

Jerzy Trzeszczyński  
Pro Novum Katowice

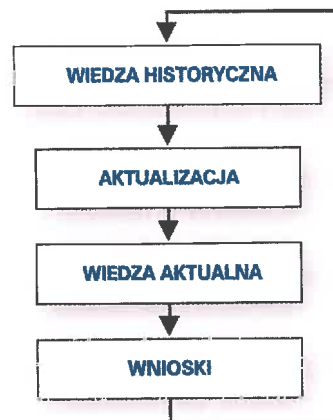
## Nowe – stare problemy diagnostyczne długo eksploatowanych urządzeń energetycznych

Diagnostyka jest ważnym elementem obsługi technicznej urządzeń, prawidłowo wykonywana dostarcza wiedzy niezbędnej do planowania terminów i zakresów remontów, prognozowania trwałości, wprowadzania skutecznej profilaktyki [1, 3]. Aby tak było, diagnostyka musi prezentować profesjonalny poziom, a elektrownia odpowiednią świadomość w zakresie potrzeby korzystania z wiedzy o stanie technicznym urządzeń. Na diagnostykę można patrzeć, analizować ją i oceniać z wielu punktów widzenia. Najbardziej istotne są te, które w danym momencie dotyczą jej najbardziej istotnych problemów. Aktualnie można wskazać następujące:

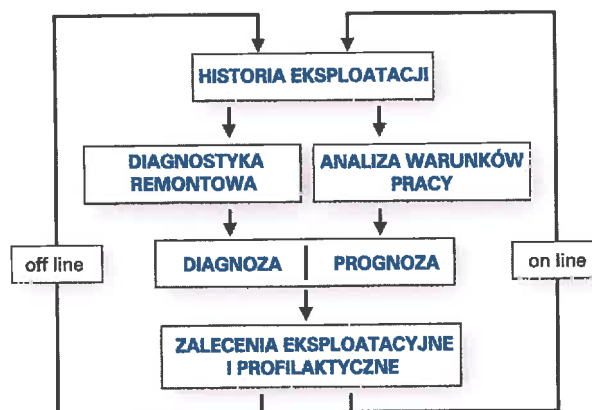
- zmiany organizacyjne oraz w zakresie strategii zarządzania majątkiem,
- stan urządzeń i wiedzy o nich po wcześniejszych modernizacjach,
- redukcja nakładów na obsługę techniczną urządzeń przy zapewnieniu wymaganego poziomu dyspozycyjności,
- wydłużanie czasu pracy urządzeń długo eksploatowanych.

### Co to jest diagnostyka, do czego służy i jak ją najlepiej zorganizować?

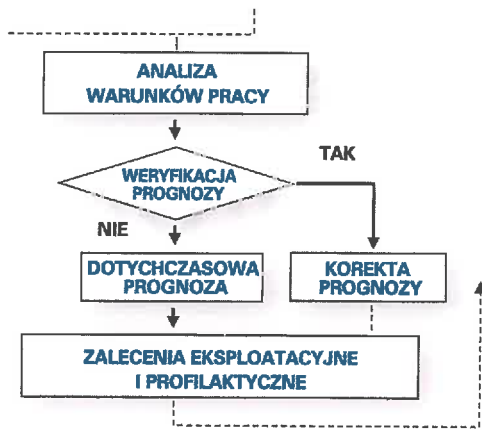
Pytanie wydaje się trywialne, okazuje się jednak, że ciągle warto je zadawać, bo nawet jeśli intuicyjnie właściwie rozumiemy znaczenie tego terminu, to praktyka wskazuje, że jest inaczej. W wielkim skrócie można powiedzieć, że diagnostyka służy do zdobywania wiedzy o stanie technicznym obiektu. Jest to proces od informacji z badań i pomiarów do wiedzy (rys. 1 – 3). Badania i pomiary to tylko fragment diagnostyki, chociaż nieodzowny.



Rys. 1. Ogólny schemat typowego procesu kreowania, aktualizowania i archiwizowania wiedzy



Rys. 2. Diagnostyka jako proces kreowania i aktualizowania wiedzy w trybie *on line* (diagnostyka eksploatacyjna) i *off line* (diagnostyka remontowa)



Rys. 3. Rozwinięcie szczegółu z rysunku 2 ilustrujące możliwość weryfikacji prognozy w trybie *on line*. Ideę tę wykorzystano w programie *LM System PRO*

Korzyści z tak rozumianej diagnostyki mogą pojawić się już w nieodległej przyszłości, gdy wydziały zarządzania majątkiem elektrowni przejdą kolejne fazy ewolucji. „Systemy” informacji i wiedzy w elektrowniach są mocno spersonalizowane co oznacza, że odejście z przyczyn naturalnych najbardziej doświadczonych specjalistów może diametralnie zmienić zarówno możliwości sprawnego planowania obsługi technicznej, jak również skutecznej obrony interesów elektrowni w zderzeniu z firmami i instytucjami zewnętrznymi. Relacje te stają się coraz bardziej antagonistyczne.

Do planowania i wykonywania badań, interpretacji ich wyników oraz wyciągania wniosków użytecznych dla eksploatacji, remontów i profilaktyki potrzeba zespołów złożonych ze specjalistów o różnych specjalnościach, wysokich kompetencjach i dużym doświadczeniu.

Zespoły takie powinny dysponować:

- dostępem do informacji z jak największej liczby obiektów
- odpowiednimi możliwościami technicznymi i intelektualnymi do zbierania, archiwizowania, przetwarzania i udostępniania wiedzy
- obiektywizmem.

Restrukturyzacja elektrowni przebiega w kierunku przemieszczenia wydziałów diagnostyki poza struktury elektrowni. Prowadzi to do sytuacji, że kupujący usługę pod nazwą „diagnostyka” otrzymuje na ogół informacje (wyniki badań). Przyjmuje się, że wiedza powstaje w wydziałach zarządzania majątkiem (zespołach inżynierii remontowej). W rzeczywistości kupuje się także wiedzę oraz często zintegrowaną z nią w sposób trudny do zauważenia i wyodrębnienia – strategię marketingową dostawców urządzeń, usług remontowych i diagnostycznych.

### Diagnostyka urządzeń starych, zmodernizowanych i nowych

W krajowej energetyce pracują urządzenia wszystkich, trzech wymienionych rodzajów. Co to oznacza z punktu widzenia diagnostyki?

Dla urządzeń długo eksploatowanych ( $\geq 150\ 000$  godzin pracy) wiarygodna, zarchiwizowana historia eksploatacji nie przekracza w wielu przypadkach ostatnich 100 000 godzin pracy, a w zakresie analizy awaryjności ostatnich kilku lat. Możliwe, że w sposób systematyczny, kompletny i obiektywny [5] nie jest wykonywana w żadnej polskiej elektrowni. Prawdopodobnie największą bazą danych w zakresie awaryjności elementów turbin, kotłów i rurociągów parowych jest kontynuowana przez *Pro Novum* baza wiedzy stworzona przez Wydział Diagnostyki i Profilaktyki byłego *Południowego Okręgu Energetycznego*. Taka sytuacja stawia pod znakiem zapytania możliwość wdrożenia w krajowej energetyce na starych urządzeniach systemów RCM (reliability centered maintenance) i RBI (risk-based inspection) obsługi technicznej.

Najpoważniejszymi mankamentami znanych nam systemów analizy awaryjności są:

- brak rozróżnienia pomiędzy przyczynami pierwotnymi i wtórnymi uszkodzeń,
- wątpliwości co do trafności oceny przyczyny uszkodzenia (tylko część uszkodzeń podlega obiektywnej analizie wykonywanej przez firmy zewnętrzne),
- brak zapisów (w wielu przypadkach) nt. podjętych działań naprawczych,
- bardzo ograniczony zasób wiedzy (z jednego lub kilku urządzeń), co nie stwarza warunków dla użytecznej analizy statystycznej.

Czy można uniknąć wymienionych problemów na urządzeniach nowych, trudno powiedzieć. Urządzenia te wyposażono wprawdzie w nowoczesne systemy do kontroli i rejestracji parametrów pracy, jednak trudno powiedzieć jeszcze, na ile będą to informacje istotne dla diagnostyki.

Ocena stanu technicznego urządzenia wymaga nie tylko znajomości parametrów typu: temperatura, ciśnienie i liczba godzin pracy. Oprócz elementów pracujących w warunkach pełzania i niskocyklowego zmęczenia jest bardzo wiele (w kotle i turbinie) innych, których trwałości metodą obliczeniową nie da się określić.

### Konstrukcja, materiał, technologia wykonania

Paradoksalnie w najlepszej sytuacji są użytkownicy starych bloków, ponieważ wiedzą prawie wszystko na temat cech wykonania urządzeń. Dysponują pełną dokumentacją, danymi materiałowymi i informacjami, w jaki sposób element wykonano i jak go naprawić. Identyfikując wiedzę dysponują także firmy diagnostyczne i remontowe. Stwarza to względnie sprzyjające warunki do szybkiej, taniej i poprawnej interwencji remontowej. Komfort mają także badający, bo wiadomo gdzie i w jaki sposób badać oraz gdzie i kiedy powstają uszkodzenia.

Zupełnie odmienna sytuacja towarzyszy użytkownikom bloków zmodernizowanych, a zwłaszcza nowych. Tutaj dokumentacja bywa szczątkowa, wiedza nt. stanu materiału i technologii wykonania jeszcze mniejsza. Serwisowania, szczególnie nowych urządzeń wszyscy się na razie uczą: użytkownicy, firmy remontowe i diagnostyczne oraz ... dostawcy, którzy w znacznej mierze na rynku polskim mają w większym stopniu status dealerów niż dysponentów know-how.

### Metody badań i oceny stanu technicznego

Badania elementów i urządzeń nowych wykonywane są w znacznej mierze przez serwisy dostawców lub pod ich kontrolą. Mankamentem nie tylko z technicznego punktu widzenia jest często praktyka niedostępiania wyników badań i pomiarów, a tylko wniosków. Oznacza to ograniczoną możliwość weryfikowania wniosków z badań ... oraz zakresów remontowych.

Wskazuje to na jeszcze jeden – wcześniej sygnalizowany – poważny problem, a mianowicie gdzie ma być zlokalizowana wiedza o kondycji technicznej urządzenia: w elektrowni czy u dostawcy? Ten problem nie spędza jeszcze snu z oczu użytkownikom nowych urządzeń, ale możliwe, że zacznie być ważny gdy rozpoczną się kapitalne remonty i problemy techniczne w okresach pogwarancyjnych.

Jeśli jest jakaś część prawdy w stwierdzeniu, że kto ma wiedzę ten ma władzę, to warto nad tym się zastanawiać. Pierwsze problemy techniczne, także awarie nowych urządzeń wskazują niekiedy, na coś jeszcze innego, że wystarczającej wiedzy nie ma jeszcze nikt i wszyscy się uczą.

### Kiedy sięgać po nowe metody badań?

Jeśli badania mają, przy minimalnych nakładach, zapewnić wystarczającą wiedzę do oceny stanu technicznego urządzenia to dobór metod, zakresów i terminów badań nie może być dowolny. Jak przedstawia to rysunek 2 metodyka badań powinna wynikać z retrospekcji oraz dodatkowo, z obowiązujących przepisów przede wszystkim Urzędu Dozoru Technicznego oraz zaleceń dostawców.

W polskiej energetyce tak się historycznie ułożyło, że dostawcy byli zainteresowani produkcją nowych urządzeń, a nie ich serwisem. Aktualnie serwisem są bardziej zainteresowani, ale wykonują go praktycznie przez specjalistyczne firmy zewnętrzne. Jest to podejście słuszne pod każdym względem, także technicznym, bo z powodów historycznych (j. w.) firmy zewnętrzne (remontowe, diagnostyczne) dysponują większą wiedzą i doświadczeniem w zakresie serwisu niż dostawcy.

W zakresie badań nie pojawiły się w zasadzie – w ostatnich latach – metody, które pozwalałyby badać cechy elementów wcześniej nie badane. Co oznacza, że w przeszłości badane było wszystko to co trzeba, o czym najlepiej świadczy fakt, że nie było w polskiej energetyce przypadku awarii, której przyczyną był brak odpowiednich technik pomiarowych i badawczych.

Cechą może najważniejszą wprowadzonych na nasz rynek metodyk badawczych była lepsza (komputerowa) rejestracja i analiza danych (dla metod ultradźwiękowych i wiropędowych), w niektórych przypadkach także większa czułość pomiaru. Metody te będące na ogół drogie lub bardzo drogie (na polskie warunki) nie dokonały przełomu w zakresie kreowania wiedzy i można nawet powiedzieć, że dość szybko ujawniły swoje ograniczenia, bo:

- wyrafinowanej analizie danych pomiarowych muszą towarzyszyć równie dokładne dane nt. materiału, technologii i historii eksploatacji, w przeciwnym wypadku jest to cecha metody niewykorzystana,
- czułość metody badawczej nie jest atutem samym w sobie, bo po pierwsze musi być sens techniczny „szukania igły w stogu siana”, np. czy warto poszukiwać po ca 200 000 godzin pracy nieciągłości mniejszych d dopuszczalnej wady materiałowej dla elementu nowego?; po drugie im wyższa czułość tym większa niepewność pomiaru; w związku z tym powstaje problem zarówno jak postąpić z kimś kto nieciągłości wielkości nie stwarzającej zagrożenia do następnego badania nie wykrył, a jak potraktować kogoś, kto z powodów j.w. wykrył pozorny defekt i naraził użytkownika na niepotrzebne, często znaczne koszty?

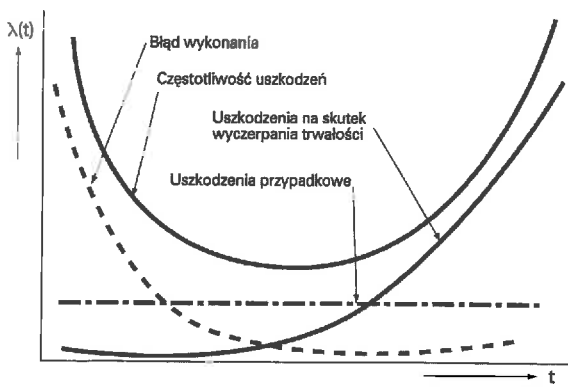
Oprócz względów czysto technicznych są jeszcze ekonomiczne i zdrowo rozsądkowe. Jeśli metodą prostą, tradycyjną można zbadać cechę(y) elementu, która pozwala postawić prognozę na okres np. 50 000 godzin, to po co mierzyć (badać) dokładniej, żeby dojść do podobnego wniosku.

Szukając coraz mniejszych wskazań i wykonując obliczenia z zastosowaniem coraz dokładniejszych modeli matematycznych należy pamiętać, że diagnostyka to nie jest „polowanie” na wskazanie (pęknięcie), bo tylko niektóre wskazania okazują się pęknięciami, nie wszystkie muszą być usuwane, większą część można usunąć bez dalszej naprawy, prawie wszystkie można naprawić i tylko bardzo nieliczne dyskwalifikują element do dalszej eksploatacji.

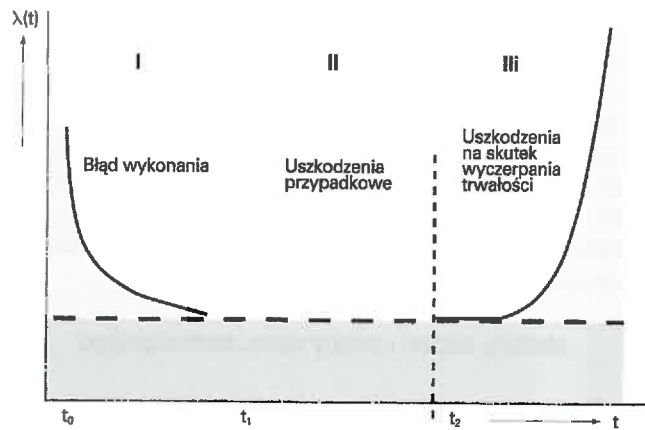
### Problemy diagnostyczne starych i nowych urządzeń ciepłno-mechanicznych

Diagnostyką urządzeń ciepłno-mechanicznych rządzą ogólne zasady (rys. 1 – 3), które są niezależne od wieku urządzenia i rodzaju dostawcy. Także najbardziej ogólne reguły oceny przydatności do dalszej eksploatacji (rys. 4 i 5) nie tracą sensu i użyteczności. Urządzeń starych i nowych nadal dotyczy problem błędów wykonania (I faza eksploatacji), usterek losowych (w każdej fazie eksploatacji) oraz usterek związanych z wyczerpaniem trwałości (III faza eksploatacji) [4].

Dla urządzeń długo eksploatowanych i nowych wykresy częstości usterek (stanów awaryjnych) mają nieco odmiennie proporcje (pomiędzy czasem występowania poszczególnych faz) oraz kształtu (w związku z różnym stopniem nasilenia występowania usterek w poszczególnych fazach eksploatacji).



Rys. 4.



Rys. 5.

$\lambda(t)$  – częstotliwość uszkodzeń  
 $t$  – czas eksploatacji

Należy pamiętać, że forma tych wykresów zależy nie tylko od tego czy urządzenie jest stare, czy nowe, ale także od rodzaju konstrukcji, dostawcy i sposobu eksploatacji. Oczywiście użytkownicy urządzeń nowych borykają się z problemami typowymi dla I fazy eksploatacji (rys. 5), podczas gdy użytkownicy urządzeń starych z problemami fazy III.

Dotychczas obowiązują następujące kryteria oceny przydatności starych urządzeń do dalszej eksploatacji:

- wyczerpanie trwałości obliczeniowej 100 000 godz.,
- wyczerpanie trwałości określonej na podstawie indywidualnych własności materiałowych 180 000 – 230 000 godz.,
- wyczerpanie trwałości indywidualnej ze względu na warunki pracy elementu  $\geq 180 000$  godz.

Zasady powyższe nie ulegną zmianie dla urządzeń nowych, wymagają jednak nowego podejścia (i nowej interpretacji). Nowe podejście do wymienionych zasad musi uwzględniać przede wszystkim fakt, że będą one w większym stopniu nienaprawialne, zaprojektowane wszerszym zakresie na określoną trwałość.

Także system serwisowania, w większym niż dotychczas stopniu zmonopolizowany przez dostawców urządzeń będzie sprzyjał „mniejszej finezji” w podchodzeniu do wydłużania żywotności elementów i całych urządzeń. Wymiana elementu stanie się w większym niż dotychczas stopniu sposobem jego naprawy.

Podczas ostatniego VI Sympozjum (Ustroń 2004) pojawiły się referaty i wystąpienia zdające się sugerować, że na niektórych starszych urządzeniach (elementach) mogą pojawiać się nowe problemy diagnostyczne będące wynikiem „różnych procesów degradacji własności materiałów”, których być może jeszcze nie znamy i które wymagają nowych metod badań. W czasie, jaki minął od ostatniego Sympozjum nie ukazały się jednak publikacje szerzej komentujące te sugestie i hipotezy. Dla starych konstrukcji i od dawna stosowanych materiałów, eksploatowanych ciągle w podobnych warunkach występują od dawna znane procesy niszczenia, które mogą być pod kontrolą przy pomocy dotychczas stosowanych metod.

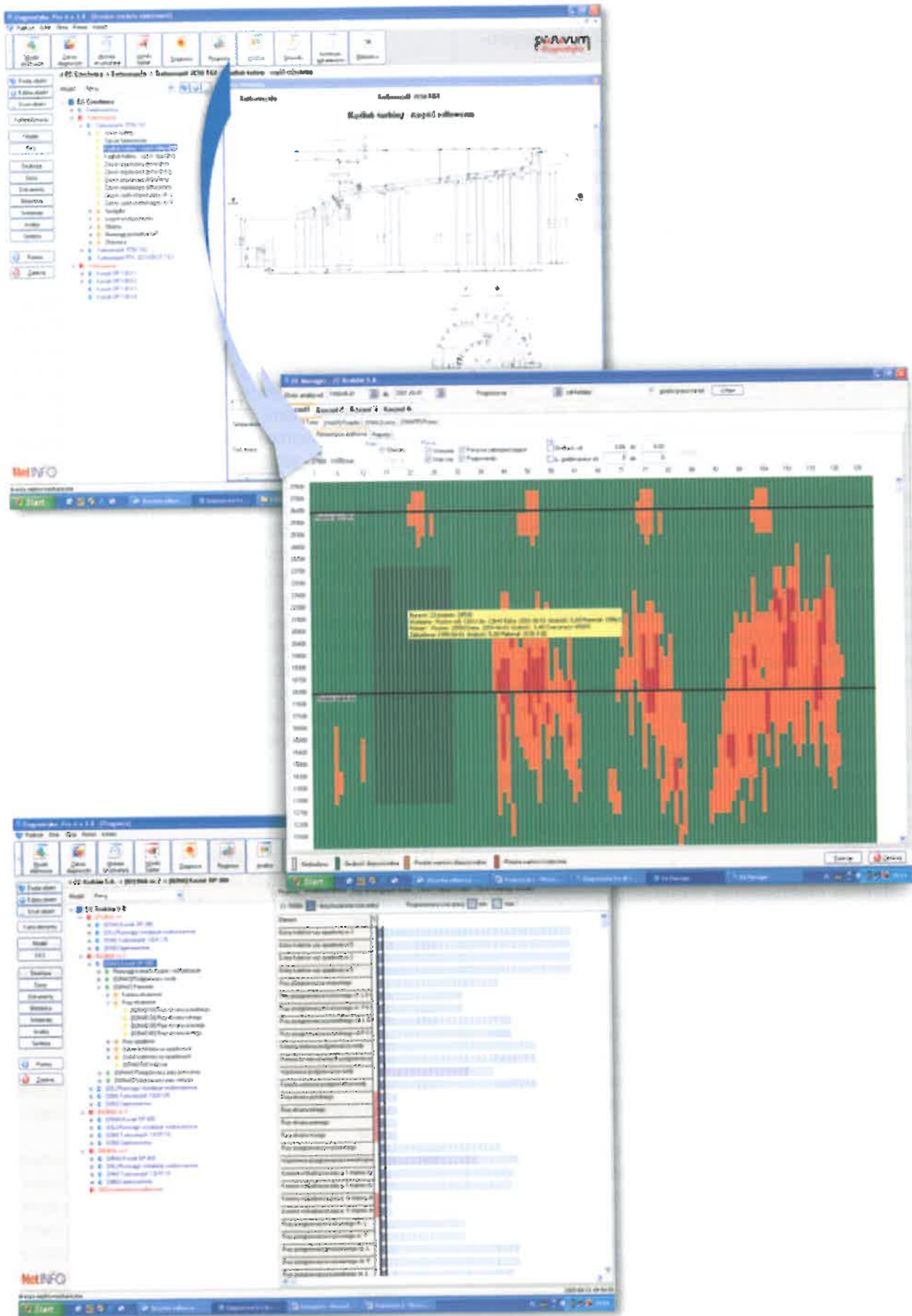
Jeśli pojawiały się „nowe” problemy m.in. korozja niskotlenowa rur ekranowych, po wprowadzeniu nowych palników niskoemisyjnych, to stosując znane od lat metody badań zjawisko to zarówno prawidłowo i szybko opisano jak i wyjaśniono.

Trudniej było wyeliminować lub ograniczyć negatywne skutki korozji niskotlenowej. Zadanie to wymaga wiedzy i doświadczenia. Dzisiaj po około dziesięciu latach od zauważenia negatywnych skutków ubocznych po wprowadzeniu palników niskoemisyjnych, dość dobrze rozumiemy zarówno przyczyny naszych sukcesów jak i niepowodzeń.

### Więcej informacji czy wiedzy?

Jeśli przyjąć, że diagnostyka to rodzaj procesu od informacji do wiedzy (rys. 1 – 3), to może rodzić się pytanie co ważniejsze. Pytanie nie jest teoretyczne, bo często można spotkać w praktyce pytanie w stylu: jaką masz aparaturę? Rzadziej – czy masz odpowiednią wiedzę i doświadczenie, żeby poprawnie zinterpretować wyniki?

Oczywiście obydwie części procesu są ważne, bo wiedza (w sensie naukowo-technicznym) to rezultat empirycznej analizy faktów. W zależności od rodzaju problemu nacisk na zdobywanie kolejnych informacji może być różny, na ogół im większa wiedza tym mniejsze znaczenie mają pojedyncze informacje. Częściej jest tak, że aktualizowanie wiedzy nie wymaga informacji tak dużo jak, w fazie jej tworzenia. Tak jak wiedza nie jest wszystko to co się wie, tak również nie każda informacja musi przybliżać do powstania pełnej wiedzy. Dużo informacji generowanych bez rozsądnych potrzeb to szum informacyjny, który często problem bardziej zaciemnia niż wyjaśnia. Najgorszy z możliwych pomysłów na badania to stosowanie metod, których rezultatów nie można odnieść bezpośrednio do wcześniejszych wyników, bo to najczęściej oznacza, że nie można ich zweryfikować. Wtedy powstaje sytuacja nieco paradoksalna, że dysponując ultranową metodą pomiarową w większym stopniu należy „wiedzę” opierać na wierze niż stosując metody mniej dokładne.



Rys. 6. Home pages LM System PRO® oraz aplikacji RE Manager

Problemy nie dotyczą tylko badań (i informacji), możliwe, że w większym stopniu dotyczą wiedzy, czyli umiejętności interpretacji faktów.

O ile aparaturę można kupić bez problemu i uzyskać odpowiednie uprawnienia dla obsługi, o tyle wiedzy (know how) w zasadzie się nie sprzedaje, uzyskuje się ją (lub nie) w mozolnym, wieloletnim procesie nauki (i samokształcenia). W krajowej energetyce (możliwe, że nie całej) z wiedzą są co najmniej dwa problemy:

- nie wiadomo ile (czytaj niewiele) kosztuje,
- nie ma procedur ani instytucji, które zajmują się, z formalnego punktu widzenia, jej weryfikacją.

Niestety w obydwu dziedzinach odbiegamy mocno od standardów europejskich, także światowych. Know how dotyczące długo eksploatowanych urządzeń w krajowej energetyce to domena polskich specjalistów, w zakresie urządzeń nowych, jak na razie, chyba też.

Co w tej sytuacji może być działaniem rozsądnym i użytecznym? Wydaje się, że położenie nacisku na porządkowanie wiedzy i jej aktualizację w systemowo zorganizowany sposób może przynieść efekty w postaci lepszej i tańszej obsługi technicznej urządzeń. Jedną z możliwych propozycji w tym zakresie jest przedstawiony podczas poprzedniego Sympozjum [6] i wdrażany w kilku elektrowniach LM System PRO®, który jest narzędziem integrującym wiedzę z badań diagnostycznych wykonywanych podczas postojów (remontów urządzeń) oraz na podstawie zarejestrowanych w trakcie pracy istotnych z punktu widzenia diagnostyki, parametrów pracy i zdarzeń (rys. 3). System ten już na obecnym etapie jego wdrażania przynosi konkretne korzyści:

- archiwizuje w odpowiedni sposób informacje nt. historii eksploatacji,
- archiwizuje dokumentację istotną z punktu widzenia diagnostyki,
- udostępnia mechanizmy aktualizacji wiedzy,
- udostępnia mechanizmy integracji zewnętrznych aplikacji np. do kompleksowej analizy stanu rur ekranowych (RE Manager), rys. 6.

Zadanie opisane wyżej nie należy do prostych, przede wszystkim dlatego, że napisanie wzmiankowanego programu lub innego nie rozwiązuje automatycznie problemu. Zadanie to ma bowiem także trudny aspekt organizacyjny, co może oznaczać dłuższy okres wdrażania i nakłady nieco większe niż koszt zakupu samego oprogramowania.

Zapoczątkowuje jednak proces wprowadzania ściślejszych standardów w zakresie badań diagnostycznych i relacjach z ich wykonawcami (m.in. możliwość automatycznego transferu wyników do baz danych). Wprowadza ogólnie przyjęte standardy w zakresie rejestracji i analizy danych dot. awarii [3, 4]. Może być użytecznym narzędziem wspomagającym planowanie remontów wg standardu CBM i stanowić właściwy punkt startu do bardziej zaawansowanych strategii remontowych (RBI).

## Podsumowanie i wnioski

Jeśli traktować diagnostykę jako narzędzie do kreowania wiedzy użytecznej dla eksploatacji i remontów, to niezależnie od tego czy przedmiotem badań jest urządzenie nowe, stare czy zmodernizowane obowiązują te same reguły postępowania.

Metodyki badań i oceny muszą być podporządkowane imperatywowi zdobywania wiedzy w możliwie najprostszym (najtańszym) sposób. Użytkownicy powinni zwracać uwagę bardziej na wiedzę badających niż jakiego dostawcy aparaturę mają ze sobą. Problemem jest nie tylko wykrycie wskazania, ale także prawidłowa jego interpretacja. Nowe urządzenia ciepłno-mechaniczne, poza nielicznymi wyjątkami działają wg takich samych zasad jak stare. Kto ma wystarczającą wiedzę, aby skutecznie badać i oceniać urządzenia stare ten, w większości przypadków, poradzi sobie z problemami na urządzeniach nowych.

Brakuje obecnie dowodów na to, że na urządzeniach starych (coraz starszych) pojawiły się nowe, nieznane dotychczas problemy techniczne, jest coraz więcej dowodów na to, że także na nowych urządzeniach występują problemy i są takie same lub podobne do tych, jakie zidentyfikowano dotychczas na obiektach starych.

Dzisiaj w rankingu „nowych” problemów diagnostyki czołową pozycję zajmuje problem „stary” jak diagnostyka. Jak ją zorganizować, uwzględniając wyłącznie produkcyjne funkcje współczesnych elektrowni, żeby przyniosła największe korzyści. Z logicznego i technicznego punktu widzenia zagadnienie nie jest specjalnie skomplikowane. Praktyka pokazuje jednak, że logika to argument uwzględniany w dalszej kolejności.

## LITERATURA

- [1] Dobosiewicz J.: Badania diagnostyczne urządzeń ciepłno-mechanicznych w energetyce. Część 1. Zagadnienia ogólne. Turbiny i generatory. Biuro Gamma, Warszawa 1998
- [2] Dobosiewicz J.: Badania diagnostyczne urządzeń ciepłno-mechanicznych w energetyce. Część 2. Kotły i rurociągi. Biuro Gamma, Warszawa 1999
- [3] Żółkiewski B., Czempiel C. (red.): Inżynieria diagnostyki maszyn. Polskie Towarzystwo Diagnostyki Technicznej, Warszawa 2004
- [4] Sturm F. A.: Efficient Operations. Intelligent Diagnosis and Maintenance. VGB PowerTech Service GmbH, Essen 2003
- [5] Reliability Data for Nuclear Power Plant Components: Analysis for 2002. VGB PowerTech Service GmbH
- [6] Trzeczcyński J., Białek S.: Monitorowanie żywotności urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrociepłowni. Materiały konferencyjne VI Sympozjum: „Diagnostyka i remonty długo eksploatowanych urządzeń energetycznych”. Ustroń 2004

