa się, że bloki te bardziej zasługują na określenie „długo eksploatowany” niż „stary”.

Ważną cechą – zwłaszcza bloków klasy 200 MW – jest to, że posiadają konstrukcję pozwalającą przedłużać trwałość głównych elementów grubościennych (krytycznych) do ok. 350 000 godzin przy zastosowaniu regeneracji i rewitalizacji, których koszty nie przekraczają 30% ceny nowego elementu [1-4].

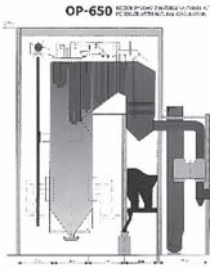
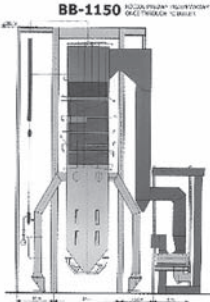
Podstawowe informacje na temat obydwu rodzajów bloków energetycznych dominujących w KSE przedstawiono w tablicach 1 i 2.

Z punktu widzenia przydatności do pracy regulacyjnej warto zwrócić uwagę na to, że:

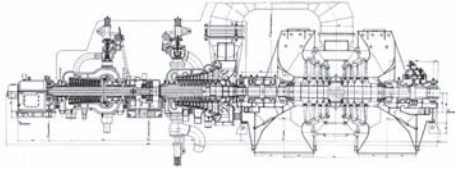
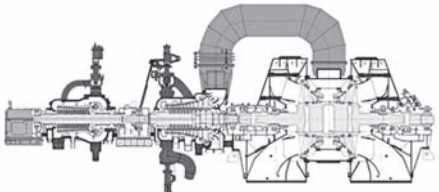
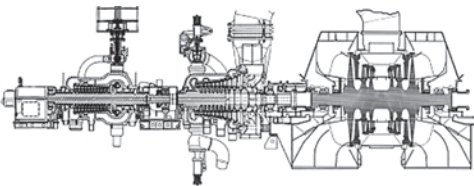
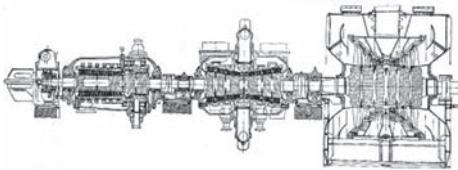
- kotły bloków o mocy 200 MW typu OP-650, OB-650, EP-650 to urządzenia z paleniskiem pyłowym i naturalnym obiegiem czynnika; są opalane węglem kamiennym (OP, EP) i brunatnym (OB), posiadają opromieniowane, ekranowe komory paleniskowe;
- kotły bloków o mocy 360 MW typu BP-1150 i BB-1150 to kotły pyłowe, przepływowe, opalane odpowiednio węglem kamiennym oraz brunatnym.

Tablica 1

Kotły bloków 200 MW i 360 MW; Źródło: Folder *Rafako* (opracowanie własne)

Moc bloku	Typ kotła	Schemat kotła	Podstawowe parametry pracy	
			ciśnienie pary świeżej	temperatura pary świeżej
215 MW, po modernizacji do 242 MW	OP – 650		13,5 MPa	540°C
	EP – 650		13,8 MPa	540°C
	OB – 650		13,8 MPa	540°C
360 MW	BB-1150		18,3 MPa	540°C
	BP-1150		19,0 MPa	570°C
po modernizacji do 394 MW	BB-1150 (po modernizacji)		18,3 MPa	540°C

Turbozespoły bloków 200 MW i 360 MW

Moc bloku	Typ turbozespołu	Schemat turbozespołu	Podstawowe parametry pracy	
			temperatura i ciśnienie pary dołotowej do części WP	temperatura i ciśnienie pary dołotowej do części SP
215 MW po modernizacji do 242 MW	13K215		535°C 12,75 MPa	535°C 2,31 MPa
	13K225 po modernizacji wg Alstom			
	13K225 po modernizacji wg Westinghouse			
360 MW	18K360 przed modernizacją		535°C 17,6 MPa	535°C 4,0 MPa
po modernizacji do 394 MW	18K360 po modernizacją		547 - 567°C 17 - 18,37 MPa	568°C 4,19 - 4,22 MPa

Warunki pracy głównych urządzeń ciepłno-mechanicznych

Bloki energetyczne o statusie JWCD (rys. 2) eksploatowane są od wielu lat w trybie różniącym się od pracy stabilnej (rys. 4). Systematycznie spada liczba godzin pracy (wielkość produkcji) oraz rozszerza pasmo regulacji, jednak bez przekraczania minimum technicznego określonego na poziomie ok. 60% mocy znamionowej bloku. Poza pracą niektórych bloków mającą charakter testów, nie eksploatuje się bloków przy liczbie uruchomień większej od 50/rok. Praca testowa pokazała jednak, że należy się liczyć z przyspieszonym ubytkiem trwałości, a nawet uszkodzeniami w części ciśnieniowej kotłów i częściach niskoprężnych turbin, a analiza doświadczeń zagranicznych wykazała, że uszkodzeń wywołanych intensywną regulacją można oczekiwać także w wielu innych miejscach bloku energetycznego (rys. 5).

Elastyczność pracy bloku energetycznego rozumiana jest jako jego zdolność do bezpiecznej i niezawodnej pracy w teoretycznie dowolnych stanach nieustalonych, wynikających z po-

trzeb 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 (rys. 6).

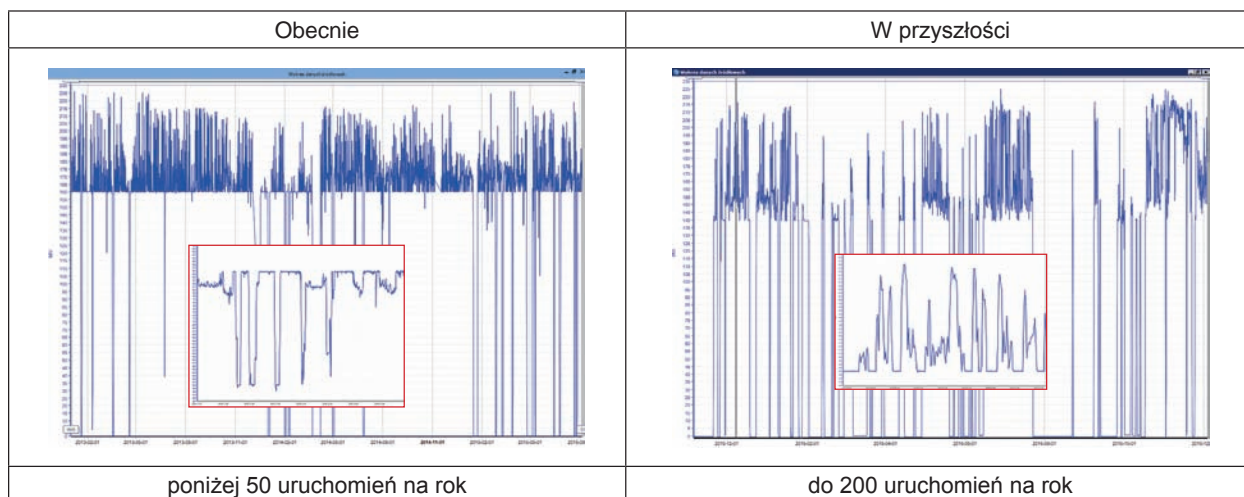
Miarą elastyczności bloku jest:

- dopuszczalny zakres jego obciążenia mocą czynną,
- dopuszczalna szybkość zmian obciążenia,
- zdolność do szybkich uruchomień i odstawień,
- trwała praca z mocą minimalną,
- zdolność do codziennych odstawień i szybkich uruchomień.

Jednocześnie oczekuje się optymalizacji wielu parametrów, jak:

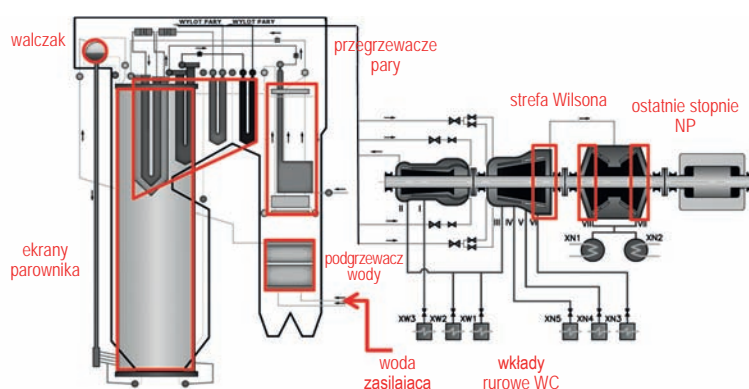
- redukcja kosztów paliwa,
- jak najmniejsza redukcja sprawności,
- możliwie największa efektywność produkcji,
- spełnienie wymagań ekologicznych,
- minimalizacja redukcji trwałości – zapewnienie wysokiej dyspozycyjności.

Wszystkie cechy pracy regulacyjnej przedstawiono na rysunku 6.



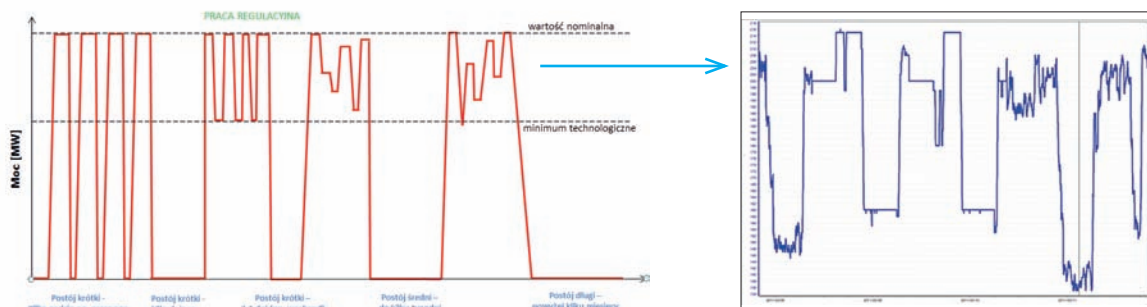
Rys. 4. Wykresy mocy bloku pracującego w regulacji obecnie (dobowe podjazdy i zjazdy mocy) oraz w przyszłości (dotyczy zwłaszcza bloków klasy 200 MW)

Źródło: opracowanie własne



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

Źródło: opracowanie własne



Rys. 6. Praca regulacyjna bloku energetycznego

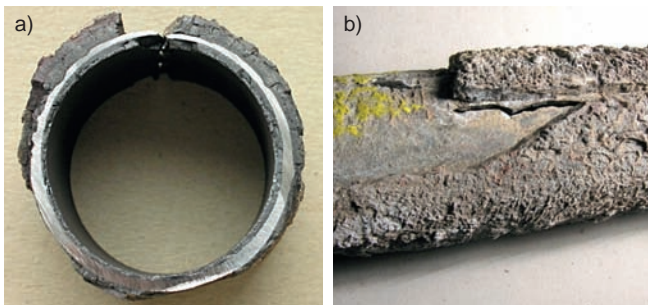
Źródło: opracowanie własne

Uszkodzenia i problemy związane z pracą regulacyjną

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

Poniżej przedstawiono kilka wybranych przykładów uszkodzeń, związanych w znacznym stopniu z pracą regulacyjną. Związane są one zwłaszcza z:

- możliwością zerwania cyrkulacji w kotle – praca rur powierzchni ogrzewalnych w warunkach sprzyjających ich przegrzaniu (rys. 7 i 8),
- niedograniem wody zasilającej w momencie zwiększania mocy bloku – wzrost różnicy temperatur między wodą kotłową w walczaku/temperaturą ścianki walczaka a wody zasilającej – pęknięcia w strefie wodnej walczaka (rys. 9 i 10),



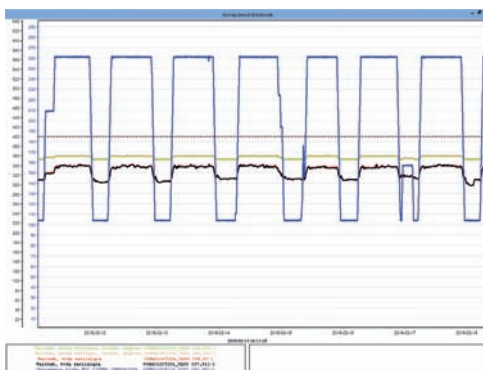
Rys. 7. Zaktócenia cyrkulacji czynnika w kotle – korozja wysokotemperaturowa – obustronne pocienienie ścianki węzownicy aż do perforacji: a) przekrój poprzeczny, b) powierzchnia zewnętrzna
Źródło: opracowanie własne



Rys. 8. Zaktócenia cyrkulacji czynnika w kotle – przegrzanie rur przegrzewacza pary
Źródło: opracowanie własne



Rys. 9. Pęknięcia na krawędzi otworu pod rurę opadową w strefie wodnej walczaka
Źródło: opracowanie własne



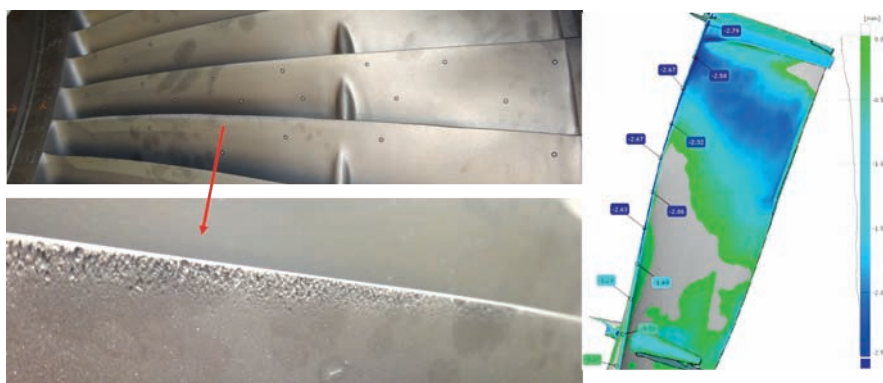
Rys. 10. Okresowy wzrost różnicy temperatur pomiędzy temperaturą wody zasilającej a temperaturą ścianki płaszcza walczaka
Źródło: opracowanie własne



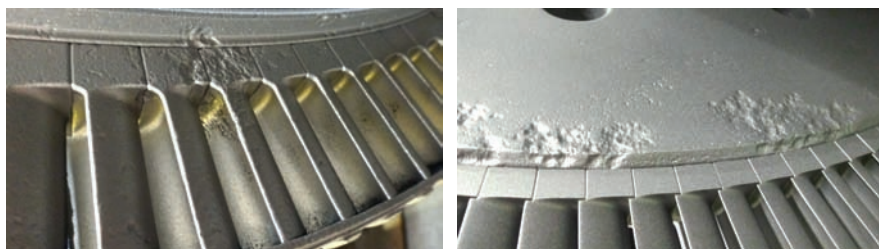
Rys. 11. Pęknięcia krawędzi otworu w komorze wylotowej przegrzewacza pary świeżej jako rezultat zwiększonej liczby i prędkości uruchomień bloku ze stanu gorącego
Źródło: opracowanie własne



Rys. 12. Szlakowanie rur ekranowych jako rezultat spalania biomasy oraz pracy kotła z licznymi uruchomieniami i obniżonym minimum technicznym



Rys. 13. Wpływ pracy turbiny z obniżoną mocą na intensyfikację erozji łopatek ostatniego stopnia NP turbiny



Rys. 14. Korozja postojowa zidentyfikowana na tarczach wirnikowych jako rezultat nieskutecznego zabezpieczenia układu przepływowego turbiny podczas postojów dłuższych niż 20 dni

- wzrostem amplitudy i częstotliwości różnic temperatur pomiędzy czynnikiem a metalem jako rezultat szybszych uruchomień ze stanu gorącego bloku (rys. 11),
- szlakowaniem rur ekranowych jako rezultat pracy kotła z licznymi uruchomieniami i obniżonym minimum technicznym (rys. 12),
- intensyfikacją erozji łopatek ostatnich stopni NP jako rezultat pracy turbiny z obniżoną mocą (rys. 13),
- korozją postojową elementów układu przepływowego turbiny jako skutek niedostatecznego zabezpieczenia turbiny przed korozją postojową (rys. 14).

W obszarze chemii energetycznej można oczekiwać wymienionych poniżej problemów.

- Brak możliwości utrzymania stabilnych parametrów fizykochemicznych w układzie kondensacji i wody zasilającej, zwłaszcza w układach, gdzie całość korekacji prowadzona jest przez te dwa układy, a układy dozujące nie są zaprojektowane do nadążania za zmieniającym się strumieniem czynnika. Zmiany kluczowych parametrów w tych układach, jak: odczyn pH i potencjał utleniająco-redukcyjny wpływają bardzo niekorzystnie na stabilność warstw ochronnych w układzie zasilania i kondensacji oraz powodują emisję zanieczyszczeń stałych do czynnika, z którym przedostają się do obiegu kotłowego (osadzanie zanieczyszczeń na powierzchniach ogrzewalnych) oraz wraz z wodą wtłokową do przegrzewaczy pary i wtórnie do turbiny. Ma to szczególnie niekorzystne znaczenie w układach ze stopów miedzi (kondensatory, wymienniki regeneracji niskoprężnej), które są bardzo czułe na zmiany parametrów chemicznych, a sama miedź wraz z innymi składnikami stopów miedzi jest przyczyną uszkodzeń korozyjnych w kotle i problemów z prowadzeniem prac remontowych (utwardzanie i pękanie spoin) oraz ze spadkiem sprawności po stronie turbiny (odkładanie osadów w częściach wysoko- i niskoprężnej).
- Idący w parze za powyższymi zjawiskami 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 wyżej 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 (rys. 6), krótszej lub dłuższej, i cały szereg zjawisk związanych z korozją postojową (korozja, niedotrzymywanie parametrów przy ponownym uruchomieniu, transport zanieczyszczeń w trakcie uruchamiania).

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 (przyjęto 350 000 godzin),
- bieżące weryfikowanie stopnia redukcji zapasu trwałości, uwzględniając zwłaszcza rzeczywiste warunki eksploatacji.

Uwzględniając fakt, że problem ten dotyczy ponad 40-tu bloków klasy 200 MW oraz 16 bloków klasy 360 MW *Pro Novum*, przy współpracy ze specjalistami wszystkich elektrowni wyposażonych w obydwie rodzaje bloków, opracowano metodykę przedłużania czasu ich eksploatacji w formie „Wytycznych..” [1-4, 6]. 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 250 000 godzin pracy [3].

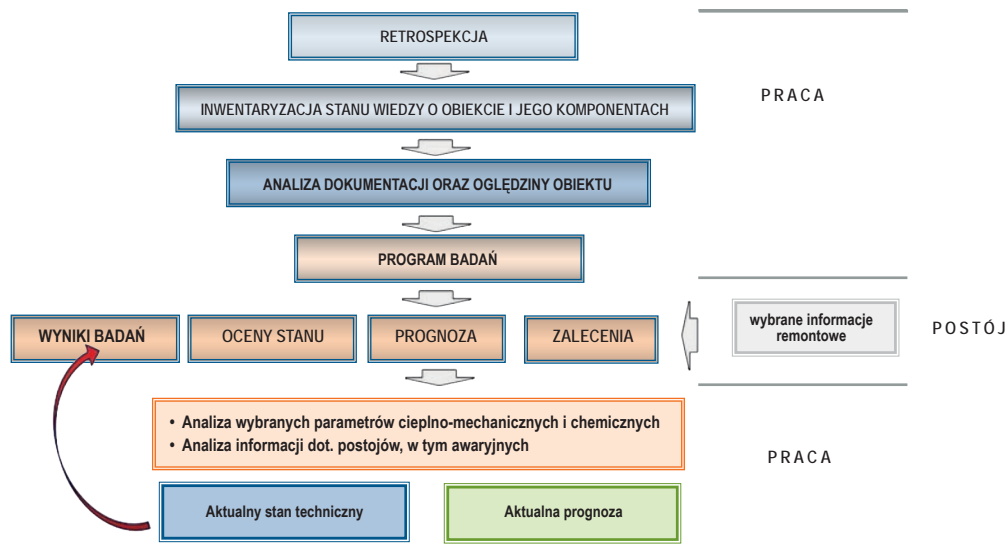
W metodyce jw. przyjęto, że:

- 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.

Zakres diagnostyki określa się indywidualnie na podstawie retrospekcji. Sama diagnostyka zaś to proces ściśle powiązany z eksploatacją urządzenia (rys. 14). Zakres naprawy, sposób wydłużenia żywotności (np. poprzez rewitalizację) 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:

- badania specjalne niszczące – umożliwiające określenie wybranych własności wytrzymałościowych poprzez pobranie odpowiednich wycinków z miejsc najbardziej wytężonych; ubytek materiału po wycinku nie powinien wymagać naprawy poprzez spawanie;
- badania specjalne nieniszczące – pozwalające na pośrednie określenie stanu (własności) metalu na podstawie badań metalograficznych z zastosowaniem odpowiedniej preparatyki,
- badania reprezentatywnych elementów wycofanych z eksploatacji, których wyniki służą m.in. do:



Rys. 15. Metodyka *Pro Novum* – diagnostyka jako proces zintegrowany z eksploatacją urządzenia
Źródło: opracowanie własne

- weryfikacji diagnoz i prognoz,
- korekcji prawdopodobieństwa uszkodzenia,
- interpretacji wyników badań podstawowych i specjalnych, w tym na mikropróbkach.

LM System PRO+® systemowe podejście do nadzoru diagnostycznego bloków pracujących w trybie regulacyjnym

Metodyka *Pro Novum* wymaga rejestracji i przetwarzania dużej ilości informacji, także udostępnianych w trybie on-line. Dlatego też została zaimplementowana na platformie informatycznej LM System PRO+®.

LM System PRO+® jest rozwijany od 2004 roku [4,5]. Platforma ta, utworzona z pakietów funkcjonalnych i modułów, zbudowana 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 oferowana jest najbardziej zaawansowana wersja 3.0 Systemu, jednocześnie trwają prace nad wersją 4.0, m.in. wyposażoną w algorytmy zaawansowanej bigdatowej analityki oraz maszynowego uczenia.

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

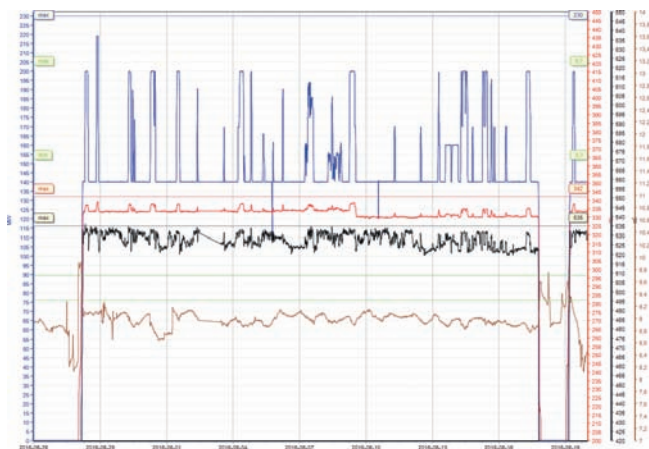
- warunków pracy w zakresie parametrów:
 - cieplno-mechanicznych,
 - chemicznych,
- warunków uruchamiania i odstawiania bloków,
- powiązania wpływu czynników cieplno-mechanicznych oraz chemicznych,
- statystyk awaryjności.

System wyznacza również wskaźnik charakteryzujący pracę regulacyjną (*index of flexible operation* – IFO), uwzględniając:

- liczbę, rodzaj i prędkość uruchomień,
- liczbę, rodzaj i czas trwania postojów,

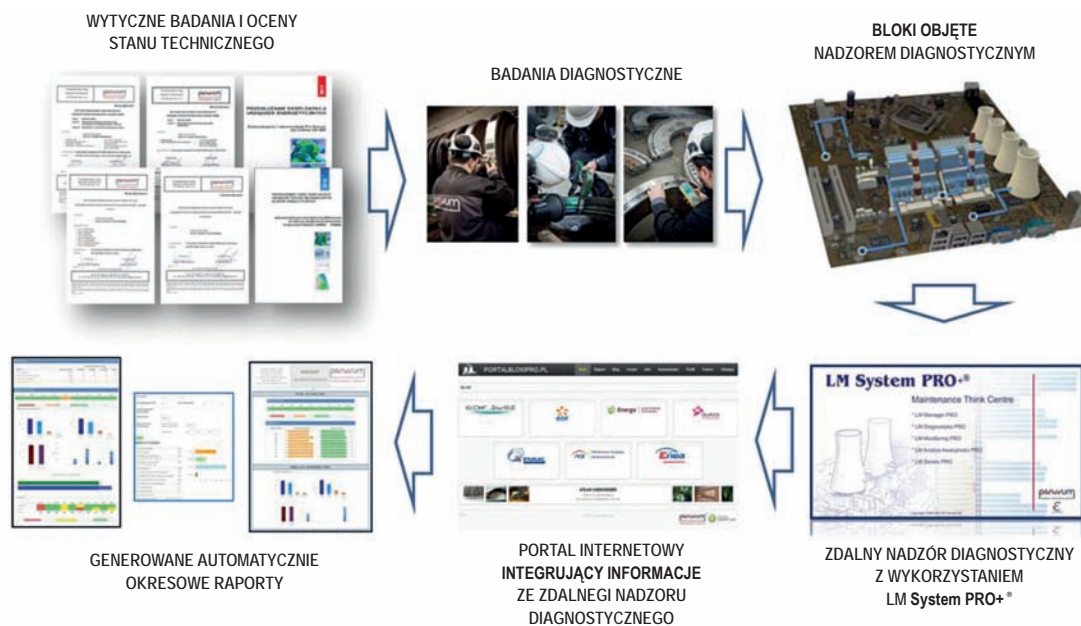
- liczbę podjazdów i zjazdów mocy,
- prędkość zmian mocy,
- czas pracy bloku z mocą większą od znamionowej,
- czas pracy bloku z mocą mniejszą od minimum technicznego,
- zmiany wartości wybranych parametrów cieplno-mechanicznych i chemicznych synchronicznie do zmian mocy (rys. 16).

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 i operatora KSE, dysponenta bloków o statusie JWCD.



Rys. 16. Przykład monitorowania warunków pracy bloku w celu wyznaczenia indexu intensywności pracy regulacyjnej IFO
Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 17 przedstawiono schematycznie kompletny system diagnostyczny dla bloków 200 MW, zwłaszcza dla tych z nich, które będą eksploatowane w trybie głębokiej regulacji. Platforma informatyczna LM System PRO+® według standardów opisanych w „Wytycznych przedłużania eksploatacji..” integruje wyniki badań, ocen stanu technicznego i prognoz trwałości oraz



Rys. 17. 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

informacje na temat historii i warunków eksploatacji. Za pośrednictwem 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.

Podsumowanie

W wyniku szybkiego rozwoju odnawialnych źródeł energii polski system elektroenergetyczny będzie wymagał w ciągu najbliższych kilku lat znacznie większej elastyczności dla 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 powinna uzyskać analiza awaryjności.

Diagnostykę, zwłaszcza wykonywaną w zdalnym trybie powinny wspierać systemy informatyczne zapewniając nie tylko rejestrację dużej liczby danych i informacji, ale także ich automatyczne przetwarzanie, w tym zwłaszcza zaawansowaną analitykę i bezobsługowe raportowanie. Systemy mogą być odpowiednio integrowane, dla określonego typu bloków, w skali krajowego systemu elektroenergetycznego, przy pomocy internetowego portalu.

PIŚMIENNICTWO

[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 kotłów. *Pro Novum*. Katowice, luty 2013.

- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] PN/045.3360/2016: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100-360 MW. *Pro Novum*. Katowice 2016.
- [5] 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.
- [6] Trzszczyński J.: System diagnostyczny zapewniający bezpieczną pracę bloków 200 MW eksploatowanych po przekroczeniu 300 000 godzin. *Dozór Techniczny* 2012, nr 2.
- [7] Stanek R., Maciejewski J.: Doświadczenia związane z nadzorem diagnostycznym powierzchni ogrzewalnych zmodernizowanych kotłów BB-1150 na podstawie analizy ryzyka. *Energetyka* 2015, nr 12.
- [8] Rajca S., Grzesiczek E.: Uszkodzenia turbozespołów powodowane pracą regulacyjną oraz długotrwałymi postojami. *Energetyka* 2016, nr 12.
- [9] Viswanathan V., Gray D.: Damage to Power Plants Due to Cycling. Technical Report. EPRI, July 2001.