

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

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

## Podsumowanie i wnioski

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

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

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

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

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

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

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

## LITERATURA

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

Jerzy Dobosiewicz, Ewa Zbroińska-Szczechura

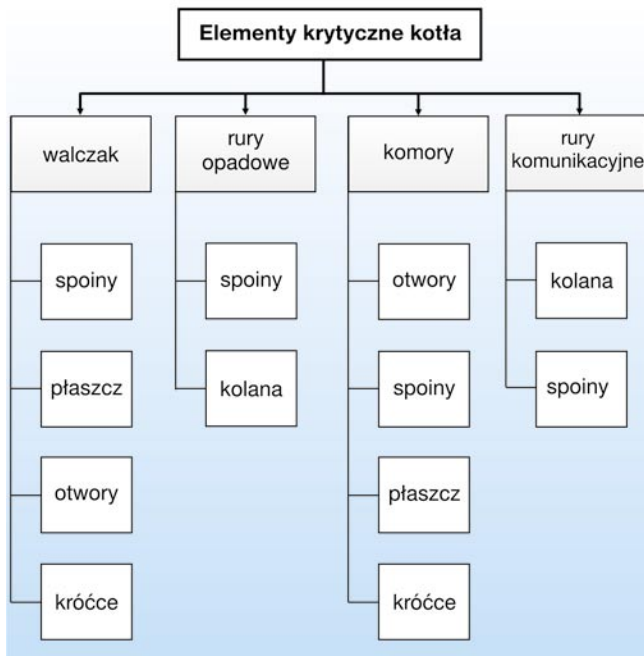
# Ocena trwałości komór przegrzewaczy kotłów parowych pracujących w warunkach pełzania

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

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

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

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



Rys. 1. Elementy krytyczne kotła

Do najbardziej krytycznych elementów kotła należą komory (zbiorniki pary), a pośród nich najczęściej ulegają uszkodzeniu wylotowe komory przegrzewaczy pary świeżej i wtórnie przegrzanej.

### Warunki pracy komór

Podstawowymi naprężeniami panującymi w ściankach komór przegrzewaczy kotłów parowych są naprężenia wywołane działaniem ciśnienia wewnętrznego. Grubość ścianki komór jest określana według przewidywanej wartości tych naprężeń.

Pod wpływem ciśnienia w ściance rury powstają naprężenia obwodowe, osiowe i promieniowe. Z analizy naprężeń wynika, że ze względu na działanie ciśnienia wewnętrznego uszkodzenia komór powinny mieć charakter pęknięć podłużnych biorących początek na powierzchni wewnętrznej.

W eksploatacji urządzenia /elementu można wyróżnić trzy charakterystyczne okresy:

- początkowy,
- normalnej eksploatacji
- postępującego starzenia (zużycie).

Okres początkowy eksploatacji, czasami zwany okresem „oswajania”, charakteryzuje się zwiększoną częstością występowania uszkodzeń na skutek m.in. błędów eksploatacji (rozruch i techniczne szkolenie obsługi nowego urządzenia) bądź niesprawdzonych rozwiązań konstrukcyjnych oraz technologicznych. Po pierwszym okresie, stosunkowo krótkim, następuje okres stabilnej eksploatacji aż do chwili przejścia urządzenia / elementu w stan postępującego zużycia (rys. 2).

Niezawodny czas pracy elementów krytycznych zależy od warunków eksploatacji, a tym samym od zachodzących w metalu procesów niszczenia, do których najczęściej należą:

- pełzanie,
- zmęczenie korozyjne,



Rys. 2. Teoretyczna zależność liczby uszkodzeń kotłów od czasu pracy

- erozja i korozja,
- zmiany własności metalu (starzenie),
- pękanie kruche.

Procesy te powodują powstawanie w metalu odkształceń, ubytków oraz pęknięć (pełzaniowych, zmęczeniowych, korozyjnych).

Komory kotłów ulegają zwykle uszkodzeniom mającym postać powierzchniowych nieciągłości aż do nieszczelności włącznie.

Uszkodzenia można podzielić (z uwagi na zakres ewentualnej naprawy) na trzy grupy:

- wymagające wymiany elementu (komory) lub jej części (10% ogólnej liczby uszkodzeń),
- wymagające natychmiastowej naprawy (40%),
- naprawiane podczas najbliższego postoju lub planowanego remontu urządzenia (50%).

Większość uszkodzeń komór (90%) wykrywa się podczas badań diagnostycznych, pozostałe to uszkodzenia, które powodują nieplanowany postój wywołany nieszczelnością. Przeważająca liczba nieszczelności wywołana jest pęknięciami:

- krawędzi i tworzących otworów oraz mostków międzyotworowych,
- spoin pachwinowych króćców,
- spoin obwodowych oraz denek.

Do uszkodzenia może dojść wskutek:

- cyklicznie nagromadzonego odkształcenia w przestrzeniach naruszenia geometrycznej ciągłości w wyniku sumowania się naprężeń zmiennych i stałych (najczęściej cieplnych); zniszczenia w postaci pęknięć występują na krawędziach otworów i na mostkach międzyotworowych osiowych (najdłuższe są ułożone najczęściej równoległe do głównej osi komory); w komorach grubościennych pęknięcia mogą występować również na mostkach obwodowych, gdy grubość – długość mostków jest znikoma;
- cyklicznie nagromadzonego znacznego odkształcenia na wewnętrznych krawędziach otworów w wyniku działania znacznych naprężeń cieplnych (termosok); zniszczenia mają charakter pęknięć promieniowych (tzw. Stoneczka) poszerzonych wskutek korozyjnego działania czynnika;
- cyklicznego nadmiernego odkształcenia sprężystego lub plastycznego przekraczającego granicę odkształcalności materiału wskutek działania momentu zginającego powstałego z powodu niemożliwości kompensacji wydłużeń cieplnych wężownic

i rurociągów; zniszczenia mają charakter pęknięć obwodowych rozwijających się na powierzchni wewnętrznej i ujawniają się w postaci nieszczelności w okolicy spoiny króćców.

Wszystkie wymienione uszkodzenia są pogłębiane procesami korozyjnymi wynikającymi z agresywnego działania czynnika (woda lub para) i mają charakter zmęczenia korozyjnego:

- **nierównomiernych ubytków grubości ścianki** spowodowanych korozją od powierzchni wewnętrznej (nieodpowiednia jakość czynnika lub brak konserwacji podczas postoju); proces ten zachodzi również od strony zewnętrznej w miejscach gdzie gromadzi się popiół i w przypadku jednoczesnego działania wilgoci daje agresywne w stosunku do metalu związki lub erozję przeważnie wtórną;
- **wyczerpania wytrzymałości czasowej** w wyniku pracy komory w temperaturach przekraczających znacznie temperatury obliczeniowe, zniszczenia występują na powierzchni wewnętrznej i mają charakter:
  - odkształceń otworów i średnicy komory,
  - pęknięć równoległych do osi komory nas krawędziach otworów,
  - pęknięć na powierzchni zewnętrznej (w okolicach spoin króćców) równoległych do głównej osi komory.

## Przyczyny uszkodzeń komór kotłów parowych

Zmęczenie korozyjne na skutek uderu cieplnego, występujące pod postacią:

- pęknięć na krawędziach otworów wężownic,
- pęknięć na krawędziach otworów odwodnień, odpowietrzeń oraz do pomiaru ciśnienia (przyczyna pośrednia powrót kondensatu)

Wyczerpanie wytrzymałości czasowej objawiające się:

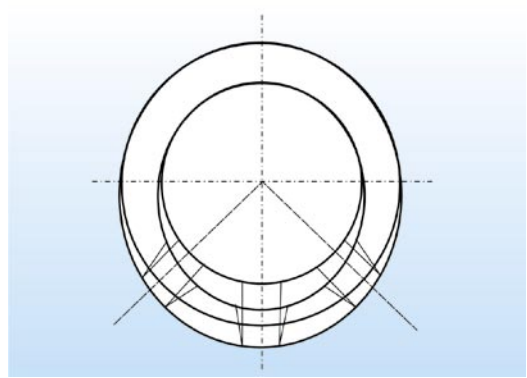
- pęknięciami na krawędziach otworów wężownic równoległych do głównej osi komory,
- pęknięć w okolicach spoin króćców i spoin obwodowych,
- odkształceniami średnicy otworów w kierunku prostopadłym do głównej osi oraz średnicy komory szczególnie w części owierconej.

Pośrednią przyczyną wyczerpania wytrzymałości czasowej jest długotrwała praca w temperaturze przekraczającej temperaturę obliczeniową komory lub dopuszczalny czas pracy.

Na krawędziach otworów od strony wewnętrznej występuje koncentracja naprężeń, wg TRD współczynnik tej koncentracji  $\alpha_k$  w zależności od rodzaju króćca może wynosić od 2 do 3. Dlatego komory odkształcają się głównie w strefie, gdzie występują otwory.

Dane eksploatacyjne wykazują, że w przypadku pełzania najszybciej ulegają uszkodzeniom owiercone części komór, gdzie z wymienionych względów dochodzi do znacznych odkształceń otworów.

W komorach pracujących w temperaturze ok. 540°C i obliczonych przy uwzględnieniu współczynnika wytrzymałości  $z \approx 0,80$ , szybkość pełzania na mostku jest 5 razy większa niż w części nieowierconej, a na krawędzi otworu 10 razy.



Rys. 3. Typowe odkształcenie komory

Nieszczelności grubościennych komór biorą początek na powierzchni wewnętrznej w okolicy króćców, tj. w przejściu spoiny króćca w płaszcz, a następnie rozprzestrzeniają się na mostek. Gdy  $D_z/D_w > 1,3$ , to komory nie mają tendencji do lawinowych (eksplozyjnych) uszkodzeń pod wpływem działania naprężeń stałych. Można to tłumaczyć spadkiem współczynnika koncentracji naprężeń wzdłuż grubości ścianki. Gdy  $D_z/D_w < 1,3$  inicjacja i propagacja uszkodzeń dotyczy jednocześnie całej grubości; w takim przypadku nie można wykluczyć uszkodzenia lawinowego. Uszkodzenia pełzaniowe komór z odkształceniem również występują w okolicy spoin obwodowych, zwłaszcza przy denkach tzw. rowkiem odciążającym, gdy średnica wewnętrzna komory przekracza 300 mm.

## Ugięcia komór

Bezpośrednią przyczyną ugięcia (skrzywienie) komór, do których często dochodzi w czasie eksploatacji są naprężenia cieplne, powstające w wyniku zalewania (w czasie uruchomienia) komór (szczególnie wylotowych) kondensatem, którego temperatura jest znacznie niższa od temperatury metalu. Zjawisko takie może wystąpić np. podczas uruchamiania kotła ze stanu gorącego, gdy z wężownic przegrzewaczy są wtłaczane „korki” zimnego kondensatu do komory lub gdy niewłaściwie działają schładzacz wtryskowe (uszkodzenia dyszy rozpylającej wodę). W przypadku dużej różnicy między temperaturą metalu i kondensatu powstają naprężenia zginające mogące przekraczać granicę plastyczności metalu, a wtedy po wyrównaniu temperatur na przekroju komory pojawiają się w jej ściankach naprężenia powodujące odkształcenia trwałe o znaku przeciwnym do początkowego. Należy zaznaczyć, że obecność otworów w ściance komory zwiększa strzałkę ugięcia. Otwory zwiększają objętość metalu podlegającą go schłodzeniu i zmniejszają moment bezwładności przekroju.

Skrzywienie komór jest niepożądane ze względu na:

- przekroczenie odkształcalności metalu w okolicy otworów,
- niemożliwość odwodnienia komory, co może powodować zalanie dolnych otworów wężownic i uniemożliwić w początkowej fazie rozruchu kotła przepływ pary, tym samym powodując nadmierne odkształcanie się zaczopowanych wężownic i występowanie nadmiernych momentów zginających na króćcach powodujących występowanie pęknięć w ich pobliżu,
- zmęczenie zamocowań komory – zmiany kierunku strzałki ugięcia (stan zimny + stan gorący) ma istotny wpływ na trwałość zamocowań komory.

Podstawowe przyczyny i objawy uszkodzeń komór

Miejsce uszkodzenia	Objawy uszkodzenia	Przyczyny uszkodzenia	Prawdopodobieństwo uszkodzenia
Krawędzie otworów wężownic od wewnątrz	pęknięcia słoneczkowe	termoszok, wtłaczanie kondensatu z wężownic, wahania obciążenia kotła	wysokie
	pęknięcia równoległe do głównej osi + odkształcenie otworów	praca długotrwała w temp. przekraczającej temp. obliczeniową + termoszok	wysokie
Krawędzie otworów od wewnątrz odwodnień, odpowietrzeń	pęknięcia słoneczkowe	powrót kondensatu z rurociągu	wysokie
Spoiny kątowe króćców od wewnątrz i zewnątrz	pęknięcia obwodowe	dodatkowy moment zginający – brak kompensacji wydłużeń cieplnych	niskie
Płaszcz komory	ugięcie	schładzanie dolnej tworzącej komory	średnie
Spoiny obwodowe	pęknięcia obwodowe	dodatkowy moment zginający, praca w temperaturze przekraczającej wartości dopuszczalne	średnie

Trwałością nazywamy czas pracy komór od chwili włączenia do eksploatacji do chwili wyłączenia na trwałe z eksploatacji wskutek degradacji technicznej. Określenie stanu technicznego po pewnym okresie eksploatacji umożliwia postawienie prognozy o dalszym niezawodnym czasie użytkowania oraz umożliwia ocenę prawdopodobieństwa powstania uszkodzenia w tym okresie (ryzyka). Duża część urządzeń energetycznych bądź ich części ulega uszkodzeniom na skutek działania niszczących zjawisk, które mają charakter deterministyczny. Dla takich urządzeń lub ich elementów można ustalić związek między intensywnością uszkodzeń (liczbą uszkodzeń) a ich stanem technicznym i okresem eksploatacji. Częstotliwość występowania uszkodzeń określonych  $H$  elementów urządzenia wyraża wzór:

$$H(\tau) = \frac{\Delta n}{N \Delta \tau} \geq 0 \quad (1)$$

gdzie:

$\Delta n$  – liczba elementów uszkodzonych,

$N$  – liczba elementów nieuszkodzonych w czasie  $\tau$ .

Zależność liczby uszkodzeń od czasu eksploatacji dla wielu rodzajów i typów uszkodzeń charakteryzuje się określoną prawidłowością. Ocenę ryzyka dalszej przydatności można ustalić na drodze statystycznej. Metody probabilistyczne znalazły duże zastosowanie w sektorze ubezpieczeniowym oraz w technice.

Metoda oceny ryzyka składa się z zakresu (znaczenia) uszkodzenia oraz częstotliwości występowania zgodnie ze wzorem:

$$R = S \times H \quad (2)$$

gdzie:

$R$  – ryzyko,

$S$  – zakres (znaczenie) uszkodzenia,

$H$  – częstotliwość występowania.

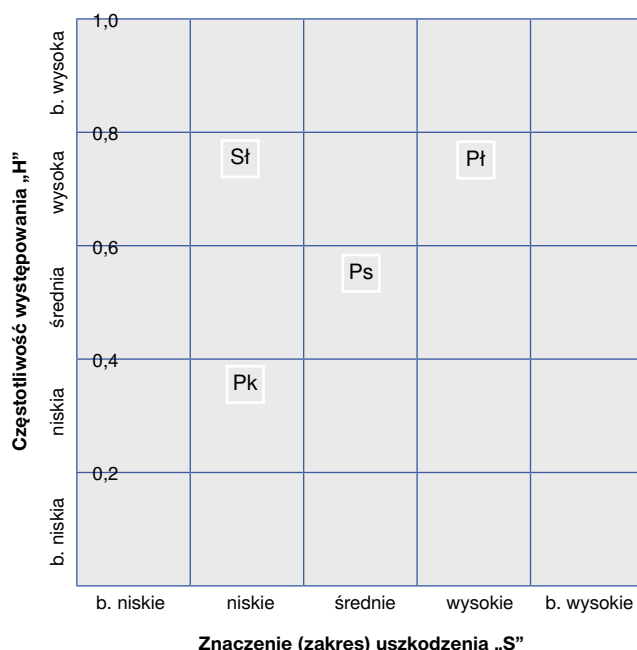
Ponieważ częstotliwość uszkodzenia  $H$  ma charakter statystyczny, to  $R$  również staje się wielkością statystyczną.

Ryzyko może być stosowane do całego urządzenia lub jego pojedynczych części (jak np. w kotle do komór), kiedy określone jest jednym procesem niszczenia (np. pęźnaniem). Taki element należy traktować jako krytyczny dla całego urządzenia. Częstotliwość  $H$  powinna być oparta na znanej wartości średniej, np. z literatury lub z doświadczenia personelu technicznego.

Wg EPRI, dla praktycznego stosowania,  $H$  (częstotliwość występowania) jest podzielona na 5 klas, co ułatwia kwalifikację uszkodzeń. Podobnie w ten sam sposób  $S$  (znaczenie uszkodzenia) podzielono na 5 klas (rys. 4).

Najczęściej występują termoszokowe uszkodzenia słoneczkowe (Sł), lecz znaczenie ich skutków jest niskie, bowiem są one naprawialne (oczywiście po usunięciu przyczyny ich powstawania, tj. termoszoku). Podobne prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzeń można przypisać uszkodzeniom pęźnaniowym (Pł), ale ich skutki są groźne, gdyż tego rodzaju uszkodzenia są nienaprawialne, porażone komory powinny być wymienione.

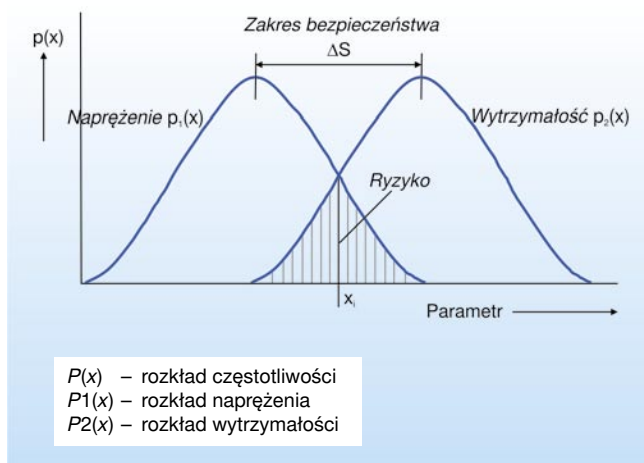
W praktyce, z powyższych względów, do oceny ryzyka uszkodzenia komór bierze się pod uwagę degradację pęźnaniową, której ryzyko – prawdopodobieństwo wystąpienia przekracza wartość 0,6.



Rodzaje uszkodzeń:  
 Sł – słoneczkowe otworów, Pł – pęźnaniowe otworów,  
 Ps – pęźnaniowe spoin obwodowych, Pk – pęźnaniowe króćców

Rys. 4. Macierz ryzyka komórek kotłowych energetycznych

Wszystkie uszkodzenia przyczyniają się do wzrostu awaryjności. Charakterystyka wzrostu awaryjności zależy od procesu niszczenia. Miarą tego procesu może być zależność między naprężeniem i wytrzymałością w funkcji działania naprężenia w czasie eksploatacji. Naprężenie i wytrzymałość w wyniku tolerancji grubości mogą zachodzić na siebie w procesie degradacji (rozkłady Gaussa).



Rys. 5. Stochastyczne powiązanie naprężenia, wytrzymałości i ryzyka

Parametry naprężenia i wytrzymałości występują (zachodzą) z różną częstotliwością  $P(x)$ . Ryzyko jest wynikiem różnicy częstotliwości rozkładu naprężenia  $P1(x)$  i wytrzymałości  $P2(x)$ .

Zakres bezpieczeństwa dla powstania uszkodzenia jest średnią wartością  $\Delta S$ , pole między zachodzeniem za siebie częstotliwości rozkładu obu parametrów „pole ryzyka” z czasem eksploatacji rośnie.

Podobnie prawdopodobieństwo występowania uszkodzenia rośnie z czasem eksploatacji. Niemożliwe jest ustalenie ściśle określonego czasu wystąpienia uszkodzenia (statystyka).

Wykorzystując istniejące normy oraz dane materiałowe (wytrzymałość czasowa) przyjęte przez normę europejską EN-12952-4:2000 można wprowadzić kilka pojęć dotyczących trwałości komór, a mianowicie:

■ **trwałość projektowa**

- projektowany czas pracy  $\tau_p$  na 100 000 h przy nominalnych parametrach (ciśnienie i temperatura) oraz nominalnej geometrii i współczynniku bezpieczeństwa  $k = 1,65$ ; wytrzymałość czasowa  $R_{z/10\ 0000/h}$ ;

■ **trwałość konstrukcyjna  $\tau_z$**

- ponownie obliczony czas pracy przy parametrach i wymiarach znamionowych i przy wytrzymałości czasowej  $R_{z/250\ 000/h}$  (obliczone z godnie z BSEN 12952-4:2000);

■ **trwałość indywidualna  $\tau_i$**

- przy  $R_{z/250\ 000/h}$ :
  - średnia temperatura metalu i czynnika,
  - rzeczywiste wymiary elementu.

Należy podkreślić, że trwałość konstrukcyjna przewyższa ponad dwukrotnie trwałość projektową, a trwałość indywidualna z reguły przewyższa trwałość konstrukcyjną:

$$\tau_p < \tau_z < \tau_i \quad (3)$$

Czas pracy indywidualny oblicza się przez porównanie zredukowanego naprężenia  $\sigma_z$  z wytrzymałością czasową przy spełnieniu warunku:

$$\sigma_z < 0,8 R_z \quad (4)$$

gdzie:

- $\sigma_z$  – naprężenie zredukowane,
- $R_z$  – czasowa wytrzymałość na pełzanie.

Naprężenie zredukowane  $\sigma_z$  ustala się dla wszystkich rodzajów naprężeń mogących wystąpić w ścianie komory, najlepiej przez obliczenie metodą MES.

Resztkową trwałość  $\tau_o$  ustala się następująco:

$$\tau_o = \tau_i - \tau \quad (5)$$

gdzie:

$\tau$  – dotychczas przepracowana liczba godzin.

$\tau_{dop}$  – sumaryczny maksymalny dopuszczalny czas pracy:

- dla spoin  $\tau_{dop} = \frac{\tau_i}{1,2}$  (6)

- płaszcz z otworami  $\tau_{dop} = \frac{\tau_i}{1,3}$  (7)

Stopień wyczerpania  $\varepsilon = \frac{\tau}{\tau_i}$  (8)

Liczne doświadczenia wskazują, że:

- w przypadku spoin:
  - konstrukcyjny czas pracy waha się w granicach  $\tau_z = 150\ 000\text{--}300\ 000$  h
  - indywidualny czas pracy waha się w granicach  $\tau_i = 130\ 000\text{--}350\ 000$  h
- płaszcz z otworami:
  - konstrukcyjny czas pracy waha się w granicach  $\tau_z = 140\ 000\text{--}240\ 000$  h
  - indywidualny czas pracy waha się w granicach  $\tau_i = 150\ 000\text{--}280\ 000$  h.

Przy dotrzymaniu warunku

$$\sigma_z < \sigma_{dop} \quad \text{i} \quad \frac{\sigma_{dop}}{\sigma_z} \geq 1,2 \quad (9)$$

można ustalić ryzyko powstania uszkodzenia  $R_u$  wg [1]

$$R_{uk} = a \left( \frac{\tau}{\tau_i} \right) - b \quad \text{płaszcz}$$

$$R_{us} = 1a \left( \frac{\tau}{\tau_i} \right) - b \quad \text{spoiny}$$

gdzie:

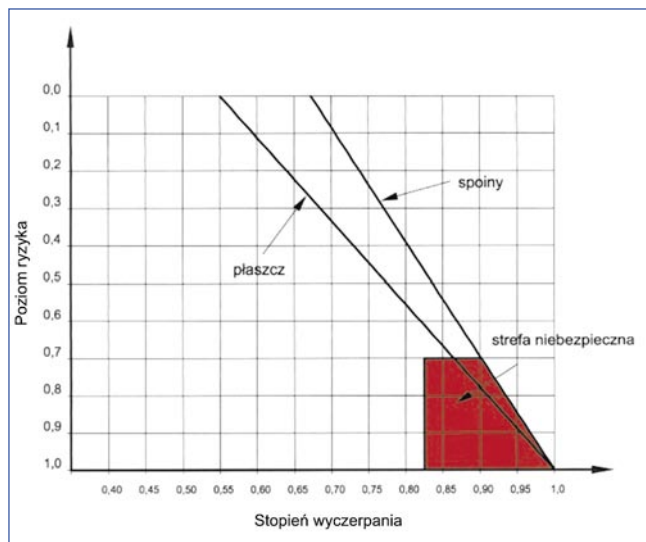
współczynniki statystyczne  $a(f) - H$ ;  $b(f) - \sigma_{dop}/\sigma_z$

Poziom ryzyka w zasadzie może być oceniany jedynie po wartościach granicznych:

$R = 0,0$  zadowalający

$R = 1,0$  niezadowalający

Wyszczególnienie	Poziom I ryzyko $R < 0,4$	Poziom II $0,4 < R < 0,6$	Poziom III $0,6 < R < 0,7$
Historii eksploatacji	zapisy i protokoły elektroni	zapisy i protokoły elektroni	zapisy i protokoły elektroni
Wymiary	nominalne	pomierzone lub nominalne	pomierzone
Stan techniczny	wyjściowy	wyniki kontroli	wyniki szczegółowej kontroli
Temperatury i ciśnienia	projektowe	eksploatacyjne – rzeczywiste	pomierzone
Naprężenia $\sigma$	projektowe	proste obliczenia	złożone analizy
Własności materiałów $R_z$	minimum wg normy	minimum wg normy	własności rzeczywiste
Badania metalograficzne	nie	nie	tak



Rys. 5. Zależność poziomu ryzyka od stopnia wyczerpania

Poziom ryzyka w dużej mierze zależy od panujących w komorze naprężeń i jej wytrzymałości, im bardziej te wartości są do siebie zbliżone, tym większe jest ryzyko – prawdopodobieństwo powstawania uszkodzenia.

Podobnie wpływają na poziom ryzyka przepracowana liczba godzin  $\tau$  i obliczeniowy indywidualny czas pracy  $\tau_i$ . Stosunek powinien być zawsze większy co najmniej od:

$$\frac{\tau_i}{\tau} > 1,2 \quad (10)$$

$$\frac{\sigma_z}{R_z} > 1,2 \quad (11)$$

gdzie:

$\tau_i$  – indywidualny czas pracy

$t$  – przepracowana liczba godzin

$\sigma_z$  – naprężenie zredukowane

$R_z$  – wytrzymałość czasowa na pękanie

## Podsumowanie

Obliczone wartości trwałości i ryzyka powstania uszkodzenia w okresie międzyremontowym nie są dokładne i mieszczą się w pasmie rozrzutu o szerokości  $\pm 20\%$ .

Wynika to z danych materiałowych znajdujących się w odpowiednich normach oraz stosowanych do obliczeń metod probabilistycznych. Wobec powyższego wskazane jest sprawdzanie stanu urządzenia przez wykonanie badań diagnostycznych. Dlatego elementy oceniane powinny być poddawane przeglądom i badaniom nieniszczącym i niszczącym.

Zakresy stosowanych przeglądów pomiarów i badań koniecznych dla dokonania wiarygodnej oceny stanu w zależności od poziomu ryzyka podano w tabeli 2.

## LITERATURA

- [1] Dobosiewicz J.: Warunki pracy stali w niektórych urządzeniach energetycznych. *Energetyka* 1975, nr 7-8
- [2] Dobosiewicz J.: Uszkodzenia kompensacyjne króćców komór kotłowych. *Energetyka* 1975, nr 4
- [3] Dobosiewicz J., Prohaska N.: Niezawodność połączeń spawanych rurociągów parowych. *Energetyka* 1976, nr 3
- [4] Dobosiewicz J.: Przydatność elementów kotła po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy. *Energetyka* 1983, nr 8
- [5] TRD 508. Zusätzliche Prüfungen ab Bauteilen berechnet mit zeitabhängigen Festigkeitskennwerten. Essen 1978
- [6] Bułanow J.W., Nowickaja G.M., Atdakszin P.I., Fiedotow W.P.: O progibie kolektorów paropierogriewatielej. *Tieptoenergetika* 1982, nr 11
- [7] Dobosiewicz J., Wojczyk K.: Dopuszczalne ugięcia komór w energetycznych kotłach parowych. *Energetyka* 1978, nr 7
- [8] Dobosiewicz J.: Uszkodzenia komór parowych kotłów wysokopiętnych. *Energetyka* 1984, nr 3
- [9] Dobosiewicz J., Zbroińska-Szczechura E.: Uszkodzenia komór przegrzewaczy kotłów parowych. *Energetyka* 1993, nr 3.
- [10] Dobosiewicz J.: Ugięcia komór parowych. *Energetyka* 1995, nr 10
- [11] Hovinga, Nakoneczny: Standard Recommendations for pressure part Inspection During a Boiler life Extension program Babcox Wilcox paper. May 2000
- [12] Dobosiewicz J., Zbroińska-Szczechura E.: Diagnostyka wodnych i parowych komór kotłów walczakowych. IX Konferencja kotłowa, 2002
- [13] Recommendation for the Introduction of Risk Based Maintenance. VGB-M 130 e, 2004
- [14] Efficient Operations Intelligent Diagnosis and Maintenance of Plants, VGB-B011e, 2003
- [15] GEN Workshop 24: Risk-Based Inspection and Maintenance Procedures for European Industry, June 2005
- [16] Okraini J., Plaza M., Marek A., Esler W.: Zmęczenie cieplno-mechaniczne elementów urządzeń energetycznych. IX Konferencja naukowo-techniczna PIRE 2007
- [17] E. Zbroińska-Szczechura: Uszkodzenia płaskich den komór z rowkami odciążającymi przegrzewaczy kotłów