

Jerzy Dobosiewicz

Pro Novum - Katowice

Ocena ryzyka niezawodnej eksploatacji komór przegrzewaczy kotłów parowych.

WSTĘP

Stan urządzeń ciepłno mechanicznych elektrowni ma zasadniczy wpływ na funkcjonowanie całego systemu energetycznego. Utrzymanie wysokiej niezawodności oraz małego ryzyka powstania uszkodzeń zależy od stopnia zużycia urządzeń. Na stopień zużycia mają wpływ:

- poziom eksploatacji,
- kwalifikacje obsługi,
- konstrukcja i technologia wykonania urządzeń.

W ciągu całego okresu eksploatacji elementy urządzeń poddawane są niekorzystnym działaniom różnych czynników, które powodują zmiany ich trwałości – zużycie. Aby, te ulegające zmianom, własności były utrzymywane w granicach dopuszczalnych lub ponownie wróciły do wymaganych wartości, należy urządzenie i elementy poddawać remontom, modernizacji, wymianie itp, które w skrócie, można nazwać czynnościami utrzymania. System czynności utrzymania powinien być oparty o dokładne rozeznanie stanu urządzenia/elementu.

Głównym zadaniem działalności remontowej jest utrzymanie zdolności produkcyjnej na poziomie zapewniającym stałe dostarczanie energii odbiorcy.

Dla spełnienia zapotrzebowania rynkowego i rosnących wymagań odbiorców na rynku energetycznym, wskazana jest większa elastyczność i niezawodność pracy bloków, a tym samym sposobu planowania i wyboru wariantu technicznego dla zadania remontowego zgodnie z nowymi technikami stosowanymi w energetyce światowej do których należą:

RCM (Reliability Centered Maintenance) utrzymanie ukierunkowane na niezawodność urządzenia;

CBM (Condition Based Maintenance) utrzymanie (remonty) na podstawie stanu technicznego;

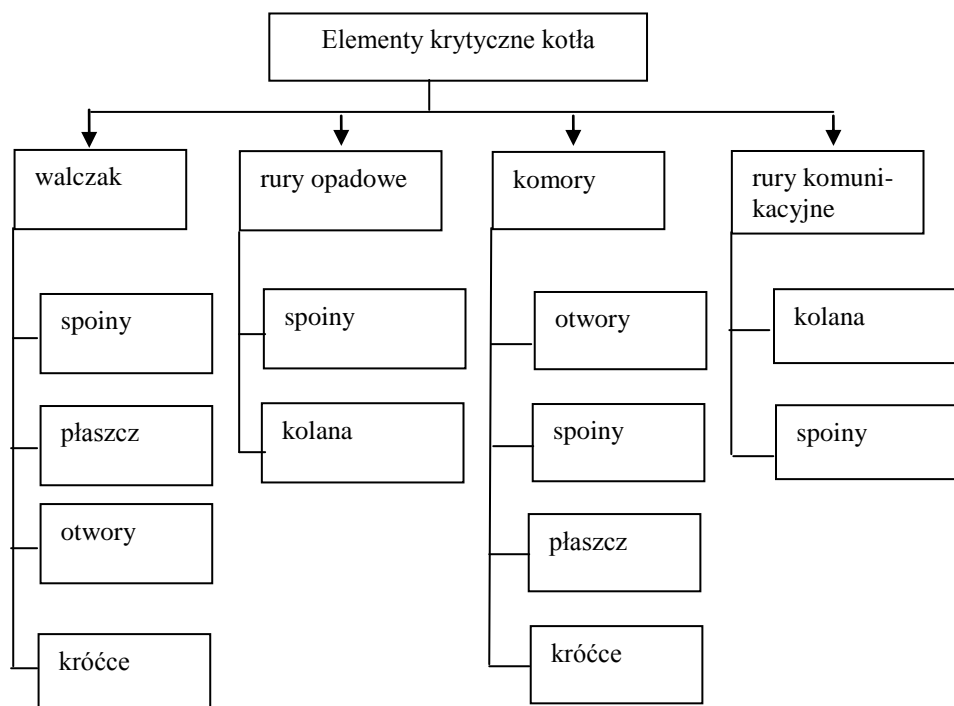
RBM (Risk Based Maintenance) utrzymania (remonty) oparte na podstawie oceny ryzyka wystąpienia uszkodzenia.

Wszystkie w/w czynności i programy, a szczególnie, gdy dotyczą one przedłużania okresu trwałości eksploatacyjnej, nie są wolne od ryzyka oraz niepewności oceny.

Zadaniem utrzymania (remontu) jest zapewnienie niezawodnej pracy urządzenia przy ograniczonych nakładach w oparciu o wytyczne zapewniające stałą kontrolę urządzeń lub jego części krytycznych, co powinno zapewnić ciągłość pracy i zapewnić do minimum ryzyko powstawania nieprzewidzianych postojów.

Ocenie ryzyka – (prawdopodobieństwo powstania uszkodzenia) - można poddawać kompletne urządzenia lub poszczególne elementy. Najczęściej ocenie poddaje się elementy krytyczne, to jest takie, których uszkodzenie przynosi duże straty; może powodować zniszczenie sąsiednich elementów lub których wymiana czy naprawa wyłącza z eksploatacji na dłuższy okres całe urządzenie (tablica 1).

Tablica 1



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

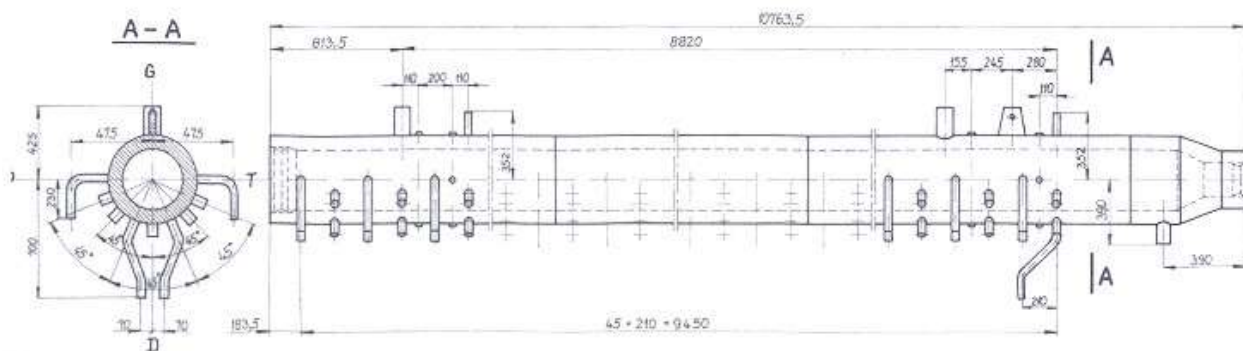
Do najbardziej krytycznych elementów kotła należą komory (zbiorniki pary) a z nich najczęściej, ulegają uszkodzeniom wylotowe komory przegrzewaczy pary świeżej i wtórnie przegrzanej.

Konstrukcja komór przegrzewaczowych

Komory zazwyczaj wykonane są z grubościennych rur o średnicy ϕ 200 ÷ 500 mm i grubości $g = 40 \div 100$ mm. Do budowy komór stosowane są stale:

- ferrytyczno – perlityczno – bainityczne gat. 15HM, 10H2M, 15HMF;
(dopuszczalna temperatura pracy w zakresie $t = 560 \div 590^\circ\text{C}$),
- martenzytyczne gat. X10CrMoVNb-1; (dopuszczalna temperatura pracy $t = 610^\circ\text{C}$).

Komory posiadają różnego rodzaju otwory w płaszczach służące do przyłączy króćców rur komunikacyjnych i węzownic (rys.1)/



Rys. 1. Komora.

Warunki pracy komór

Podstawowymi naprężeniami w ściankach komór przegrzewaczy kotłów parowych są naprężenia wywołane działaniem ciśnienia wewnętrznego. Grubość ścianki komór jest określana ze względu na przewidywaną wartość tych naprężeń.

Pod wpływem ciśnienia w ściance rury powstają naprężenia obwodowe, osiowe i promieniste. Dla grubościennych rur, do których należą komory przegrzewaczy, te trzy składowe naprężenia można obliczyć z następujących wzorów:

- naprężenie obwodowe $\sigma_t = p \frac{\beta^2 + 1}{\beta_0^2 - 1}$ (1)

- naprężenie osiowe $\sigma_z = p \frac{p}{\beta_0^2 - 1} = \text{item}$ (2)

- naprężenie promieniowe $\sigma_r = -p \frac{\beta^2 - 1}{\beta_0^2 - 1}$ (3)

gdzie:

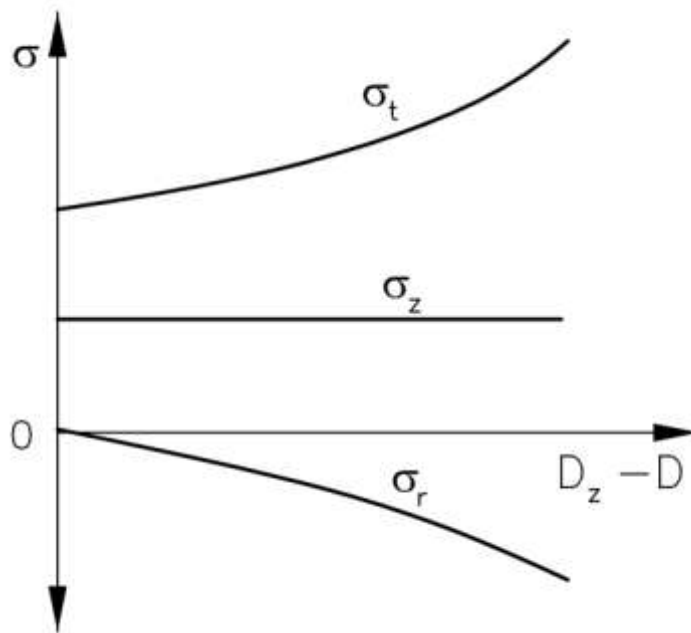
$$\beta = \frac{D_z}{D}$$

$$\beta_0 = \frac{D_z}{D_w}$$

P – ciśnienie

Dz, Dw, D – średnice: zewnętrzna wewnętrzna i bieżąca

Naprężenia obwodowe przyjmują maksymalną wartość na powierzchni wewnętrznej, a minimalna na powierzchni zewnętrznej i są one dwukrotnie większe od osiowych. Naprężenia osiowe są stałe na całej grubości ścianki komory. Naprężenia promieniowe na powierzchni wewnętrznej są równe ciśnieniu a na powierzchni zewnętrznej zanikają do zera. (rys.2).



Rys.2. Rozkład naprężeń od ciśnienia na grubości ścianki komory

σ_t – naprężenia obwodowe,
 σ_z – naprężenia osiowe,
 σ_r – naprężenia promieniowe,
 D_z – średnica zewnętrzna,
 D – średnica bieżąca,

Zredukowane naprężenie obwodowe (TRD 301), wg którego jest obliczona grubość ścianki komory, wyraża się następującym wzorem:

$$\sigma_t = \frac{p(D+g)}{2g} \quad (4)$$

gdzie:

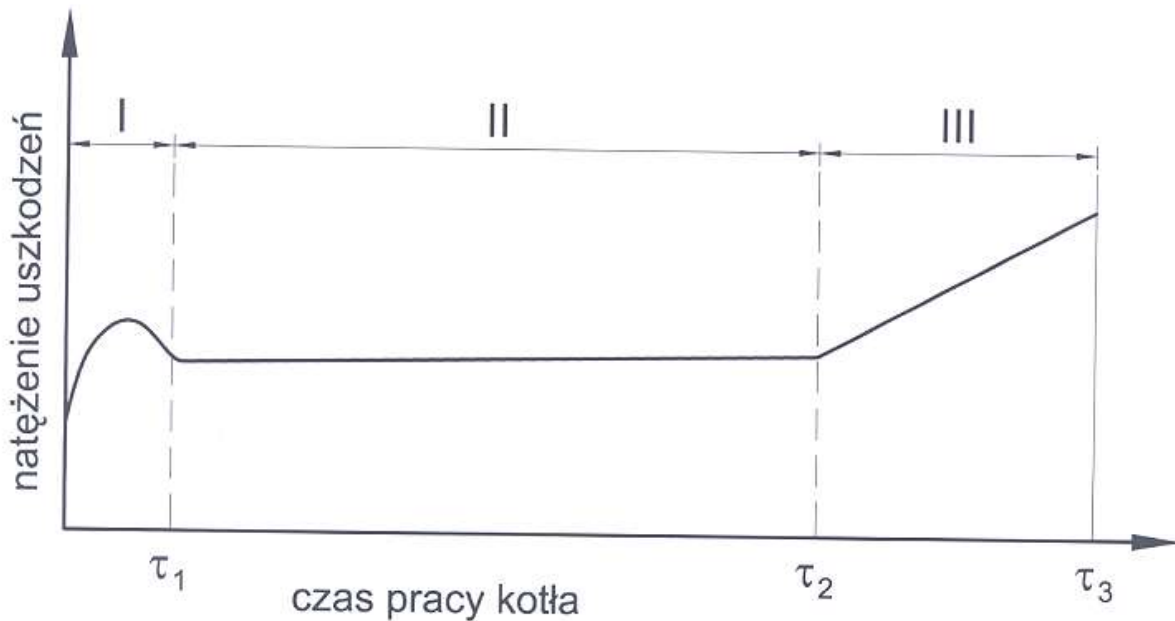
g – grubość ścianki

Z przedstawionej 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:

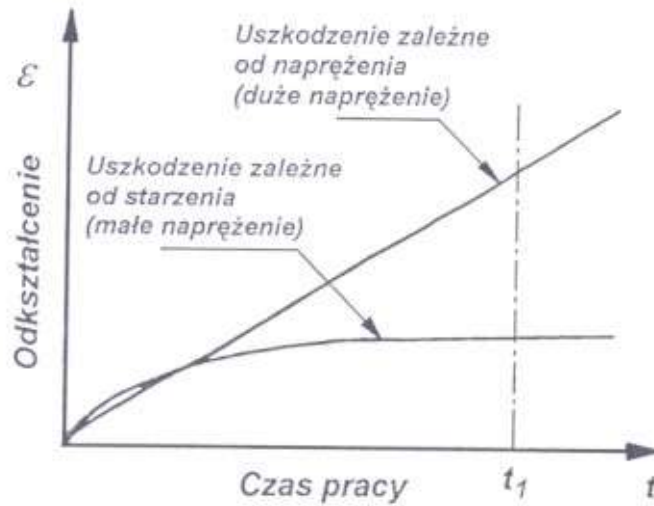
- I – okres początkowy tzw. „oswajania”,
- II – okres normalnej eksploatacji
- III – okres postępującego starzenia (zużycie).

Okres początkowy eksploatacji czasami zwany okresem ‘oswajania’ charakteryzuje się zwiększonym natężeniem występowania uszkodzeń na skutek m.in. błędów eksploatacji (rozruch i techniczne szkolenie obsługi nowego urządzenia), bądź niesprawdzonych rozwiązań konstrukcyjnych. Po pierwszym okresie, stosunkowo krótkim, następuje okres stabilnej eksploatacji aż do chwili przejścia urządzenia / elementu do okresu postępującego zużycia (rys.3).

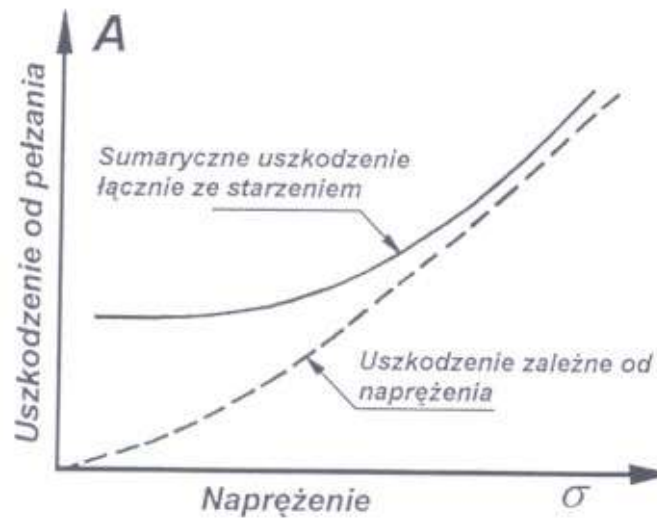


Rys.3. Teoretyczna zależność liczby uszkodzeń kotłów od czasu pracy

Wpływ naprężenia i czasu pracy na niszczenie komór przedstawiono na poniższych rysunkach.



Rys.4. Odształcenie komory w zależności od czasu pracy i naprężenia



Rys. 5. Stopień uszkodzenia metalu komory w zależności od naprężenia.

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

- zmęczenie korozyjne,
- 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.

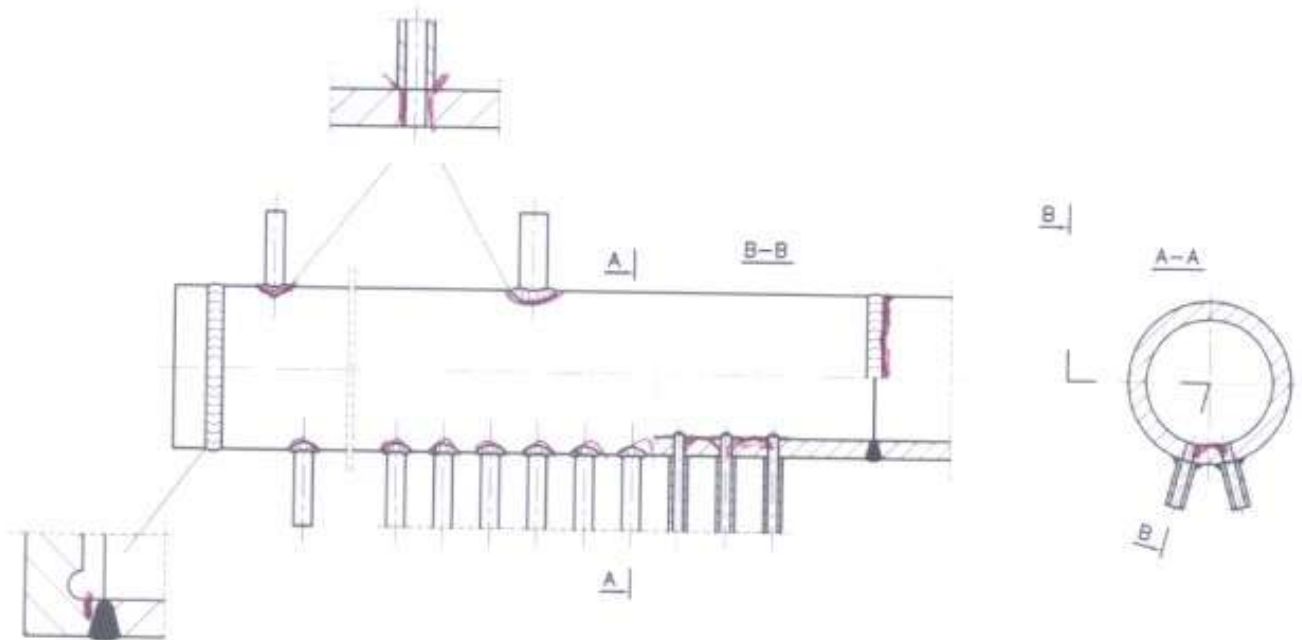
Zaistniałe uszkodzenia można podzielić (z uwagi na zakres ewentualnej naprawy) na trzy grupy:

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

Większość uszkodzeń komór (90%) wykrywa się podczas badań diagnostycznych, pozostałe 10% to uszkodzenia, które spowodowały nieplanowany postój wywołany nieszczelnością.

Przeważająca liczba nieszczelności wywołana jest pęknięciami:

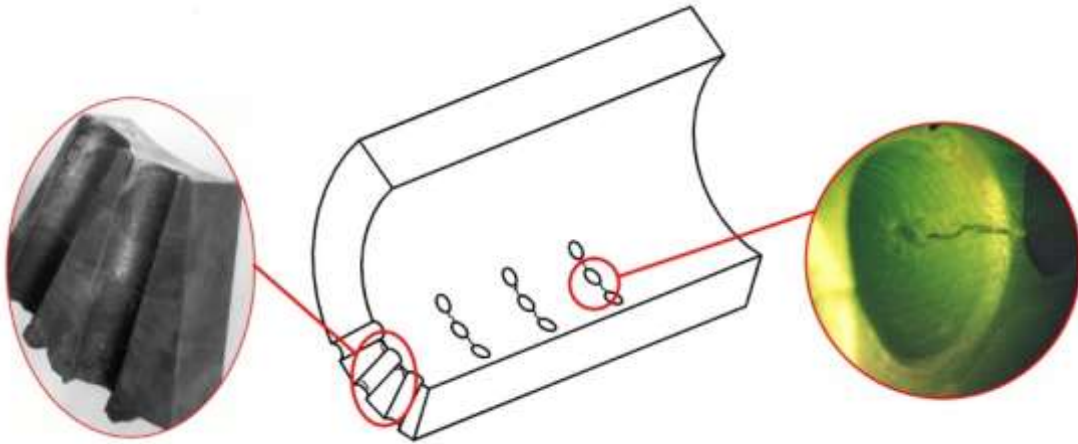
- krawędzi i tworzących otworów oraz mostków międzyotworowych,
- spoin pachwinowych króćców,
- spoin obwodowych denek.



Rys.6. Umiejscowienie uszkodzeń w komorach.

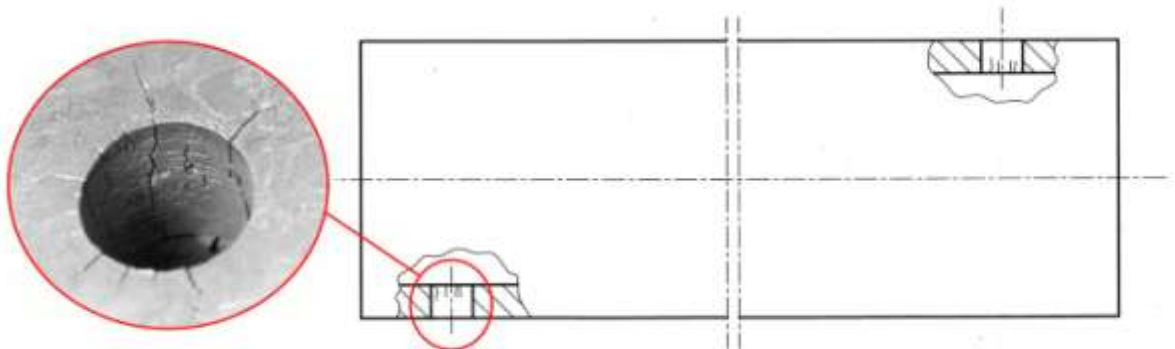
Z punktu widzenia wytrzymałości do uszkodzenia może dojść wskutek:

- **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 (najdłuższe są ułożone najczęściej równoległe do głównej osi komory); w komorach grubościennych pęknięcia mogą występować również na mostkach obwodowych w przypadku gdy grubość – długość mostków jest znikoma (rys.7).



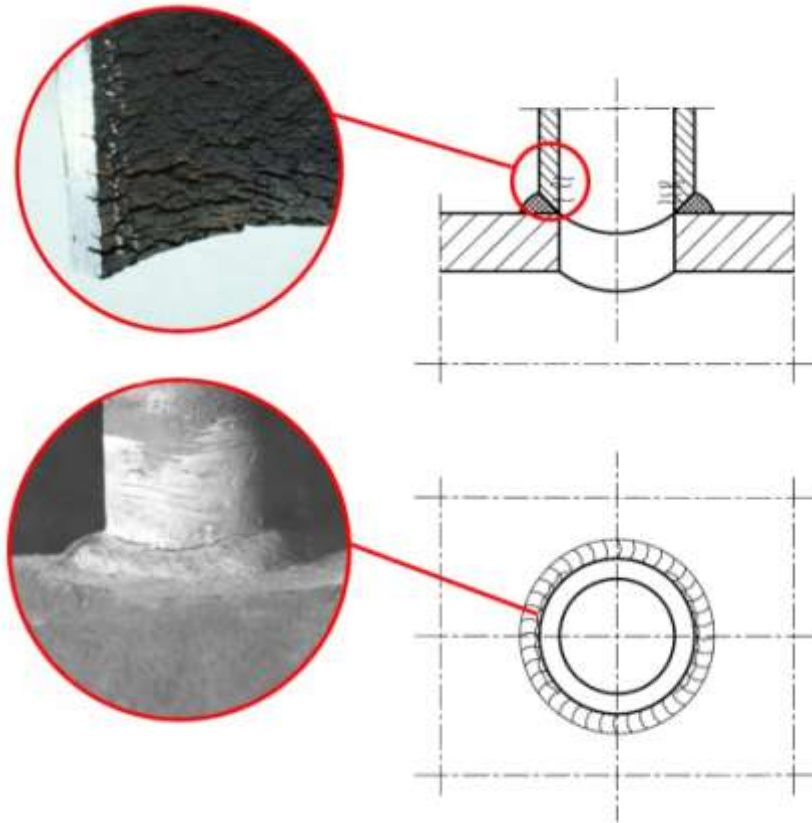
Rys. 7. Pęknięcia na mostkach obwodowych

- **Cyklicznie nagromadzonego znacznego odkształcenia na wewnętrznych krawędziach otworów** w wyniku działania znacznych naprężeń cieplnych - termosok; zniszczenia mają charakter pęknięć promieniowych tzw. „słoneczka” (rys. 8).



Rys. 8. Termoszkokowe uszkodzenia tzw. „słoneczka” (krawędzie otworów)

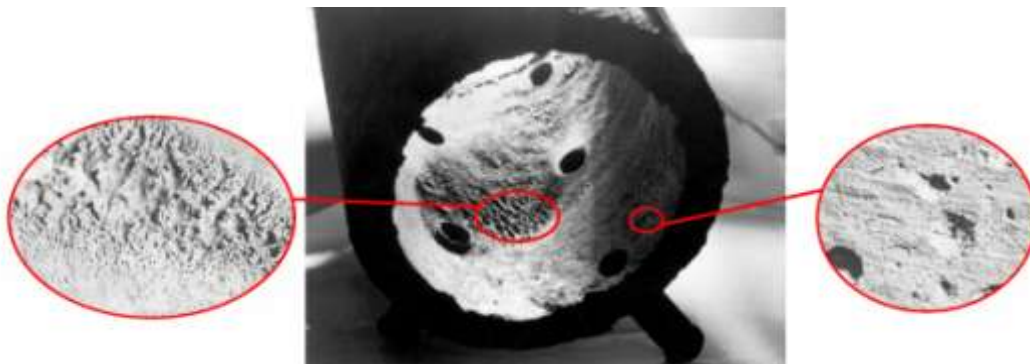
- **Cyklicznego nadmiernego odkształcenia sprężystego lub plastycznego przekraczającego granicę odkształcalności materiału** w skutek działania momentu zginającego powstałego z powodu niemożliwości kompensacji wydłużeń cieplnych węzownic i rurociągów, zniszczenia mają charakter pęknięć obwodowych rozwijających się na powierzchni wewnętrznej i ujawniają się w postaci nieuszczelności w okolicy spoiny króćców (rys. 9),



Rys.9. Uszkodzenia powstałe w skutek działania momentu zginającego okolicy spoin króćców.

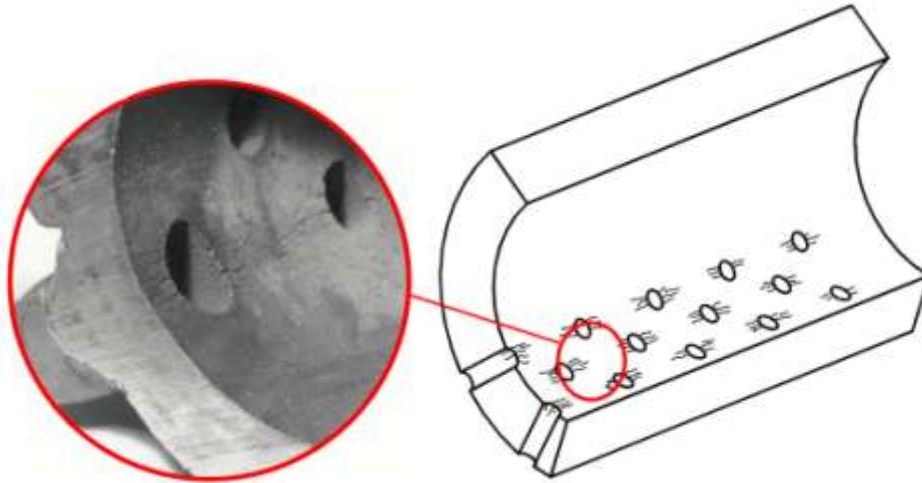
Wszystkie w/w uszkodzenia są pogłębione procesami korozyjnymi wynikającymi z agresywnego działania czynnika (woda lub para) i mają charakter zmęczenia korozyjnego:

- 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(rys. 10).



Rys.10. Ubytki korozyjne i erozyjne

- 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 na krawędziach otworów,
 - pęknięć na powierzchni zewnętrznej w okolicach spoin króćców równoległych do głównej osi komory (rys. 11).



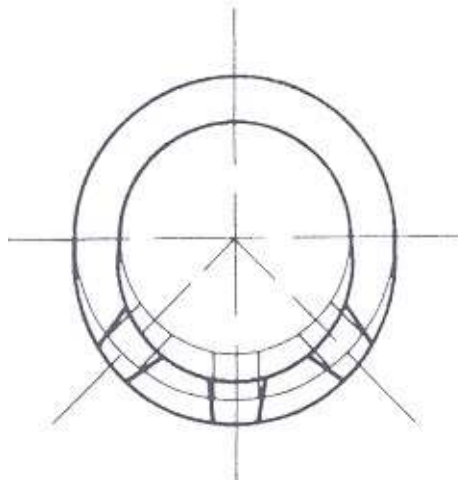
Rys. 11. Umiejscowienie i charakter uszkodzeń wskutek wyczerpania wytrzymałości czasowej.

Uszkodzenia komór kotłów parowych są głównie powodowane przez:

- ◆ *zmęczenie korozyjne na skutek występowania zjawiska udaru cieplnego objawiające się 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 pod postacią:*
 - **pęknięć na krawędziach otworów wężownic równoległych do głównej osi komory,**
 - **pęknięć w okolicach spoin króćców i spoin obwodowych,**
 - **odkształcenia średnicy otworów w kierunku prostopadłym do głównej osi turbiny oraz średnicy komory szczególnie w części owierconej**

Pośrednią przyczyną wyczerpania wytrzymałości czasowej jest długotrwała praca w temperaturze przekraczającej temperaturę obliczeniową komory.

Na krawędziach otworów od strony wewnętrznej występuje koncentracja naprężeń wg TRD współczynnik tej koncentracji α_k w zależności od rodzaju króćca może wynosić od 2 do 3. Dlatego komory odkształcają się bardziej w strefie, gdzie występują otwory (rys.12).



Rys.12. Typowe odkształcenie komory.

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

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

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 ulegają lawinowym (eksplozyjnym) uszkodzeniom pod wpływem 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.

◆ *ugięcie komór:*

Bezpośrednią przyczyną ugięcia (skrzywienie) komór, do których często dochodzi w czasie eksploatacji są naprężenia cieplne, powstające w wyniku zalewania 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 węzownic przegrzewaczy są wtłaczane „korki” zimnego kondensatu do komory lub gdy niewłaściwie działają schładzacz wtryskowe (uszkodzenia dyszy rozpylającej wo-

dę). 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 ścianie komory zwiększa strzałkę ugięcia. Otwory zwiększają objętość metalu podlegającego 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 węzownic i uniemożliwić w początkowej fazie rozruchu kotła przepływ pary, tym samym powodując nadmierne odkształcanie się zacopowanych węzownic 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.

Tablica 2

Podstawowe przyczyny i objawy uszkodzeń komór

Miejsce uszkodzenia	Objawy uszkodzenia	Przyczyny uszkodzenia	Prawdopodobieństwo uszkodzenia
Krawędzie otworów węzownic od wewnątrz	Pęknięcia słoneczkowe	Termoszok, wtłaczanie kondensatu z węzownic, wahania obciążenia kotła	wysokie
	Pęknięcia równoległe do głównej osi + odkształcenie otworów	Praca długotrwała w temp. przekraczającej temp. obliczeniową + termosok	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

Trwałość komór przegrzewaczowych kotłów parowych

Trwałością nazywamy czas pracy komór od chwili włączenia do eksploatacji do chwili wyłączenia na trwałe z eksploatacji wskutek degradacji technicznej. Określenie stanu zużycia po pewnym okresie eksploatacji umożliwia postawienie prognozy o dalszym niezawodnym czasie użytkowania a szczególnie umożliwia ocenę ryzyka prawdopodobieństwa powstania uszkodzenia w tym okresie.

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. Intensywność uszkodzeń określonych elementów urządzenia wyraża wzór:

$$H(\tau) = \frac{\Delta n}{N \Delta \tau} \geq 0 \quad (5)$$

gdzie:

Δn – liczba elementów uszkodzonych
 N – liczba elementów nieuszkodzonych w czasie τ

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 z poniższym wzorem:

$$R = S \times H \quad (6)$$

gdzie:

R – ryzyko
 S – zakres (znaczenie) uszkodzenia
 H – częstotliwość występowania

Uszkodzenia

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 określane jest jednym procesem niszczenia (np. pełzaniem). Taki element należy traktować jako krytyczny dla całego urządzenia. Częstotliwość H powinna być oparta o znane wartości średnie 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) jest podzielone na 5 klas (tablica 3).

Tablica 3

	1,0					
b. wysoka						
wysoka		Sł		Pł		
średnia	0,6		Ps			
niska	0,4	Pk				
b. niska	0,2					
		b. niskie	niskie	średnie	wysokie	b. wysokie
		Znaczenie (zakres) uszkodzenia „S”				

Macierz ryzyka komór kotłów energetycznych

Rodzaje uszkodzeń:

- Sł – słoneczkowe otworów
- Pł – pełzaniowe otworów
- Ps – pełzaniowe spoin obwodowych
- Pk – pełzaniowe króćców

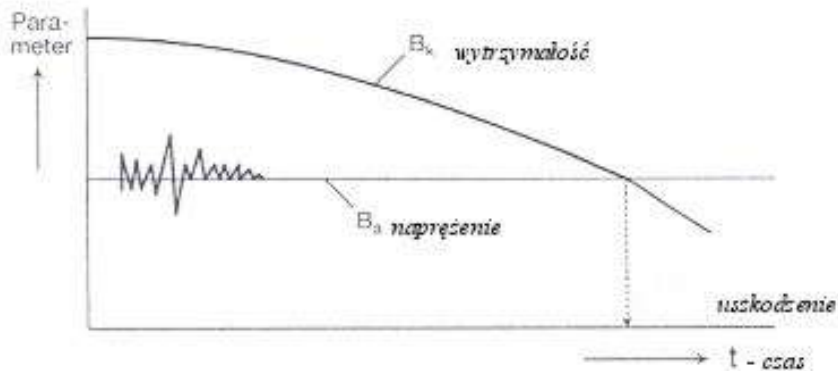
Najczęściej występują uszkodzenia słoneczkowe lecz znaczenie ich skutków jest niskie albowiem są one naprawialne oczywiście po usunięciu przyczyny ich powstawania (tj. termoszo-ku).

Podobne prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzeń można przypisać uszkodzeniom pełzaniowym 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 pełzaniową, której ryzyko – prawdopodobieństwo wystąpienia przekracza zazwyczaj wartość 0,6.

Wszystkie uszkodzenia przyczyniają się do wzrostu awaryjności. Charakterystyka wzrostu awaryjności zależna jest od rodzaju procesu niszczenia. Miarą tego procesu może być zależ-

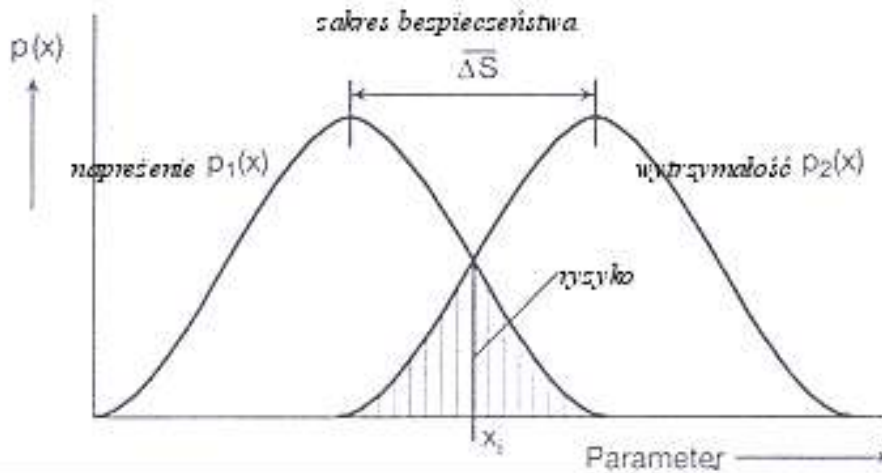
ność między naprężeniem i wytrzymałością w funkcji działania naprężenia w czasie eksploatacji (rys. 13).



Rys.13. Czas do uszkodzenia w zależności od naprężenia i wytrzymałości.

Dla pojedynczych uszkodzeń, pod działaniem stałego średniego naprężenia, wytrzymałość ulega redukcji. Naprężenia i wytrzymałość nie mogą być kontrolowane w czasie produkcji i eksploatacji urządzeń.

Naprężenie i wytrzymałość w wyniku tolerancji grubości mogą zachodzić na siebie w procesie degradacji (rys. 14).



gdzie:

- $P(x)$ – rozkład częstotliwości
- $P_1(x)$ – rozkład naprężenia
- $P_2(x)$ – rozkład wytrzymałości

Rys. 13. Stochastyczne powiązanie naprężenia, wytrzymałości i ryzyka.

Parametry naprężenia i wytrzymałości występują (zachodzą) z różną częstotliwością. Ryzyko jest wynikiem różnicy częstotliwości rozkładu naprężenia $P_1(x)$ i wytrzymałości $P_2(x)$. Zakres bezpieczeństwa dla powstania uszkodzenia jest średnią wartością ΔS , pole między za-

chodzeniem za siebie częstotliwości rozkładu obu parametrów pole ryzyka z czasem eksploatacji rośnie.

Prawdopodobieństwo występowania uszkodzenia rośnie z czasem eksploatacji. Jest niemożliwym ustalić ściśle określony czas wystąpienia uszkodzenia - (statystyka).

Obliczenie trwałości (pełzanie)

Wykorzystując istniejące normy oraz dane materiałowe (wytrzymałość czasowa) przyjęte przez normę europejską EN-12952-4:2000

W oparciu o powyższe można rozróżnić kilka trwałości komór a mianowicie:

- *Trwałość projektowa*
 - projektowany czas pracy „ τ_p ” na 100 000 h przy nominalnych parametrach (ciśnienie i temperatura) oraz nominalnej geometrii i współczynnika bezpieczeństwa $k = 1,65$. Wytrzymałość czasowa $R_{z/100000}$.
- *Trwałość konstrukcyjna „ τ_z ”*
 - ponownie obliczony czas pracy przy parametrach znamionowych i przy wytrzymałości czasowej $R_{z/250000}$.
- *Trwałość indywidualna „ τ_i ”*
 - przy $R_{z250\ 000}$ i rzeczywistych parametrach:
 - średnia temperatura czynnika,
 - rzeczywiste wymiary średnic i grubości

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

$$\tau_p < \tau_z < \tau_i \quad (7)$$

Przewidywany czas pracy konstrukcyjny) oblicza się jak już wspomniano dla projektowych parametrów i znamionowych wymiarów oraz naprężenia zredukowanego od ciśnienia wewnętrznego „ σ_z ” i przypisanego R_z naprężenia dla danego gatunku stali „ σ_{dop} ”:

$$\sigma_z = \frac{\sigma_{dop}}{n} \quad (8)$$

gdzie:

$n=1,2 \div 2$ – współczynnik bezpieczeństwa
 σ_{dop} – naprężenie dopuszczalne

Czas pracy indywidualny oblicza się przez porównanie zredukowane naprężenia „ σ_z ” z wytrzymałością czasową przy spełnieniu warunku:

$$\sigma_z < 0,8 R_z \quad (9)$$

gdzie:

σ_z – naprężenie zredukowane
 R_z – czasowa wytrzymałość na pełzanie

Naprężenie zredukowane „ σ_z ” ustala się dla wszystkich rodzajów naprężeń mogących wystąpić w ścianie komory.

Resztkowa trwałość „ τ_o ” ustala się:

$$\tau_o = \tau_i - \tau \quad (10)$$

gdzie: τ - przetworzona liczba godzin

Sumaryczny max. dopuszczalny czas pracy τ_{dop} :

- dla spoin $\tau_{dop} = \frac{\tau_i}{1,2}$ (11)

- płaszcz z otworami $\tau_{dop} = \frac{\tau_i}{1,3}$ (12)

Stopień wyczerpania $\varepsilon = \frac{\tau}{\tau_i}$ (13)

Liczne doświadczenia wskazują, że:

Spoiny:

- konstrukcyjny czas pracy waha się w granicach $\tau_z = 150\ 000 - 300\ 000$ h
- indywidualny czas pracy waha się w granicach $\tau_i = 130\ 000 - 350\ 000$ h

Płaszcz z otworami:

- konstrukcyjny czas pracy waha się w granicach $\tau_z = 140\ 000 - 240\ 000$ h
- indywidualny czas pracy waha się w granicach $\tau_i = 150\ 000 - 280\ 000$ h

przy dotrzymaniu warunku

$$\sigma_z < \sigma_{dop} \quad \text{i} \quad \frac{\sigma_{dop}}{\sigma_z} \geq 1,2 \quad (14)$$

można ustalić ryzyko powstania uszkodzenia „ R_u ” wg [1]

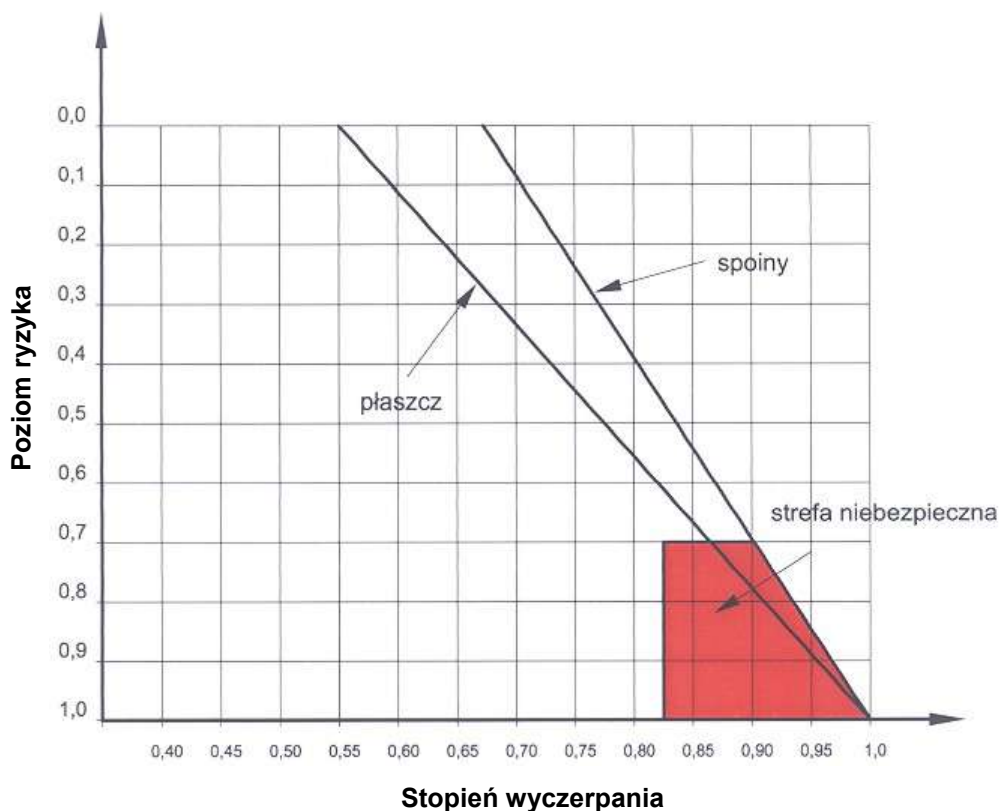
$$R_{uk} = 13 \left(\frac{\tau}{\tau_i} \right) - 5,5 \quad \text{płaszcz}$$

$$R_{us} = 14 \left(\frac{\tau}{\tau_i} \right) - 6,75 \quad \text{spoiny} \quad \text{rys.15}$$

Wielkość ryzyka w zasadzie może być oceniana jedynie po wartościach granicznych:

R = 1 zadowalający

R = 10 niezadowalający



Rys.15. Zależność poziomu ryzyka od stopnia wyczerpania $\frac{t}{\tau_i}$

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 (τ) i obliczeniowy indywidualny czas pracy (τ_i). Stosunek powinien być zawsze większy co najmniej od:

$$\frac{\tau_i}{\tau} > 1,2 \quad (15)$$

$$\frac{\sigma}{R_z} > 1,2 \quad (16)$$

gdzie: τ_i - indywidualny czas pracy
 τ - przepracowana liczba godzin
 σ - naprężenie zredukowane
 R_z - wytrzymałość czasowa na pełzanie

Podsumowanie

Obliczone wartości stopnia wyczerpania i ryzyka powstania uszkodzenia w okresie między remontowym nie są dokładne i mieszczą się w paśmie rozrzutu o szerokości $\pm 20\%$. Wynika to z danych materiałowych znajdujących się w odpowiednich normach oraz stosowanych do obliczeń metod probabilistycznych. Wobec powyższego wskazany jest sprawdzenie stanu urządzenia przez wykonanie badań diagnostycznych. Dlatego elementy oceniane powinny być poddane przeglądom i badaniom nieniszczącym.

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

Tablica 4

Dane dotyczące	Poziom I ryzyko $R < 4$	Poziom II $4 < R < 6$	Poziom III $6 < R < 7$
Historii eksploatacji	zapisy i protokoły elektryczni	zapisy i protokoły elektryczni	zapisy i protokoły elektryczni
Wymiary	nominalne	pomierzone lub nominalne	pomierzone
Stan techniczny	nominalny	wyniki kontroli	wyniki szczegółowej kontroli
Temperatury i ciśnienia	projektowe	eksploatacyjne	pomierzone
Naprężenia σ	projektowe	proste obliczenia	złożone analizy
Własności materiałowe R_z	minimum wg normy	minimum wg normy	własności rzeczywiste
Pobór próbek	nie	nie	tak

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., Ałdakszin P.I., Fiedotow W.P.: O progibie kolektorow paropieroeegriewatielej. Tieploenergetika 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 wysokopięnych. 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 walczkowych. IX Konferencja kotłowa, 2002
- [13] Recommendation for the Introduction of Risk Based Maintenance. VGB-M 130 e, 2004r
- [14] Efficient Operations Intelligent Diagnosis and Maintenance of Plants, VGB-B011e, 2003 r.
- [15] CEN Workshop 24: “Risk-Based Inspection and Maintenance Procedures for European Industry” , June 2005.
- [16] J.Okraini, M. Plaza, A. Marek, w. Esler: „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”.