

Jerzy Trzecznyński

## Diagnostyka materiałowa *on-line* urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni

Diagnozowanie, w czasie rzeczywistym, urządzeń technologicznie zaawansowanych (lotnictwo, energetyka, motoryzacja) stało się faktem wiele lat temu. W energetyce diagnostyka tego typu kojarzy się prawie zawsze z diagnostyką maszyn wirnikowych oraz diagnostyką termodynamiczną. Diagnostyka materiałowa pojawia się w ograniczonym stopniu jako problem towarzyszący projektom związanym z kontrolą eksploatacji, ale nigdy dotąd, przynajmniej w polskiej energetyce, nie została wdrożona w stopniu istotnie wpływającym na strategię utrzymania urządzeń ciepłno-mechanicznych.

Coraz lepsze i tańsze systemy pomiarowo-rejestrujące, olbrzymia ilość informacji gromadzona w hurtowniach danych centralnych systemów informatycznych elektrowni nie przekłada się na korzyści, których można by oczekiwać. Ilość nie chce przejść w jakość.

### Co to jest diagnostyka materiałowa?

Diagnostyka materiałowa to dziedzina diagnostyki technicznej, która zajmuje się oceną stanu technicznego urządzenia (elementu) z punktu widzenia stanu materiału.

Z definicji tej wynikają następujące konsekwencje:

- badania i pomiary to tylko fragment diagnostyki – bez interpretacji wyników badań oraz innych czynności (np. obliczeń) nie ma oceny stanu technicznego ... i nie ma diagnostyki,
- stan techniczny urządzenia oznacza zarówno wiedzę dotyczącą jego przydatności do bieżącej eksploatacji jak również prognozę trwałości (żywności),
- zakres przydatności oceny stanu (diagnozy) i prognozy zależy od zakresu rozumienia określenia „stan materiału” – im więcej czynników wykorzystywanych do opisu „stanu materiału” tym mniejszy błąd diagnozy i prognozy, a więc tym większa ich użyteczność,
- „stan materiału” to cecha o charakterze dynamicznym, podlega zmianom w zależności od warunków pracy materiału (metal).

Codzienna praktyka diagnostyczna świadczy, że poprawne rozumienie istoty diagnostyki i korzyści, jakich można od niej oczekiwać, nie występuje powszechnie. Dla jednych badania to to samo co diagnostyka, dla innych diagnostykę stanowi kontrola jakości naprawy wykonanej przez firmę remontową, jeszcze inni uważają, że to czynność zbędna, na którą nie mają środków, które muszą przeznaczyć na remont, ... na który też brakuje im środków. Ostatnia grupa poglądów jest szczególnie „wyrafinowana”, bo zakłada, że można wyremontować urządzenie, tj. odtworzyć jego stan techniczny ... bez znajomości jego stanu technicznego.

### Diagnostyka *on-line* – potrzeba czy fanaberia?

Jeśli przyjąć, że stan materiału – na podstawie którego staramy się ocenić stan elementów urządzenia – podlega zmianom w czasie to badania materiałowe oraz opracowaną na ich podstawie diagnozę i prognozę należy traktować wyłącznie jako „fotografię” stanu w danym momencie, jako klatkę z filmu pt. „historia pracy elementu”. Zapis w raporcie z badań i oceny stanu, że prognoza trwałości wynosi 100 tys. godzin może być prawdziwy zarówno przez 100 tys. godzin jak i przez miesiąc, a nawet krócej. W takim przypadku nawet badania kontrolne dla weryfikacji prognozy, np. po 30 tys. godzin pracy, mogą okazać się wykonane zbyt późno.

Remedium na tę sytuację może być monitorowanie tych parametrów pracy, które bezpośrednio wpływają na aktualność prognozy oraz jej weryfikacja wtedy, gdy te parametry nie są dotrzymywane. Zadanie całkowicie wykonalne, tylko do czego potrzebne? Od ca 20 lat (w krajowej energetyce) mówi się o korzyściach wynikających z remontów warunkowych (*condition based maintenance*), tj. chciałoby się uzależnić termin i zakres remontu od rzeczywistego stanu technicznego urządzenia. Praktycznie nie zrobiono prawie nic, aby takie oczekiwanie zrealizować. Jeśli przyjąć, że termin i zakres remontu wiąże się z wielkością budżetu i czasem jego wykorzystania, to może problemy ze zbyt niskimi środkami na utrzymanie stanu technicznego urządzeń też mają tutaj swoje źródło?

## Diagnostyka materiałowa, dlaczego *on-line*?

Jeśli procesy degradacji materiału, zmiany jego stanu zachodzą powoli czy nawet bardzo powoli, to skąd pomysł o potrzebie ciągłej analizy danych? Dlaczego badania wykonywane raz na 30–50 tys. godzin mogą okazać się niewystarczające?

Doświadczenia eksploatacyjne urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni wskazują, że z kilku względów podejście *on-line* do diagnostyki materiałowej ma sens:

- warunki pracy urządzeń mogą podlegać często dużym zmianom, a eksploatacji mogą towarzyszyć błędy,
- powolnym – na ogół – procesom degradacji materiału towarzyszą bardzo często procesy szybkozmienne (drgania, termoszoki, zmęczenie cieplne zarówno typu niskocyklowego, jak i wöhlerowskiego),
- strategię utrzymania oparte na aktualnym stanie technicznym czy analizie ryzyka powinny wykorzystywać wiedzę z monitorowania warunków pracy urządzenia,
- praca urządzeń w ostatniej fazie ich resursu będzie wymagała ich wzmoczonego diagnostycznego nadzoru, zwłaszcza gdy zajdzie potrzeba maksymalnego wykorzystania zapasu trwałości z jednoczesnym zapewnieniem rozsądnego poziomu ryzyka,
- gdy zajdzie potrzeba ilościowego kojarzenia efektów pracy przy najwyższych taryfach z nieuniknionymi stratami po stronie szybszego wyczerpania trwałości.

## Co można obliczyć, czyli o niektórych problemach diagnozowania w czasie rzeczywistym?

Stan techniczny elementów turbin (wały wirników i kadłuby turbin, komory zaworowe) oraz kotłów (walczaki, komory przegrzewaczy pary) usiłuje się oceniać (w krajowej energetyce) w trybie zbliżonym do *on-line* od ponad 30 lat. Wyników nie publikuje się przesadnie często, może dlatego, że są raczej skromne. Na nieadekwatność rezultatów do włożonego wysiłku składa się kilka czynników:

- strategię utrzymania urządzeń w polskich elektrowniach nie były, i dalej nie są, wystarczająco mocno powiązane z wiedzą o aktualnym stanie technicznym urządzeń,
- tylko niektórzy z ich twórców znali na tyle dobrze historię i specyfikę eksploatacji urządzeń, aby związek rezultatów analizy z rzeczywistością był akceptowalny z praktycznego punktu widzenia,
- zastosowane algorytmy były zbyt uproszczone, na ogół sprowadzały się do analizy stanu naprężeń – odkształceń i prostego sumowania uszkodzeń; sumaryczny błąd modelowania geometrii elementu, materiału, warunków pracy oraz mechanizmu powstawania uszkodzeń był nie tylko bardzo duży ... ale w rzeczywistości nawet trudny do oszacowania,
- nie próbowano integrować wiedzy z diagnostyki remontowej i monitorowania warunków eksploatacji chyba jednego z podstawowych warunków sukcesu w zakresie ograniczenia błędów prognozy.

Wcześniejsze koncepcje pomijały, dodatkowo, bardzo ważną okoliczność, że wiele istotnych dla trwałości elementów urządzeń czynników jest, praktycznie rzecz biorąc, „niepoliczalna”. Do nich należy wpływ środowiska chemicznego, obecność termoszoków oraz wpływ technologii wykonania np. wad odlewniczych kadłu-

bów turbin i komór zaworowych, które odpowiadają za znaczną część wykrywanych uszkodzeń.

## Kontrola eksploatacji a analiza warunków pracy urządzenia

Panuje, mocno rozpowszechniony pogląd, że nie tylko diagnostyka materiałowa realizowana jest w przybliżeniu poprawnie, ale także warunki pracy urządzeń ciepłno-mechanicznych są analizowane i prawidłowo i systematycznie. Jeśli głosi się takie poglądy to na ogół związane jest to z brakiem rozróżnienia pomiędzy kontrolą pracy operatora a analizą skutków jego działania.

W systemach zarządzania stanem technicznym urządzenia, jego trwałością (*life management*) chodzi o to, aby rzeczywiste warunki pracy metalu (nie tylko stan naprężeń – odkształceń i temperatury) powiązać ze zmianą jego własności lub/i geometrii elementu. Błędy operatora kończące się awaryjnym postojem urządzenia to najprostsze przypadki monitorowania stanu (podczas postoju można dokładnie zbadać przyczynę i określić skutek zakłócenia). Najbardziej użyteczna jest poprawna analiza tych przekroczeń, które wprawdzie nie kończą się bezpośrednio stanem awaryjnym, ale które istotnie wpływają na żywotność elementu przyspieszając konieczność jego naprawy lub wymiany.

## Zmiana stanu technicznego urządzenia to proces ciągły

Konsekwencją tego skądinąd oczywistego stwierdzenia jest to, że znając stan urządzenia (elementu) w dowolnej chwili można się zarówno ustrzec przed awarią oddziałując odpowiednio na system zabezpieczeń, jak również podejmować decyzje serwisowe (przeglądy, remonty) w czasie i zakresie uwarunkowanym potrzebą, a nie intuicją (dobrze, jeśli opartą na prawdziwym doświadczeniu).

W przypadku stosowania diagnostyki czasu rzeczywistego postój urządzenia jest nie tylko czasem, w którym trzeba wykonać zaplanowane, poparte systemową prognozą czynności remontowe, ale także wykonać pomiary i badania po to, aby:

- a) lepiej zinterpretować informacje generowane przez system diagnostyczny (diagnostyka wibracyjna i termodynamiczna),
- b) określić stan techniczny i prognozę na podstawie pomiarów i badań (diagnostyka materiałowa).

Oznacza to, że badania podczas postojów powinny ściśle wynikać z potrzeb i być logicznie powiązane zarówno z historią pracy jak i wcześniej określoną prognozą. Bardzo często spotykanym w praktyce niezrozumieniem istoty diagnostyki jest:

- wykonywanie badań bez związku z wcześniej określoną prognozą,
- wykonywanie niestandardowych badań, których wyników nie da się prosto albo w ogóle powiązać z wynikami badań wykonanymi wcześniej,
- częste zmienianie wykonawcy badań, m.in. wg zasady, kto szybciej i taniej.

## Diagnostyka materiałowa wykonywana systemowo w sposób ciągły

Określenie *on-line* dla możliwości wykonywania w takim trybie diagnostyki materiałowej wymaga komentarza. Procesy degrada-

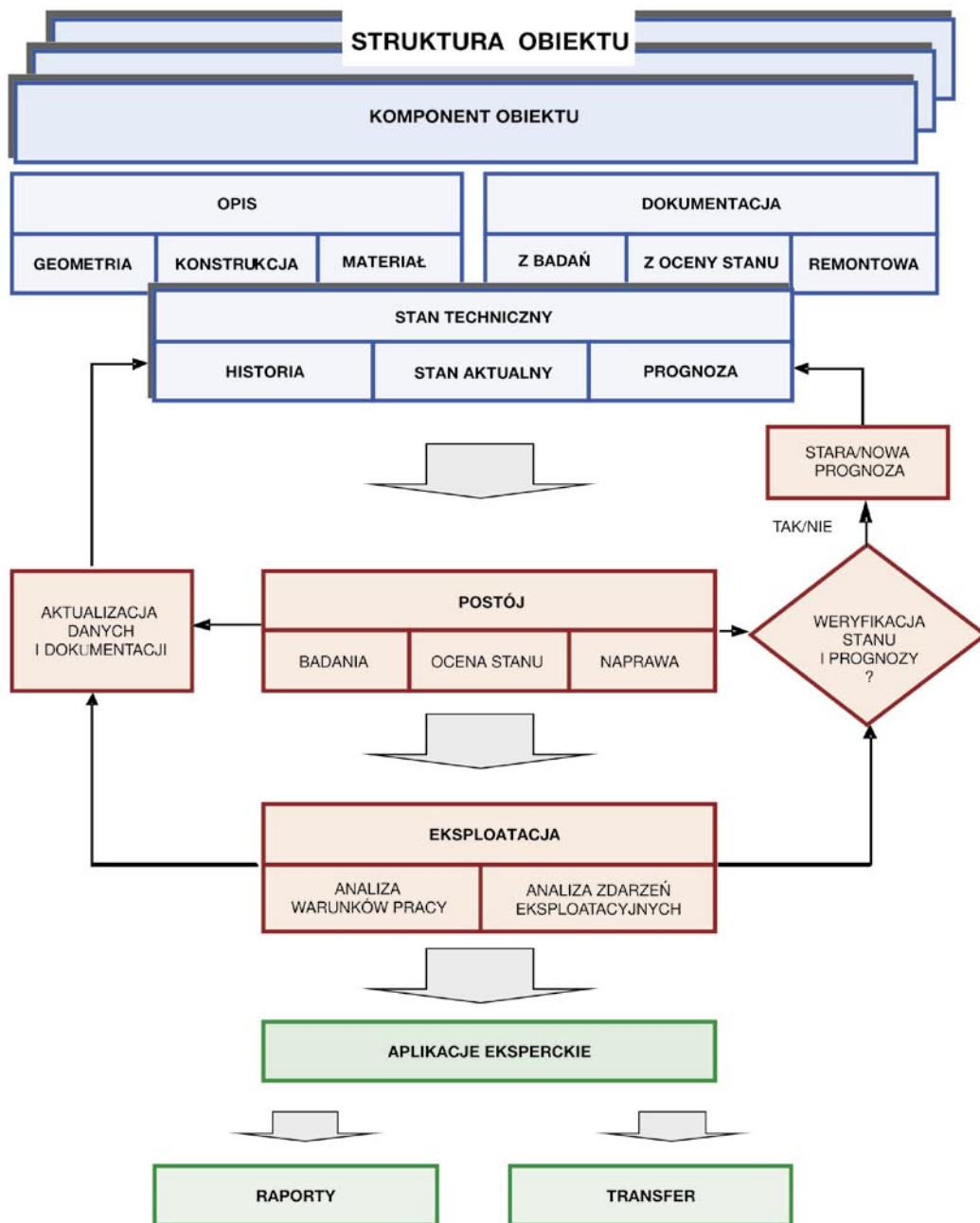
cji materiałów podczas eksploatacji zachodzą w sposób powolny. Powstawanie uszkodzeń mogą przyspieszać błędy eksploatacyjne i wady technologiczne. Wpływ tych obydwu czynników jest na ogół niepoliczalny. Ich obecność i skutki można określić wyłącznie przy pomocy badań podczas postoju urządzenia. Wtedy także można całkowicie usunąć lub ograniczyć oddziaływanie błędów konstrukcyjnego i innych niesprawności będących przyczynami uszkodzeń nagłych, a jednocześnie, w sensie obliczeniowym, nieprzeiwdywalnych.

Jeśli procesy uszkodzeń w materiale zachodzą w sposób powolny to po co je *on-line* monitorować? Jaka z tego może być korzyść?

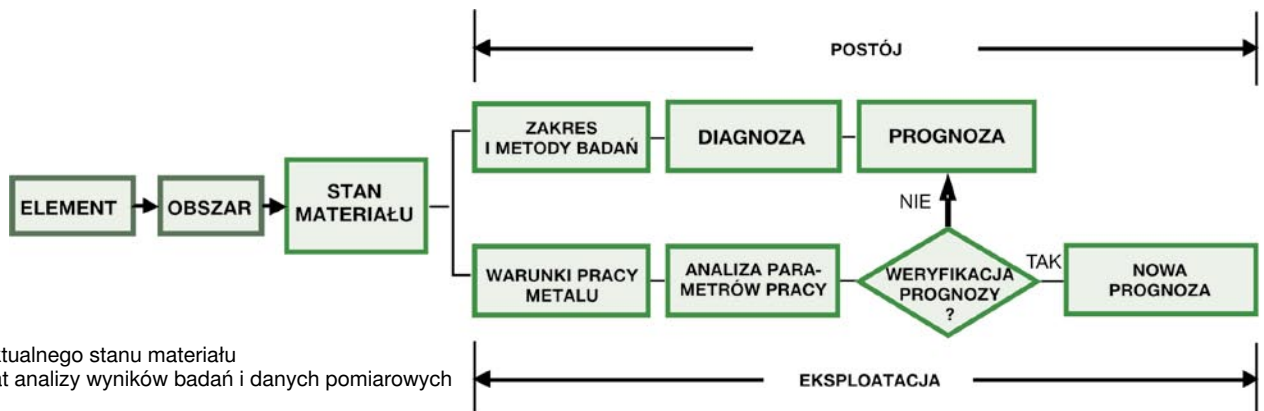
Monitorowanie stanu materiału i na tej podstawie stanu urządzenia (jego komponentów) w sposób ciągły wymaga zorganizowania diagnostyki w sposób systemowy [1–7] (rys. 1–3). To pierwsza korzyść, bo tylko tak zorganizowana diagnostyka może być rzeczywistym elementem systemu utrzymania elektrowni.

Diagnostyka materiałowa wykonywana w wyżej opisany sposób może przynieść dalsze korzyści:

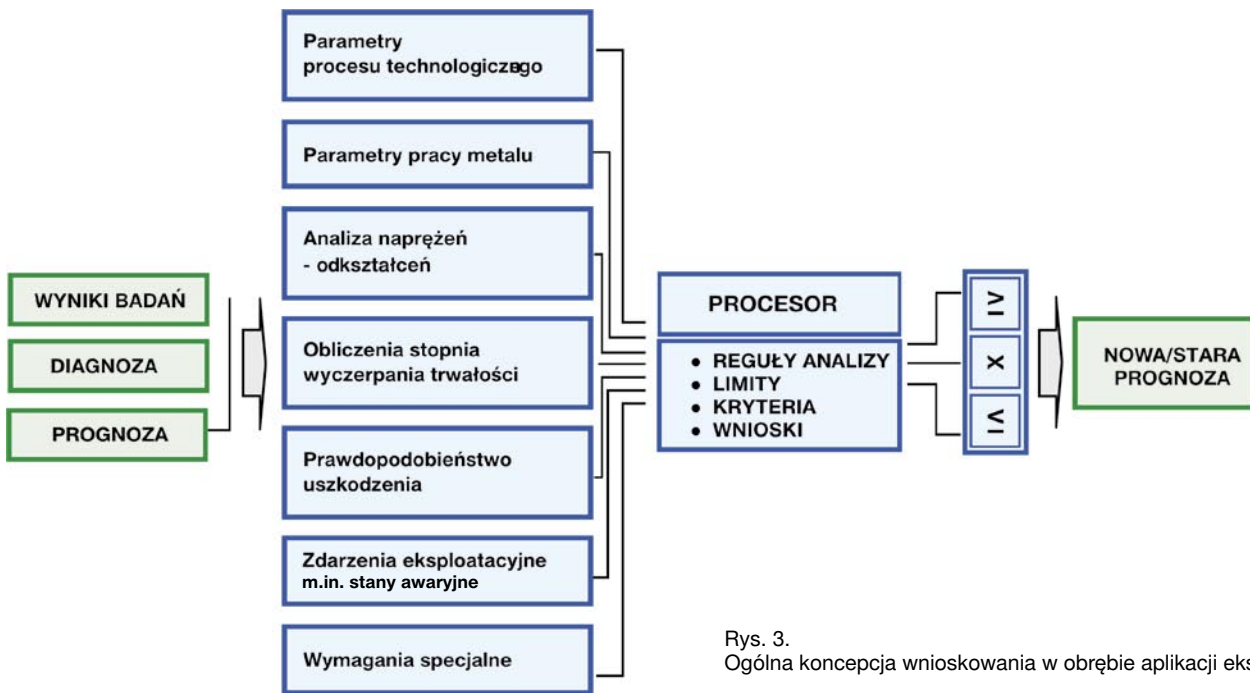
- może zobiektywizować, odpersonalizować diagnozowanie, co oznacza m.in. możliwość zorganizowania w elektrowni (organizacji energetycznej) jednego systemu diagnostycznego zamiast, jak się spotyka obecnie: diagnostyki kotła, turbiny, rurociągów, wymienników ciepła, etc – i wielu charyzmatycznych specjalistów zajmujących się diagnostyką tyle odrębnych podejść do diagnostyki,
- może zmniejszyć pracochłonność poprzez zautomatyzowanie procesów:
  - zbierania danych,
  - transferu i archiwizacji wyników,
- może zapewnić dostępność wyników dla szerokiej grupy zainteresowanych i podnosić komfort ich pracy,
- może spełnić wymaganie integracji z systemami klasy ERP (*Enterprise Resource Programms*).



Rys. 1. Ogólna koncepcja systemu diagnostyki materiałowej realizowanego w sposób ciągły (*on-line*)



Rys. 2.  
Ocena aktualnego stanu materiału  
– schemat analizy wyników badań i danych pomiarowych



Rys. 3.  
Ogólna koncepcja wnioskowania w obrębie aplikacji eksperckich

## Czy przedstawiony system diagnostyczny da się w praktyce zorganizować?

Działający w trybie *on-line* system diagnostyki materiałowej jest wykonalny w warunkach polskiej energetyki. W wersji wspomagającej pracę wydziału zarządzania majątkiem wymaga rozwiązania niewielu problemów technicznych (na blokach  $\geq 120$  MW i blokach – urządzeniach – nowych) oraz dwóch o znaczeniu strategicznym:

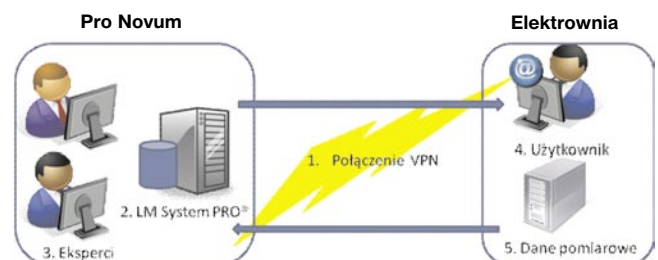
- zarządzanie stanem technicznym majątku produkcyjnego powinno mieć taką samą rangę jak zarządzanie pozostałymi dziedzinami biznesu elektrowni objętymi standardami ERP,
- w ramach organizacji energetycznych musi nastąpić rzeczywista integracja w zakresie zarządzania majątkiem produkcyjnym.

Na blokach (urządzeniach) nowo budowanych wystarczy pamiętać podczas negocjowania warunków ich budowy o odpowiednim zakresie opomiarowania i technologii rejestracji danych. Na urządzeniach długo eksploatowanych (z perspektywą dalszej pracy przez ponad 60–70 tys. godzin) należy uzupełnić niektóre pomiary, wygegzekować odpowiednie metody, zakresy i formę (elektroniczną) prezentacji wyników badań oraz dokumentacji poremontowych u ich wykonawców.

## Tam diagnostyka, gdzie informacje i eksperci

Jedną z możliwości, jaką stwarza zorganizowanie diagnostyki jako logicznego procesu zapewniającego:

- pełną historię eksploatacji obiektu,
- dostęp do istotnych informacji o warunkach pracy, jest możliwość wykonywania jej „z dowolnego miejsca”, zakładając oczywiście, że:
  - zakres i metody badań są zdeterminowane przez System,
  - wyniki badań wraz z dokumentacją badań są odpowiednio rejestrowane i archiwizowane.



Rys. 4. Wsparcie eksperckie w zakresie monitorowania stanu technicznego urządzeń z wykorzystaniem formuły *outsourcingu*



W sposób symboliczny taką – zrealizowaną w praktyce [8] – koncepcję przedstawiono na rysunku 4, gdzie:

- 1) do połączenia pomiędzy elektrownią i *Pro Novum* wykorzystano sieć Internet; zabezpieczono je szyfrowym kanałem VPN z odpowiednimi mechanizmami uwierzytelniania;
- 2) LM System PRO® [3] w *Pro Novum* – system informatyczny składający się z oprogramowania, baz danych, serwisów monitorujących – zapewnia rozwiązywanie typowych lub zgłoszonych (w trybie jak w p. 1) problemów na podstawie aktualnych danych techniczno-eksploatacyjnych;
- 3) eksperci – to specjaliści w dziedzinie diagnostyki i technologii remontowych;
- 4) LM System PRO® w elektrowni – część Systemu zainstalowana w elektrowni na dedykowanym serwerze dostarczonym przez *Pro Novum* (sprzęt i oprogramowanie);
- 5) dane techniczno-eksploatacyjne: wybrane przez ekspertów *Pro Novum* informacje o warunkach pracy urządzeń (oraz wynikach badań) udostępnione w sposób umożliwiający regularne pobieranie ich przez serwer LM System PRO® (część Systemu zainstalowana w elektrowni) i zarejestrowane w bazie danych (MS SQL, Oracle, Interbase);
- 6) użytkownicy – to posiadający uprawnienia nadane przez administratora Systemu specjaliści elektrowni.

## Podsumowanie i wnioski

Stan wiedzy w zakresie modelowania procesów prowadzących do uszkodzeń urządzeń ciepłno-mechanicznych, poziom techniczny systemów pomiarowo-rejestrujących ich parametry pracy oraz wielkie – i nadal szybko rosnące – możliwości technologii informatycznych stworzyły warunki, aby diagnostyka techniczna urządzeń ciepłno-mechanicznych mogła być realizowana w czasie rzeczywistym. W trybie *on-line* można wykonywać także diagnostykę materiałową. Korzyści może być wiele, wśród nich na szczególną uwagę zasługują:

- nadanie diagnostyce w elektrowniach formy logicznego, zoptymalizowanego procesu,
- stworzenie realnych możliwości wdrożenia nowoczesnych strategii technicznego utrzymania urządzeń,

- stworzenie koniecznych warunków dla zarządzania systemem technicznym urządzeń w sposób pozwalający na rzeczywistą integrację z systemami klasy ERP.

Diagnostyka materiałowa zajmuje się procesami degradacji materiału i powstawania uszkodzeń, które teoretycznie zachodzą powoli, część zjawisk, które do tego prowadzą ma jednak charakter szybkozmienny, a nawet nagły. Wdrożenie profesjonalnego systemu diagnostycznego, niekoniecznie działającego w czasie rzeczywistym, wymaga odpowiedniej integracji diagnostyki remontowej i monitorowania warunków pracy. Stwarza to stosunkowo proste i mało kosztowne problemy techniczne oraz, bardzo często nie do pokonania, problemy organizacyjne.

W krajowej energetyce systemowo zorganizowaną diagnostyką – oraz nowoczesnym, zoptymalizowanym *maintenance'm* powinny zostać objęte bloki energetyczne, których planowany, sumaryczny czas eksploatacji może przekroczyć 300 000 godzin, oraz urządzenia nowe lub niedawno wybudowane.

Wiedza z odpowiednio wykonywanej diagnostyki potrzebna jest zarówno serwisom fabrycznym dostawców urządzeń jak i centrum zarządzania elektrowni (lub grupy elektrowni).

Problemy organizacyjne – stanowiące dzisiaj największą barierę dla wdrożenia nowoczesnego, efektywnego *maintenance'u* można rozwiązać lub złagodzić przyjmując formułę *outsourcingu* realizowanego przez zewnętrzne instytucje zatrudniające specjalistów (ekspertów) o odpowiednich kwalifikacjach.

## LITERATURA

- [1] Dobosiewicz J.: Badania diagnostyczne urządzeń ciepłno-mechanicznych w energetyce. Część I. Turbiny. Biuro Gamma. Warszawa 1998
- [2] Dobosiewicz J.: Badania diagnostyczne urządzeń ciepłno-mechanicznych w energetyce. Część II. Kotły i rurociągi. Biuro Gamma. Warszawa 1999
- [3] Trzeszczyński J.: Kiedy diagnostyka przynosi korzyści? *Energetyka* 2007, nr 12. Biuletyn *Pro Novum* nr 3/2007
- [4] Żółtowski B., Cempiel C.: Inżynieria diagnostyki maszyn. PTDT. 2004
- [5] Krzyżanowski J. A., Głuch J.: Diagnostyka ciepłno-przepływowa obiektów energetycznych. Wydawnictwo IMP PAN, 2004
- [6] Sturm F.A.: Efficient Operations. Intelligent Diagnosis and Maintenance. *VGB Power Tech.* 2003
- [7] Georg E.W., Sturm F.A.: The Environment for Plant Management, Monitoring and Maintenance. *VGB Power Tech.* 9/2003
- [8] Sprawozdanie *Pro Novum* LM/1522/01/2008

Jerzy Dobosiewicz, Ewa Zbroińska-Szczechura

# Ocena trwałości komór przegrzewaczy kotłów parowych pracujących w warunkach pełzania

Zadaniem służb utrzymania jest zapewnienie niezawodnej pracy urządzenia przy ograniczonych nakładach z uwzględnieniem wytycznych zapewniających stałą kontrolę urządzeń lub jego części, w celu zapewnienia ciągłości pracy i obniżenia do minimum ryzyka nieprzewidzianych postojów.

Ocenie ryzyka (prawdopodobieństwa powstania uszkodzenia) można poddawać kompletne urządzenia lub poszczególne jego elementy.

Najczęściej ocenie poddaje się elementy krytyczne, czyli takie, których uszkodzenie może przynieść duże straty, spowodować zniszczenie sąsiednich elementów lub których wymiana czy naprawa wyłącza z eksploatacji na dłuższy okres całe urządzenie (rys. 1).

Czynności utrzymania powinny być tak planowane, aby między dwoma kapitalnymi remontami w ciągu dowolnie długiego okresu, ryzyko wystąpienia uszkodzeń było możliwie najmniejsze.