

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

Dr Wojciech Brunné  
Pro Novum – Katowice

## Uszkodzenia zamocowań rurociągów energetycznych

Ważnym, a bardzo często niezauważanym elementem rurociągów energetycznych mającym istotny wpływ na bezpieczeństwo ich eksploatacji jest system zamocowań rurociągów [1]. Celowo użyto określenia **system**, gdyż należy rozpatrywać wszystkie zamocowania rurociągu, a nie tylko przypadki jednostkowe i nie można tego robić w oderwaniu od samego rurociągu. Rurociągi energetyczne, a przede wszystkim główne rurociągi parowe [2] i rurociąg wody zasilającej, są równoprawnym ogniwem w procesie wytwarzania energii, mimo iż przez dłuższy czas pozostawały w cieniu swego „wielkiego rodzeństwa”, jakimi są kotły i turbiny. Z racji usytuowania w halach elektrowni lub elektrociepłowni ewentualne awarie (rozszczelnienia) rurociągów energetycznych są bardzo niebezpieczne. Zamocowania rurociągów, a ściślej ich dobór i regulacja, mają istotny wpływ na bezpieczną eksploatację rurociągów.

Na podstawie wieloletnich doświadczeń *Pro Novum*, zdobytych w trakcie opracowywania ocen stanu technicznego rurociągów, przyczyny uszkodzenia ich zamocowań można usystematyzować w następujące grupy:

- nieprawidłowy dobór zamocowań do szeroko rozumianych warunków pracy,
- nieprawidłowo zaprojektowany rurociąg,
- błędy w eksploatacji,
- błędy w montażu,
- błędy konstrukcyjne samych zamocowań.

Pierwsze trzy grupy odnoszą się do całego systemu zamocowań rurociągu (SZR), dwie ostatnie mogą odnosić się zarówno do całego SZR, jak i do poszczególnych zamocowań. W artykule opisano wymienione przyczyny uszkodzeń zamocowań rurociągów.

### Nieprawidłowy dobór zamocowań do warunków pracy

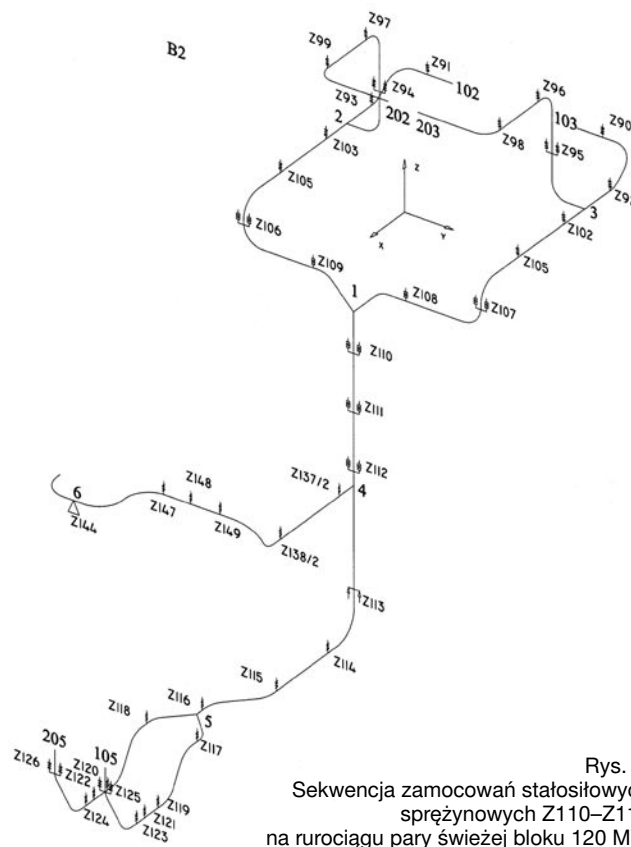
- ◆ Jednym z podstawowych błędów popełnianych przy doborze zamocowań jest rozpatrywanie konkretnego przypadku w oderwaniu od całego SZR, w jakim zamocowanie będzie pracowało.

Otrzymane w wyniku obliczeń konstrukcyjnych wymagania dotyczące:

- reakcji zamocowania w obu stanach cieplnych,
  - przemieszczeń cieplnych każdej z trzech osi współrzędnych,
  - miejsca zabudowy na rurociągu
- są bardzo ważne, należy ponadto uwzględniać wzajemne oddziaływanie zamocowań i całego SZR na rurociąg.

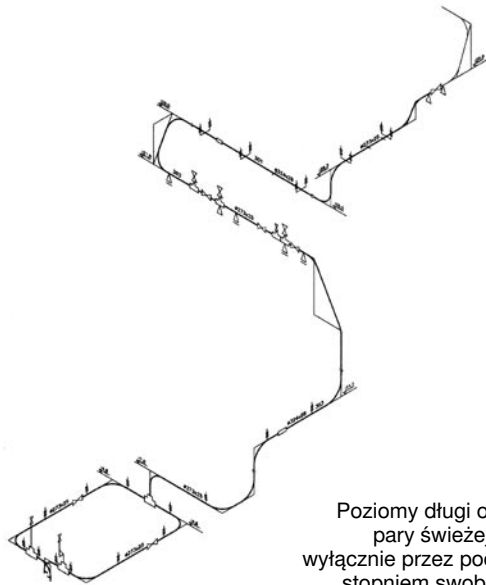
Przykłady nieprawidłowości:

- ◆ zabudowywanie bezpośrednio po sobie kilku zamocowań stałosiłowych (rys.1), co wiąże się z przekroczeniami naprężeń dopuszczalnych w samym rurociągu;



Rys. 1.  
Sekwencja zamocowań stałosiłowych Z110–Z112 na rurociągu pary świeżej bloku 120 MW

- ◆ podtrzymywanie długich, poziomych odcinków rurociągów przez podpory stałe i suwliwe również na końcach odcinków prostych (rys. 2), co z kolei prowadzi do wyłączenia z pracy w stanie gorącym podpór suwliwych zabudowanych na końcach odcinków prostych.

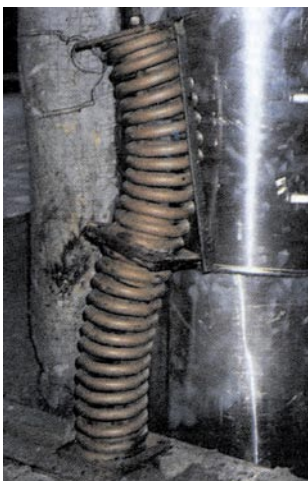


Rys. 2.  
Poziomy długi odcinek rurociągu pary świeżej podtrzymywany wyłącznie przez podpory z zerowym stopniem swobody wzdłuż osi Z

Równie często spotykanym błędem jest zastosowanie zamocowania, którego parametry techniczne nie odpowiadają rzeczywistym przemieszczeniom i reakcjom. Zarówno zbyt małe możliwości przemieszczeń jak i zbyt małe reakcje bądź w stanie zimnym, bądź w stanie gorącym prowadzą do tego, że zamocowanie pracuje jak ciągnio stałe.

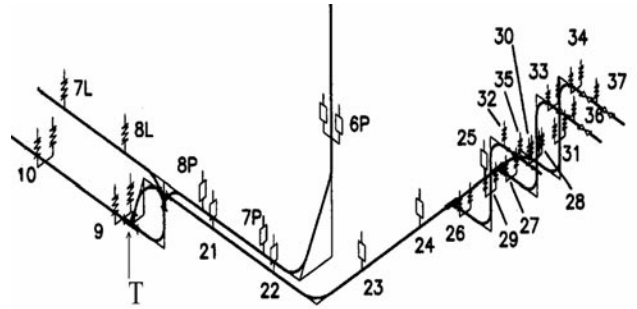
Inne nieprawidłowości:

- ◆ zastosowanie zamocowań o zbyt małej reakcji powoduje w pierwszym rzędzie zgniecenie bądź znaczne wybozczenie sprężyn (rys. 3), a następnie spiętrzenie naprężeń w materiale rurociągu, gdyż zamocowanie pracuje jak ciągnio stałe;



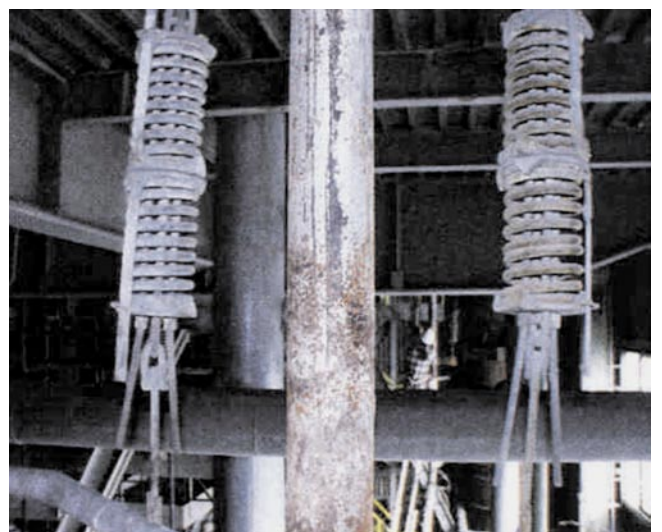
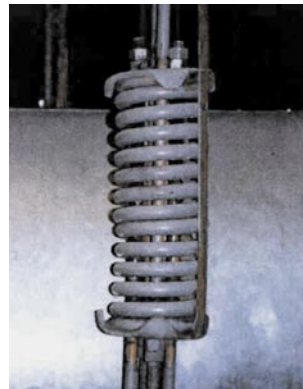
Rys. 3.  
Wybozczona sprężyna przeciążonych zamocowań sprężynowych

- ◆ efektem źle dobranego i źle wyregulowanego zamocowania stałosiłowego sprężynowego (rys. 4) jest tak duże przekroczenie naprężeń dopuszczalnych na trójniku, że w konsekwencji doprowadza do pęknięcia spoiny;

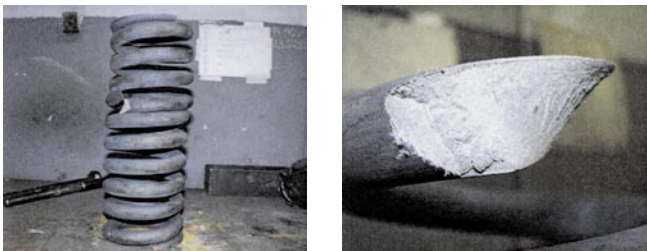


Rys. 4. Rurociągi pary świeżej z kotta Op-420. Źle wyregulowane i usytuowane jedno za drugim zamocowania stałosiłowe nr 21–24 były powodem uszkodzenia trójnika T

- ◆ przeciążenie zamocowań sprężynowych bądź stałe, bądź krótkotrwałe, ale o dużej wartości prowadzi do uszkodzenia sprężyn i w konsekwencji do innej niż zakładano pracy zamocowania (najczęściej jako ciągnio stałe – rys. 5). Pękniętą spoinę pokazano na rysunku 6.



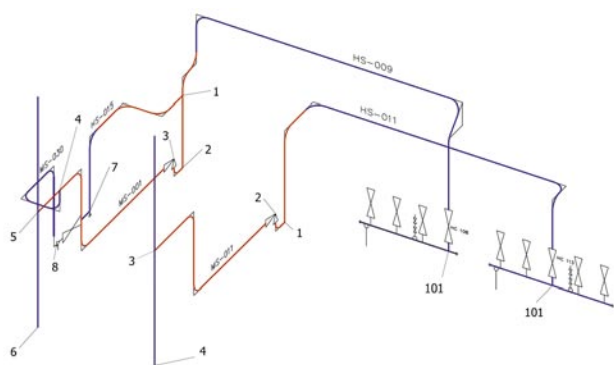
Rys. 5. Zniwelowany do zera odstęp między zwojami sprężyny, świadczący o jej złamaniu



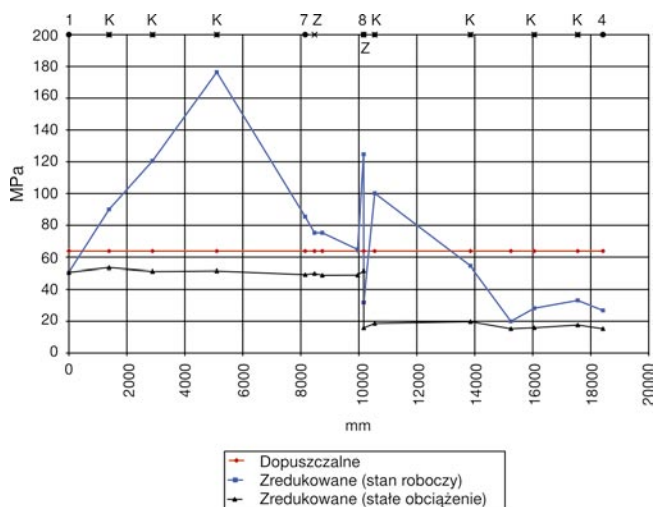
Rys. 6. Złamana sprężyna po demontażu z wieszaka zamocowania

## Nieprawidłowo zaprojektowany rurociąg

Pomimo coraz lepszych narzędzi obliczeniowych projekty rozbudowy bądź modyfikacji istniejących rurociągów parowych nie spełniają podstawowego wymagania, jakim jest niższy od naprężeń dopuszczalnych poziom naprężeń zredukowanych (rys. 7 a i b).



Rys. 7a. Modernizacja trasy rurociągu (propozycja)



Rys. 7b. Poziom naprężeń zredukowanych wyższy od naprężeń dopuszczalnych wg kryterium PN-79/M-34033 dla trasy rurociągu

Powodem takiego stanu rzeczy jest najczęściej brak wolnej przestrzeni i konieczność, czasem daleko idących, zmian w już istniejącym układzie rurociągów. Jest to przedsięwzięcie kosztowne i powoduje, że podejmowane są próby poprowadzenia rurociągów taką trasą, dla której nie jest możliwy dobry dobór zamocowań.

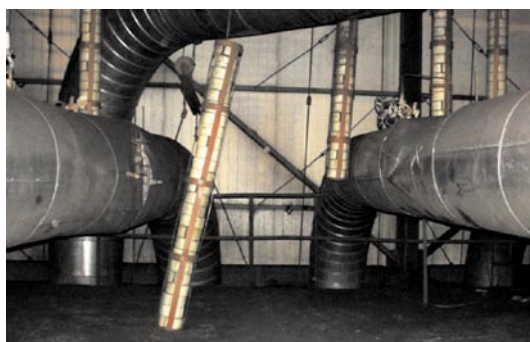
Najczęściej spotykanym błędem dotyczącym rurociągów starszych jest nieuwzględnianie przy projektowaniu ich przemieszczeń cieplnych, co często prowadzi do kolizji z innym rurociągiem bądź konstrukcją (rys. 8).



Rys. 8. Kolizja pionowego odcinka rurociągu ze ścianą kotłowni

## Błędy w eksploatacji

Bardzo niebezpieczne dla rurociągu i jego systemu zamocowań są tzw. uderzenia wodne, czyli gwałtowne, znaczne przemieszczenia rurociągu spowodowane kontaktem gorącego rurociągu ze znacznie chłodniejszą wodą wtrysku (wadliwie pracujące schładzacze) bądź uruchomieniem nieodwodnionego rurociągu. Konsekwencje uderzenia wodnego dla zamocowań ilustrują rysunki 9 i 10.



Rys. 9. Pozrywana linia zamocowania wielokąrnego sześciokrotnego na rurociągu pary do wtórnego przegrzewu bloku 200 MW



Rys. 10. Lina opasująca poza kołem roboczym zamocowania wielokrążkowego rurociągu pary do wtórnego przegrzewu bloku 200 MW

### Błędy w montażu zamocowań

Z licznych błędów w montażu zamocowań przytoczono tylko najczęściej spotykane, które można podzielić na trzy główne grupy:

- ◆ niedokładny montaż obejm, polegający głównie na tym, że skręcające obejmę nie uwzględniają rozszerzalności cieplnej połączeń śrubowych, co w czasie pracy powoduje ich luzowanie (rys. 11);



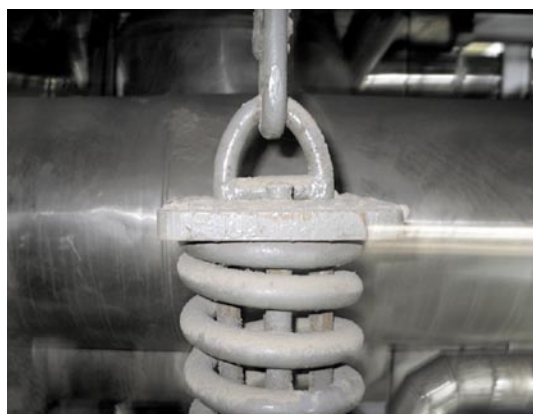
Rys. 11. Luźna i pokrzywiona obejma pozioma zamocowania dwukolumnowego

- ◆ nieprawidłowy dobór długości cięgien może w praktyce całkowicie „wyłączyć” działanie zamocowania (rys. 12);



Rys. 12. Zbyt długie cięgno zamocowania

- ◆ nieuwzględnianie wielkości przemieszczeń ciepłych rurociągu przy montażu wieszaków sprężynowych może prowadzić do zablokowania się górnego talerzyka o poprzeczkę służącą do blokady zamocowania na czas próby wodnej; prowadzi to w konsekwencji do zablokowania zamocowania (rys. 13);



Rys. 13. Zablokowane zawieszenie sprężynowe, talerzyk zablokowany o poprzeczkę

- ◆ pozostawienie blokad montażowych z okresu montażu (rys. 14) lub remontu rurociągu (rys. 15).



Rys. 14. Blokada montażowa pozostawiona przez ekipy blokujące rurociąg



Rys. 15. Blokada montażowa pozostawiona przez ekipy remontowe – sąsiadujące z nią zamocowanie „wyłączone z pracy”

### Błędy konstrukcyjne zamocowań

W energetyce zawodowej i przemysłowej mamy do czynienia zarówno z rurociągami kilkudziesięcioletnimi (całkowity czas pracy  $\tau > 250\ 000$  h), jak i z kilkuletnimi ( $\tau < 50\ 000$  h).



Rys. 16. Obejma pionowa o zbyt małej sztywności

Z tego powodu na pracujących rurociągach można jeszcze spotkać zamocowania z błędami konstrukcyjnymi, które zostały w późniejszych realizacjach poprawione.

Są to najczęściej obejmy o zbyt małej sztywności (nie-wzmocnione – rys. 16) i stoły kulowe podparć, które mają zbyt małe jezdnie (rys. 17).

a)



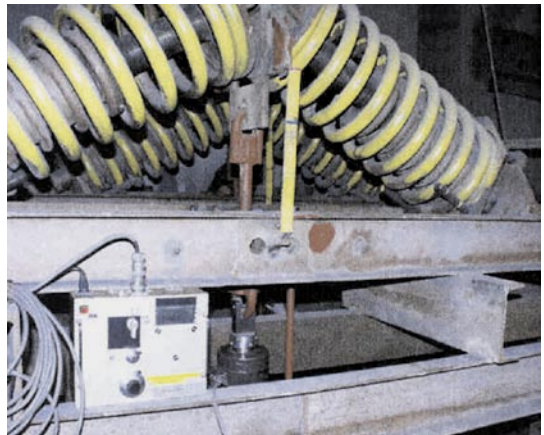
b)



Rys. 17. Zbyt mała jezdnia dwukolumnowej podpory pionowej, która dodatkowo nie uwzględnia odchylenia rurociągu od pionu:  
a) zbyt mała powierzchnia jezdni powoduje wysuwanie się zespołu kulowego  
b) brak przegubu uchylnego dwukolumnowej podpory kulowej powoduje, że jedna ze stóp unosi się w górę o kilkanaście mm

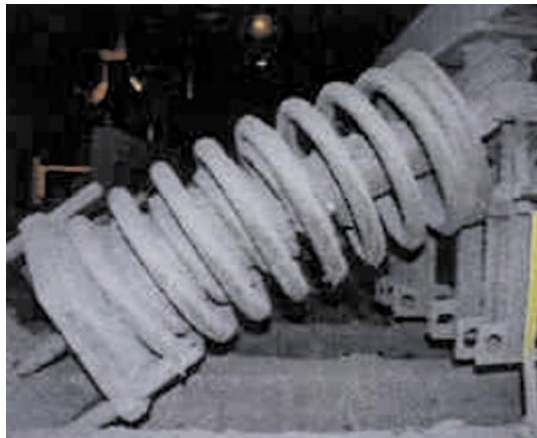
Skomplikowane mechanicznie zamocowania stałosiłowe, sprężynowe mają dwie podstawowe wady:

- ◆ brak możliwości korekty regulacji na obiekcje (zalecane wykorzystanie maszyn wytrzymałościowych) bez wykorzystania bardzo specyficznego oprzyrządowania [3] – rys. 18;



Rys. 18. Pomiar reakcji zamocowania stałosiłowego-sprężynowego za pomocą bardzo dokładnego siłomierza tensometrycznego zabudowanego w ciągnie zamocowania

- ♦ zbyt mała odporność zamocowania na istniejące warunki pracy, a zwłaszcza na zapylenie (rys. 19).



Rys. 19. Wygięty zespół sprężyn (wewnętrzna i zewnętrzna) jednego ramienia zatartego zamocowania stałośiłowego-sprężynowego

### Podsumowanie

W artykule podjęto próbę przybliżenia problemów, jakie wiążą się z systemem zamocowań rurociągów, a ściślej ze związaną z nimi bezpieczną eksploatacją rurociągów.

Omówione nieprawidłowości stanowią ilustrację najczęściej spotykanych przypadków i oczywiście sygnalizują, a nie wyczerpują problematyki uszkodzeń zamocowań.

Z doświadczenia *Pro Novum* wynika, że przegląd zamocowań rurociągów po długotrwałej eksploatacji wiąże się z ich remontem i/lub konserwacją.

Utrzymanie SZR w dobrym stanie wymaga przeglądów ich stanu:

- ♦ raz w roku w ustabilizowanym stanie zimnym i gorącym,
- ♦ po każdym odstawieniu awaryjnym bądź po uderzeniu wodnym.

Prace profilaktyczne nie są zbyt uciążliwe, a umożliwiają bezpieczniejszą eksploatację rurociągów.

### LITERATURA

- [1] Dobosiewicz J.: Wytyczne oceny stanu zamocowań głównych rurociągów bloków energetycznych. *Energetyka* 1994, nr 7, s. 253
- [2] Dobosiewicz J., Brunné W.: Ocena stanu technicznego głównych rurociągów parowych bloków energetycznych. *Energetyka* 1999, nr 3, s. 101
- [3] Brunné W.: Badania rzeczywistych reakcji zamocowań głównych rurociągów parowych. *Energetyka* 1993, nr 12, s. 420



Jerzy Dobosiewicz, Ewa Zbroińska-Szczuchura – *Pro Novum Katowice*  
Jan Kucz – *PKE SA Elektrownia Jaworzno III*

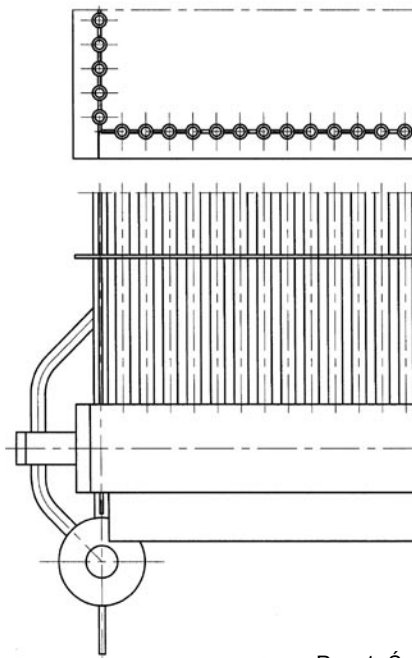
## Uszkodzenia rur ścian szczelnych (ekranów) kotłów parowych

Ściany oraz stropy komór paleniskowych i drugiego ciągu współczesnych kotłów parowych tworzą szczelne płyty wykonane z rur opłętowanych, które jednocześnie mogą spełniać funkcję elementów nośnych (rys. 1). Konstrukcja taka daje pewne korzyści, gdyż m.in.:

- pozwala na zwiększenie odstępów między rurami (podziałka),
- stwarza osłonę dla zewnętrznej izolacji kotła,
- umożliwia ustawienia rur na komorach w jeden rząd, co powoduje, że wszystkie są obciążone jednakowo ciężarem własnym.

Po przepracowaniu przez kotły ze szczelnymi ścianami 50 000–80 000 h występują uszkodzenia rur w postaci [1]:

- poprzecznych obwodowych pęknięć na wewnętrznej powierzchni skrajnych króćców przy dolnych komorach drugiego ciągu,
- podłużnych pęknięć na wewnętrznej powierzchni (szczególnie po stronie ogrzewanej) w miejscu przyspawania płetwy do rur parownika,
- podłużnych pęknięć w narożach ścian komory paleniskowej oraz drugiego ciągu.



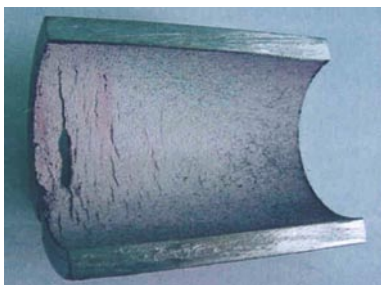
Rys. 1. Ściana płytowa, drugi ciąg

## Charakterystyka uszkodzeń

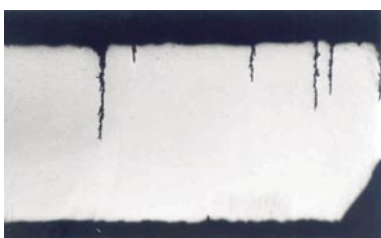
### Pęknięcia obwodowe

Uszkodzenia występują najczęściej na ścianach drugiego ciągu porażając dolne króćce rur umieszczonych na końcach komór (rys. 2a).

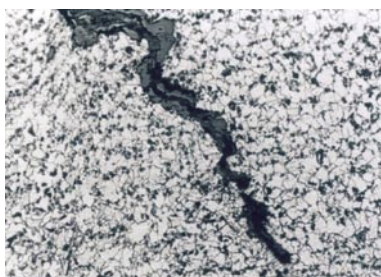
Nieszczelności w postaci obwodowych pęknięć biorą początek na powierzchni wewnętrznej króćca w pobliżu spoiny łączącej króciec z komorą (rys. 2b) i są wypełnione produktami korozji. Rozprzestrzenianie się pęknięć zachodzi przeważnie przez ziarno (rys. 2.c), na powierzchni wewnętrznej widoczna wyraźna deformacja plastyczna ziarna (rys. 2d).



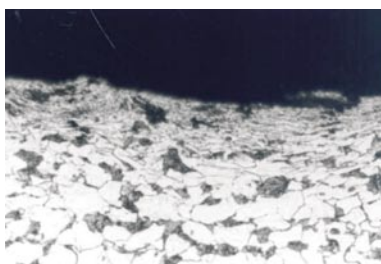
Rys. 2a. Pęknięcia poprzeczne na powierzchni wewnętrznej króćców skrajnych



Rys. 2b. Przekrój poprzeczny przez pęknięcie, pow. 20x



Rys. 2c. Rozprzestrzenianie się pęknięć, pow. 100x

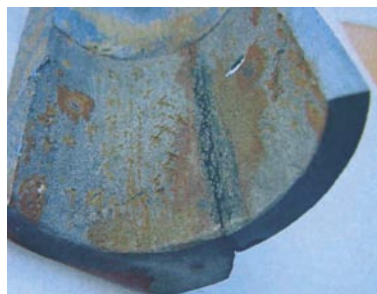


Rys. 2d. Odkształcenie struktury na powierzchni zewnętrznej, pow. 200x

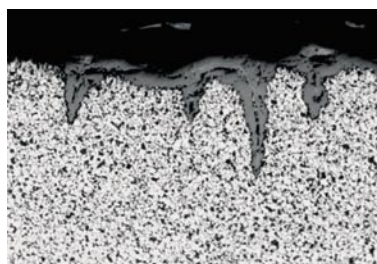
### Umiejscowienie uszkodzeń

Uszkodzenia występują na rurach komory paleniskowej w strefie palników oraz rzadziej w drugim ciągu w okolicy naroży. Nieszczelności w postaci siatki podłużnych pęknięć w miejscu mocowania płyt (rys. 3a) biorą początek na powierzchni wewnętrznej po stronie ogrzewanej i są wypełnione produktami korozji. Rozprzestrzenianie się pęknięć zachodzi przeważnie przez ziarno (rys. 3b).

Na powierzchni wewnętrznej nawet nieuszkodzonych rur występują poślizgowe linie Lüdersa (rys. 3c), które jak wiadomo zazwyczaj powstają pod wpływem miejscowego odkształcenia plastycznego metalu przekraczającego granicę plastyczności i układają się równoległe do kierunku maksymalnych naprężeń statycznych. Podobne uszkodzenia występują na spoinach płyt łączących ściany w narożach i na stropie.



Rys. 3a. Pęknięcie podłużne w rejonie płyty



Rys. 3b. Pęknięcia wzdłużne na powierzchni zewnętrznej wypełnione tlenkami, pow. 200x



Rys. 3c. Linie poślizgu na powierzchni wewnętrznej

### Klasyfikacja ryzyka powstania uszkodzenia

Najwyższe prawdopodobieństwo powstania nieszczelności występuje na króćcach rur ścian szczelnych drugiego ciągu przy dolnych komorach, natomiast najgorsze skutki powoduje uszkodzenie rur parownika (tab. 1).

Tabela 1

PRAWDOPODOBIEŃSTWO WYSTĄPIENIA USZKODZENIA	Bardzo wysokie					
	Wysokie			P		
	Średnie		Dc			
	Niskie					
	Bardzo niskie					
		Bardzo niskie	Niskie	Średnie	Wysokie	Bardzo wysokie
		ZNACZENIE SKUTKÓW				
		Dc – drugi ciąg		P – parownik		

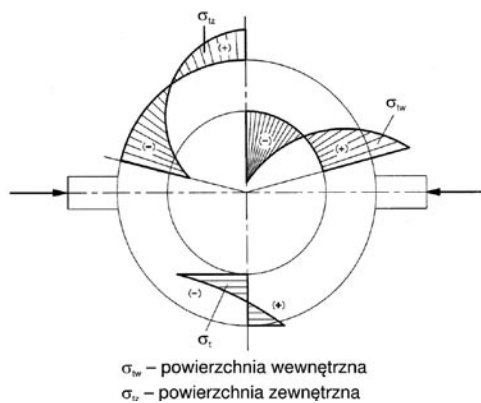
### Warunki pracy rur opłetwowanych

Praca ekranów szczelnych zależy od właściwego doboru wymiarów płetw. Jeżeli rury wchodzi do komory jednym rzędem (rys. 5), to szerokość płetw zgodnie z warunkami wytrzymałości nie powinna przekraczać wartości wynikającej z poniższego wzoru

$$\frac{t-d}{t} \geq 0,3$$

gdzie:  $t$  – podziątka rur, mm,  
 $d$  – średnica zewnętrzna rur.

Przy wysokich temperaturach i względnie szerokich płetwach nie ma możliwości pełnego odprowadzenia ciepła do rur, w wyniku czego panuje w nich wyższa temperatura niż średnia temperatura metalu rury [2, 3], a tym samym wydłużenie cieplne ściany jest większe niż komory, co powoduje „ściskanie” rur i powstawanie w nich dodatkowych naprężeń rozciągających na powierzchni wewnętrznej w rejonie płetwy.

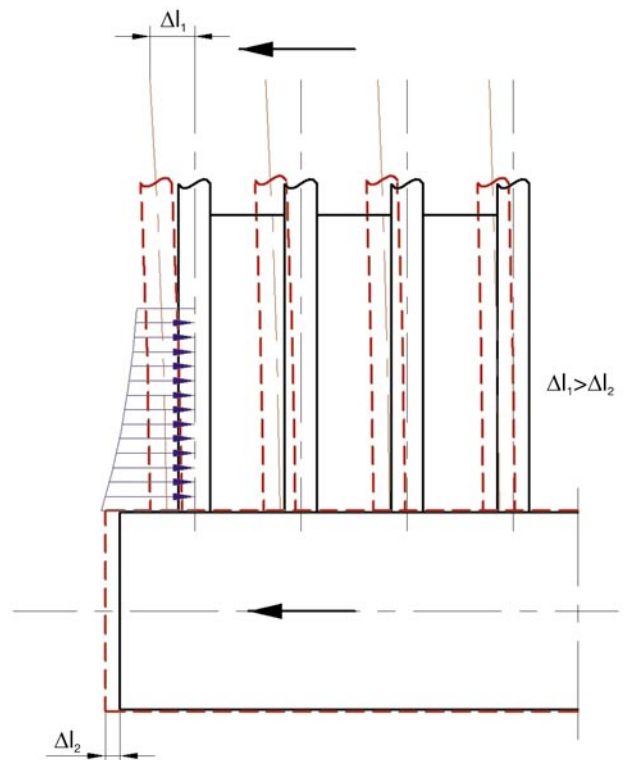


Rys. 4. Rozkład naprężeń obwodowych na powierzchni wewnętrznej w opłetwowanej rurze [1]:  
 + naprężenia rozciągające,  
 - naprężenia ściskające

Ciśnieniowe elementy kotła obliczane są z reguły na podstawie statycznych własności stali np. granicy plastyczności ( $R_{et}$ ) lub długotrwałej wytrzymałości ( $R_z$ ) w podwyższonej temperaturze.

W obliczeniach tych bierze się pod uwagę tylko naprężenia wywołane ciśnieniem, z góry jednoznacznie określając stałość naprężenia w ściankach elementów.

W rzeczywistości tworzywo rur powierzchni ogrzewalnych oprócz naprężenia od ciśnienia przenosi naprężenia dodatkowe od zginania, w wyniku braku kompensacji wydłużeń cieplnych między rurami (w kierunku poprzecznym do osi rury) oraz między ekranem jako „płyta” a komorą (rys. 5).



Rys. 5. Wydłużenie cieplne płyty i komory oraz rozkład naprężeń

Pośrednią przyczyną uszkodzenia rur powierzchni ogrzewalnych jest istnienie stref koncentracji naprężeń mechanicznych i cieplnych, w których procesy korozji, pełzania i zmęczenia zachodzą intensywnie.

Koncentracja naprężeń na poszczególnych odcinkach uwarunkowana jest często niemożliwością kompensacji różnicy wydłużeń cieplnych powstałej między komorami a szczelnymi ścianami.

Takie warunki pracy powodują powstawanie momentów zginających oraz skręcających (rys. 4 i 5). Powstałe w ten sposób dodatkowe naprężenia nie zawsze uwzględniane w obliczeniach konstrukcyjnych sumują się z naprężeniami od ciśnienia, a ich wartości mogą przekraczać wielkości dopuszczalne.



## Podsumowanie

Przyczyną bezpośrednią powstawania pęknięć są: korozja naprężeniowa oraz zmęczenie korozyjne, tj. działanie na metal stałego lub zmiennego naprężenia zbliżonego do granicy plastyczności w środowisku agresywnym (mieszanka parowo-wodna, para nasycona). Charakter uszkodzenia jest typowy dla jednoczesnego działania na metal dwóch czynników, tj. naprężeń rozciągających (stałych lub zmiennych) i korozji.

Przyczyną pośrednią są cieplne warunki pracy ekranów (brak możliwości kompensacji wydłużeń cieplnych), na które mają wpływ następujące czynniki [8, 9]:

- wielkości obciążenia cieplnego,
- rozkład obciążenia cieplnego po całej powierzchni,
- warunki pobierania ciepła od całej powierzchni,
- szerokość płetw, z których ciepło nie jest w 100% odprowadzane do bocznych tworzących rury,
- długość komór, których (w zależności od warunków cieplnych) wydłużenie cieplne może być mniejsze od wydłużenia ściany szczelnej,
- różnica temperatur między ścianami,
- częstotliwość uruchomień.

Proces niszczenia zachodzi w kilku etapach [10].

1. Okres stopniowego powstawania na powierzchni metalu pierwotnych szczelin korozyjno-mechanicznych, pod wpływem wysokich naprężeń rozciągających (niszczenie warstwy ochronnej) i rozwijania się w tych miejscach procesu korozyjnego (niszczenie metalu; wżery-szczeliny w postaci klina). Okres ten w zasadzie trwa długo, poprzedzając rozpoczęcie właściwego pęknięcia metalu. Szczeliny powstają w płaszczyznach prostopadłych do kierunku maksymalnych naprężeń rozciągających; mogą rozprzestrzeniać się w początkowej fazie nie tylko wzdłuż granic ziarn, ale i przez poszczególne kryształki. Pęknięcie śródkrystaliczne aktywizuje się pod wpływem czynnika mechanicznego, a międzykrystaliczne – pod wpływem korozji.
2. Rozwój szczeliny następuje pod działaniem nieustającego procesu elektrochemicznego, silnie intensyfikowanego działaniem naprężeń rozciągających. Szybkość rozwoju szczeliny decyduje o sposobie niszczenia materiału. Gdy szczelina zwiększa się przy przewodzie czynnika mechanicznego, ma charakter śródkrystaliczny i nie rozwijają się szczeliny równoległe, a jeśli przeważa czynnik korozyjny, to szybkość rozwoju pierwotnej szczeliny maleje i powstaje wiele szczelin równoległych o charakterze międzykrystalicznym, rozwijających się ze współmierną szybkością. Dopiero w ostatniej chwili wzdłuż jednej z nich następuje zerwanie.

## Wnioski

- ◆ Bezpośrednią przyczyną uszkodzeń rur ścian szczelnych kotłów parowych jest korozja naprężeniowa oraz zmęczenie naprężeniowa.

- ◆ Przyczyną procesów korozyjnych jest jednoczesne działanie na metal środowiska agresywnego oraz dodatkowych naprężeń powstających w metalu rury w wyniku braku kompensacji różnicy wydłużeń cieplnych między komorami a ścianami oraz między ścianami. Uszkodzenia tego rodzaju występują już po przepracowaniu ca 50 000–80 000 h, a szczególnie po częstych uruchomieniach.
- ◆ Zapobieganie uszkodzeniom polega na:
  - zmianach konstrukcyjnych ścian przez zabudowywanie krótkich komór dzielonych oraz kompensatorów między ścianami,
  - badaniach diagnostycznych:
    - okresowych, ultradźwiękowych – króćców umieszczonych na końcu komór (drugi ciąg),
    - endoskopem – powierzchni wewnętrznej przez wycinki rur,
    - magnetycznych – spoin w narożach.

### Uwaga:

Dane doświadczalne potwierdzone obliczeniami wskazują, że większe naprężenia (poprzeczne do osi rury przy tych samych wartościach cieplnych odkształceń średnicy) powstają w rurach o małych średnicach i dlatego szybciej ulegają uszkodzeniom węzownice przegrzewaczy umieszczone w drugim ciągu.

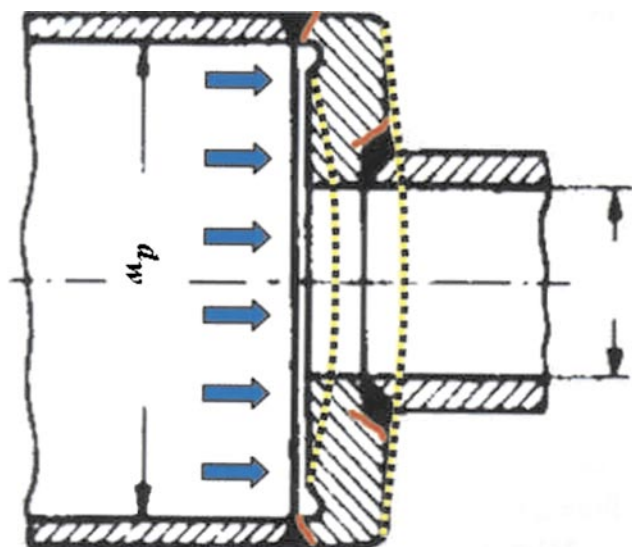
## LITERATURA

- [1] Rzepa K.: Wpływ warunków uruchamiania kotłów EP-650 na trwałość ścian membranowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Energetyka* nr 1101, 1990
- [2] Zatkind E.M.: Celnoswarije pławnikowyje ekrany i ich tiepłowoj rasciot. *Elektriczeskije Stancyi* nr 3, 1976
- [3] Żotudow Ja. C., Łokszin W.A.: Temperaturnyj režim pławnikowych trub. *Elektriczeskije Stancyi*, nr 3, 1966
- [4] Król S.: Małocykliczne zmęczenie cieplne konstrukcji rurowych. *Energetyka* 2003, nr 10/11
- [5] Fiedosejenko W.: Wlijanije ciklicieskowo izmienienija tiempieratury na procznosti pławnikowych trub. *Tieptoenergieta* 1980, nr 3
- [6] Linzer V.: Beansprechung eunes Flossenrohres durch äusere Kräfte. *VGB* 1969, nr 6
- [7] Linzer V.: Praktische Berechnung von spanungen in Flossenrohren hervorgerufen durch äusere Kräfte. *VGB* 1970, nr 3
- [8] Dobosiewicz J.: Podłużne pęknięcia niektórych rur kotłowych. *Energetyka* 1974, nr 5
- [9] Dobosiewicz J.: Uszkodzenia kompensacyjne króćców komór kotłowych. *Energetyka* 1975, nr 4
- [10] Zbroińska-Szczechura E.: Uszkodzenia wsporników urządzeń separacyjnych walczaków. *Energetyka* 1997, nr 3

□

## Uszkodzenia płaskich den komór z rowkami odciążającymi przegrzewaczy kotłów<sup>1)</sup>

W artykule [1] zamieszczonym w *VGB Powertech* przedstawiono przypadki uszkodzeń w ostatnich 25 latach płaskich den komór w elektrowniach niemieckich, holenderskich i brytyjskich i zalecono sposoby badań diagnostycznych (rys.1).



Rys. 1. Dno płaskie z rowkiem odciążającym występowanie uszkodzeń oraz odkształcenie [2]

Po uszkodzeniu (całkowite oderwanie) dna w komorze w *Elektrowni Niederauen* w 1998 roku Grupa robocza VGB (Zjednoczenie Użytkowników Wielkich Kotłów) przy współudziale z TUV Rheinland (Stowarzyszenie Dozoru Technicznego) przedstawiła i wdrożyła projekt, w którym założono, że użytkownicy będą szczegółowo informować się wzajemnie o zaistniałych w przeszłości i obecnie uszkodzeniach. VGB w 1998 roku określił zakres badań diagnostycznych den dla wszystkich użytkowników.

Poniżej przedstawiono krótkie opisy zaistniałych awarii.

1. W *Elektrowni Azbery* (ówczesnej *EVO Bayreuth*) w 1991 roku – na komorze wyjściowej pary przegrzanej kotła K-7 – nastąpiło eksplozyjne oderwanie dna. Komorę i dno (kute) wykonano z materiału X20 o nieprawidłowej strukturze ferrytyczno-bainitycznej (za niska temperatura austenizacji). Ponadto stwierdzono, co można uważać za czynnik sprzyjający występowaniu uszkodzenia, stałe przekraczanie temperatury obliczeniowej elementu na skutek nierównomiernego przepływu pary.

<sup>1)</sup> Artykuł odnosi się do publikacji w *VGB Powertech 2004 Vol. 84* i uwzględnia również doświadczenia polskie.

Po wnikliwej analizie zalecono wykonanie:

- ♦ obliczeń sprawdzających uszkodzone dna,
- ♦ pomiarów wybrzuszeń lub wklęsnięć den,
- ♦ oceny właściwego stanu struktury za pomocą replik,
- ♦ ultradźwiękowych badań spoin w strefie wpływu ciepła po stronie dna,
- ♦ badań magnetycznych na obecność pęknięć powierzchniowych,
- ♦ wymiany den wskazujących wybrzuszenia.

Natomiast nie pojawiło się zalecenie DDA (Niemiecki Komitet Kotłów Parowych), aby w przyszłości zrezygnować z płaskich den.

2. W 1994 roku w *Elektrowni II SA Hulsna* nastąpiło uszkodzenie płaskiego dna komory, na bloku nr 3. Uszkodzony element wykonany był ze stali austenitycznej X8CrNiMoVNB 16-3, a uszkodzenie nastąpiło po zaledwie jednym roku eksploatacji. Analizę uszkodzenia przeprowadził wydział techniki materiałowej spółki *Huls AG* i wykazał, że naprężenia w obszarze przejścia części cylindrycznej w rowek odciążający znacznie przekraczają naprężenia w ściance komory, a szczególnie w strefie wpływu ciepła spoiny.

W tym przypadku jako środek zaradczy zalecono: zmianę konstrukcyjną i wymianę na dno płaskie, wyoblone oraz zmianę gatunku stali o niższej skłonności do wydzielenia węglików.

3. W *Elektrowni Nijmegen* (Holandia) w 1997 r. oderwało się dno komory wylotowej przegrzewacza wykonane z materiału 10CrMo9-10. Komora wykonana była z materiału X20b, pęknięcie przebiegało wzdłuż strefy wpływu ciepła spoiny od strony dna. Stwierdzono przekroczenie temperatury pracy i wynikające z obliczeń TRD naprężenia przekraczające dolną granicę wytrzymałości na pełzanie materiału 10CrMo 9-10.

Jako środek zaradczy zastosowano zmianę materiału dna z zachowaniem dotychczasowej konstrukcji.

4. W *Elektrowni West Burton* (Wielka Brytania) w 1998 r. nastąpiło uszkodzenie (oderwanie) płaskiego dna na jednej z czterech komór wyjściowych przegrzewacza. Elementy (dno i komora) zostały wykonane z materiału X10CrMoVnb9-10. Badanie diagnostyczne (ultradźwiękowe) z wynikiem pozytywnym wykonano po 8663 godzin pracy przed uszkodzeniem. Obliczenia sprawdzające wykazały, że naprężenia na powierzchni wewnętrznej w strefie spoiny były ok. 2-3-krotnie wyższe niż projektowe, ale poniżej wartości wyznaczonej normą British Standard (BS1113). Badanie metalograficzne potwierdziły zaawansowany proces pełzania w strefie wpływu ciepła, tj. w miejscu przekroczenia naprężeń dopuszczalnych.

W ramach naprawy zastosowano dna płaskie, wyoblone, w których spoina kładziona jest w znacznej odległości od denka.

5. W *Elektrowni Weisheiler* w 1998 r. stwierdzono oderwanie dna jednego z kolektorów wysokociśnieniowych bloku E. Od roku 1992/93 komory i kolektory posiadające dna z rowkiem odciążającym były poddawane systematycznym badaniom (zgodnie z odciążającą instrukcją S0001 z 1992 roku), struktury (repliki) i magnetyczno-proszkowym, zawsze z wynikiem pozytywnym.

W podsumowaniu badań poawaryjnych przeprowadzonych przez TÜV Rheinland stwierdzono m.in., że:

- przyczyną bezpośrednią awarii był proces pełzania rozpoczęty w strefie wpływu ciepła przy spoinie łączącej dno z komorą,
- pęknięcia brały początek na powierzchni wewnętrznej i były umiejscowione po stronie dna,
- struktura komory oraz dna była typowa dla stali 20CrMo-V12-1,
- nie stwierdzono żadnych nieprawidłowości (co miało miejsce w opisach poprzednich przypadków), eksploatacyjnych (przekroczenie dopuszczalnych temperatur) oraz produkcyjnych (np. niewłaściwa obróbka cieplna).

Opisane w niniejszym artykule awarie den kolektorów mają wspólną cechę – występowanie niekorzystnej konstrukcji (rowek odciążający), a tym samym powstanie geometrycznego koncentratora naprężeń.

Wykonane obliczenia potwierdziły lokalne przekroczenie dopuszczalnych oraz trójosiowy stan naprężeń w rowku odciążającym, co każdorazowo doprowadzało do uszkodzenia. Jednocześnie stwierdzono, że nawet w tych przypadkach, w których nie zanotowano przekroczenia temperatur, ani nie wykazano niewłaściwej technologii wytwarzania (obniżone własności) – stosowanie den z rowkami odciążającymi stanowi szczególne zagrożenie prowadzące z czasem (pełzanie) do trwałego uszkodzenia i konieczności naprawy lub wymiany. Uszkodzenia pojawiały się niezależnie od stosowanego materiału den i komór.

Zalecane badania profilaktyczne dla wszystkich kolektorów posiadających dna płaskie z rowkami odciążającymi, to:

- badania ultradźwiękowe,
- badania magnetyczne,
- badania endoskopowe,
- badania metalograficzne metodą replik (ocena stanu struktury),
- pomiar geometrii (wyboczenia).

## Komentarz

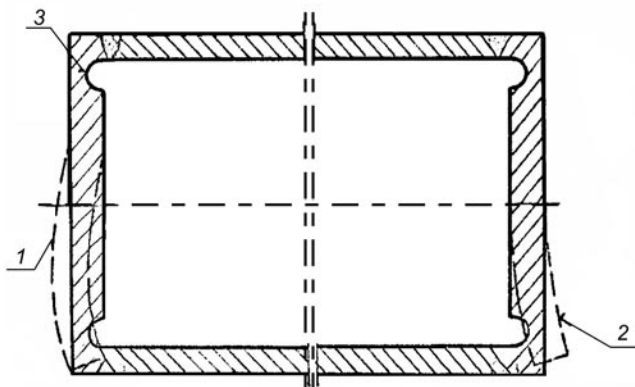
Polskie doświadczenia z podobnymi uszkodzeniami sięgają lat 70. i 80. W szeregu elektrowniach ówczesnego *Południowego Okręgu Energetycznego* miały miejsce podobne przypadki uszkodzeń komór o średnicy powyżej 350 mm z płaskimi dnami i rowkami odciążającymi. Po wnikliwej analizie zaistniałych przypadków stwierdzono, że pęknięcia brały swój początek na powierzchni wewnętrznej w strefie wpływu ciepła po stronie spoina/dno (rys. 2).



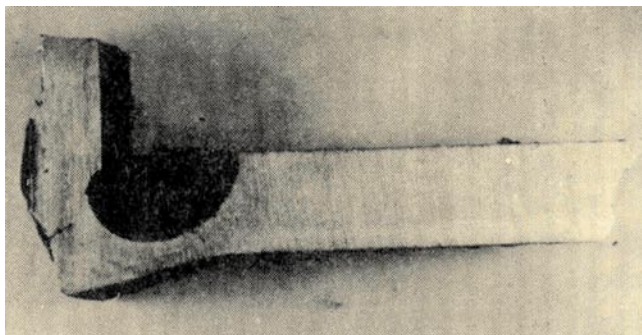
Rys. 2. Komora wylotowa przegrzewacza pary wtórnej II° kotła OP-650k. Deformacja denka z pęknięciami spoiny obwodowej spowodowana naprężeniami zmiennymi.

Czas pracy do wystąpienia uszkodzenia 25 000 h [2]

Pęknięcia przebiegały obwodowo wzdłuż spoiny powodując nieszczelność oraz na dnie rowka odciążającego, aż do całkowitego odpadnięcia dna. Wykonane wówczas obliczenia wskazywały jednoznacznie na wielokrotne przekroczenia naprężeń dopuszczalnych w obszarze rowka odciążającego. W tego rodzaju przypadkach na powierzchni zewnętrznej uwiadczniały się odkształcenia (rys. 3), a nawet pęknięcia (rys. 4).



Rys. 3. Uszkodzenia i odkształcenia denek [2]

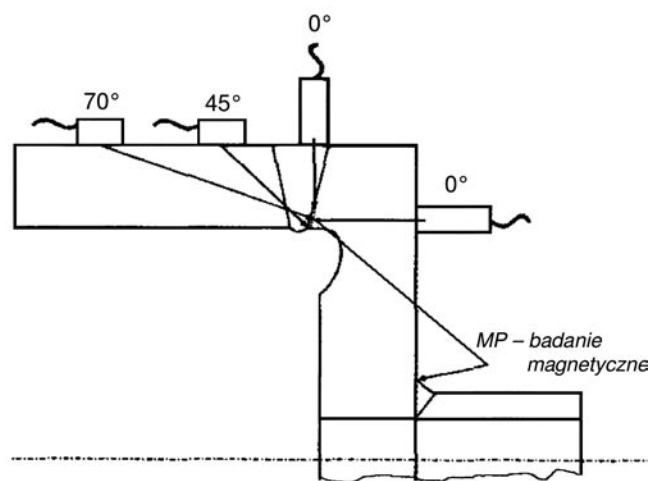


Rys. 4. Komora wylotowa przegrzewacza pary kocioł OP-650k. Deformacja denka z pęknięciami spoiny obwodowej spowodowana naprężeniami zmiennymi.

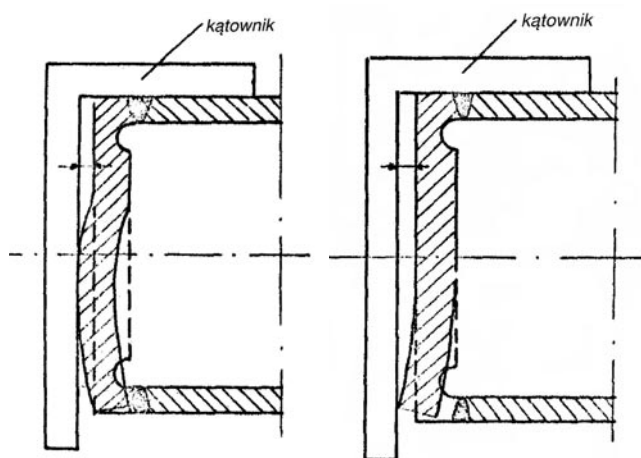
Czas pracy do wystąpienia uszkodzenia 25 000 h [2]

Problem był na tyle poważny, że w „Instrukcji oceny stanu oraz kwalifikowania do wymiany komór, kolektorów, rurociągów kotłowych i głównych rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania”, wydanej w 1986 roku przez Ministerstwo Górnictwa i Energetyki (praca zbiorowa Służby Diagnostycznej PdOEn w konsultacji z FK Rafako Racibórz, Energopomiarem, IMŻ i CBKK) – przedstawiono umiejscowienie pęknięć, metody badań diagnostycznych, interpretację wyników i sposób naprawy den z rowkami obciążającymi.

Zalecono badania ultradźwiękowe (w celu wykrycia pęknięć biorących swój początek na powierzchni wewnętrznej) (rys. 5), endoskopową kontrolę powierzchni oraz badania magnetyczne spoin i pomiary odkształcenia (rys. 6).



Rys. 5. Badanie ultradźwiękowe denka [1]



Rys. 6. Pomiary wybrzuszenia lub wklęsnięcia denka [2]

Badania ultradźwiękowe można wykonywać od powierzchni zewnętrznej komory stosując czujniki na falę poprzeczną o kącie 45°–70° lub od powierzchni płaskiej dna stosując czujniki na falę podłużną nadawczo-odbiorczą o średnicy przetwornika 7–10 mm (identyczną metodą identyfikacji została zaprezentowana w omawianej publikacji VGB).

Wewnętrzna powierzchnia dna z rowkiem odcinającym należy sprawdzać metodą endoskopową przez odcięty najbliższy króciec lub wyczystkę.

Deformacja denka o wielkości 1 mm na 100 mm średnicy komory jest niedopuszczalna, podobnie jak obecność pęknięć. Przy deformacji mniejszej niż podano, denka dopuszczono do dalszej eksploatacji zwiększając częstotliwość pomiaru odkształcenia (co 5000 h).

Wykryte deformacje o wielkości przekraczającej dopuszczalną oraz pęknięcia dyskwalifikowały denka do dalszej pracy. Na ich miejsce zabudowywano nowe, wykonane zgodnie z przepisami UDT (płaskie z wyobleniem).

## Podsumowanie

Opisywane przez VGB awarie i wynikające z nich konieczne odstawienia kotłów znane były w polskiej energetyce znacznie wcześniej. Za przyczynę pośrednią w każdym z tych przypadków uznano błędy konstrukcyjne dna komór (kolektorów) z rowkami odcinającymi (karb geometryczny), prowadzące do występowania obszarów (przekrojów) o nadmiernym naprężeniu zginającym. Z czasem dochodziło do deformacji i pęknięć, a w konsekwencji do całkowitego uszkodzenia elementu. Radykalny sposób zastosowany w Polsce, tj. wymiana den zdeformowanych i nie tylko (zdarzały się też wymiany profilaktyczne), pozwolił na wyeliminowanie den wadliwej konstrukcji, a tym samym na obniżenie prawdopodobieństwa powstawania tych uszkodzeń w przyszłości. Ponadto stwierdzono, że komory i kolektory należy zawsze poddawać systematycznym badaniom diagnostycznym, a o ile wymaga tego użytkownik, obliczeniom sprawdzającym, wyznaczającym obszary o niższej trwałości resztkowej.

Dla obszarów o trwałości <100 000 h (stale chromowe o zawartości 9–12%) i dla den wykonanych z pozostałych gatunków stali o obszarach o trwałości <50 000 h – wg VGB – badania należy wykonywać w pierwszej kolejności.

Stosowanie jednocześnie różnych metod badawczych ma na celu uzupełnianie się otrzymanych informacji dla właściwej i prawidłowej oceny stanu technicznego badanego elementu.

## LITERATURA

- [1] Lüdenbach G.: Schadensereirisse an ebene Sammlerböden mit Entlastungnut und darus arbelgetete Prüf –maßnahmen. VGB Powertech, Volume 84/2004, s. 52–58
- [2] „Instrukcja oceny stanu oraz kwalifikowania do wymiany komór, kolektorów, rurociągów kotłowych i głównych rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania.” MGIE, Warszawa 1986