

# Biuletyn

nr 2/2013

Zespół redakcyjny: mgr inż. Jerzy Dobosiewicz,  
dr inż. Jerzy Trzeszczyński



nr LB-003/09 nr LB-179/09

**proNovum**<sup>®</sup>  
RESEARCH & TECHNOLOGICAL SERVICES  
Centrum Badawczo – Rozwojowe



## Szanowni Państwo

Podobnie jak w poprzednich latach, ukazujący się w grudniu Biuletyn Pro Novum wypełniają wybrane referaty specjalistów naszej firmy wygłoszone podczas kolejnego, zorganizowanego przez Pro Novum Sympozjum. Tegorocznemu XV Sympozjum nadałmy jubileuszowy charakter. 15 spotkań, przy ciągle rosnącej liczbie uczestników, nawet sceptycznie nastawieni nasi rozmówcy uznali za sukces. Pomimo upływu czasu ciągle nam, organizatorom i kolejnemu pokoleniu uczestników Sympozjum towarzyszy ten sam entuzjazm i zainteresowanie prezentowaną tematyką referatów oraz dyskusji.

Już gdy rozpoczynaliśmy organizację pierwszego Sympozjum w 1999 roku wyraźnie dawało się zauważyć, że kończy się nie tylko poprzedni wiek, ale także kolejna epoka polskiej energetyki. Na początku transformacji ustrojowej w Polsce nasza energetyka była młodsza od obecnej o prawie 150 tysięcy godzin pracy

urządzeń i praktycznie niezależna od zagranicznych dostawców. Ich konstrukcje powstawały w polskich biurach projektowych, bloki budowały polskie firmy montażowe, których potencjał przekraczał polskie potrzeby. Od tego czasu opisane wyżej możliwości polskich dostawców, biur projektowych i firm montażowych ogromnie się skurczyły. W tym czasie nastąpiło niespotykane wcześniej, chyba także w innych krajach, otwarcie naszej energetyki „na świat”.

Pierwsze i kolejne modernizacje bloków w Polsce pokazały, że energetyka jest źle zorganizowana. Indywidualne elektrownie przyjęły indywidualne strategie techniczne, nie tylko w obszarze modernizacji, ale także w zakresie maintenance'u, w tym diagnostyki. Taka sytuacja trwa do dzisiaj, mimo że od ponad 10 lat grupy energetyczne usiłują zintegrować elektrownie.

Sytuacja opisana powyżej rodzi nadal wiele problemów w zakresie wykonywania profesjonalnej diagnostyki. Systemów diagnostycznych jest więcej niż elektrowni w grupie, a nawet więcej niż urządzeń w elektrowni. Czy stanowi to problem dla polskiej energetyki? Tak, bo w diagnostyce jest znacznie mniej systemów optymalnych niż liczba elektrowni w Polsce. Szczególnie jednak dlatego, że diagnostyka to nie tylko badania, ale także wiedza wynikająca z badań elementów wycofanych z eksploatacji oraz analiz awaryjności. Modernizacje wykonywane według przeróżnych standardów i badania prowadzone według różnych metodyk sprawiły, że wyniki są trudno porównywalne lub w ogóle niemożliwe do porównania.

Pro Novum, jako organizator Sympozjów, a jednocześnie firma diagnostyczna o ponad 26-letnim doświadczeniu, jeśli nie uwzględnić prawie 50-letnich doświadczeń zawodowych jej najwybitniejszych specjalistów, na każdym Sympozjum broniła diagnostyki jako dziedziny wiedzy technicznej, a nie tylko źródła informacji. Od prawie 10-ciu lat staramy się, niezależnie od tematyki corocznych Sympozjów, wskazywać zarówno na potrzebę posługiwania się standardami technicznymi, zwłaszcza przy przedłużaniu czasu pracy bloków i urządzeń energetycznych, jak również odpowiedniej organizacji badań i zarządzania wiedzą uzyskiwaną na ich podstawie.



Sala obrad – Rok 2001



Sala obrad – Rok 2009



Sala obrad – Rok 2013

Energetyka

Przez kilka ostatnich Sympozjów prezentowaliśmy opracowane przez Pro Novum przy współudziale specjalistów z wydziałów zarządzania majątkiem elektrycznym „Wytyczne przedłużania eksploatacji do 350 tys. godzin urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni wyposażonych w bloki 200 MW”. Przy opracowywaniu tego dokumentu współpracowaliśmy też z Urzędem Dozoru Technicznego. Niektóre elektrownie wdrożyły go do praktycznego stosowania. Szkoda, że nie wszystkie, bo na razie brak opublikowanych, kompletnych innych tego rodzaju propozycji.

Podczas naszych Sympozjów niewiele mówiliśmy o diagnostyce urządzeń na nowych blokach energetycznych. To da się prosto wytłumaczyć. Takich urządzeń jest stosunkowo niewiele, część z nich jest jeszcze na gwarancji, niektóre posiadają serwisy fabryczne. Niestety są to, i wygląda na to, że nie ulegnie to zmianie, pojedyncze konstrukcje zawierające, każda z nich inne, prototypowe rozwiązania techniczne monitorowane przez - na ogół niedostępne dla użytkownika - systemy kontrolno-rejestrująco-analityczne. Kreowanie użytecznej wiedzy o stanie technicznym takich urządzeń, alternatywnej w stosunku do tej, jaką dysponują dostawcy, to spore wyzwanie dla inwestorów. To jednak nieodzowne dla tych, którzy chcą eksploatować bloki z maksymalnym ekonomicznym efektem.

Energetyka w Polsce jest dziś w takiej sytuacji, że tematyka kolejnych Sympozjów, aby była aktualna, musi być ustalana nie wcześniej niż pół roku przed inauguracją kolejnego z nich. W niektórych przypadkach i niektórych latach tempo zmian było jeszcze szybsze. To groźne, zwłaszcza dla budowania wiedzy i kompetencji technicznych. Od tego, jak zostanie rozwiązany ten problem, a nie od tempa budowy nowych bloków, będzie zależeć czy bezpieczeństwo energetyczne będziemy mieć przede wszystkim oparte na unijnej solidarności, a ceny energii na poziomie akceptowalnym dla bardziej energochłonnego przemysłu i naszych obywateli, uwzględniając ich poziom dochodów.

Jerzy Dobosiewicz & Jerzy Trzeszczyński

Miejsca Sympozjów



Hotel Belweder, Ustroń



Hotel Stok, Wisła



Hotel Angelo, Katowice

Jerzy Dobosiewicz, Ewa Zbroińska-Szczechura  
Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” Sp. z o.o.

## Warunki poprawnej analizy przyczyn nieszczelności rur powierzchni ogrzewalnych kotłów

### Conditions for correct analysis of reasons of steam boilers' tube failures

W miarę przybywania urządzeniom energetycznym lat pracy zmieniają się przyczyny i charakter uszkodzeń jakim ulegają elementy powierzchni ogrzewalnych kotłów parowych [1]. Maleje liczba awarii prostych, spowodowanych wadami materiałowymi czy montażowymi, wzrasta natomiast liczba uszkodzeń złożonych, których przyczyną są błędy konstrukcyjne, obliczeniowe oraz, odbiegające od założonych, warunki pracy kotła.

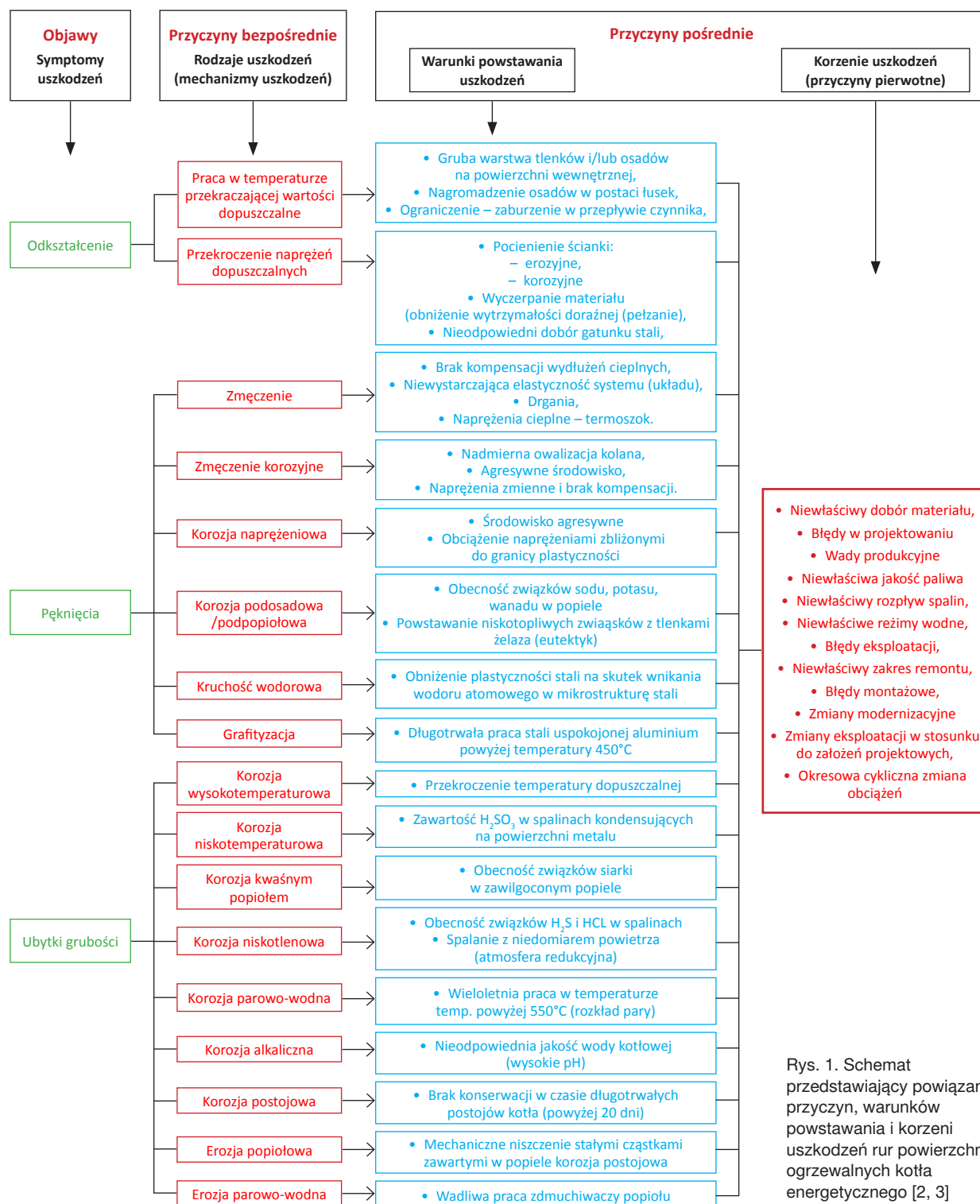
Jak wiadomo elementy współczesnych urządzeń ciepłych, a więc i kotłów parowych, pracują w wyjątkowo trudnych warunkach. Działają na nie jednocześnie naprężenia (stałe i zmienne) oraz erozja i korozja. Niektóre z tych elementów ulegają więc zużyciu (zniszczeniu) wcześniej niż wynikałoby to z obliczeń projektowych, które, nie zawsze, uwzględniają rzeczywiste warunki pracy a, szczególnie, naprężenia zmienne i agresywność środowiska.

## Analiza przyczyn nieszczelności rur

Ustalanie przyczyn uszkodzeń powierzchni ogrzewalnych kotła polega na skojarzonej działalności diagnostycznej i rozpoznaniu:

- objawów uszkodzenia,
- rodzaju uszkodzenia (mechanizmu niszczenia metalu),
- warunków sprzyjających powstawaniu uszkodzenia,
- pierwotnej przyczyny powstania (korzeni) problemu.

Dwie pierwsze czynności są, stosunkowo, łatwe do wykonania i polegają na: oględzinach miejsca awarii, badaniach makro i mikrostruktury, pomiarach geometrii rur, analizie składu chemicznego osadów, potwierdzeniu gatunku materiału tj. wykonania badań na wycinkach rur. Na podstawie tych czynności można ustalić bezpośrednią przyczynę. Ustalenie, natomiast okoliczności powstawania uszkodzeń i źródła powstania problemu (korzeni) wymaga bardziej skomplikowanej procedury między innymi śledzenia i zapisywania danych dotyczących parametrów



Rys. 1. Schemat przedstawiający powiązania przyczyn, warunków powstawania i korzeni uszkodzeń rur powierzchni ogrzewalnych kotła energetycznego [2, 3]

eksploatacji, retrospekcji (dotychczasowego sposobu eksploatacji kotła, przebiegu/rodzaju/miejsca wystąpienia awarii, badań diagnostycznych, wykonanych modernizacji i działań remontowych). Wymaga również gruntownej znajomości konstrukcji kotła i zastosowanych do budowy powierzchni ogrzewalnych gatunków stali.

W oparciu o analizę uzyskanych danych (badania niszczące i nieniszczące oraz odpowiednio rejestrowane parametry eksploatacyjne) ustala się przyczyny uszkodzenia oraz sposób postępowania z ocenianymi powierzchniami, a szczególnie rodzaj i sposób ewentualnej naprawy, zakres wymian, lub zmianę warunków eksploatacji.

Ustalenie przyczyn uszkodzenia elementów powierzchni ogrzewalnych kotła, ze względu na ich skomplikowane warunki pracy, przysparza pracownikom eksploatacji wiele kłopotów. Jak wiadomo, podczas pracy w wysokich temperaturach, przy dużym wyężeniu, w metalu zachodzą różnego rodzaju procesy fizykochemiczne wywołujące degradacje własności wytrzymałościowych. Większość uszkodzeń spowodowana jest ubytkiem grubości ścianki rur i, w konsekwencji, przekroczeniem naprężenia dopuszczalnego. Rodzaj mechanizmu, który powoduje bezpośrednie uszkodzenie rury, zależy od procesów i zjawisk fizykochemicznych działających bezpośrednio na metal.

Niszczenie metalu rur powoduje:

- przegrzanie materiału krótko i długotrwałe (pełzanie),
- zmęczenie (cieplne/korozyjne),
- korozja (naprężeniowa, niskotlenowa, podosadowa, niska- i wysokotemperaturowa, zmęczeniowa, tlenowa, alkaliczna),
- kruchość wodorowa,
- erozja (parowa, wodna, spalinowa),
- kruchość wodorowa.
- grawityzacja.

Korzenie (przyczyny pierwotne) niszczenia metalu rur kotłowych bardzo często związane są z niewłaściwymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi lub niedociągnięciami w eksploatacji. Ustalenie czynników powodujących przyspieszone oddziaływanie procesów fizykochemicznych jest trudne i wymaga dokładnej znajomości konstrukcji, technologii wykonania oraz znajomości działań diagnostyczno-remontowych, a szczególnie, znajomości warunków eksploatacji kotła.

Na schemacie zamieszczonym na rysunku 1 przedstawiono powiązanie objawów (symptomów) uszkodzeń, rodzaju działających mechanizmów niszczenia i warunków ich powstawania oraz, co jest najtrudniejsze, ale bardzo istotne, korzeni awarii powierzchni ogrzewalnych (przyczyn pierwotnych). Autorzy przyjęli zasadę, w myśl której przyczyną bezpośrednią uszkodzenia (pęknięcia) rury kotłowej jest proces niszczenia metalu, a przyczynę pośrednią stanowi współdziałanie warunków i korzeni.

Jak już wspomniano, powierzchnie ogrzewalne kotła pracują w wyjątkowo trudnych warunkach (temperatura, naprężenia zmienne/stałe, środowisko agresywne), przy dość prymitywnej konstrukcji urządzenia i bardzo uproszczonym systemie pomiarów kontrolnych, mających, w większości przypadków, na celu ułatwienia w prowadzeniu eksploatacji kotła, a nie ustalenie rzeczywistych warunków pracy metalu rur kotłowych.

Biorąc pod uwagę powyższe, staje się jasnym, że diagnostyka materiałowa kotła, a szczególnie diagnostyka powierzchni ogrzewalnych, przy poprawnej analizie nieszczelności rur powierzchni ogrzewalnych nie jest łatwa. Drastyczne warunki pracy metalu rur

powodują, że elementy powierzchni ogrzewalnych ulegają częstym uszkodzeniom co implikuje postoje związane z koniecznością wykonania naprawy i często przyczynia się do znacznych strat finansowych związanych z konsekwencjami niedostarczenia energii.

Ważne jest więc, właściwe rozeznanie przyczyny uszkodzenia i przede wszystkim warunków, które je spowodowało. Dla użytkownika mniej istotna jest znajomość rodzaju mechanizmu uszkodzenia (przyczyna bezpośrednia) natomiast istotne jest określenie warunków, w których procesy te powstały (przyczyny pośrednie). Znając warunki powstawania uszkodzeń i przyczyny pierwotne (korzenie) można postawić właściwą diagnozę i prognozę, a tym samym stosować w przyszłości środki profilaktyczne oraz wykonać właściwy zakres i sposób naprawy.

Ustalenie okoliczności w jakich powstają procesy niszczące rury powierzchni ogrzewalnych jest dosyć skomplikowane, gdyż wymaga wiedzy interdyscyplinarnej z pogranicza: mechaniki, chemii, termodynamiki, wytrzymałości, technologii produkcji, materiałoznawstwa, eksploatacji i konstrukcji kotłów.

Poniżej przedstawiono sposób podejścia do analizy przyczyn awarii stosowany w Pro Novum (tabela 1).

## Podsumowanie

W związku ze starzeniem się kotłów i modernizacjami powstają nowe problemy, które nie były uwzględniane przy ich projektowaniu, a szczególnie warunki eksploatacji, jak na przykład cykliczna praca kotła.

Sposób eksploatacji, jak wskazują doświadczenia, ma istotny wpływ na liczbę i rodzaj powstałych uszkodzeń rur powierzchni ogrzewalnych; dotyczy to również nowo projektowanych i budowanych kotłów.

Od sposobu eksploatacji zależą:

- warunki pracy elementów powierzchni ogrzewalnych,
- zakresy badań profilaktycznych,
- monitoring warunków pracy.

Właściwa znajomość warunków pracy poszczególnych elementów jest podstawą do:



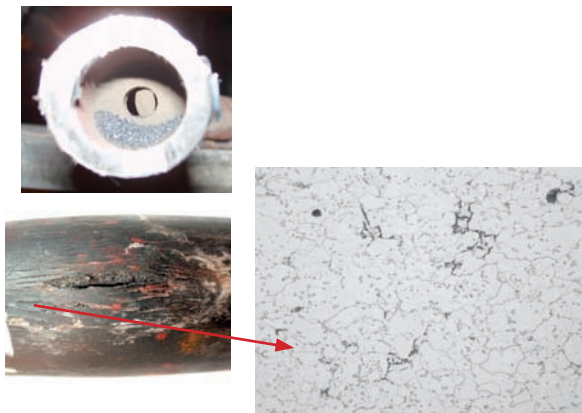
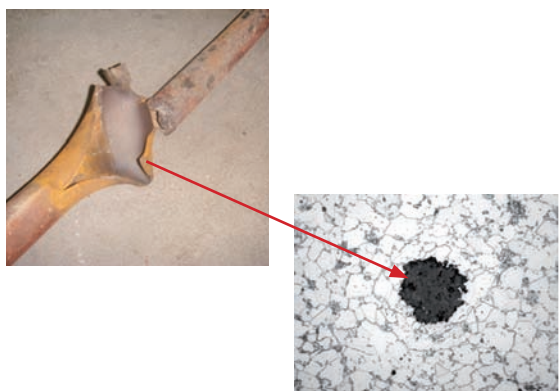
- ustalenia przyczyn uszkodzenia,
- diagnozy i prognozy dalszej eksploatacji.

Jakkolwiek niektóre węzownice przekraczają przewidziany projektem czas eksploatacji to stosując właściwe metody oceny stanu węzownic, a szczególnie ich właściwe warunki pracy dla każdego uszkodzonego elementu, można zapobiegać uszkodzeniom [3].

Analizując dokładnie warunki pracy elementów, wespół z pracownikami eksploatacji i utrzymania elektrowni, można dojść do ustalenia warunków powstawania uszkodzeń, co jest podstawą do podniesienia niezawodności kotła. Należy pamiętać, że w warunkach pracy poszczególnych elementów tkwią korzenie przyczyn powstawania nieszczelności.

## Wnioski

Dla Użytkownika, w znaczeniu techniczno-ekonomicznym, najbardziej istotne jest ustalenie przyczyn korzeni i warunków, w których powstają uszkodzenia rur powierzchni ogrzewalnych (przyczyn pośrednich).

<p><b>OBJAWY</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pęknięcie na wskroś ścianki rury typu omega</li> </ul> <p><b>PRZYCZYNA BEZPOŚREDNIA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zmęczenie korozyjne</li> </ul> <p><b>PRZYCZYNY POŚREDNIE</b></p> <p><b>WARUNKI POWSTANIA USZKODZENIA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• działanie zmiennych (dodatkowych) naprężeń (ograniczona możliwość kompensacji wydużeń cieplnych) w środowisku agresywnym para - woda</li> </ul> <p><b>KORZENIE (przyczyna pierwotna)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• przegrzewacz pary tworzą gródzie zespawanych w szczelny blok, (sztywna konstrukcja),</li> <li>• montaż (usztywnienie paneli) może być niezgodny z założeniami projektowymi,</li> <li>• niejednorodne warunki ciepłe panującymi w obszarze komory paleniskowej.</li> </ul>	
<p><b>OBJAWY</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• nieszczelność na skutek pęknięcia wywołanego znacznym odkształcenia średnicy,</li> <li>• całkowicie zdegradowana mikrostruktura z odkształconym ziarnem i pustkami</li> </ul> <p><b>PRZYCZYNA BEZPOŚREDNIA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• przegrzanie krótkotrwałe</li> </ul> <p><b>PRZYCZYNY POŚREDNIE</b></p> <p><b>WARUNKI POWSTANIA USZKODZENIA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• pracą metalu w temperaturze znacznie przekraczającej temperaturę obliczeniową</li> </ul> <p><b>KORZENIE (przyczyny pierwotne)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zmiana warunków spalania (palniki niskoemisyjne) w komorze paleniskowej</li> <li>• narażenie rury na bezpośrednie omywanie gorącym strumieniem spalin</li> </ul>	
<p><b>OBJAWY</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• nieszczelność (pęknięcie ścianki),</li> <li>• nieznaczne odkształcenie średnicy,</li> <li>• równoległe pęknięcia w stosunku do pęknięcia głównego,</li> <li>• całkowity rozpad mikrostruktury z mikropęknięciami</li> </ul> <p><b>PRZYCZYNA BEZPOŚREDNIA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• przegrzanie długotrwałe</li> </ul> <p><b>PRZYCZYNY POŚREDNIE</b></p> <p><b>WARUNKI POWSTANIA USZKODZENIA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• praca metalu w temperaturze znacznie przekraczającej temperaturę obliczeniową,</li> <li>• ograniczony przepływ czynnika</li> </ul> <p><b>KORZENIE (przyczyny pierwotne)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• częściowe przystąpienie otworu w kryzie na skutek błędów powstałych w trakcie procesu produkcyjnego (wykonawstwo)</li> </ul>	
<p><b>OBJAWY</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• rozerwanie kruche, rury z części wlotowej przegrzewacza gródziowego, z rozwinięciem ścianki rury w okolicy spoiny rury</li> </ul> <p><b>PRZYCZYNA BEZPOŚREDNIA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• grawitacja</li> </ul> <p><b>PRZYCZYNY POŚREDNIE</b></p> <p><b>WARUNKI POWSTANIA USZKODZENIA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• miejscowy spadek plastyczności stali 16M na skutek powstania kulek grafitu w mikrostrukturze rury</li> <li>• długotrwała praca w temperaturze &gt; 450°C tj. w zakresie możliwym dla grafityzacji</li> </ul> <p><b>KORZENIE (przyczyny pierwotne)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• stal uspokajana za pomocą Al (zwiększona podatnością na proces grawitacji),</li> <li>• zmiany w założeniach projektowych/eksploatacyjnych, co spowodowało wzrost temperatury spalin w kotłach z palnikami niskoemisyjnymi w rejonie tzw. przewału</li> </ul>	

#### OBJAWY

- nadmierne wydłużenie węzownic i przechylenie części wylotowej przegrzewacza w kierunku przeważu
- odkształcenie odcinków prostych
- kilka grodzi oparło się o garb przeważu
- nieszczelność rury w grodzi

#### PRZYCZYNA BEZPOŚREDNIA

- zmęczenie cieplne

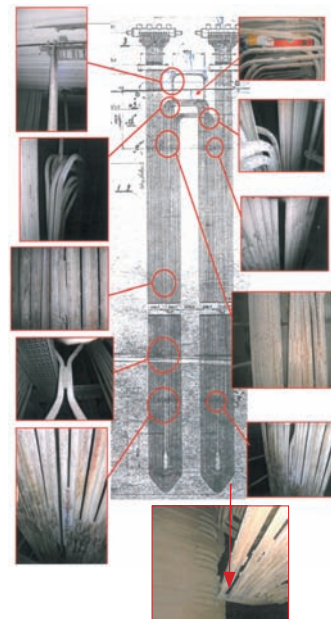
#### PRZYCZYNY POŚREDNIE

##### WARUNKI POWSTANIA USZKODZENIA

- brak możliwości swobodnego przemieszczania się modułów grodzi
- dodatkowe naprężenia cieplne
- przesztywnienie układu, polegające na wprowadzeniu dodatkowego szeregowania w połowie długości

##### KORZENIE (przyczyny pierwotne)

- brak kompensatorów wydłużenia (w pierwotnym projekcie przegrzewacza, na grodziach zabudowane były kompensatory i przewidziane szczeliny dylatacyjne)
- w czasie remontu zabudowano dodatkowe szeregowanie (łączyłoby na sztywno dwa sąsiednie moduły w każdej pętli)



#### OBJAWY

- rozerwanie rury polegające na wypadnięciu całego fragmentu ścianki (tzw. "okienko")
- nie stwierdzono odkształcenia średnicy ani znacznego pocienienia brzegów ścianki w miejscu rozerwania

#### PRZYCZYNA BEZPOŚREDNIA

- kruchość wodorowa

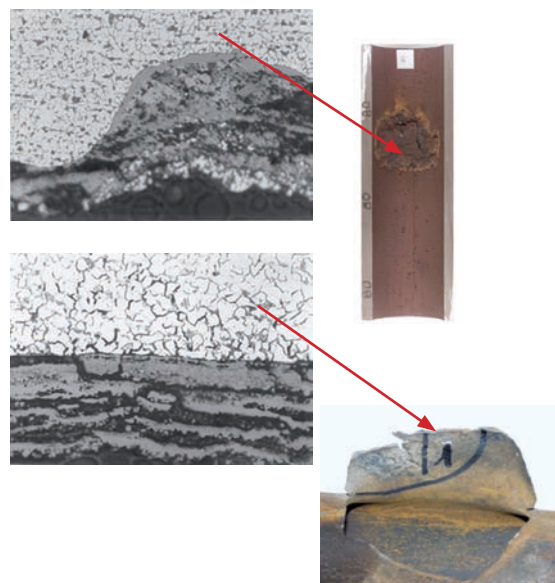
#### PRZYCZYNY POŚREDNIE

##### WARUNKI POWSTANIA USZKODZENIA

- zaburzenie procesu odparowywania powodujące niszczenie warstewki ochronnej
- obecność porowatych osadów inkrurowanych wolną miedzią
- obecność, na powierzchni wewnętrznej, rozległych wżerów wypełnionych osadami
- w mikrostrukturze pod wżerem występuje siatka międzykrystalicznych pęknięć
- brak możliwości odbudowania szczelnej warstewki ochronnej

##### KORZENIE (przyczyny pierwotne)

- nadmierne zanieczyszczenie powierzchni wewnętrznej rur parownika osadami
- korozja wykonanych ze stopów miedzi elementów obiegu zasilającego (eksploatacja)
- niedobranie jakości wody kotłowej do ciepłych warunków pracy metalu
- praca kotła przy obciążeniu niższym od minimalnego zalecanego przez dostawcę kotła (np. poniżej 60% wydajności)



Koniecznym jest odpowiednie monitorowanie warunków pracy kotła ponieważ, jeżeli będą śledzone wszystkie aspekty eksploatacji to, powstawanie większości uszkodzeń będzie zrozumiałe, a tym samym, przydatne w prognozowaniu niezawodnej eksploatacji.

Nie ma jednej uniwersalnej metody na podstawie której można przewidzieć miejsce i rodzaj uszkodzenia bowiem występowanie uszkodzeń zależy od wielu czynników:

- sposobu eksploatacji,
- jakości wody zasilającej i kotłowej,
- jakości spalnego węgla,
- zastosowanych materiałów,
- wprowadzania zmian odbiegających od pierwotnych założeń warunków pracy,
- konstrukcji kotła itp.

Identyfikacja korzeni powodujących uszkodzenie jest podstawą do wykonania właściwej naprawy oraz korzystnej zmiany warunków pracy metalu rur.

Określenie przyczyny bezpośredniej i pośredniej daje możliwość zastosowania właściwej profilaktyki i jest przydatne w prognozowaniu niezawodnej eksploatacji.

#### PIŚMIENICTWO

- [1] Uszkodzenia powierzchni ogrzewalnych kotłów parowych. Pro Novum, Katowice, kwiecień 1992
- [2] State-of-the-Art. Boiler Design for High Reliability Under Cycling Operation, 1009914, EPRI Final Report, december 2004
- [3] Boiler Tube Failures, 2006, Ashland

# Zarządzanie wiedzą w trybie on-line o przyczynach nieszczelności rur powierzchni ogrzewalnych kotłów

## On-line management of the knowledge on the causes of tube leaks on the boiler heating surfaces

Bloki energetyczne, których czasy pracy przekraczają często projektową trwałość są jednocześnie modernizowane w obrębie komory paleniskowej w celu obniżenia emisji. Wymaga to od użytkowników urządzeń energetycznych coraz lepiej i inaczej niż dotychczas zorganizowanej diagnostyki. Biorąc dodatkowo pod uwagę fakt, że równocześnie restrukturyzacji podlegają systemy zarządzania w elektrowniach, służby odpowiedzialne za utrzymanie stanu technicznego urządzeń stawiane są wobec konieczności pogodzenia techniki i ekonomii z nową organizacją.

Dyspozycyjność kotła (czyli ostatecznie dyspozycyjność całego bloku), a co zatem idzie wynik finansowy, determinowana jest przez szereg działań prowadzonych zarówno w czasie remontów jak i w czasie jego pracy. Jedną z czynności istotnie wpływających na niezawodność urządzenia są okresowe badania diagnostyczne powierzchni ogrzewalnych. Na ich podstawie możliwe jest określenie aktualnego stanu technicznego rur oraz prognozy ich trwałości. Biorąc jednak pod uwagę skomplikowane warunki cieplne, mechaniczne, chemiczne (oraz ich zmienność), w których pracują powierzchnie ogrzewalne, niemożliwym jest uniknięcie awarii tych elementów tylko na podstawie wiedzy uzyskanej z badań diagnostycznych.

W sytuacji jw. konieczna jest dodatkowa wiedza wynikająca z analizy awarii. Taka wiedza, zazwyczaj niepełna i odnosząca się tylko do jednej elektrowni, a czasem tylko jednego kotła, dotychczas zarezerwowana była dla długoletnich i doświadczonych pracowników obsługi i pionu inżynierskiego. Dzisiaj mamy możliwość kompleksowego podejścia do tego problemu i dokładnej, opartej na statystyce w trybie on-line, analizie występujących awarii i skuteczniejszemu ich przewidywaniu oraz zapobieganiu.

### Stan techniczny rur powierzchni ogrzewalnych – przyczyny uszkodzeń

Trudne i zmienne warunki, w których pracują powierzchnie ogrzewalne (wysoka temperatura, korozja od strony spalin i wody, erozja od strony spalin i wody, zmienne naprężenia) sprawiają, że mamy do czynienia z długą listą przyczyn uszkodzeń. Poniżej przedstawiono tylko niektóre z nich:

- nadmierne obciążenie cieplne,
- brak lub ograniczony przepływ czynnika,
- nierównomierna temperatura spalin na szerokości kotła,

- brak możliwości kompensacji wydłużeń cieplnych,
- obecność agresywnych związków chemicznych w spalinach i w popiele,
- spalanie z niedomiarem powietrza – atmosfera redukująca,
- nadmierne szlakowanie kotła,
- nieodpowiednia jakość wody kotłowej,
- brak lub nieodpowiednia konserwacja kotła w czasie postoju,
- błędy montażowe i/lub remontowe.

Uszkodzenia powierzchni ogrzewalnych mogą powstać zarówno w czasie pracy kotła, jak i w czasie postoju. Awaria może nastąpić w każdym miejscu, jednak najbardziej uprzywilejowane są kolanka, obszary w okolicach spoin oraz odcinki skośne.

Analiza przyczyn awarii bardzo często wykonywana jest w niewystarczającym zakresie, co powoduje, że nie udaje się określić wszystkich czynników, które do niej doprowadziły, zwłaszcza pośrednich. Należy pamiętać, że zazwyczaj mamy do czynienia z więcej niż jedną przyczyną powstania uszkodzenia.

### Analiza awaryjności – jakość wiedzy oraz podejście statystyczne

Awaria jest to sytuacja, w której z powodu uszkodzenia elementu (lub elementów) niemożliwa jest produkcja prądu i ciepła lub ta produkcja zostaje ograniczona. Do zdarzeń awaryjnych zaliczają się również uszkodzenia powstałe w czasie postoju kotła lub ujawnione w trakcie jego remontu, jeśli usunięcie uszkodzenia przedłuża postój remontowy bloku. Awaria jest więc istotnym zdarzeniem, które zawsze powinno być zapisane w historii eksploatacji.

Aby uniknąć sytuacji, w których z zaistniałych awarii nie płynie żadna wiedza lub ta wiedza jest niewystarczająca, należy zadbać o zebranie możliwie jak największej liczby danych dotyczących zdarzenia. Do istotnych danych zaliczamy:

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

Takie informacje mogą już być podstawą do analizy statystycznej uszkodzeń, jednak nie bez ograniczeń.

Jak pokazują dotychczasowe, wieloletnie doświadczenia firmy *Pro Novum* w zakresie analizy awaryjności powierzchni ogrzewalnych kotłów o różnej konstrukcji i czasie pracy, nie ma prostej zależności pomiędzy liczbą uszkodzeń, konstrukcją kotłów, rodzajem paliwa i czasem eksploatacji. Wpływ na taką sytuację mają m.in. zmienne warunki pracy, ale również jakość wiedzy będącej podstawą statystyki – bardzo często przyczyny awarii określane są bez profesjonalnej i udokumentowanej analizy, a same postoje nie są precyzyjnie kwalifikowane jako planowane lub awaryjne. Ta sytuacja wymaga więc korekty i odpowiedniego podejścia, szczególnie jeśli chce się posługiwać statystyką uszkodzeń jako narzędziem prognozowania uszkodzeń.

## Awaryjność powierzchni ogrzewalnych i jej analiza w trybie on-line

Pakiet LM Awaryjność PRO to części platformy informacyjnej LM System PRO+®, który w prosty i wygodny sposób pozwala rejestrować informacje m.in. dotyczące awarii rur powierzchni ogrzewalnych, a następnie poddawać je analizie w sposób umożliwiający kreowanie wiedzy. System organizacji wiedzy został podzielony na dwa powiązane ze sobą moduły:

- Moduł Karta Awaryjna,
- Moduł Analiza Awaryjności.

Moduł Karta Awaryjna to formularz, który wymaga od Użytkownika wprowadzenia istotnych informacji o awarii, takich jak: data i miejsce wystąpienia awarii, dane na temat obiektu, objawy, przyczyny nieszczelności, data i sposób naprawy oraz zalecenia specjalistów.

Formularz posiada kilka poziomów dostępu, co oznacza, że poszczególne pola mogą być wypełniane tylko przez wyznaczone osoby z obsługi lub specjalistów biorących udział w identyfikacji i usuwaniu awarii. Taka organizacja wprowadzania danych wymusza rzetelność informacji oraz ich kompletność. Podejście to procentuje w przyszłości pozwalając na szybką analizę zebranych informacji i prezentacji jej wyników w postaci praktycznie dowolnie skonfigurowanych statystyk.

Rys. 1. Formularz Karty Awaryjnej

Informacje wymagane przez Kartę Awaryjną wprowadzane są przez uprawnionych Użytkowników zgodnie z odpowiednim *work flow* procesu, który może być konfigurowany w zależności od potrzeb.

Dane istotne dla analizy statystycznej, zwłaszcza przyczyny pośrednie i bezpośrednie, mają postać słowników. Upraszcza to znacznie obsługę programu oraz sprawia, że wszystkie istotne informacje mogą być przetwarzane według praktycznie dowolnych algorytmów.

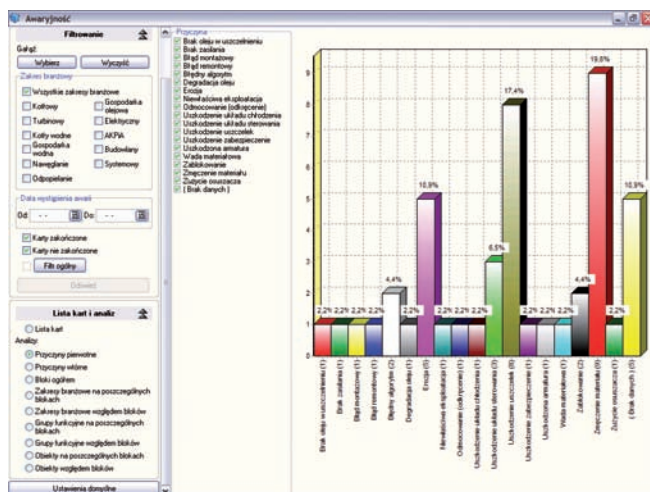
Dodatkowo istnieje możliwość przyporządkowania i dodawania plików zewnętrznych, takich jak rysunki, poświadczenia, fotografie etc.

Proces wprowadzania danych może być dowolnie modelowany przez administratora, który może nadawać uprawnienia do wypełniania poszczególnych pól Karty Awaryjnej.

Wypełniona i zapisana Karta Awaryjna, wraz z innymi kartami, stanowi podstawę do statystycznej analizy awaryjności, którą realizuje Moduł Analiza Awaryjności. Moduł umożliwia wyszukiwanie, przeglądanie Kart Awaryjnych oraz oczywiście analizę zawartych w nich danych i informacji.

Użytkownik ma do dyspozycji szereg kryteriów, dzięki którym możliwe jest filtrowanie danych. Zdefiniowanie kryteriów selekcji pozwala następnie na graficzne (w postaci wykresu) przedstawienie pożądanego przez użytkownika informacji. Można więc stworzyć wykres, na którym zobrazowana procentowo będzie np. liczba awarii na przegrzewaczach grodziowych, spowodowanych ograniczeniem przepływu na czterech kotłach OP-650.

Jeśli taki zakres jest zbyt ogólny, możliwe jest zawężenie go do poszczególnych grodzi na różnych kotłach lub nawet poszczególnych węzłownic. Dobór kryteriów oraz zakresu ich obowiązywania jest szeroki i ograniczony w zasadzie tylko przez kompetencje, konkretne potrzeby i zdrowy rozsądek użytkownika.



Rys. 2. Wykres z Modułu Analiza Awaryjności – według kryterium przyczyny uszkodzenia

Karty awaryjne jak i analizy mogą być udostępniane innym pracownikom w trybie on-line. Pozwala to na usprawnienie przepływu informacji oraz dotarcie do wszystkich zainteresowanych informacjami i wiedzą z awarii.

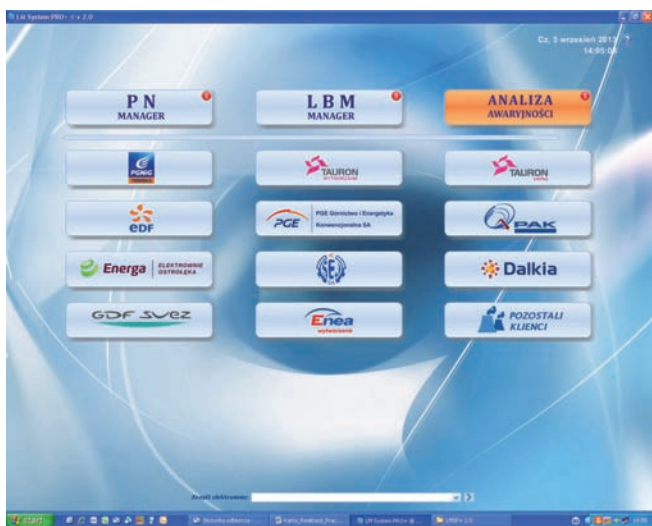


## Proces tworzenia dokumentacji – Karty Awaryjne

Obsługiwanie oraz analizowanie zdarzeń awaryjnych zostało podzielone na 3 etapy:

- wprowadzenie do systemu zdarzenia awaryjnego oraz wyznaczenie eksperta odpowiedzialnego za określenie przyczyn awarii,
- wypełnienie przez eksperta karty awaryjnej oraz zarządzanie zadaniem,
- zamknięcie zdarzenia awaryjnego – przekazanie do archiwum.

Po zgłoszeniu awarii i wprowadzeniu jej do systemu zdarzenie przyporządkowywane jest konkretnemu ekspertowi. Informacje o pojawieniu nowego zadania są przekazywane ekspertowi poprzez panel główny tzw. Kokpit Eksperta (rys.3), który umożliwia również organizację oraz zarządzanie pozostałymi zadaniami (nie tylko awaryjnymi) eksperta (panel główny jest powiązany z kontem danego Użytkownika i może być swobodnie modyfikowany przez Administratora zgodnie z kompetencjami i obowiązkami Użytkownika).



Rys. 3. Panel główny – Kokpit Eksperta wspierający zarządzanie zadaniami

Informacja o nowym zdarzeniu awaryjnym pojawia się w prawym górnym rogu (czerwona kropka) przycisku „Analiza Awaryjności” i zawiera również informacje na temat ilości tych zdarzeń.

Po kliknięciu przycisku „Analiza Awaryjności” przechodzimy do zakładki zawierającej wykaz wszystkich rozpoczętych oraz nowych zdarzeń awaryjnych (rys. 4).

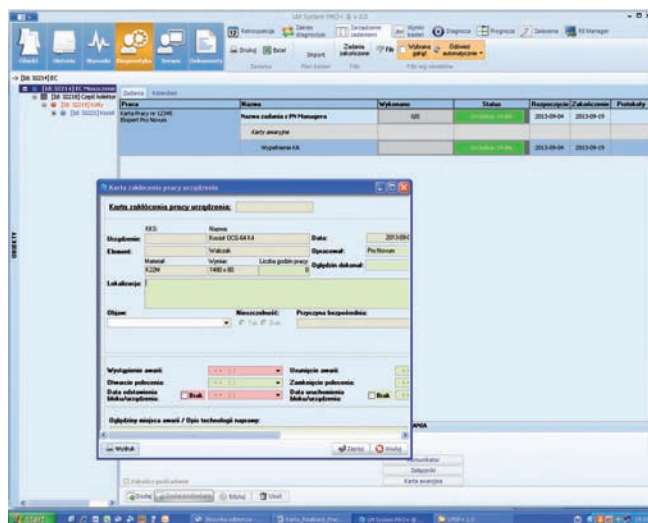


Rys. 4. Zarządzanie zdarzeniami awaryjnymi – nowa awaria

Z tego poziomu możliwe jest uzyskanie podstawowych informacji na temat Klienta, terminu rozpoczęcia pracy, terminu jej zakończenia (z tego poziomu możliwa jest też analiza statystyczna awarii zapisanych wcześniej w archiwum).

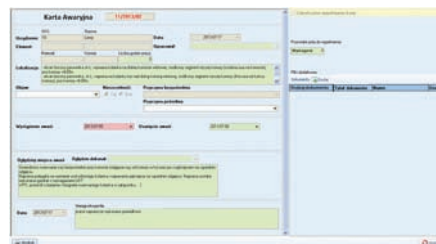
Po kliknięciu przycisku „Otwórz” Ekspert przenoszony jest do LM System PRO+® (rys. 5), gdzie wymagane są od niego następujące czynności:

- utworzenie karty awaryjnej dla danego zdarzenia (możliwe jest, jeśli to konieczne, stworzenie kilku kart dla jednego zdarzenia),
- przyporządkowanie do karty awaryjnej obiektu oraz elementu, który uległ awarii – następuje to poprzez wybranie danego elementu z listy będącej częścią modelu całego kotła,
- wypełnienie karty awaryjnej (pola wynikające z uprawnień konkretnego użytkownika),
- w razie konieczności możliwe jest utworzenie podzadań do danej awarii – umożliwia to np. zlecenie LBM dodatkowych badań na obiekcie; utworzone podzadanie automatycznie pojawi się na spersonalizowanym panelu głównym kierownika Laboratorium Badań Materiałowych.

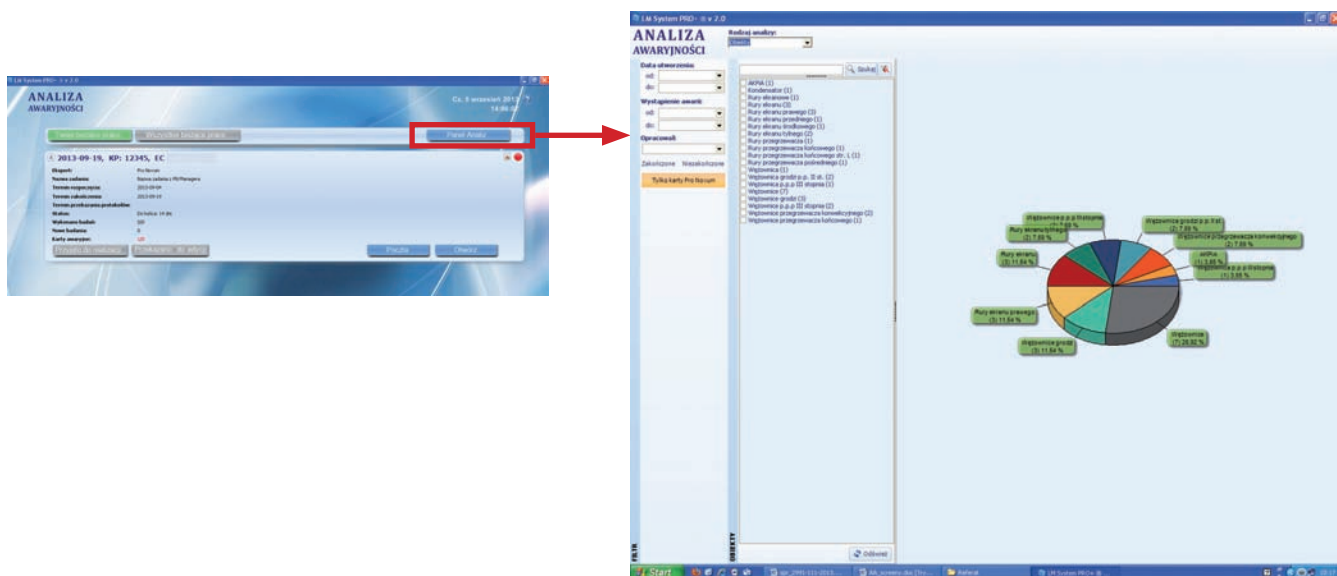


Rys. 5. LM System PRO+® wraz z otwartą Kartą Awaryjną

Karta Awaryjna, jak już wspomniano, zawiera szereg informacji niezbędnych do prawidłowego i kompletnego opisu awarii. Część z nich musi zostać wpisana przez Eksperta (przyczyna, lokalizacja, termin). Pozostałe z nich (pełna nazwa elementu, wymiary, materiał), dzięki funkcjonowaniu modelu elektrowni (kotła), mogą być uzupełniane automatycznie przez program w momencie utworzenia Karty Awaryjnej (rys. 6).



Rys. 6. Karta Awaryjna w trakcie wypełniania



Rys. 8. Przykład statystycznej analizy awaryjności

Karta Awaryjna w każdym momencie może zostać zapisana (zgodnie z uprawnieniami użytkownika); definitywnie jej zamknięcie następuje dopiero po wpisaniu wszystkich wymaganych informacji (w głównym interfejsie LM System PRO+® przy symbolu Karty Awaryjnej znajduje się pole, w którym zapisana jest informacja o jej bieżącym stopniu wypełnienia).

Poza utworzeniem Karty Awaryjnej możliwe jest również przyporządkowanie podzadania do zadania głównego (awarii) - mogą to być np. dodatkowe badania na obiekcie lub badania niszczące prowadzone na dostarczonych wycinkach/probkach.

Zakończenie pracy możliwe jest po wypełnieniu Karty Awaryjnej (lub kilku kart) oraz zakończeniu wszystkich podzadań (jeśli takowe były). Tak zorganizowane zadanie przekazywane jest do archiwum (rys. 7) i może być już podstawą analizy statystycznej (rys. 8).

Rys. 7. Archiwum awarii

## Podsumowanie

Uszkodzenia powierzchni ogrzewalnych mają znaczący wpływ zarówno na ich trwałość jak i dyspozycyjność kotłów. Wiedza płynąca ze zdarzeń awaryjnych wymaga rzetelnej i kompleksowej organizacji, dzięki której możliwa jest ocena skutków, a przede wszystkim określenie przyczyn. Statystyczna analiza wyników pozwala wyznaczyć tendencje zarówno w małej skali (jeden kocioł), jak i w dużej (kilka lub kilkanaście kotłów), a następnie skutecznie zlikwidować lub zmniejszyć prawdopodobieństwo wystąpienia awarii. Nowoczesna technologia, dostępna dziś w każdej elektrowni, jest idealną płaszczyzną do zbierania i analizowania informacji oraz przekształcania jej w użyteczną wiedzę.

Program opisany powyżej i stosowany w *Pro Novum* jest identyczny, w zakresie ogólnej zasady funkcjonowania jak również słowników i algorytmów przetwarzania informacji i danych, jak jego wersje zainstalowane dotychczas w paru elektrowniach. Oznacza to możliwość integracji informacji i wiedzy w szerszej skali, np. wśród użytkowników bloków 200 MW, co jest przedmiotem aktualnych prac Zespołu Zdalnej Diagnostyki i Serwisu Diagnostycznego specjalizującego się w *Pro Novum* w zagadnieniach wykorzystania technologii informatycznych do wykonywania zaawansowanej diagnostyki, a zwłaszcza zarządzania wiedzą o bieżącym stanie technicznym ciepłono-mechanicznych urządzeń energetycznych.

## PIŚMIENICTWO

- [1] Trzeszczyński J., Stanek R.: Zarządzanie utrzymaniem stanu technicznego kotłów na podstawie analizy ryzyka. *Energetyka* 2013, nr 6.
- [2] Trzeszczyński J., Stanek R.: Analiza awaryjności elementów krytycznych bloków 200 MW jako ważny element metodyki prognozowania trwałości. *Energetyka* 2013, nr 6.

# Czystość wody kotłowej a uszkodzenia rur w rejonach przewężeń, na łukach oraz na odcinkach pochyłych

## Boiler tube failures in regions of narrowing, in curves and on the vouchers sloped in context boiler water quality

Wiele, bez wątplenia bardzo ważnych kwestii związanych z produkcją energii jest szeroko dyskutowanych na forum publicznym. W ostatnich latach czołowe, niezagrożone miejsce, zajmowały tematy związane z szeroko pojętą kwestią ochrony środowiska i ograniczenia emisji zanieczyszczeń. Począwszy od zagadnień związanych z odsiarczaniem i odazotowaniem spalin do wzajemnego powiązania emisji dwutlenku węgla i zmian klimatycznych. Wstuchując się w te informacje można odnieść wrażenie, że jedyne problemy związane z produkcją energii to te wymienione powyżej. Tymczasem ciągnęły, nierozwiązanym problemem jest bezusterkowa eksploatacja podstawowych urządzeń wytwórczych.

Wieloletnie doświadczenia oraz wiarygodne dane statystyczne pokazują, że uszkodzenia rur kotłowych są głównym problemem rzutuującym na dyspozycyjność jednostek wytwórczych. Sytuacja taka jest właściwa tak dla starych i nowych konwencjonalnych kotłów parowych, jak również dla relatywnie nowych i nowoczesnych kotłów odzyskicowych.

Biorąc pod uwagę, że żywotność rur kotłowych (wodnych) w normalnych warunkach pracy kotła powinna być praktycznie nieskończona, to sytuacja taka może być mało zrozumiała.

Istnieje bardzo wiele przyczyn powstawania uszkodzeń rur kotłowych. Najbardziej rozpowszechnione to:

- słaby projekt początkowy,
- niski poziom eksploatacji,
- niewłaściwy poziom utrzymania,
- wysoka agresywność środowiska po stronie ogniowej,
- nieodpowiednie warunki chemiczne w obiegu wodno-parowym,
- brak lub nieodpowiedni poziomu zarządzania wiedzą,
- brak wsparcia na poziomie zarządzania.

Jak wynika z powyższego zestawienia warunki chemiczne utrzymywane w obiegach wodno-parowych są tylko jednym z wielu czynników odpowiedzialnych za uszkodzenia rur kotłowych. Jednak realnie około 50% uszkodzeń rur w kotłach konwencjonalnych i 70% uszkodzeń na kotłach odzyskicowych jest związana ze „złą” chemią w obiegach wodno-parowych.

Co gorsze, często z uwagi na brak odpowiedniej wiedzy pozwalającej na właściwą identyfikację mechanizmu uszkodzenia, a co za tym idzie brak odpowiedniej reakcji, uszkodzenia rur mają charakter powtarzalny co do rodzaju i lokalizacji.

W tabeli 1 zamieszczono wykaz najczęstszych mechanizmów niszczenia rur kotłowych w warunkach pracy kotłów (konwencjonalnych i odzyskicowych).

Tabela 1

Mechanizm	Typ kotła	
	konwencjonalny	odzyskicowy
Zmęczenie korozyjne	X	X
Erozja popiołowa	X	-
Korozja wodorowa	X	X
Korozja gorącej wody	X	X
Korozja podoasadowa	X	X
Kwaśna korozja fosforanowa	X	X
Korozja ługowa	X	X
Korozja od strony ogniowej	X	X
Zmęczenie cieplne	X	X
FAC	X	X
Korozja popiołowa	X	-
Erozja popiołowa	X	-
Przegrzanie krótkoterminowe	X	X
Zmęczenie	X	X
Uszkodzenia od spadającego żużla	X	-
Korozja kwaśnego punktu rosy	X	X

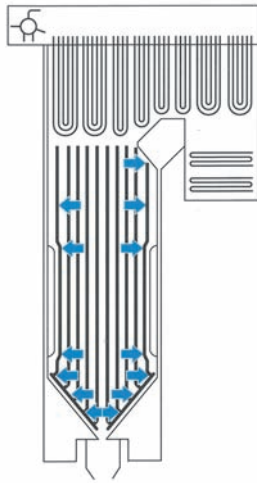
Lokalizacja uszkodzeń w schemacie kotła, powodowanych według określonego mechanizmu, jest zwykle charakterystyczna, związana z czynnikami termicznymi i hydraulicznymi. Typowo są to obszary:

- największych obciążeń cieplnych komory paleniskowej,
- geometrycznej zmiany (zakłócenia) przepływu mieszanki wodno-parowej:
  - przewężenia, w obszarach zgrzein lub spoin, gdzie występują nadmierne wyłytki materiału,
  - odcinki pochyłe, gdzie występuje rozdział fazowy mieszanki wodno-parowej.

Mechanizm uszkodzenia rur kotłowych w wymienionych obszarach to w większości przypadków różnego rodzaju odmiany korozji podoasadowej. Miejsca występowania uszkodzeń pokrywają się z obszarami, w których typowo następuje wydzielanie osadów z czynnika obiegowego. Obejmuje to nie tylko obszary, w których obciążenie cieplne komory jest największe (m.in. pasy palnikowe), ale również obszary zakłóconego przepływu czynnika (wadliwe spoiny, odgięcia przy palnikach i innych

otworach technologicznych, odcinki pochyłe w rejonie chłodnego leja, przeważu i stropu).

Typowe miejsca występowania uszkodzeń rur kotłowych powodowanych korozją podosadową w jednostkach konwencjonalnych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Typowe miejsca występowania uszkodzeń rur kotłowych

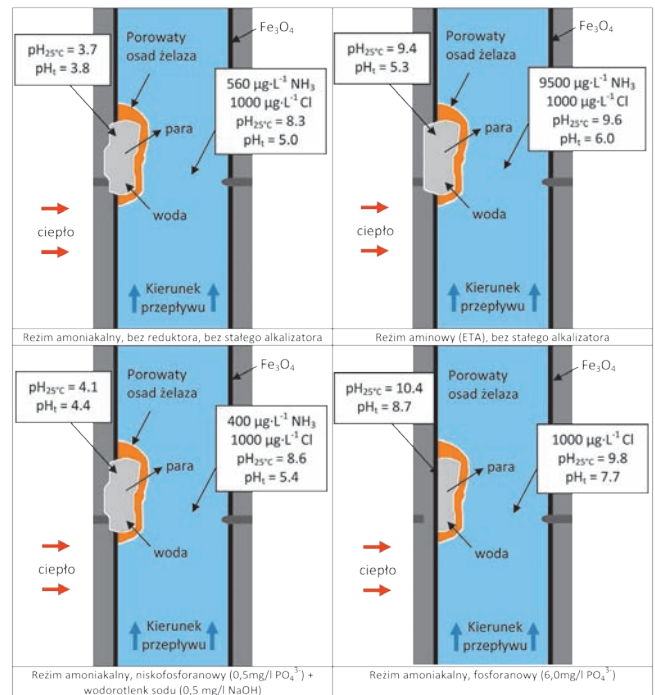
Bardzo często przyjmuje się, że stwierdzane uszkodzenia korozyjne rur kotłowych w tych miejscach są typowe i nie próbuje się ich kojarzyć z parametrami fizykochemicznymi oraz czystością wody kotłowej.

Badania poawaryjne, głównie metaloznawcze, pozwalają dość precyzyjnie określić rodzaj uszkodzenia (kruchość wodnoroowa, przegrzanie, korozja podosadowa itp.), natomiast często nie określają przyczyn tych uszkodzeń. Jeżeli przyczyna jest w jakimś stopniu określona, to uszkodzenia rur kotłowych w rejonach przewężeń, na łukach i na odcinkach poziomych kojarzą się zwykle tylko z zakłóceniami cyrkulacji w tych miejscach, nie uwzględniając negatywnej roli, jaką w tych procesach spełniają zanieczyszczenia obecne w wodzie kotłowej.

Tymczasem głównym czynnikiem, od którego zależy fakt wystąpienia lub niewystąpienia uszkodzeń w tych obszarach są chemiczne warunki pracy metalu po stronie czynnika obiegowego i prawidłowość doboru korekcji chemicznej do warunków pracy danego kotła jak i pozostałych urządzeń w schemacie technologicznym bloku energetycznego.

Odpowiednio dobrany rodzaj korekcji chemicznej czynnika obiegowego powinien z jednej strony do minimum ograniczać zjawiska korozyjne w układzie dokotłowym, skutkujące transportem zanieczyszczeń, tak jonowych jak i stałych do kotła, a z drugiej strony w możliwie maksymalnym stopniu zabezpieczać metal rur kotłowych przed procesami korozyjnymi zachodzącymi pod warstwą osadów, które prędzej czy później będą występowały w ilościach, które mogą być groźne dla trwałości materiału. Co istotne, skomplikowane zjawiska fizykochemiczne zachodzące pod warstwą osadów (zagęszczanie, termiczny rozpad, zmiana odczynu pH i in.) powodują, że istotne z punktu widzenia trwałości metalu parametry fizykochemiczne w warstwie podosadowej mogą być diametralnie różne, niestety zwykle na niekorzyść, od tych, którymi w danym momencie charakteryzuje się woda kotłowa.

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe zestawienie podstawowych korelacji parametrów fizykochemicznych wody kotłowej i wynikowych parametrów w warstwie podosadowej w zależności od rodzaju korekcji stosowanej w układzie wodno-parowym.



Rys. 2. Parametry modelu: ciśnienie 10,4 MPa, odmulanie 0,5%, pH wody zasilającej 9,4, zawartość chlorków 5 ppb

## Uszkodzenia korozyjne rur w rejonach przewężeń

Zdecydowana większość uszkodzeń korozyjnych rur zlokalizowana jest w obszarze spawów lub zgrzein rur ekranowych. Często w tych obszarach, jeszcze przed rozszczelnieniem obserwowane są wybrzuszenia rur od strony komory paleniskowej. Stan taki obrazuje końcowy etap uszkodzenia korozyjnego tuż przed perforacją rur. Podstawowy wpływ na szybkość procesu uszkodzenia ma wysokość wypływu lub grani spoin tworzących karb geometryczny na powierzchni wewnętrznej rury.

Wysokość takiego karbu, a tym samym miejscowe zwężenie średnicy rury, jest szczególnie niebezpieczne w rurach przegrzewaczy pary, gdzie 2-3 mm karb plus osady gromadzące się w tym obszarze wyraźnie zmniejszają prześwit rurki ograniczając przepływ czynnika, co w konsekwencji prowadzi do jej przegrzania i uszkodzenia (rys. 3 i 4).

W przypadku rur ekranowych kwestia ograniczenia przepływu ma mniejsze znaczenie z uwagi na zdecydowanie większe średnice, choć bywają przypadki, kiedy lokalnie utworzone skupisko osadów skutecznie ograniczy przepływ mieszanki wodno-parowej (rys. 5 – 8). W rurach wodnych największe znaczenie i wpływ na szybkość postępu uszkodzenia mają zjawiska fizykochemiczne zachodzące pod powierzchnią osadów, ściśle związane z warunkami termicznymi oraz fizykochemicznymi

parametrami czynnika (wody kotłowej). Jeżeli jakość wody kotłowej nie spełnia stawianych wymagań (odczyn pH, chlorki, zawartość żelaza i miedzi i in.) i dodatkowo do kotła wprowadzane są zanieczyszczenia stałe (tlenki wędrujące z układu dokotłowego), to w miejscach przewężeń występuje duże nasilenie odkładania zanieczyszczeń i rozwoju uszkodzeń korozyjnych.

Mechanizm tych procesów jest w zasadzie znany i ściśle związany z wielkością karbu zgrzeiny lub spoiny w stosunku do średnicy rury oraz czystości wody kotłowej.

W miejscu występowania wypłytki zgrzeiny lub spoiny następuje zaburzenie w cyrkulacji mieszanki parowo-wodnej. Wrzenie pęcherzykowe przechodzi we wrzenie błonkowe pogarszając wymianę ciepła w tym obszarze. W strefie wrzenia błonkowego zachodzą znaczne wahania temperatury. Na powierzchni metalu powstaje warstwa pary, która po stosunkowo krótkim czasie ulega zmywaniu strumieniem wody, przez co ścianka rury ulega znacznemu schłodzeniu. Naprężenia występujące przy takich szybkich i dużych zmianach temperatury powodując niszczenie warstwy ochronnej stwarzają warunki do zachodzenia korozji, znanej w literaturze jako korozja gorącej wody, a agresywne składniki osadów, koncentrujące się w tym obszarze, atakują dodatkowo powierzchnię metalu. Przyrost grubości warstwy osadów pogarsza warunki wymiany ciepła, co prowadzić może do miejscowych przegrzań metalu.

W układach technologicznych z wymiennikami z metali kolorowych praktycznie regułą jest, że badania składu chemicznego osadów z wżerów wykazują w ich składzie obecność miedzi. Miedź w postaci metalicznej szczególnie często stwierdzana jest w osadach występujących we wżerach od strony ogniowej. Atomy miedzi mają mniejsze powinowactwo przejścia do roztworu w postaci jonowej niż atomy żelaza,

dlatego żelazo ulega rozpuszczeniu anodowemu. Metaliczna miedź może również osadzać się we wżerach na skutek redukcji tlenków miedzi wodorem powstałym w procesach korozji żelaza. Jeżeli w osadach wytrąconych na powierzchni rury znajdują się znaczne ilości miedzi, to powierzchnia ta staje dużą powierzchnią katodową w stosunku do małej powierzchni anodowej stanowiącej ognisko korozyjne przy zgrzeinie, co jest powodem szybkiego rozpuszczania metalu. Proces ten biegnie aż do momentu, kiedy wytrzymałość rury przekroczy wartość graniczną – rysunki 9 - 12 (warstwa osadów z dużą ilością wtrąceń metalicznej miedzi).

Na rysunkach 13 i 14 pokazano jeden z przykładów uszkodzenia korozyjnego rury w rejonie zgrzeiny.

W wyniku pomiarów grubości ścianki rury (w powyższym przykładzie) w miejscu występowania wżeru i poza wżerem (w miejscu bez perforacji) stwierdzono, że:

- grubość ścianki w miejscu wżeru wynosiła 1,8 - 3,2 mm,
- grubość ścianki poza wżerem wynosiła 5,0 - 5,2 mm.

Wykonano również pomiary wielkości wypływek w miejscu zgrzein rury:

- wysokość wypłytki zgrzeiny 2,4 - 2,7 mm,
- szerokość wypłytki zgrzeiny 5,2 - 5,7 mm.

Według przedmiotowych norm dopuszczalna wysokość wypłytki w klasie wadliwości W-3 jest równa 30% lica spoiny. Uwzględniając wymagania dla rur w powyższym przykładzie wynika, że wysokość wypłytki zgrzeiny nie powinna przekraczać 1,7 mm, gdy faktyczna wysokość wypłytki mieściła się w granicach 2,4 - 2,7 mm.

Należy tutaj zaznaczyć, że decydujący wpływ na występowanie procesów korozyjnych i ich intensywność w rejonach występowania karbu na wewnętrznej powierzchni rury ma czystość wody kotłowej, a szczególnie zanieczyszczenia zawierające w swym składzie miedź.



Rys. 3.



Rys. 4.



Rys. 5.



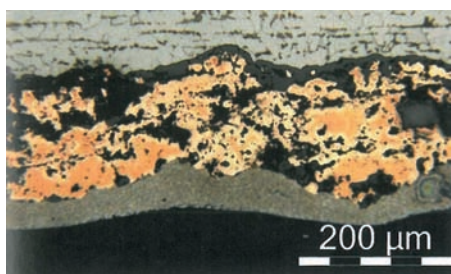
Rys. 6.



Rys. 7.



Rys. 8.



Rys. 9.



Rys. 10.



Rys. 11.



Rys. 12.



Rys. 13.



Rys. 14.

## Uszkodzenia korozyjne rur kotłowych na łukach i odcinkach pochyłych

Uszkodzenia tego typu najczęściej lokalizują się w miejscach, w których może dochodzić do zaburzeń przepływu i rozdziału fazowego mieszanki wodno-parowej.

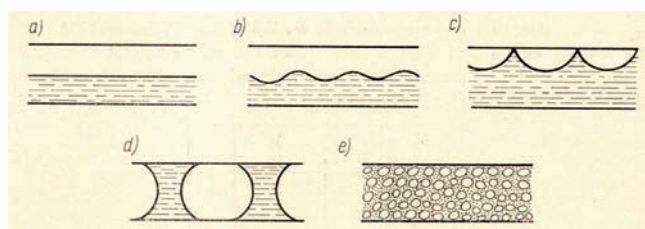
Miejscami takimi są kolana chłodnego leja, przeważu, kolana o małym promieniu gięcia przy wziernikach, palnikach i zdmuchiwaczach.

Uszkodzenia te mają charakter zmęczeniowo-korozyjny i zależą od kąta nachylenia. Ze zmniejszeniem kąta nachylenia zwiększa się skłonność do fazowego rozdziału mieszanki wodno-parowej.

W rurach ustawionych pod kątem w czasie przepływu mieszanki wodno-parowej mogą zachodzić różne zjawiska. Zależą one od stosunku udziału pary w ogólnej objętości czynnika oraz od prędkości objętościowej mieszaniny.

Na rysunku 15 przedstawiono różne fazy przepływu mieszanki wodno-parowej w rurach pochyłych.

Przy małych prędkościach mieszanki linia rozdziału zbliżona jest do poziomej (a), przy większych prędkościach występuje ruch falowy (b). Charakterystyczne fale na powierzchni strumienia cieczy są powodowane różnymi prędkościami liniowymi pary i wody. Przy umiarkowanej prędkości czynnika i niewielkim udziale pary, np. w nachylonych rurach ekranowych chłodnego leja żuźlowego, występuje tzw. ruch pęcherzykowy (c). Wskutek dalszego zwiększania prędkości przepływu zachodzi tzw. ruch rzutowy, przy którym ciecz okresowo zwilża powierzchnię rury (d). Wreszcie dalsze zwiększanie prędkości powoduje ruch z równoczesnym występowaniem piany, przy czym para płynie w postaci pęcherzyków lub piany w strumieniu cieczy (e).



Rys. 15. Przypadki przepływu dwufazowego

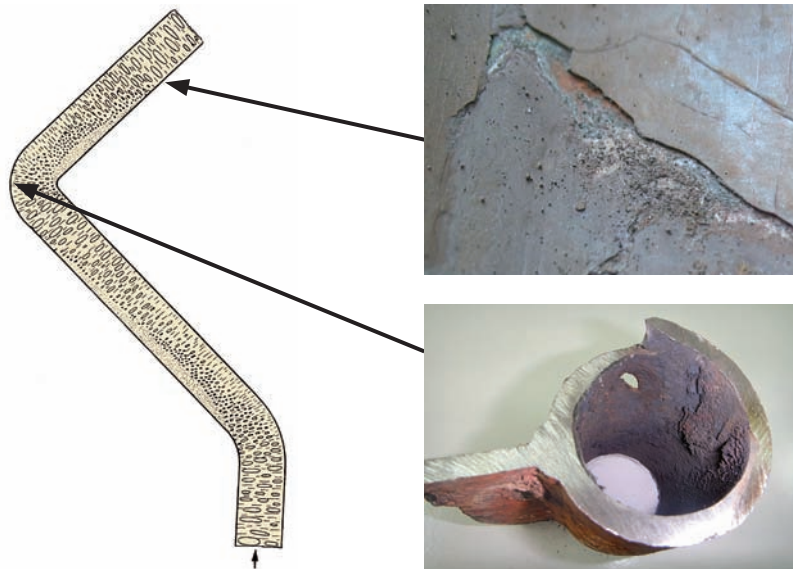
Skłonność do fazowego rozdziału mieszanki wodno-parowej zwiększa się w miarę zmniejszania się prędkości przepływu wody w rurach. Zachodzi to zwłaszcza przy niskich wydajnościach kotła.

Pochyłości rur kotłowych przy uwzględnieniu zmiennej prędkości czynnika (mieszanki wodno-parowej) w poszczególnych konturach komory paleniskowej mogą sprzyjać powstaniu warunków niekorzystnego fazowego rozdziału mieszanki wodno-parowej. Stwarza to sprzyjające warunki dla przebiegu procesów korozyjnych.

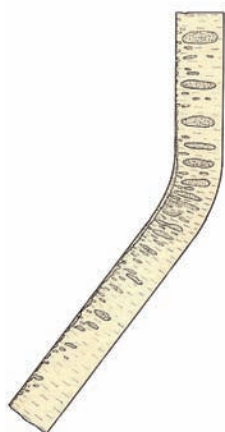
Błonkowy proces odparowania wody powoduje miejscowe znaczne wzrosty temperatury pracy metalu, ponieważ powstająca warstewka pary jest czynnikiem pogarszającym proces wymiany ciepła (rys.16).

Na krzywiznach rur w okolicy przeważu (rys. 17) uszkodzenia występują pozornie wbrew powyższym zasadom rozdziału. Wynika to przypuszczalnie z różnych gęstości obydwóch faz.

Woda jako czynnik o większej gęstości wykazuje tendencję do utrzymywania kierunku przepływu omywając górną część rur, natomiast para w tych warunkach, jako lżejsza, gromadzi się od strony ogniowej.



Rys. 17. Fazowy rozdział mieszanki wodno-parowej w rurze z wrzącą wodą w okolicy przeważu



Rys. 16. Fazowy rozdział mieszanki wodno-parowej w rurze z wrzącą wodą w chłodnym leju

Wszystkie wyżej opisane procesy wywołujące procesy korozyjne rur kotłowych potęgują się, jeżeli nie są spełniane wymagane parametry jakościowe wody kotłowej. Zanieczyszczenia osadowe znajdujące się w wodzie kotłowej wydzielają się na wewnętrznych powierzchniach rur od strony ogniowej (w miejscach fazy parowej) dodatkowo pogarszając wymianę ciepła. Ta znacznie gorsza wymiana ciepła w połączeniu z solami agresywnymi znajdującymi się w wodzie kotłowej jest czynnikiem znacznie przyspieszającym procesy korozyjne rur kotłowych.

## Wnioski

Podstawowymi czynnikami wpływającymi na trwałości rur kotłowych w warunkach eksploatacji są:

- właściwe rozwiązania konstrukcyjne kotła,
- właściwy montaż kotła (zgrzeiny, spawy),
- właściwe rozwiązania zagięć rur w komorze paleniskowej przy zachowaniu możliwie dużego promienia,

- utrzymywanie właściwych parametrów jakościowych wody zasilającej i kotłowej,
- eksploatacja kotła bez zaniżania wydajności poniżej bezpiecznego poziomu,
- niedopuszczanie do gwałtownych zmian wydajności i ciśnienia w kotle, które mogą być przyczyną zakłóceń w cyrkulacji,
- niedopuszczanie do przekroczenia bezpiecznego dla danego typu kotłów poziomu ilości osadów przypadających na jednostkę wewnętrznej powierzchni rur parownika – chemiczne oczyszczanie kotłów.

## PIŚMIENNICTWO

- [1] Śliwa A., Gawron P., „Wpływ czystości wody kotłowej na uszkodzenia rur w rejonach przewężeń, na łukach oraz na odcinkach pochyłych”. XI Konferencja Naukowo-Techniczna „Udział chemii energetycznej we wzroście efektywności urządzeń”. Szczyrk, 24-26 maja 2006.
- [2] Norma PN-85/M-69775 Spawalnictwo. Wadliwość złączy spawanych. Oznaczanie klasy wadliwości na podstawie oględzin zewnętrznych.
- [3] Norma PN-EN 25817, PN-ISO 5817 Złącza stalowe spawane łukowo. Wytyczne do określania poziomu jakości według niezgodności spawalniczych.
- [4] Jakubik A., „Uszkodzenia niemechaniczne urządzeń ciepłych elektrowni”. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1974.
- [5] Sprawozdanie Pro Novum nr 22.1696/2005.
- [6] Sprawozdanie Pro Novum nr 122.1796/2005.
- [7] Robinson J., Carvalho L., Robinson G., "The pros and cons of using Organic Amines to treat high-purity boiler feed water". PPChem 2012, nr 14(9).



**proNovum**<sup>®</sup>  
RESEARCH & TECHNOLOGICAL SERVICES  
Centrum Badawczo - Rozwojowe

W dniach 2-4 października 2013 r., w Hotelu BELWEDER w Ustroju, odbyło się zorganizowane przez Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o.

**XV Sympozjum Informacyjno-Szkoleniowe**

**DIAGNOSTYKA I REMONTY URZĄDZEŃ  
CIEPLNO-MECHANICZNYCH ELEKTROWNI**

**Diagnostyka i zapobieganie nieszczelnościom rur  
powierzchni ogrzewalnych kotłów parowych**

Sympozjum zostało zorganizowane przy współpracy z **TAURON Wytwarzanie S.A., EDF Polska S.A., PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A., ENERGA Elektrownie Ostrołęka S.A.,** oraz **Towarzystwem Gospodarczym Polskie Elektrownie.**

**Urząd Dozoru Technicznego** po raz kolejny objął Sympozjum Honorowym Patronatem.

Patronat medialny nad Sympozjum sprawowały branżowe czasopisma: **Energetyka, Przegląd Energetyczny, Energetyka Ciepła i Zawodowa, Nowa Energia, Dozór Techniczny** oraz portal **Elektroenergetyka i przemysł on-line. Inżynieria w praktyce.**

W Sympozjum wzięło udział ponad 180 przedstawicieli elektrowni, firm remontowych i diagnostycznych, Urzędu Dozoru Technicznego oraz innych firm i instytucji związanych z energetyką.

Tematyka Sympozjum nie była przypadkowa. W czasach, gdy mówi się coraz mniej o technice, a coraz więcej o pieniądzach wybrano temat, który w obszarze wytwarzania w największym stopniu ich dotyczy: uszkodzenia powierzchni ogrzewalnych odpowiadają za większość awaryjnych postojów bloków zarówno nowych, jak i długookoplatowanych. Goście Sympozjum przedstawili wiele interesujących referatów z tego zakresu, natomiast gospodarze skupili się nie tyle na konkretnych problemach technicznych, ile na systemowym podejściu do zarządzania informacją i wiedzą o warunkach pracy kotłów i ich awaryjności. Specjaliści Pro Novum przedstawili m.in. podejście związane z zarządzaniem utrzymaniem powierzchni ogrzewalnych kotłów na podstawie analizy ryzyka, to metodyka, która w największym stopniu integruje problematykę techniczną oraz ekonomiczną. To może być wspólny język porozumienia inżyniera i ekonomisty.

Tegoroczne, jubileuszowe XV Sympozjum zdominowały, oprócz głównego tematu konferencji, dwa wydarzenia:

- **Debata, z udziałem przedstawicieli prawie wszystkich grup energetycznych nt. „Wytwarzanie, jako źródło kosztów, ale także wiedzy i kompetencji technicznych”,**
- **Jubileusz 25-lecia Energoremontu sp. z o.o. z Krasnegostawu.**



Fot.: Zbigniew Sawicz

Fot.: Patrycja Płoszka, www.eip-online.pl

Fot.: Zbigniew Sawicz

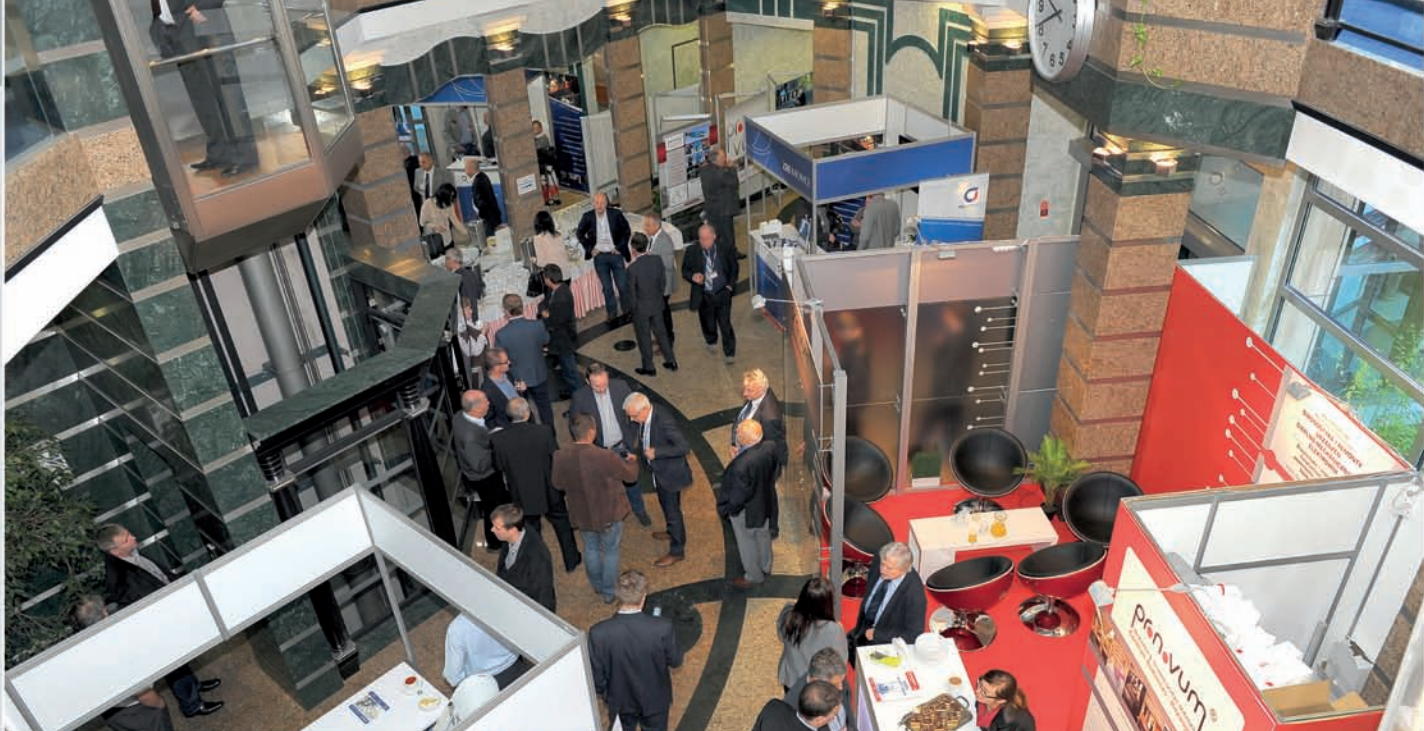
Fot.: Zbigniew Sawicz

Fot.: Zbigniew Sawicz

Fot.: Zbigniew Sawicz

Fot.: Zbigniew Sawicz





Fot.: Zbigniew Sawicz

zaną z wytwarzaniem, tj. kompetencje w obszarze technicznego utrzymania urządzeń. Wszyscy dyskutanci byli zgodni, co do tego, że to ważny problem, nie wszyscy podzielali pogląd, że może nie udać się go rozwiązać, zwłaszcza w dłuższej perspektywie czasowej.

Obawy Prezesa Jerzego Trzeczcyńskiego w największym stopniu podzielił Dyrektor **Jan Krzeziński** z Alstom Power potwierdzając pogląd, że wiedza i kompetencje są tam, gdzie jest informacja techniczna oraz specjaliści o odpowiednich kompetencjach. Tym miejscem od pewnego czasu nie jest już elektrownia, a nie są jeszcze departamenty zarządzania majątkiem grup energetycznych. Wykorzystując obecnie dostępne technologie informatyczne takie miejsce można wyobrazić sobie wszędzie, także poza Polską.

Jubileusz Energoremontu organizatorzy XV Sympozjum uhonorowali prosząc o specjalne wystąpienie nie tylko Pana Prezesa **Kazimierza Rusznika**, ale także pozostałych, obecnych na Sympozjum przedstawicieli tej znakomitej firmy, którzy otrzymali standing ovation.

W pięciu sesjach wygłoszono 19 referatów.

W specjalnej sesji Prezentacje Firm i Nowych Technologii swoje aktualne oferty oprócz Organizatora – Przedsiębiorstwa Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o. – przedstawiły firmy: Energoremont sp. z o.o., CONCO East sp. z o.o., ROMIC Aparatura Elektroniczna.

Sympozjum towarzyszyła wystawa, gdzie oprócz Przedsiębiorstwa Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o. stoiska wystawowe przygotowały: ECOL Sp. z o.o., Conco East sp. z o.o., Pentair Valves & Controls Polska sp. z o.o., Turbolab – Diagnostyka Turbin sp. z o.o., Romic Aparatura Elektroniczna, Polman S.A., Zakłady Remontowe Energetyki „Katowice” S.A.

Moderatorem debaty został **Jerzy Trzeczcyński**, Prezes Zarządu Przedsiębiorstwa Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o. W dyskusji udział wzięli:

- **Jan Pilipionek** – PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna S.A., Wiceprezes Zarządu,
- **Piotr Oberc** – EDF Polska S.A., Dyrektor,
- **Leszek Wiśniowski** – TAURON Wytwarzanie S.A., Prezes Zarządu,
- **Sławomir Krystek** – Izba Gospodarcza Energetyki i Ochrony Środowiska, Dyrektor,
- **Franciszek Pchelka** – Towarzystwo Gospodarcze Polskie Elektrownie, Dyrektor ds. Technicznych.

Debata dotyczyła najważniejszego, zdaniem Prezesa Jerzego Trzeczcyńskiego, aktualnie problemu, tj. czy podczas trwającej, głębokiej reorganizacji energetyki uda się ochronić jej intelektualną część zwią-

Fot.: Zbigniew Sawicz



Fot.: Zbigniew Sawicz

Fot.: Zbigniew Sawicz