

- [1] Raport ETD: 1230-gsp-178: F. Akther, J.P. Fernandes, C.A. Smith: Boiler Tube Failure Prevention and Management – ETD Ltd. 2012.
- [2] ASME CRDT 20-1: Risk-Based Inspection – Development of Guidelines: Vol. 1, General Document, 1991. Vol. 3, Fossil Fuel-Fired Electric Generating Station Applications, 1994.
- [3] ASME CRDT, Vol.41; Risk-based methods for equipment life management, 2003.
- [4] Zdankiewicz M.: Kontrola urządzeń energetycznych oparta o analizę ryzyka. Próba usystematyzowania zaleceń w oparciu o wytyczne ASME. Materiały konferencyjne „Diagnostyka i eksploatacja kotłów parowych w zmodernizowanych blokach energetycznych”. Symposium Informacyjno-Szkoleniowe Pro Novum. Wiśła 1999.
- [5] API 580/581 – American Petroleum Institute US, Risk-based inspection-recommended practice (1996 – 2000).
- [6] VGB-M 130e – Recommendation for the introduction of risk-based maintenance. *VGB PowerTech*. 2004.
- [7] RIMAP CEN Workshop Document: Risk-based inspection and maintenance procedures for European Industry. Stuttgart/Brussels, March 2007 (Dokument opracowany z udziałem Pro Novum).
- [8] Ablitt Ch., Cane B., Rogers M., Kirkland R.: Optimised Outage Planning of Fossil Boilers Using Riskwise™. Risk-Based Inspection Software. ETD RBM Seminar London. November 2006.
- [9] Trzeszczyński J., Murzynowski W., Stanek R.: Analiza ryzyka jako wsparcie utrzymania stanu technicznego urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni. *Dozór Techniczny* 2012, nr 4.
- [10] Sturm F.A.: Anlagenmanagement. *VGB PowerTech*. 2012.
- [11] 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.
- [12] Dobosiewicz J.: Badania diagnostyczne urządzeń ciepłno-mechanicznych w energetyce. Część II. Kotły i rurociągi. Biuro Gamma. Warszawa 1996.
- [13] Gawron P., Klepacki F.: Trwałość wybranych elementów kotłów w warunkach współspalania biomasy. *Energetyka* 2012, nr 6.
- [14] PN/020.2900/2013 i PN/030.2910/2013: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW. Katowice, luty 2013.
- [15] Trzeszczyński J., Stanek R.: Analiza awaryjności elementów krytycznych bloków 200 MW jako ważny element metodyki prognozowania trwałości. *Biuletyn Pro Novum* 1/2013. *Energetyka* 2013, nr 6.

Jerzy Trzeszczyński, Radosław Stanek
Pro Novum Sp. z o.o.

Analiza awaryjności elementów krytycznych bloków 200 MW jako ważny element metodyki prognozowania trwałości

Failure frequency analysis of a 200 MW power unit critical elements as an important component of a service life prediction methodology

Im dłużej pracuje urządzenie, tym badanie jego stanu technicznego powinno mieć większą rangę, przez co rozumie się planowanie badań na podstawie retrospekcji oraz profesjonalną analizę charakteru wykrywanych uszkodzeń i innych nieprawidłowości. Poprawne określenie charakteru uszkodzeń, a zwłaszcza ich przyczyn, ważne jest zwłaszcza podczas badań poawaryjnych, ponieważ ich wyniki ujawniają obecność znaczących nieprawidłowości lub zakończenie resursu 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 określenie prognozy trwałości jest to niemożliwe lub niewykonalne z akceptowalnym błędem [1,2].

Uszkodzenie jako źródło informacji i wiedzy

Pojęcie trwałości (żywności), 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 stanowi podstawę do szacowania ich trwałości.

Wymiana informacji jako ważny element bezpiecznej eksploatacji

Bez systematycznej wymiany informacji nie sposób tworzyć statystyk uszkodzeń ani zapewnić diagnostyce warunków do jej pełnej skuteczności. 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 potencjalne uszkodzenia,
- optymalizować metodyki i harmonogramy badań,
- opracowywać skuteczne środki zaradcze.

Z wymienionych powodów wymiana informacji pomiędzy użytkownikami bloków 200 MW jest nie tylko potrzebą, w wielu przypadkach jest koniecznością. Normalnie tę funkcję pełnią dostawcy urządzeń, na blokach 200 MW nie jest to jednak oczywiste. Bloki zostały głęboko zmodernizowane wg różnych koncepcji, przez różne firmy. Dostawcy poszczególnych rozwiązań nie są kompetentni do brania odpowiedzialności za kondycję techniczną całego bloku czy nawet urządzenia. Nie są także specjalnie zainteresowani przedłużaniem czasu pracy urządzeń długo eksploatowanych. Wymianą informacji na temat aktualnego stanu technicznego długo eksploatowanych urządzeń powinni być zainteresowani, w pierwszym rzędzie, ich użytkownicy.

Uszkodzenia elementów krytycznych oraz wpływających na dyspozycyjność

Dla bezpieczeństwa oraz strategicznie rozumianego sensu przedłużania czasu eksploatacji bloków energetycznych podstawowe znaczenie ma stan techniczny elementów krytycznych (grubościenne elementy urządzeń). Wymiana informacji pomiędzy użytkownikami bloków 200 MW powinna objąć w pierwszej kolejności uszkodzenia tych elementów, tym bardziej że statystyki uszkodzeń tworzone na bazie doświadczeń jednej elektrowni czy nawet grupy elektrowni, wyposażonych w bloki prawie zawsze różniące się konstrukcyjnie, posiadają bardzo ograniczoną użyteczność.

Dla elementów wpływających na dyspozycyjność, zwłaszcza rur powierzchni ogrzewalnych i wymienników ciepła, można prowadzić statystyki uszkodzeń na podstawie wyników badań jednej elektrowni, co nie znaczy, że wymiana informacji na temat ich uszkodzeń nie może być źródłem wielu korzyści.

Źródła informacji na temat uszkodzeń

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

Analiza awarii – 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 podczas planowanych postojów.

Jakość informacji na temat uszkodzeń

Okresowe badania diagnostyczne – o jakości informacji decydują 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 200 MW nie wymaga korzystania z tego rodzaju metod [5,6].

Analiza awarii – każde zdarzenie awaryjne powinno być odpowiednio udokumentowane. Awaria to problem techniczny i nieplanowany, często znaczny koszt, ale także źródło ważnych informacji technicznych i zdarzenie stanowiące część historii eksploatacji. Awaria to prawie zawsze skutek 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 zaleceń 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.

Przez awarię należy rozumieć sytuację, gdy z powodu uszkodzenia elementu(ów) niemożliwa jest produkcja prądu i ciepła lub gdy moc elektryczną i/lub ciepłą bloku trzeba ograniczyć. Jako awarię należy traktować także uszkodzenie powstałe podczas postoju urządzenia (np. na skutek niewykonania poprawnie lub wcale ochrony przed korozją postojową) lub ujawnienie uszkodzenia, którego naprawa przedłuża zaplanowany czas trwania remontu.

Analiza awaryjności wspierana przez oprogramowanie

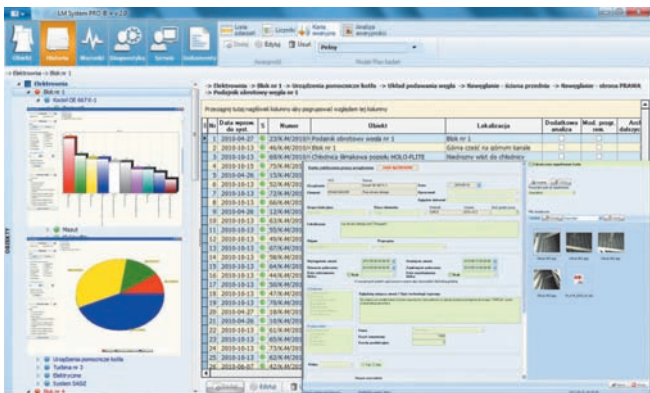
Rejestracja zdarzeń awaryjnych oraz ich analiza może odbywać się w sposób, w znacznym stopniu, zautomatyzowany. Takie możliwości zapewnia jeden z pakietów funkcjonalnych

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 filtra analizy – rysunek 1.

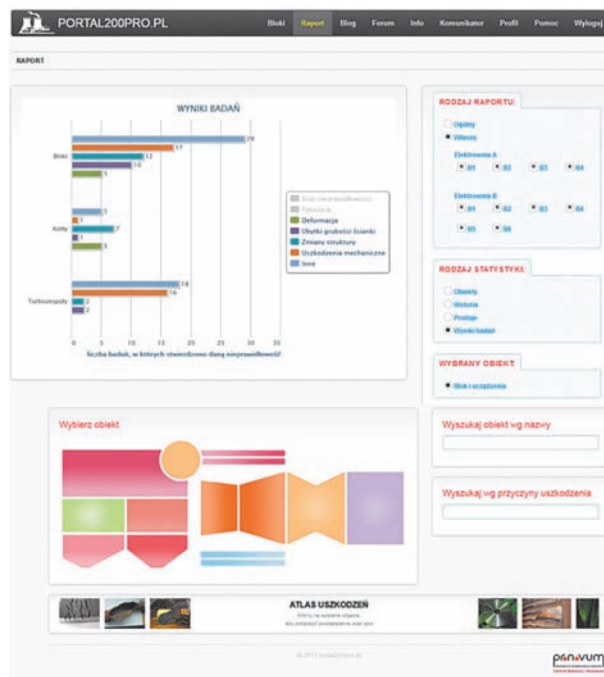


Rys. 1. Interfejs programu do analizy awaryjności on-line, jednego z pakietów funkcjonalnych platformy informatycznej LM System PRO+® [3]

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 dotyczących statystyki uszkodzeń, trudno sobie wyobrazić bezpieczną pracę urządzeń i wysoką dyspozycyjność przy akceptowalnych nakładach na utrzymanie stanu technicznego. Z wymienionych powodów zaproponowano użytkownikom bloków 200 MW współpracę przy wymianie wiedzy i doświadczeń za pośrednictwem portalu internetowego **www.portal200pro.pl** – rysunek 2 [4]. Portal składa się z części specjalistycznej oraz informacyjno-komunikacyjnej, odpowiednio ze sobą powiązanych.



Rys. 2. Portal internetowy www.portal200pro.pl – przykład jednego z interfejsów udostępniającego statystykę uszkodzeń [4]

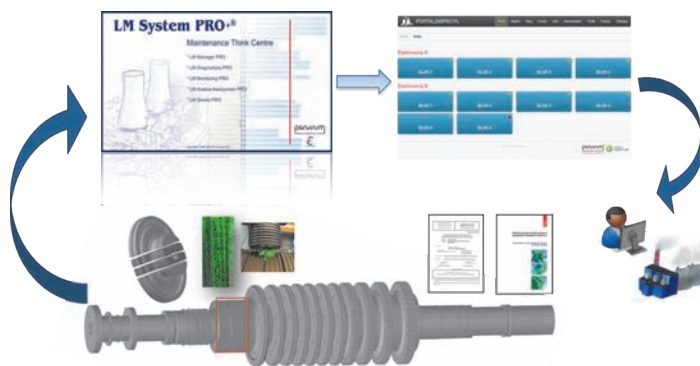
Część specjalistyczna przewidziana jest do wymiany informacji i udostępniania wiedzy na temat bieżących problemów eksploatacyjnych i/lub nieprawidłowości wykrywanych podczas postojów bloków/urządzeń. W części tej stworzono użytkownikowi portalu możliwość wprowadzania informacji dotyczących wykrytych 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 przekazane 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



Rys. 3. Schemat procesu bezobsługowego przetwarzania wyników badań, tworzenia statystyk uszkodzeń oraz udostępniania wiedzy i doświadczeń eksploatacyjnych

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*).

Użytkownicy platformy informatycznej LM System PRO+® mają dodatkową korzyść, gdyż wymagana przez portal okresowa aktualizacja danych i informacji może być realizowana bezobsługowo (rys. 3), a generowane przez portal raporty zawierające 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 i wnioski

Pojęcie trwałości (żywotności), 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 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.

Brak dokładnej historii eksploatacji bloków (poszczególnych elementów krytycznych), aktualnych własności materiałów oraz charakterystyk materiałowych dla oczekiwanych czasów eksploatacji sięgających ok. 350 tys. godzin sprawia, że klasyczne, 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, 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,
- 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 oprogramowanie ograniczające, w znacznym stopniu, pracochłonność.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Moubray J.: Reliability-centre Maintenance. Butterworth Heineemann. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP.1997.
- [2] Sturm F. A.: Anlagenmanagement. *VGB PowerTech*. 2012.
- [3] Trzecznyński 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.
- [4] Stanek R., Merdalski W., Białek S.: Specyfikacja portalu internetowego www.portal200pro.pl. Sprawozdanie *Pro Novum* Nr 2911.031/2013, Katowice, marzec 2013.
- [5] Trzecznyński J.: System diagnostyczny zapewniający bezpieczną pracę bloków 200 MW eksploatowanych powyżej 300 000 godzin. *Dozór Techniczny* 2012, nr 2.
- [6] Zespół pod kierunkiem mgr inż. Jerzego Dobosiewicza: PN/150.2878/2012/A-B - Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW. Katowice, grudzień 2012.
- [7] Trzecznyński J., Stanek R.: Zarządzanie utrzymaniem stanu technicznego powierzchni ogrzewalnych kotłów na podstawie analizy ryzyka. *Biuletyn Pro Novum* 1/2013. *Energetyka* 2013, nr 6.