

Jerzy Trzecznyński

## Kiedy diagnostyka przynosi korzyści?

Coraz rzadziej kontestowany jest – oczywisty skądinąd – pogląd, że produkcja prądu elektrycznego i ciepła musi przynosić odpowiednio wysoki dochód. To warunek obecności na coraz bardziej konkurencyjnym rynku energii, możliwości bezpośredniego inwestowania oraz otrzymania kredytowego wsparcia na atrakcyjnych warunkach. W polskiej energetyce kryterium „spokoju społecznego” ma od wielu lat wyższy priorytet niż kryterium ekonomicznej efektywności. Stąd nakłady na utrzymanie są niższe od teoretycznie możliwych przy obecnych taryfach na prąd i cenach paliwa.

W tych warunkach w elektrowniach podejmowane są działania, które mają za zadanie raczej zredukowanie nakładów niż ich optymalizowanie. Działania mają nierzadko charakter arbitralny i intuicyjny. Jeśli nawet dostrzeżenie sukcesy takiego podejścia, to dotyczą one zdecydowanie krótkoterminowej perspektywy. Dla bloków energetycznych, które będą eksploatowane dłużej niż ca 50 000 godzin to – w oczywisty sposób – zła strategia.

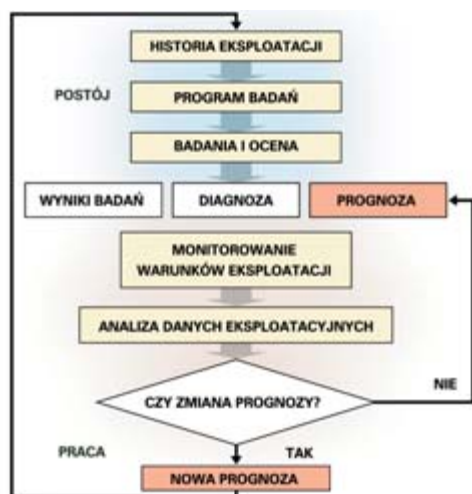
Jednym z niekwestionowanych warunków poprawnej strategii jest właściwe wykorzystanie diagnostyki. Przez „właściwe” należy rozumieć jednak nie tyle wykorzystanie jakiś specjalnych,

„bardzo nowoczesnych” metod badań, ale także jej zorganizowanie, aby jej rezultatem, zamiast pojedynczych spektakularnych informacji, była wiedza pozwalająca dostosowywać nakłady do rzeczywistych potrzeb, co nie zawsze oznacza ich redukcję.

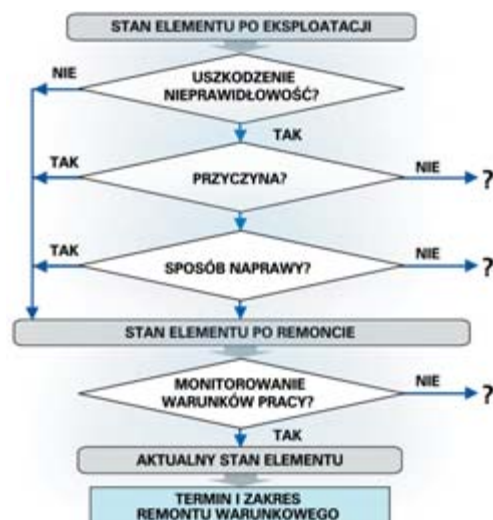
### Kiedy mamy do czynienia z diagnostyką?

Bez badań i pomiarów nie ma diagnostyki. Badania i pomiary to jednak tylko jej fragment. Wyniki badań i pomiarów powinny umożliwiać sformułowanie poprawnej oceny stanu elementu (diagnozy) oraz prognozy eksploatacji. W przypadku wykrycia uszkodzenia lub/i nieprawidłowości powinny umożliwić określenie ich przyczyny oraz sposób usunięcia lub ograniczenia szkodliwego wpływu [1]. Bez takiego działania prognoza jest nic nie warta, jeśli ktoś ma odwagę ją formułować (rys. 2).

Interpretacja wyników badań, ocena stanu i formułowanie prognozy to spora umiejętność wymagająca interdyscyplinarnej wiedzy i doświadczenia. Oczekiwania, jakie stawiamy diagnostyce można spełnić tylko wtedy, gdy traktujemy ją jako logicznie zorganizowany proces (rys. 1) [2 – 4].



Rys. 1. Schemat diagnostyki obejmującej wyniki badań urządzenia podczas jego postoju oraz analiza wpływu warunków eksploatacji na jego aktualny stan techniczny



Rys. 2. Remont warunkowy jako rezultat wykorzystania systemu diagnostycznego

## System diagnostyczny

Jeśli diagnostykę traktować inaczej niż logicznie zorganizowany system, to nawet sformułowanie poprawnego programu badań jest zadaniem niewykonalnym. Program badań musi bowiem wynikać z retrospekcji, której ważną częścią są ...wyniki wcześniej wykonanych badań.

Zorganizowanie systemu diagnostycznego, choć teoretycznie wydaje się proste, w rzeczywistości wcale do łatwych nie należy. Długofalowe, konsekwentne działanie, obiektywizm, kompetencje, dokumentowanie wyników badań, ocen stanu, informacji remontowych, zdarzeń awaryjnych, modernizacji i wymian tylko z pozoru wydaje się nie przedstawiać większych trudności. W istocie tylko nielicznym elektrowniom udało się go zrealizować ...w pewnym zakresie.

### Organizacja diagnostyki

Potencjalnie i realnie, poprawnie działającym systemem diagnostycznym powinni być zainteresowani:

- użytkownik urządzenia,
- firma sprawująca serwis urządzeń,
- dostawca urządzeń (nawet, jeśli nie wykonuje serwisu fabrycznego).

W polskiej energetyce sytuacja pod tym względem była i jest odbiegająca od przyjętych w świecie standardów.

Przed 1990 rokiem najbliższej typowej sytuacji w zakresie organizacji utrzymania urządzeń było ZEOPd. Służby diagnostyczne integrowały wiedzę z utrzymania urządzeń kilkunastu elektrowni. Stanowiły rzeczywiste zaplecze intelektualne dla organizacji energetycznej, mogły skutecznie bronić jej interesu. Było to o tyle łatwe, że dostawcy nie byli specjalnie zainteresowani serwisem i forowaniem własnego biznesu ...bo i tak nie mogli nadążyć z produkcją, której oczekiwał od nich państwowy zarządca.

Aktualnie rozróżnienie interesu dostawcy i użytkownika jest coraz lepiej widoczne. Anomalie dają się zauważać częściej po stronie użytkownika. Serwis ciągle jeszcze zorganizowany jest według kryterium geograficzno-terytorialnego. Nawet w organizacjach energetycznych brak jest, z prawdziwego zdarzenia, centrów zarządzania wspólną wiedzą i doświadczeniem w zakresie utrzymania urządzeń. Utrzymanie urządzeń, w tym diagnostyka, są silnie spersonalizowane. Ściana pomiędzy kotłownią i maszynownią jest bardzo często nieprzekraczalną granicą dwóch światów. Bywa, że nawet rurociągi łączące kocioł z turbiną bardziej dzielą niż łączą specjalistów odpowiedzialnych za utrzymanie stanu urządzeń maszynowni i kotłowni.

Przy wzroście pozycji i siły dostawców, co należy traktować jako stały trend i standard w zakresie nowych urządzeń, brak intelektualnego zaplecza zintegrowanego, kompetentnego i wyposażonego w odpowiednie narzędzia gromadzenia i przetwarzania informacji oraz wiedzy jest istotną słabością organizacji energetycznych. Zapominają często, że dostawca „żyje” nie tylko ze sprzedawania nowych urządzeń, ale także z ich serwisu (części zamiennych, etc), który jest ważną, bo znaczącą częścią ich biznesu.

### Jak badać i oceniać stan urządzeń?

Najprościej można stwierdzić, że należy badać prosto, szybko i tanio. Przy właściwie zdefiniowanych obowiązkach

i interesach: użytkownika, dostawcy i firmy serwisującej stan urządzeń, na wyrafinowane metody badań miejsce jest wyłącznie wtedy, gdy pojawia się nietypowy problem. Przy poprawnie zorganizowanym systemie diagnostycznym, to raczej rzadki przypadek. W naszej rzeczywistości zdarza się to częściej, w większości przypadków na zasadzie ponownego „odkrycia Ameryki”.

W dobrze zorganizowanym systemie diagnostycznym zawsze wiadomo co?, kiedy? i w jaki sposób badać. Do nowości należy podchodzić sceptycznie, najlepiej sięgać po nie wtedy, gdy nie ma wątpliwości, jak je stosować i jak wykorzystać zdobyte za ich pomocą informacje. Trzeba pamiętać o fundamentalnej zasadzie, nie tylko diagnostyki, że racjonalne podejście to takie, które pozwala rozwiązać problem, a nie stwarzać następne.

Znacznie trudniejszym zagadnieniem od badań jest interpretacja wyników i ocena stanu.

Normy, standardy, wzorce (np. mikrostruktur) można wykorzystać w – wielu przypadkach – tylko w ograniczonym zakresie.

Ocena na podstawie mikrostruktury ma charakter subiektywny; rzadko także można dotrzeć do jej obrazu w stanie wyjściowym. Obliczenia z uwagi na przybliżoną tylko znajomość aktualnych własności materiału oraz rzeczywistych warunków eksploatacji obarczone są znacznym błędem, przeciętnie nie mniejszym niż 30%. Wiele uszkodzeń (deformacji, pęknięć termosokowych, ubytków korozyjnych i erozyjnych) ma charakter losowy, jest związana z błędami eksploatacji i tylko w ograniczonym stopniu może być analizowana na drodze obliczeniowej [1].

W takich przypadkach decydujące znaczenie ma długoletnie doświadczenie, dostęp do wyników statystycznej analizy uszkodzeń oraz znajomość historii eksploatacji. Na etapie oceny stanu najwyraźniej można dostrzec znaczenie systemowego podejścia do diagnostyki. Bez możliwości analizy porównawczej analogicznych lub podobnych przypadków, bez znajomości dokładnej historii eksploatacji, w tym w szczególności zakłóceń w pracy urządzeń, praktycznie użyteczna ocena stanu jest w wielu przypadkach niewykonalna.

### Diagnostyka a strategie utrzymania urządzeń

Wszystkie powszechnie znane strategie utrzymania: CBM, RCM i RBM wymagają systemowego podejścia do diagnostyki. Drogi „na skróty” nie ma. Na przestrzeni ostatnich lat szczególną popularność zdobyła sobie metodyka oparta na analizie ryzyka [5]. Podejście ma charakter uniwersalny i może być stosowane do wyboru strategii operacji finansowych, ubezpieczeniowych, jak i utrzymania majątku produkcyjnego, np. elektrowni. Metodyka wymaga m. in. sformułowania:

- listy problemów,
- prawdopodobieństwa ich wystąpienia,
- konsekwencji ich wystąpienia,
- oceny ryzyka,
- listy działań prowadzących do rozwiązania problemów.

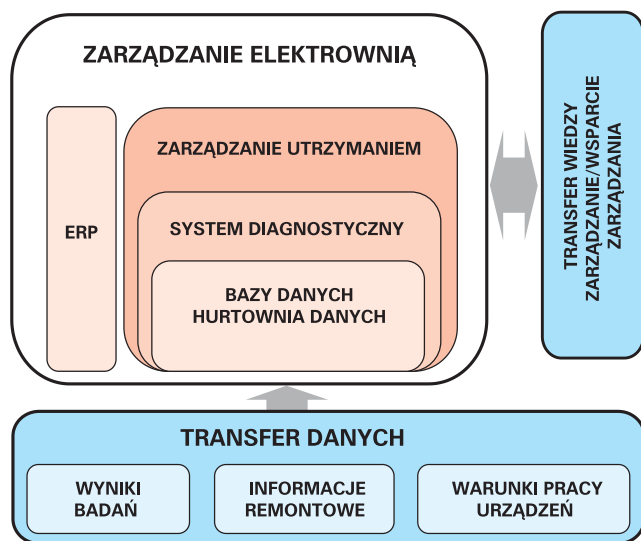
Atutem metodologii jest drobiazgowo rozłożenie „na czynniki pierwsze” wszystkich czynników związanych bezpośrednio i pośrednio z powstawaniem uszkodzeń, ich konsekwencji dla zakłóceń produkcji oraz listy działań zapewniających rozwiązanie problemów.

Sporą trudność stanowi określenie prawdopodobieństw wystąpienia określonych zjawisk. Analiza jakościowa uwarunkowana jest ogólną wiedzą i wiąże się ze znaczną pracochłonnością. Analiza ilościowa wymaga konkretnej wiedzy, m.in. dot. statystyki uszkodzeń, wpływu warunków eksploatacji na występowanie poszczególnych typów uszkodzeń.

Takie informacje może zapewnić wyłącznie system diagnostyczny (np. Moduł Analizy Awaryjności w LM System PRO® – rys. 4) [6].

### Oprogramowanie jako wygodna forma systemu diagnostycznego

Nawet pobieżna analiza schematu systemu diagnostycznego przedstawionego na rysunku 1 prowadzi do spostrzeżenia, że można go potraktować jako koncepcję ogólnej architektury oprogramowania. Implementacja poszczególnych funkcji systemu zintegrowanego z otoczeniem programistycznym użytkownika oraz jego personelem jest przedsięwzięciem dosyć pracochłonnym, natomiast wyposażenie go w funkcje zaawansowanej analizy wymaga całkiem sporej wiedzy. Efektem inspiracji schematem z rysunku 1 oraz paroletniej pracy specjalistów *Pro Novum* i *NetInfo* [7], jak również niektórych elektrowni [6, 8] jest LM System PRO® (rys. 3) wyposażony – jak dotychczas – w kilkanaście modułów możliwych do instalowania w bardzo różnorodnej konfiguracji. Korzystanie



Rys. 3. Ogólny schemat zarządzania elektrownią ze szczególnym uwzględnieniem zarządzania majątkiem produkcyjnym

z programu nie będzie wymagało jego zakupu. Wszystkie funkcje programu mogą być dostępne z serwera *Pro Novum*.

Zakup programu czy możliwość korzystania z jego funkcji nie są oczywiście równoznaczne z zakupem systemu diagnostycznego. Dla oprogramowania j.w. trzeba zapewnić współpracę z „otoczeniem” stwarzając m.in. odpowiednio wymagania dla:

- komórek organizacyjnych elektrowni zajmujących się identyfikacją i usuwaniem awarii,
- firm diagnostycznych\*,
- firm remontowych\*.

To niezbyt wygórowana cena za uporządkowanie ważnych dla utrzymania informacji i zaawansowane możliwości ich analizy.

### Zarządzanie majątkiem produkcyjnym – co to znaczy?

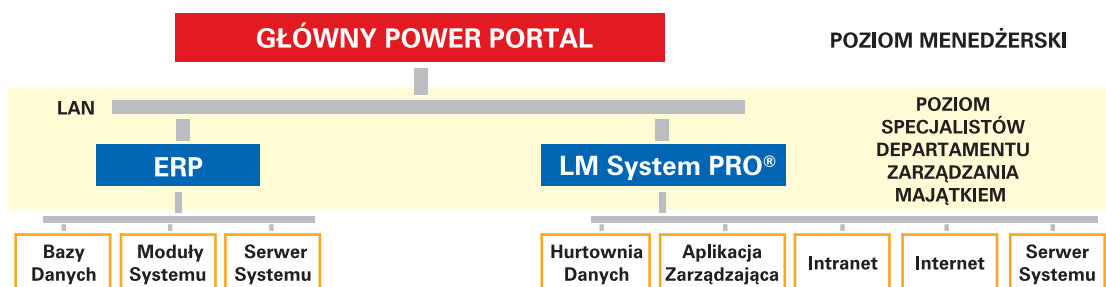
Instalowane w elektrowniach od wielu lat programy typu ERP (Enterprise Resource Planing) tylko w niewielkim stopniu dotykają zagadnień związanych z zarządzaniem majątkiem produkcyjnym. Analiza danych dotyczących kosztów remontowych, części zamiennych, awaryjności w sensie listy zdarzeń nie dotyka istoty problemu z technicznego (ale także ekonomicznego) punktu widzenia.

Nie tylko zakupy, magazyn, zasoby ludzkie, sprzedaż, etc są wielkościami o charakterze dynamicznym. Dotyczy to także infrastruktury technicznej.

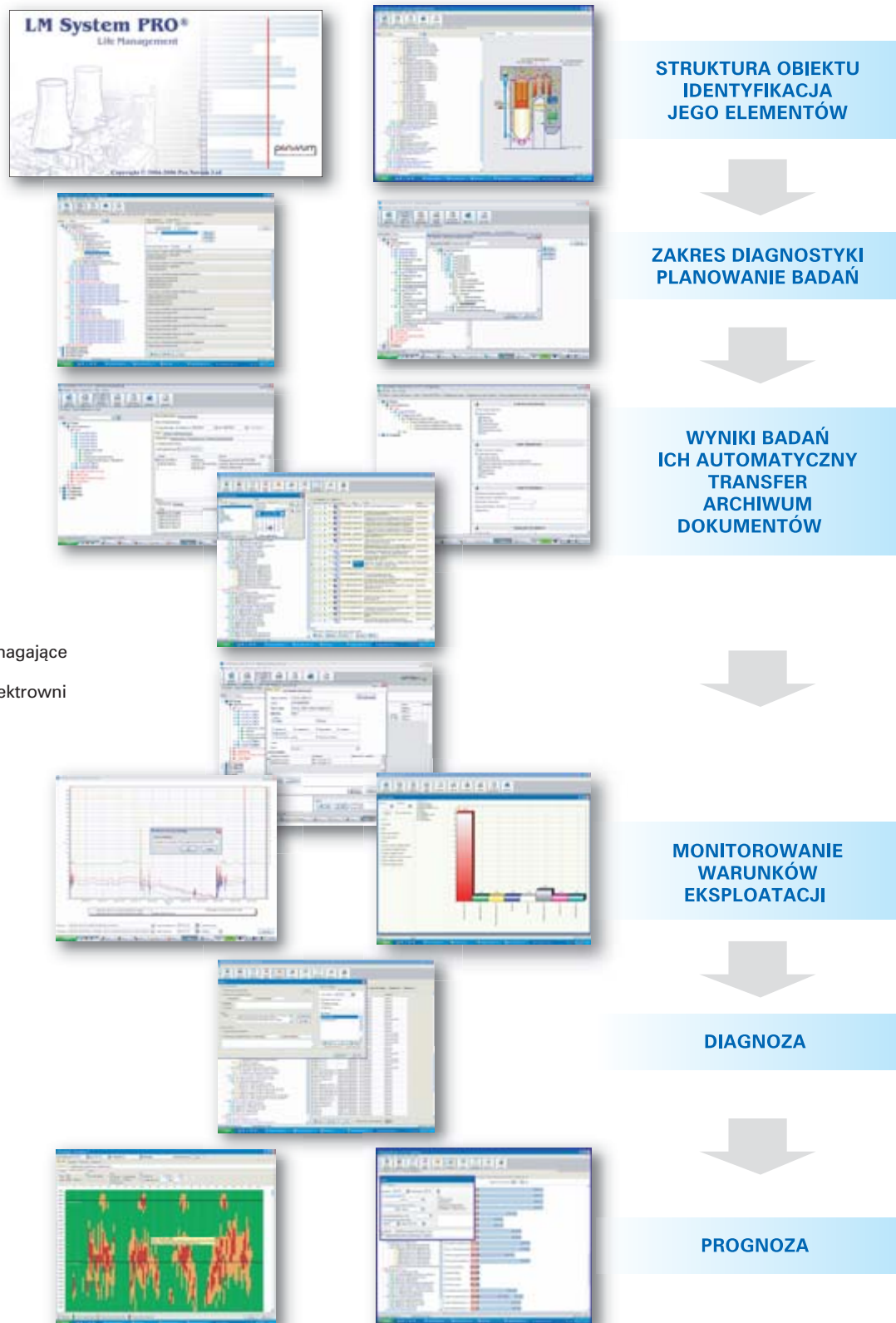
Stan techniczny (trwałość) urządzeń zmienia się w zależności od wielu czynników. Poszczególne elementy urządzeń ulegają wyczerpaniu trwałości w różny sposób. Analiza Awaryjności to coś więcej niż lista zakłóceń [6]. Jeśli nie można ich analizować m.in. ze względu na przyczynę, lokalizację, częstotliwość niewiele nam pomaga i w praktyce niewiele przybliża do strategii RCM lub RBM.

Właściwe podejście, prawie identyczne z naszą wiedzą i doświadczeniem [8] (rys. 3) prezentują m.in. firmy *SAP* i *Siemens* [9], które oferują rozwiązanie polegające na rozdzieleniu zarządzania stanem technicznym urządzeń (Siemens Cockpit) od zarządzania pozostałymi zasobami elektrowni (SAP Enterprise Portal), (rys. 4). Obydwie dziedziny zarządzania integrowane są na poziomie menedżerskim (Power Portal). W proponowanym przez *Pro Novum* rozwiązaniu zakłada się, że funkcję zbliżoną do Siemens Cockpit może pełnić LM System PRO® (rys. 4 i 5).

\*) Wyniki badań i wybrane dane remontowe muszą być zapisywane i transferowane w odpowiednim formacie, aby bezobsługowo trafiały do baz danych.



Rys. 4. Optymalna lokalizacja systemu wspomagania zarządzania majątkiem produkcyjnym elektrowni w informatycznym systemie wspomagania zarządzania elektrownią (organizacją energetyczną) – na podstawie [9]



Rys. 5. LM System PRO®  
– oprogramowanie wspomagające zarządzaniem utrzymaniem majątku produkcyjnego elektrowni

### Podsumowanie i wnioski

Poprawnie zorganizowany system diagnostyczny to podstawa każdego systemu utrzymania urządzeń. Oprogramowanie jako bardzo użyteczna forma jego realizacji powinno być aktualnie standardem. Podnosi to nie tylko komfort pracy, wyposaża go także w funkcję znacznie bardziej istotną

– system jest tam, gdzie jest terminal umożliwiający dostęp do jego zasobów. Także wprowadzanie danych może być realizowane w identycznym trybie.

Diagnostyka zorganizowana w system, który jest częścią systemu utrzymania przynosi korzyści każdemu, kto potrafi go użytecznie wykorzystać. Beneficjentem może być zarówno użytkownik, dostawcy urządzeń jak i firmy serwisowe.

## Literatura

- [1] Trzeczcyński J.: Creep and creep-fatigue failures of the power units elements after long time operation. ECCC Conference Proceedings. Creep and Fracture in High Temperature Components – Design and Life Assessment Issues. London. September 2005
- [2] Dobosiewicz J.: Badania diagnostyczne urządzeń ciepłomechanicznych w energetyce. Część 1 i 2. Biuro Gamma. Warszawa 2004
- [3] Sturm F.A.: Efficient Operations. Intelligent Diagnosis and Maintenance. VGB PowerTech Service GmbH. Essen 2003
- [4] Trzeczcyński J.: Nowe – stare problemy diagnostyczne długo eksploatowanych urządzeń energetycznych. Materiały Konferencyjne VII Sympozjum „Diagnostyka i remonty długo eksploatowanych urządzeń energetycznych”. Ustroń 2005
- [5] Instruction sheet: Recommendation for the introduction of Risk based maintenance. VGB – M130e. First Edition 2004
- [6] Wojtkiewicz R.: Pierwszy krok w kierunku strategii remontowej opartej na analizie ryzyka (RBM) na przykładzie praktycznej aplikacji modułu do dokumentowania awaryjności urządzeń w systemie diagnostycznym *EC Kraków*. Materiały Konferencyjne IX Sympozjum „Diagnostyka i remonty długo eksploatowanych urządzeń energetycznych”. Ustroń 2007
- [7] Bojek L., Mieszczenko R.: Wdrożenie Systemu LM SYSTEM PRO w *Vattenfall Heat Poland SA* krokiem w kierunku zintegrowania wiedzy o stanie technicznym urządzeń. Materiały Konferencyjne IX Sympozjum „Diagnostyka i remonty długo eksploatowanych urządzeń energetycznych”. Ustroń 2007
- [8] Trzeczcyński J., Białek S.: Monitorowanie trwałości urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni. Materiały konferencyjne VI Sympozjum „Diagnostyka i remonty długo eksploatowanych urządzeń energetycznych”. Ustroń 2004
- [9] Aydt J., Krat H-R.: Das PowerPortal für die EnBW Kraftwerke AG – Realisierung und erste Erfahrungen. VGB PowerTech 9/2006

Jerzy Dobosiewicz, Ewa Zbroińska-Szczuchura

# Ocena stopnia zużycia ciśnieniowych elementów kotłów pracujących w warunkach pełzania

## Typowe uszkodzenia

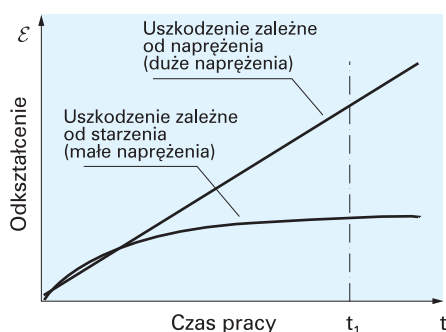
Większość uszkodzeń elementów pracujących w warunkach pełzania, a w tym szczególnie powierzchni ogrzewalnych kotła (węzownice przegrzewaczy), spowodowana jest przegrzaniem materiału (praca w temperaturze przekraczającej projektową  $t_0$ ). Przegrzanie może nastąpić wskutek długotrwałego, nieznacznego lub krótkotrwałego, lecz znacznego, przekroczenia temperatury dopuszczalnej dla danego gatunku materiału. Uszkodzeniom od przegrzania często towarzyszą ubytki grubości ścianki (korozja i/lub erozja), a tym samym wzrost naprężeń. Długo eksploatowane rurociągi i elementy grubościennne (komory, korpusy, kształtki) poddane działaniu naprężeń i temperatury, wyższej niż temperatura graniczna,

ulegają uszkodzeniom pełzaniowym, zmianom struktury i fizycznym uszkodzeniom aż do pęknięć, eliminujących te elementy z dalszej eksploatacji.

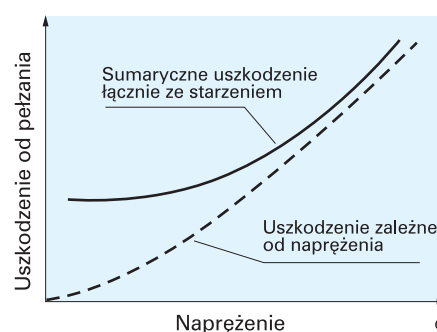
Wpływ naprężenia i czasu pracy na niszczenie przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

## Zasady obliczeń projektowych

Grubości ścianek elementów ciśnieniowych, w przypadku gdy pracują poniżej temperatury granicznej, są liczone wg granicy plastyczności ( $R_{eT}$ ). Dopuszczalne naprężenie przyjmuje wartość  $k = \frac{R_{eT}}{1,65}$  i teoretycznie trwałość tych elementów jest nieograniczona. Wyraźne wyczerpanie pełzaniowe



Rys. 1. Odkształcenie metalu w zależności od czasu pracy i naprężenia [2]



Rys. 2. Stopień uszkodzenia metalu w zależności od naprężenia [2]