

Wykorzystanie analizy awaryjności do zwiększania dokładności prognozowania trwałości rur powierzchni ogrzewalnych oraz poprawy dyspozycyjności kotłów

Using the failure analysis to increase the accuracy of lifetime prediction of heating surface tubes and to improve boilers' availability

Awaria to problem skutkujący utratą produkcji oraz kosztami naprawy i usuwania jej skutków. Awarię można jednak wykorzystać jako źródło informacji i wiedzy ustalając poprawnie jej okoliczności oraz przyczyny bezpośrednie i pośrednie. Prawidłowe określenie przyczyny nieszczelności, a zwłaszcza usunięcie przyczyny pośredniej pozwala ograniczyć, a nawet uniknąć kolejnych awarii. Stwarza warunki do zaktualizowania oceny stanu technicznego oraz weryfikacji prognozy trwałości przy jednoczesnej redukcji kosztów na okresowe badania diagnostyczne.

Awarie powierzchni ogrzewalnych kotłów na ogół determinują dyspozycyjność kotła, a on z kolei ma największy wpływ na dyspozycyjność bloku energetycznego. Rury powierzchni ogrzewalnych kotłów pracują w trudnych, ciepło-mechaniczno-chemicznych warunkach. Uszkodzeniom mogą ulegać także podczas postojów, jeśli nie są odpowiednio konserwowane. Poprawne prognozowanie trwałości rur powierzchni ogrzewalnych oznacza możliwość skutecznej prewencji (częściową wymianę w odpowiednim czasie podczas planowych postojów) co ogranicza, a nawet może całkowicie wyeliminować ryzyko kolejnych awarii.

Awaria jako problem

Awaria to sytuacja, gdy z powodu uszkodzenia elementu(ów) nie można produkować energii elektrycznej i/lub cieplnej lub jesteśmy zmuszeni produkcję ograniczyć. Za uszkodzenie o charakterze (potencjalnie) awaryjnym powinniśmy uznać także takie, które wykryte podczas remontu planowego, wymaga wykonania niezaplanowanych wymian, napraw oraz wydłużenia remontu (utrąty produkcji).

Teoretycznie powinniśmy potrafić zapobiec większości awarii. W przypadku wielu elementów, zwłaszcza krytycznych (np. wirniki turbin i generatorów, kadłuby turbin, walczaki kotłów parowych, komory przegrzewaczy pary a nawet rurociągi parowe i wodne) to nam się na ogół udaje. W przypadku rur powierzchni ogrzewalnych kotłów parowych awarie często uważa

się za zdarzenia „normalne”, niemożliwe do wyeliminowania. Trudno zgodzić się z taką opinią. U jej podstaw prawie zawsze leży niska jakość diagnostyki oraz czynności remontowo-zapobiegawczych.



Rys. 1. Ocena stanu technicznego rur powierzchni ogrzewalnych – „klasyczne” podejście

Awaria jako źródło informacji i wiedzy

Aby wyeliminować awarie lub ograniczyć je do akceptowalnego minimum należy w pierwszej kolejności uporządkować i dobrze zdefiniować pojęcia, które służą do ich opisu.

Po pierwsze należy odróżnić i właściwie rozumieć takie podstawowe określenia, jak:

- objaw uszkodzenia (np. pocieniecie ścianki, deformacja, pęknięcie),
- przyczyna bezpośrednia uszkodzenia (np. korozja, erozja, przegrzanie),
- przyczyna pośrednia uszkodzenia (wada materiałowa, błąd konstrukcyjny, błąd montażowy, ograniczony przepływ czynnika, błędy eksploatacyjne).

Każdy przypadek awarii powinien być opisany w sposób jw. i odpowiednio udokumentowany w formie ekspertyzy poawaryjnej lub co najmniej odpowiedniej dokumentacji fotograficznej. Rury uszkodzone lub zagrożone podobnymi uszkodzeniami powinny zostać wymienione (naprawa w większości przypadków jest niewskazana lub niedopuszczalna). Przyczyna pośrednia awarii powinna zostać usunięta lub ograniczona w możliwie najkrótszym czasie. Statystyka awaryjności powinna być na bieżąco aktualizowana. Na jej podstawie należy:

- aktualizować ocenę stanu technicznego,
- weryfikować prognozę trwałości

oraz, jeśli planuje się remonty wg strategii RBM (*Risk Based Maintenance*) lub RCM (*Reliability Centered Maintenance*), należy aktualizować wartość prawdopodobieństwa uszkodzenia, jego konsekwencji i ryzyka uszkodzenia (RBM).

Ocena stanu technicznego rur powierzchni ogrzewalnych sprowadza się do okresowego wykonywania diagnostyki w następującym zakresie:

- oględziny,
- pomiary grubości ścianki:
 - w identycznych miejscach,
 - w miejscach wykrytych podczas oględzin nieprawidłowości (ślady erozji, deformacje), poza obszarami rutynowych pomiarów,
- badania niszczące (wycinki z miejsc wykrytych nieprawidłowości i/lub obszarów potencjalnie narażonych na uszkodzenia – na ogół miejsc największego obciążenia cieplnego),
- naprężenia w ściance o aktualnej i dopuszczalnej grubości ($t_r < t_{gr}$),
- dopuszczalna grubość ścianki dla określonego czasu i temperatury pracy ($t_r > t_{gr}$),
- stopień wyczerpania trwałości SWT na podstawie obliczeń i stanu struktury ($t_r > t_{gr}$),
- ocena stanu technicznego,
- prognoza trwałości (w tym czas i zakres kolejnych badań dla jej weryfikacji).

Rezygnowanie z analizy awaryjności lub wykonywanie jej w nieodpowiedni sposób uniemożliwia:

- aktualizowanie ocen stanu technicznego oraz obniża ich dokładność,
- weryfikowanie prognoz trwałości oraz obniża ich dokładność (zwłaszcza dla rur pracujących poniżej temperatury granicznej),
- eliminowanie (ograniczanie) przyczyn kolejnych awarii.

Jakość informacji i wiedzy na podstawie awarii

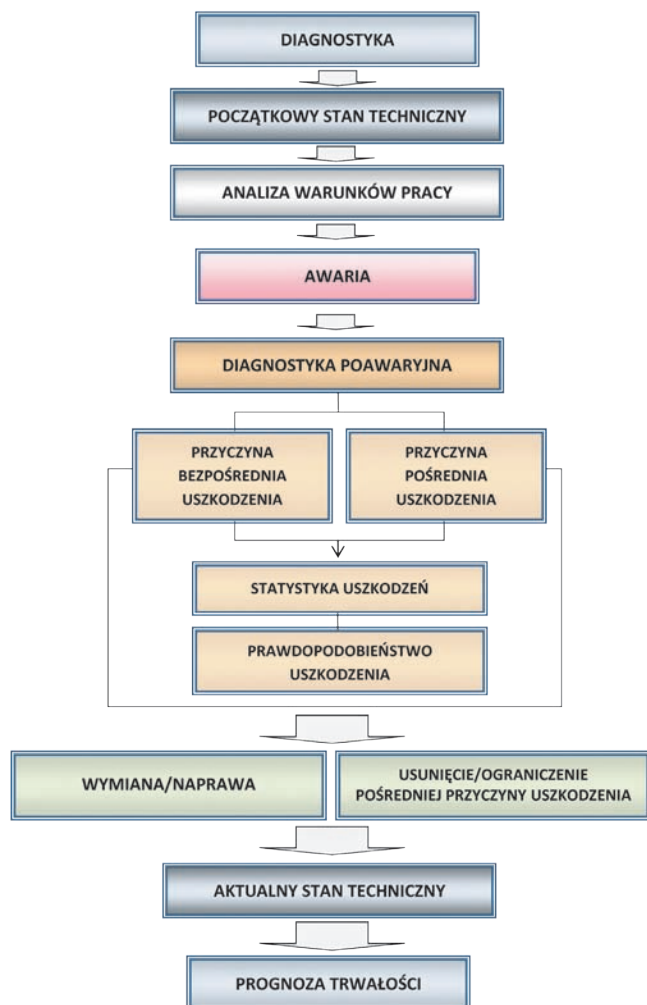
Informacje i wiedza nt. awarii posiadają często niską jakość (niewystarczającą do praktycznego wykorzystania) z niżej wymienionych względów:

- polityka ekonomiczno-wizerunkowa elektrowni,
- „strategia” w rodzaju: szybka wymiana lub naprawa uszkodzonej rury z określeniem przyczyny jako „wada materiałowa”,
- ekspertyzy poawaryjne, jeśli wykonywane, mają często wielu autorów różniących się podejściem do tego rodzaju diagnostyki, co oznacza trudności w integracji wyników, a bardzo często ją uniemożliwia,
- ograniczona integracja informacji w skali elektrowni oraz brak integracji w skali grupy energetycznej czy KSE (jeden typ urządzeń).

Wszystkie ww. problemy można stosunkowo łatwo pokonać, zwłaszcza że od wielu lat grupy energetyczne posiadają scentralizowane zarządzanie majątkiem. Stopień rozwiązania m.in. tego problemu można traktować jako miernik jakości technicznej integracji grupy energetycznej.

Prognozowanie trwałości rur z wykorzystaniem analizy awaryjności

Okresowe badania diagnostyczne – to podstawowe źródło informacji niezależnie od czasu pracy elementu oraz tego czy ma on status elementu krytycznego, czy wpływającego na niezawodność.



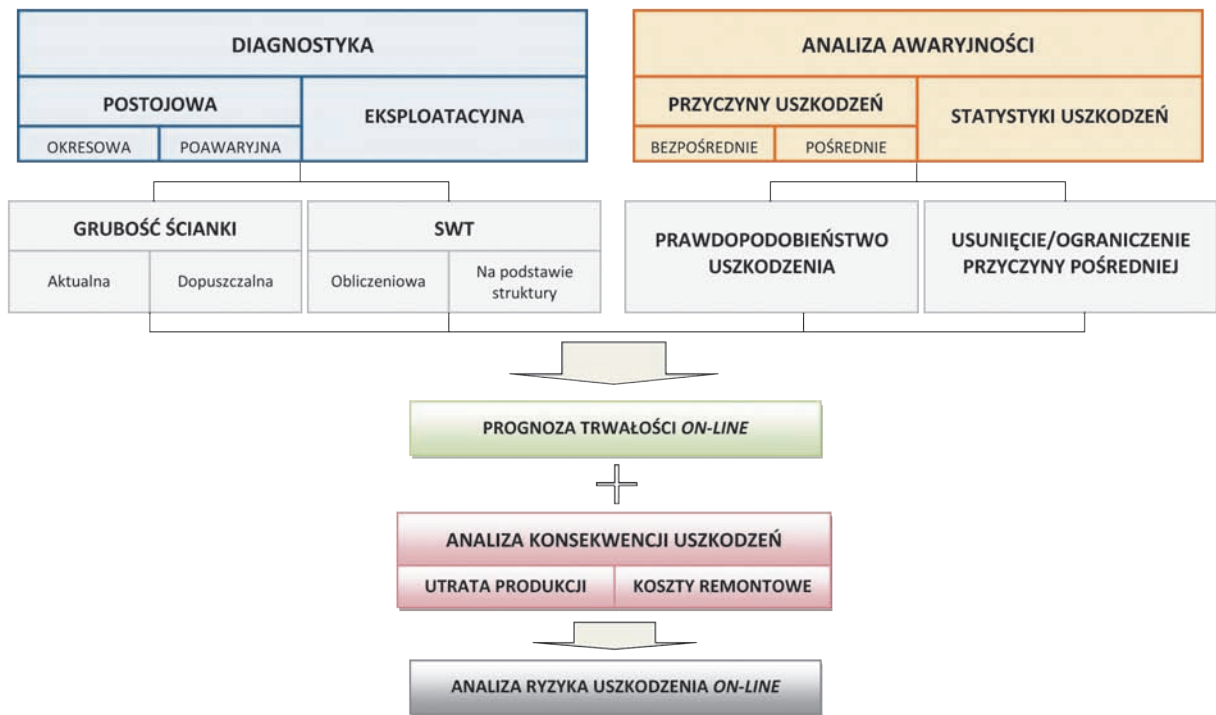
Rys. 2. Ocena stanu technicznego rur powierzchni ogrzewalnych z prognozą trwałości z uwzględnieniem analizy awaryjności

Analiza awaryjności – w wielu przypadkach posiada wyższy status niż klasyczne badania i pomiary. Nie wykonując jej poprawnie pozbawiamy się informacji często decydujących o bezpieczeństwie i dyspozycyjności urządzenia, w niektórych przypadkach niemożliwych do uzyskania podczas badań wykonywanych w trakcie planowanych postojów.

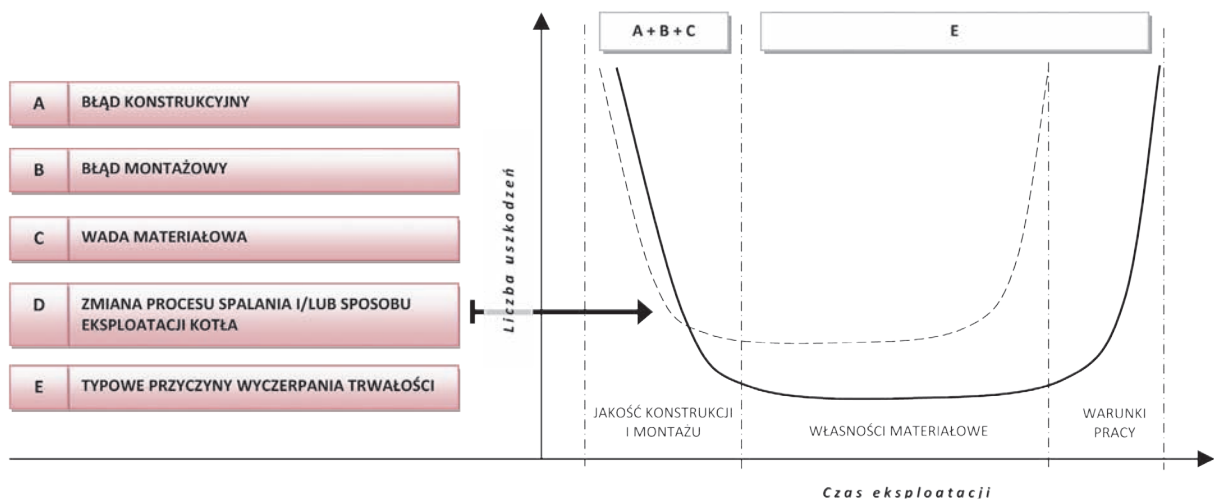
Nieszczelności mogą powstawać jako rezultat oddziaływania wielu czynników (m.in. błędów konstrukcyjnych i/lub montażowych, wad materiałowych, oddziaływania środowiska chemicznego), co sprawia, że nie można ich prognozować w sposób analityczny. Można jedynie próbować szybko je wykrywać, aby uniknąć uszkodzeń wtórnych. Jeśli jednak poprawnie wykony-

wana jest analiza awaryjności, można klasyczne prognozowanie analityczne uzupełniać lub zastępować prognozowaniem wykorzystującym prawdopodobieństwo awarii uwzględniając: ich częstotliwość, przyczyny, zakres ich usuwania/ograniczania, warunki pracy i jakość wiedzy nt. stanu technicznego (zakres i częstotliwość badań i pomiarów).

Pojęcie trwałości (żywności), w ścisłym tego słowa znaczeniu, wiąże się z dopuszczalnym czasem pracy, co oznacza, że odnosi się wyłącznie do elementów pracujących powyżej temperatury granicznej, liczonych na wytrzymałość czasową. Elementy pracujące poniżej temperatury granicznej i liczone wg R_{et} mają, teoretycznie, nieograniczony czas pracy. Praktycznie ich trwałość



Rys. 3. Analiza awaryjności jako element systemu diagnostycznego, planowania remontów i zarządzania majątkiem



Rys. 4. Częstotliwość i rodzaje uszkodzeń w zależności od czasu eksploatacji

zależy od szybkości ubytku grubości ścianki (m.in. korozja, erozja) oraz od obecności naprężeń dodatkowych wywołanych błędami wykonania, naprawy, montażu oraz uświadomionych dopiero podczas eksploatacji, błędów konstrukcyjnych.

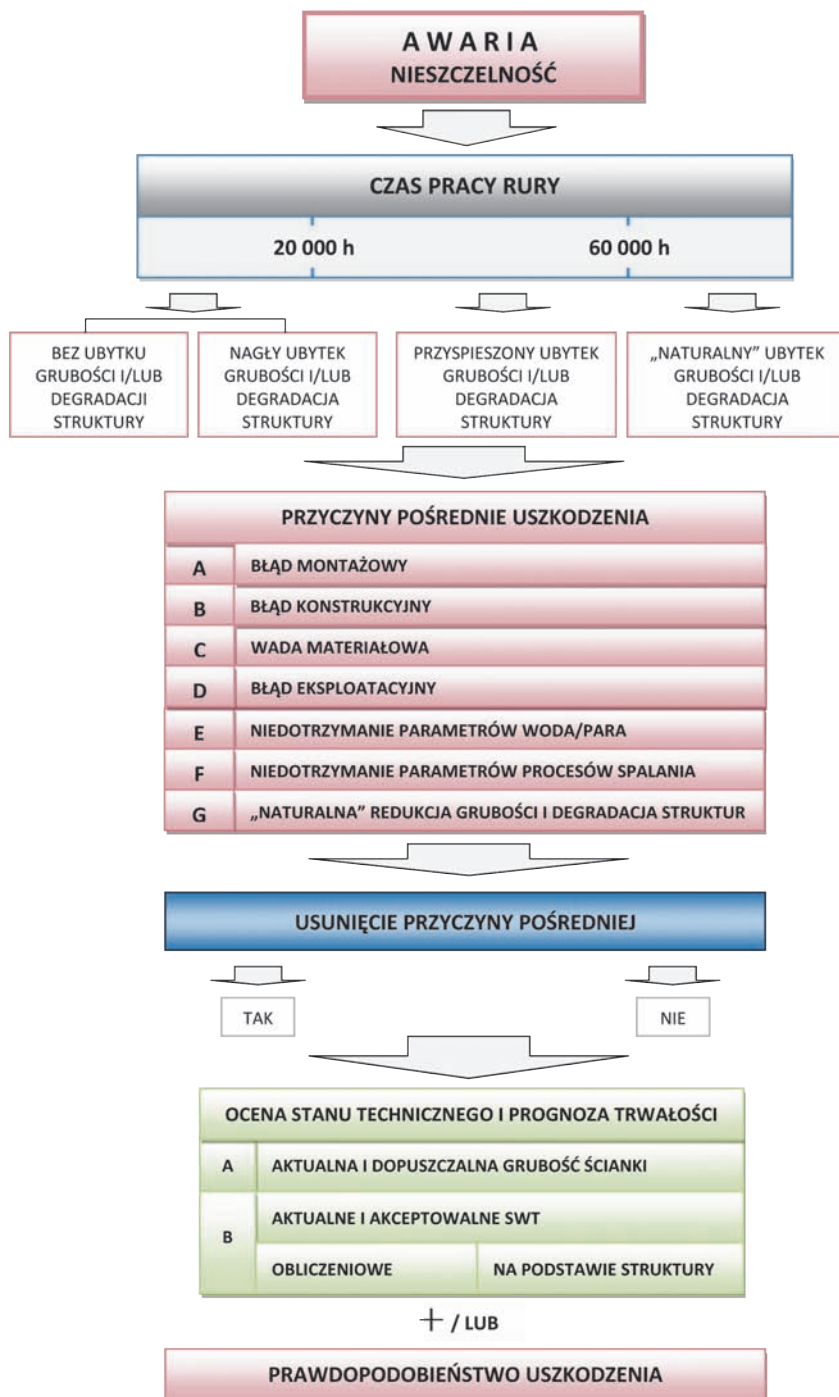
Systemowe wykorzystanie analizy awaryjności

Brak dokładnej historii eksploatacji bloków (poszczególnych elementów krytycznych), aktualnych właściwości materiałów oraz charakterystyk materiałowych dla oczekiwanych czasów eksploatacji sięgających ok. 350 tys. godzin sprawia, że klasycz-

ne, okresowe, indywidualnie wykonywane oceny stanu technicznego mogą nie wystarczać dla zapewnienia bezpieczeństwa oraz oczekiwanej, wysokiej dyspozycyjności.

Powyższe uwarunkowania sprawiają, że zwłaszcza dla długo eksploatowanych bloków 200 MW i 360 MW, należy:

- zapewnić pomiędzy użytkownikami urządzeń wymianę wyników badań i wybranych doświadczeń eksploatacyjnych dbając, aby badania wykonywane były wg identycznych lub bardzo zbliżonych standardów technicznych [5,6],
- analizę awarii należy wykonywać w sposób pozwalający na udokumentowane ustalenie ich bezpośrednich i pośrednich przyczyn,



Rys. 5. Schemat procesu oceny stanu technicznego rur powierzchni ogrzewalnych z uwzględnieniem analizy awaryjności

- wyniki badań wykonywanych podczas remontów planowych i awaryjnych opracowywać w formie statystyk pozwalających na ich wykorzystanie do:
 - prognozowania trwałości (żywotności),
 - zarządzania utrzymaniem stanu technicznego na podstawie zarządzania ryzykiem, tj. integrując zagadnienia techniczne, ekonomiczne i bezpieczeństwa [7],
- do zarządzania dużą ilością danych i informacji oraz okresowego udostępniania wiedzy wykorzystywać oprogramowania ograniczające, w znacznym stopniu, pracochłonność.

Statystyka uszkodzeń jako forma wiedzy

Pojęcie trwałości (żywotności), w ścisłym tego słowa znaczeniu, oznacza dopuszczalny, bezpieczny czas pracy. Z akceptowalną dla praktyki dokładnością można ją określić obliczeniowo dla elementów pracujących w warunkach pełzania. Elementy pracujące poniżej temperatury granicznej, liczone wg R_{et} mają, teoretycznie, nieograniczony czas pracy. W praktyce ich trwałość zależy od tempa ubytku grubości ścianki (korozja, erozja, termoszoki). Statystyka uszkodzeń obok tempa (trendów) ubytku grubości ścianki stanowią podstawę do szacowania ich trwałości.

Poprawne określenie charakteru uszkodzeń, a zwłaszcza ich przyczyn, ważne jest zwłaszcza podczas badań poawaryjnych, ponieważ ich wyniki ujawniają obecność znaczących nieprawidłowości lub zakończenie rewersu elementu i jemu podobnych. Prawidłowo określone przyczyny uszkodzeń zapewniają wysoką jakość statystyk, które pozwalają prognozować trwałość z mniejszym błędem oraz mogą być podstawą skutecznych działań zapobiegawczo-korekcyjnych. Statystyki uszkodzeń są nieodzowne przy prognozowaniu trwałości elementów krytycznych o złożonej konstrukcji (np. wirniki, walczaki) eksploatowanych w skomplikowanych warunkach pracy oraz gdy szczegółowe badanie dużej liczby elementów jest kosztowne lub praktycznie niemożliwe (np. rury powierzchni ogrzewalnych kotłów i wymienników ciepła). Statystyka uszkodzeń powinna stanowić podstawę prognozowania zawsze wtedy, gdy metodą obliczeniową wykorzystującą wytrzymałość czasową określenie prognozy trwałości jest niemożliwe lub niewykonalne z akceptowalnym błędem [1,2].

Wymiana informacji jako ważny czynnik jakości statystyk uszkodzeń

Bez systematycznej wymiany informacji nie sposób tworzyć statystyk uszkodzeń o wysokiej jakości co oznacza, że nie da się przy pomocy diagnostyki osiągać pełnych korzyści. Zarówno dla elementów długo eksploatowanych (powyżej 200 tys. godzin), jak również dla względnie nowych (poniżej 100 tys. godzin pracy) wymiana informacji dotycząca wyników badań pozwala:

- lokalizować miejsca potencjalnych uszkodzeń,
- optymalizować metodyki i harmonogramy badań,
- opracowywać skuteczne środki zaradcze.

Z powodów jw. wymiana informacji pomiędzy użytkownikami bloków o identycznej lub podobnej konstrukcji jest nie tylko potrzebą, w wielu przypadkach jest koniecznością. Normal-

nie tę funkcję pełnią dostawcy urządzeń, na blokach 100 MW - 360 MW nie jest to jednak oczywiste. Bloki zostały głęboko zmodernizowane wg różnych koncepcji, przez różne firmy. Dostawcy poszczególnych rozwiązań nie mają kompetencji, by odpowiadać za kondycję techniczną całego bloku, czy nawet urządzenia. Nie są także specjalnie zainteresowani przedłużaniem czasu pracy urządzeń długo eksploatowanych. Wymianą informacji nt. aktualnego stanu technicznego długo eksploatowanych urządzeń powinni być zainteresowani, w pierwszym rzędzie, ich użytkownicy.

Dla elementów wpływających na dyspozycyjność, zwłaszcza rur powierzchni ogrzewalnych i wymienników ciepła prowadzenie statystyk uszkodzeń oparty na wynikach badań wielu elektrowni podnosi jakość wiedzy i może być źródłem wielu korzyści (m.in. redukcji kosztów na badania).

Jakość informacji nt. uszkodzeń

Okresowe badania diagnostyczne – o jakości informacji decyduje w pierwszym rzędzie zakres i metody badań. Zakres badań musi wynikać, w logiczny sposób, z retrospekcji. Metody badań powinny być w możliwie największym stopniu uniwersalne. Stosowanie metod „egzotycznych” utrudnia (uniemożliwia) weryfikację ich wyników oraz pozbawia je praktycznej przydatności dla innych użytkowników podobnych urządzeń. Zapewnienie bezpieczeństwa bloków 200MW nie wymaga korzystania z tego rodzaju metod [5,6].

Analiza awarii – każde zdarzenie awaryjne powinno być odpowiednio udokumentowane. Awaria to problem techniczny i nieplanowany, generuje często znaczny koszt, ale to także źródło ważnych informacji technicznych i zdarzenie stanowiące część historii eksploatacji. Awaria to prawie zawsze skutek jakiegoś nieprawidłowości lub błędnie postawionej prognozy, często dlatego, że określenie jej z akceptowalnym błędem jest niemożliwe. Protokół poawaryjny powinien zawierać określenie przyczyny pierwotnej i pośredniej awarii, dokładnie opisywać miejsce uszkodzenia oraz okoliczności jego powstania. Jakość statystyki uszkodzeń zależy od poprawności interpretacji wyników badań. Lokalne wyczerpanie trwałości elementu może wystąpić z wielu powodów, wyczerpanie trwałości materiału w warunkach poprawnej eksploatacji, jest tylko jedną z przyczyn, na ogół rzadką. Pośrednia przyczyna awarii powinna być zawsze podstawą założeń prewencyjnych oraz weryfikacji prognozy trwałości identycznych i podobnie pracujących elementów, jeśli wyczerpanie trwałości nastąpiło bez udziału dodatkowych naprężeń spowodowanych błędami eksploatacji, wykonania i/lub montażu.

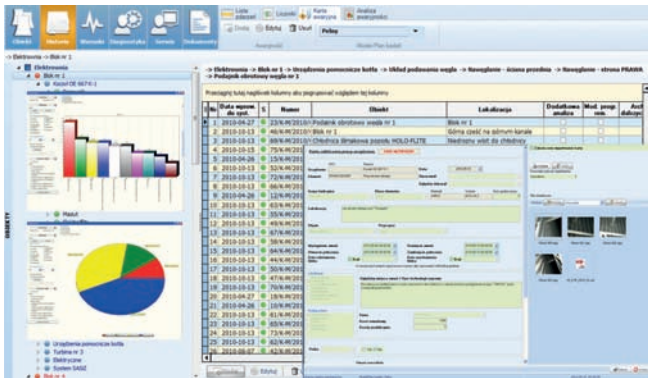
Analiza awaryjności wspierana przez oprogramowanie

Rejestracja zdarzeń awaryjnych oraz ich analiza może odbywać się w sposób, w znacznym stopniu, zautomatyzowany. Takie możliwości zapewnia jeden z pakietów funkcjonalnych platformy informatycznej LM System PRO+® [3]. Program ten integruje prace związane z dokumentowaniem i analizą zakłóceń pracy urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków (urządzeń, elementów) w jeden proces z wykorzystaniem interfejsu w formie Karty Awaryjnej.

W Karcie Awaryjnej pomieszczono m.in. następujące dane i informacje:

- data i miejsce wystąpienia awarii,
- dane ewidencyjne obiektu, który uległ awarii,
- bezpośrednie i pośrednie przyczyny awarii,
- stopień ograniczenia (wyeliminowanie) przyczyn(y) pośredniej awarii,
- sposób naprawy,
- koszty usunięcia awarii oraz wielkość utraty produkcji,
- dokumenty związane z badaniem i usuwaniem awarii.

Bieżąca analiza danych zawartych w Kartach Awaryjnych umożliwia prezentację – w czasie rzeczywistym – wyników analizy awaryjności w ujęciu statystycznym, z zastosowaniem praktycznie dowolnego filtru analizy (rys. 6).



Rys. 6. Interfejs programu do analizy awaryjności *on-line*, jednego z pakietów funkcjonalnych platformy informatycznej LM System PRO+® [3]

Wymiana wiedzy i doświadczeń użytkowników bloków 200 MW przy wykorzystaniu portalu internetowego

Statystyka uszkodzeń dla elementów pracujących poniżej temperatury granicznej (pełzania) to często jedyna przesłanka do prognozowania ich trwałości. Dla pozostałych elementów to także szansa na zapewnienie bezpieczeństwa przy możliwie najniższych kosztach badań. Dla bloków 200 MW tę szansę może urzeczywistnić wspólna inicjatywa ich użytkowników wspierana przez firmę diagnostyczną. Bez wymiany wiedzy i doświadczeń, w szczególności dot. statystyki uszkodzeń trudno sobie wyobrazić bezpieczną pracę urządzeń i wysoką dyspozycyjność przy akceptowalnych nakładach na utrzymanie stanu technicznego.

Z powodów jw. zaproponowano użytkownikom bloków 200 MW współpracę przy wymianie wiedzy i doświadczeń za pośrednictwem portalu internetowego www.portal200pro.pl, rysunek 7 [4]. Portal składa się z części specjalistycznej oraz informacyjno – komunikacyjnej, odpowiednio ze sobą powiązanych.

Część specjalistyczna przewidziana jest do wymiany informacji i udostępniania wiedzy na temat bieżących problemów eksploatacyjnych i/lub nieprawidłowości wykrywanych podczas postojów bloków/urządzeń. W części tej stworzono użytkownikowi portalu możliwość wprowadzania informacji dot. wykrytych podczas postojów nieprawidłowości. Program nie wymaga podawania statusu postoju (planowy/awaryjny). Okresowo

generowany jest automatycznie raport zawierający zestawienia zawierające statystyki uszkodzeń dla „własnych” bloków skonfigurowanych w Systemie jak i dla wszystkich bloków obsługiwanych przez portal. Użytkownik ma także możliwość generowania statystyk wg własnych potrzeb, np. odnoszących się tylko do wybranych elementów/węzłów konstrukcyjnych. Okresowe raporty mogą być komentowane zarówno przez ekspertów *Pro Novum* jak i użytkowników portalu.

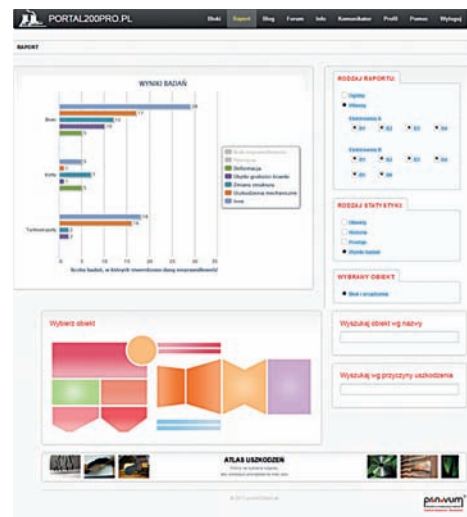
Użytkownik portalu ma obowiązek okresowego aktualizowania historii pracy bloków (czas pracy i daty postojów, liczba uruchomień) oraz wprowadzania informacji o wykrytych uszkodzeniach i innych nieprawidłowościach. Interfejs integruje nawigację po obiekcie oraz po procesie eksploatacji bloku (praca stacjonarna, postój).

Użytkownicy portalu, wspólnie z *Pro Novum*, mogą brać udział w tworzeniu atlasu uszkodzeń.

Część informacyjno-komunikacyjna portalu służy do wymiany poglądów, opinii i przekazywania informacji oraz do prezentacji serwisu poświęconego diagnostyce, remontom i modernizacjom bloków 200 MW, a także doświadczeniom eksploatacyjnym.

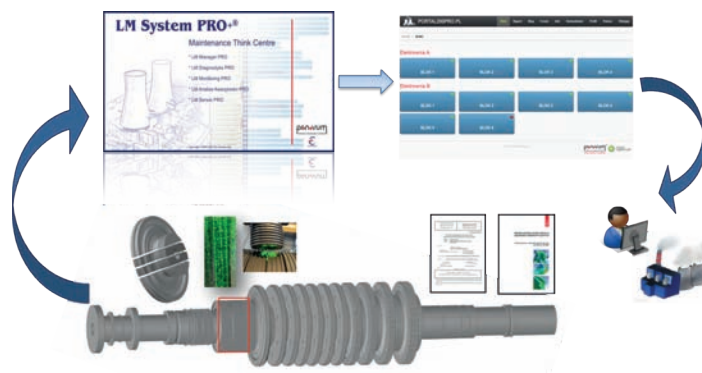
Portal w trybie *on-line* sprawdza uprawnienia użytkownika do dostępnych dla niego informacji i wiedzy. Informacje przekazywane przez użytkowników portalu widoczne są wyłącznie w postaci ogólnych statystyk.

Dostęp do portalu odbywa się z wykorzystaniem protokołu, który zapewnia szyfrowanie całej transmisji przekazywanej przez sieć Internet, i który jest obsługiwany przez każdą współczesną przeglądarkę internetową bez dodatkowej instalacji i konfiguracji. Zastosowano technologię wykorzystywaną m.in. w połączeniach z bankami internetowymi. Serwery, na których funkcjonuje oprogramowanie portalu zabezpieczono odpowiednim firewallem i dodatkowo rozwiązaniami klasy IDS (*Intrusion Detection System*) oraz IPS (*Intrusion Prevention System*).



Rys. 7. Portal internetowy – przykład jednego z interfejsów udostępniającego statystykę uszkodzeń [6]

Użytkownicy platformy informatycznej LM System PRO+® mają dodatkową korzyść, wymagana przez portal okresowa aktualizacja danych i informacji może być realizowana bezobsługowo (rys. 8), a generowane przez portal raporty zawierające



Rys. 8. Schemat procesu bezobstługowego przetwarzania wyników badań, tworzenia statystyk uszkodzeń oraz udostępniania wiedzy i doświadczeń eksploatacyjnych [7]

statystyczne zestawienia mogą stanowić część okresowych raportów generowanych przez aplikację LM Serwis PRO. W ten sposób powstał kompletny system diagnostyczny dla urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków energetycznych, pozwalający na wymianę informacji, wiedzy i doświadczeń pomiędzy jego użytkownikami oraz kreujący i udostępniający wiedzę wspólną zwłaszcza w zakresie statystyk uszkodzeń.

Podsumowanie

Dyspozycyjność i niezawodność, to wskaźniki często mocno zdeformowane przez politykę ekonomiczną i wizerunkową elektrowni. Dotarcie do ich sensu technicznego wymaga odpowiednich kompetencji i doświadczenia. Wymaga to także odpowiedniego podejścia w skali KSE. Niestety problematyka techniczna majątku produkcyjnego nie ma odpowiedniego integratora. W tej roli nie mogą wystąpić dostawcy urządzeń. Długo eksploatowane urządzenia były wielokrotnie modernizowane. Część z dostawców, a nawet firm modernizujących, „nie przeżyła” urządzeń, które wyprodukowała lub zmodernizowała. Nowe bloki energetyczne wykonywane są w pojedynczych egzemplarzach. *Know how* jest wyjątkowo ostro reglamentowane.

Analiza awaryjności jakkolwiek wykonywana „od zawsze” bardzo rzadko pełni – w utrzymaniu stanu technicznego urządzeń – rolę, na jaką zasługuje, tzn. do poprawy dokładności ocen stanu technicznego oraz prognoz trwałości, jak również nie jest integrowana z danymi ekonomicznymi, takimi jak utrata produkcji w sposób pozwalający do stosowania bardziej zaawansowanych niż dotychczas strategii remontowych RCM i RBM [1,4,8]. Korzyści z wdrożenia takich strategii wydają się ewidentne, zwłaszcza w nadchodzących latach, gdy duża część zmodernizowanych bloków energetycznych 100 MW - 360 MW pracując powyżej trwałości projektowej będzie eksploatowana w intensywnej regulacji oraz pod dużą presją ekonomiczną wynikającą z pracy szczytowej oraz „optymalizacji” (redukcji) nakładów na utrzymanie stanu technicznego.

Analiza on-line dużej ilości informacji wymaga wsparcia software’owego zarówno w skali bloku energetycznego, elektrowni jak również w skali KSE dla jednego typu kotłów (bloków energetycznych). Takie możliwości techniczne już dzisiaj istnieją.

LITERATURA

- [1] Moubray J.: Reliability-centre Maintenance. Butterworth Heineemann. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP.1997.
- [2] Zespół pod kierunkiem J. Dobosiewicza: 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. Katowice, luty 2013.
- [3] Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100 MW - 390 MW – w trakcie opracowywania. Katowice 2015/2016.
- [4] F.A. Sturm: Anlagenmanagement. VGB PowerTech. 2012.
- [5] Trzeszczyński 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] Stanek R., Merdalski W., Białek S.: Specyfikacja portalu internetowego www.portal200pro.pl, Sprawozdanie *Pro Novum* Nr 2911.031/2013, Katowice, marzec 2013.
- [7] Trzeszczyński J.: System diagnostyczny zapewniający bezpieczną pracę bloków 200 MW eksploatowanych powyżej 300 000 godzin, *Dozór Techniczny* 2012, nr 2.
- [8] Trzeszczyński J., Stanek R.: Zarządzanie utrzymaniem stanu technicznego powierzchni ogrzewalnych kotłów na podstawie analizy ryzyka. *Biuletyn Pro Novum* 1/2013. *Energetyka* 2013, nr 6.

