

WYMAGANIA DIAGNOSTYCZNE PODCZAS EKSPLOATACJI RUROCIĄGÓW CIŚNIENIOWYCH

Dariusz Mężyk
Instytut Energetyki
dariusz.mezyk@ien.com.pl

1. Wstęp

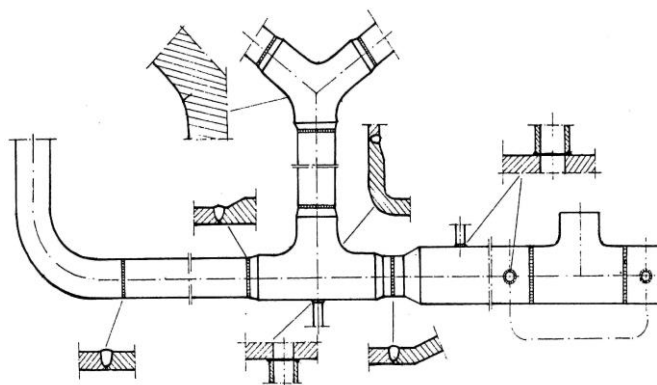
Podczas długotrwałej eksploatacji bloków energetycznych materiały konstrukcyjne stosowane w przemyśle energetycznym pracują w warunkach zmiennych pól naprężeń i zmiennych temperatur. Materiały te są narażone na oddziaływanie środowiska gazów i cieczy oraz na działanie obciążeń mechanicznych. Czynniki te powodują w okresie eksploatacji ciągłe zmiany mikrostruktury materiałów i w rezultacie pogorszenie ich własności mechanicznych. Efektem wzrostu wartości i koncentracji naprężeń jest pękanie złączy spawanych i awarie elementów kształtowych instalacji cieplnych i ciśnieniowych obiektów energetycznych.

2. Główne czynniki awaryjności układów rurociągowych

Szczególną opieką diagnostyczną należy objąć rurociągi wysokoprężne z uwagi na ich wyjątkowy charakter. Wysoka temperatura – w zakresie temperatur rzędu 540°C, wartości ciśnienia dochodzące do 20 MPa powodują, że elementy z jakich zbudowana jest instalacja nie zawsze są w stanie przenieść obciążenia i rurociągi mogą ulec zniszczeniu. Bardzo istotnym problemem występującym podczas eksploatacji urządzeń energetycznych jest wzajemne oddziaływanie układu rurociąg turbina. Mechanizm wzajemnego oddziaływania w/w elementów nie został jednoznacznie określony. Z uwagi na wagę problemu, z którym boryka się większość krajowych elektrowni i elektrociepłowni prowadzone są wielokierunkowe badania zmierzające do określenia wzajemnego oddziaływania wymienionych elementów bloków energetycznych [1].

Na wytrzymałość elementów ciśnieniowych poza naprężeniami od ciśnienia wewnętrznego i naprężeniami temperaturowymi wpływ mają obciążenia mechaniczne pochodzące od ciężaru rurociągu

oraz zamontowanej na nim armatury oraz pochodzące od ograniczenia swobody dylatacji cieplnej i jakości pracy systemu zamocowań. Ze względu na warunki pracy i związane z nimi obciążenia najistotniejsze znaczenie mają rurociągi pary świeżej, a głównie ich elementy kształtowe (kolana, trójniki, czwórniki, mieszacze pary, zasuwę główne).



Rys.1. Miejsca występowania uszkodzeń na głównych rurociągach parowych [2]

Rurociągi pary wtórnie przegrzanej pracują w wysokiej temperaturze, lecz przy znacznie niższych ciśnieniach. Na rurociągach pary wtórnie przegrzanej, podobnie jak i pary świeżej, znajdują się zawory bezpieczeństwa. Ta część rurociągów pracuje w cyklu okresowym, przez co dochodzi do gwałtownych schłodzeń i wzrostów temperatur wpływających na niszczenie niskocyklowe. Z tego powodu tę część rurociągu należy objąć szczególną troską.

3. Diagnostyka stanu technicznego.

Zakres badań rurociągów pary do wtórnego przegrzewu (o najniższych parametrach pracy – poniżej temperatury pełzania) obejmuje również rurociągi o pracy okresowej, elementy kształtowe, odwodnienia. Pozostałe rurociągi należy objąć diagnostyką materiałową oraz NDT zgodnie z obowiązującą instrukcją UDT 1/2015, a wszędzie tam gdzie wystąpią zauważalne zmiany materiału lub kształtu, zwiększyć częstotliwość badań [3].

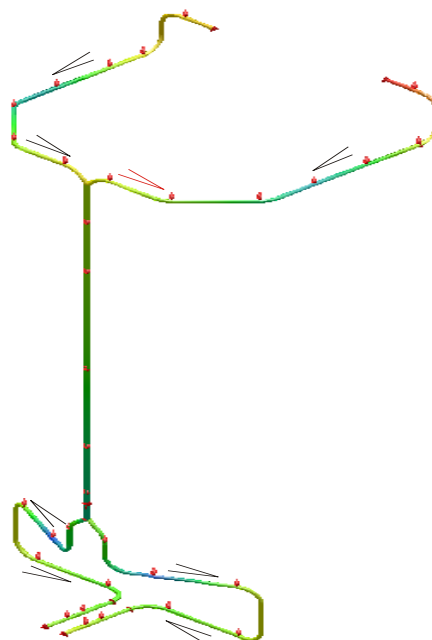
Istotne znaczenie dla monitoringu położenia przestrzennych rurociągów wysokoprężnych mają pomiary prowadzone w stanach zimnych rurociągów, jak i w stanach pełnego obciążenia cieplnego. Wyniki tych pomiarów są podstawą do określenia rozkładu naprężeń temperaturowych wzdłuż trasy rurociągu ze szczególnym uwzględnieniem elementów kształtowych.

Ważnymi elementami węzła technologicznego pod nazwą „główne rurociągi parowe” jest zabudowana na nich armatura. Znajduje się ona głównie pod turbiną, ale zabudowana jest na rurociągach i łącznie z nimi powinna być rozpatrywana. Armaturę tę stanowią zawory szybkozamykające, główne zasuw parowe i zasuw obejściowe głównych zasuw parowych. Istotne znaczenie ma umiejscowienie głównych zasuw pary, będących elementami o dużej masie skupionej względem rurociągów, na których są zabudowane. Zawory szybkozamykające są istotnym elementem układu gdyż one w sytuacjach awaryjnych odcinają dopływ pary do turbiny. Prawie wszystkie układy automatyki zabezpieczeniowej bloku, zarówno cieplnej, technologicznej jak i elektrycznej w konsekwencji

oddziałują na natychmiastowe zamknięcie zaworów szybkozamykających i odcięcie pary do turbiny. Zawory te sterowane są hydraulicznie i są ściśle powiązane z układem oleju regulacyjnego turbiny. W związku z tym, że ich pełna sprawność techniczna ma zasadnicze znaczenie dla bezpieczeństwa eksploatacji bloku energetycznego winny one być również objęte systemem diagnostycznym. Bezpieczeństwo eksploatacji obiektu wiąże się z trwałością, którą można włączyć w zakres ogólnie pojętego wyężdżenia materiału [3].

Pojęcie trwałości wymaga określenia:

- czasu granicznego do zniszczenia
- granicznej liczby cykli do zniszczenia
- liczby operacji technologicznych
- innych wielkości mierzalnych



Rys.2. Spadki na rurociągu.

Wśród czynników wpływających na trwałość elementów urządzeń ciśnieniowych znajdują się:

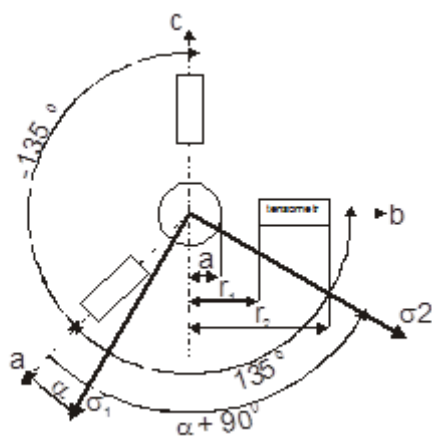
- czynniki związane z wykonaniem elementu
- czynniki związane z montażem
- czynniki związane z eksploatacją
- czynniki związane z diagnostyką, naprawami i modernizacją.

Aby zapobiec sytuacjom awaryjnym należy kontrolować pracę systemu zamocowań, sprawdzać geodezyjnie położenie rurociągów w stanach zimnych i gorących oraz prowadzić badania diagnostyczne pozwalające określić stan naprężeń, stopień degradacji struktury materiału, a także przeprowadzić obliczenia oparte o rzeczywiste dane uwzględniające przemieszczenia dylatacyjne i położenie rurociągu w stanie zimnym i gorącym. Ze względu na zmienność stanu wyężenia materiału obliczenia stopnia wyczerpania trwałości eksploatacyjnej możliwe są w sposób przybliżony. Przeliczenia elastyczności rurociągu prowadzone w oparciu o dane zgromadzone podczas badań rurociągów wraz z armaturą potrafią przybliżyć odpowiedź dotyczącą prawidłowości prowadzonej eksploatacji oraz rozpatrywać symulowane stany przeciążeń i ograniczeń w pracy rurociągów.

Wszystkie konstrukcje stalowe w całym okresie eksploatacji charakteryzują się pewnym, najczęściej zmiennym stanem naprężenia wynikającym z technologii produkcji oraz warunków pracy. Znajomość wielkości i charakteru naprężeń pozwala na określenie trwałości konstrukcji. Do badań stanu naprężenia stosowane są metody tensometryczne i magnetyczne. Ze stosowanych w praktyce metod pomiarowych naprężeń własnych instalacji przemysłowych najdokładniejsze wyniki osiąga się stosując nieniszczącą metodę tensometrii oporowej opracowaną przez Mathara. Została ona oparta na założeniu koncentracji naprężeń wokół nawierconego otworu.

Metoda jest opisana w literaturze polskiej (np. Z. Roliński) jak i zagranicznej oraz unormowana (ASTM E837 *Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the Hole-Drilling Strain- Gage Method*). W oparciu o metodę Mathara budowane są systemy pomiarowe takich producentów jak Vishay i Hottinger GmbH. Za akceptacją UDT jest stosowana od lat w badaniach instalacji rurociągowych obiektów energetycznych.

Metoda polega na odprężeniu obszaru pomiarowego w zakresie działania czujników tensometrycznych zainstalowanych w układzie rozety trójczałonowej. Mierzac odkształcenia materiału wywołane odprężeniem, podstawiając ich wartości szczegółowe do wzorów Mathara otrzymujemy wartości naprężeń głównych oraz kierunki ich działania. Uzyskane wielkości odnoszone są do wielkości granicy plastyczności badanego materiału.



oznaczenia na rysunku :

- a - promień nawiercanego otworu
- r_1, r_2 - promienie wyznaczające początki i końce długości tensometrów tworzących rozetę
- σ_1, σ_2 - naprężenia główne
- a, b, c - kierunki promieniowe rozety
- α - kąt pomiędzy kierunkiem "a" rozety i naprężeniem głównym σ_1

Rys.3. Schemat prostokątnej trójczałonowej rozety tensometrycznej

Naprężenia główne σ_1 i σ_2 będące tensorową sumą naprężeń składowych: własnych technologicznych, od naciągów montażowych, od ciężaru własnego oraz od reakcji podpór

oblicza się z zależności obowiązujących dla metody Mathara.

Przy zastosowaniu trójczałowej rozety prostokątnej o kątach $\omega_a = 0^\circ$, $\omega_b = 135^\circ$, $\omega_c = -135^\circ$ oblicza się je z zależności obowiązujących dla metody Mathara mających postać:

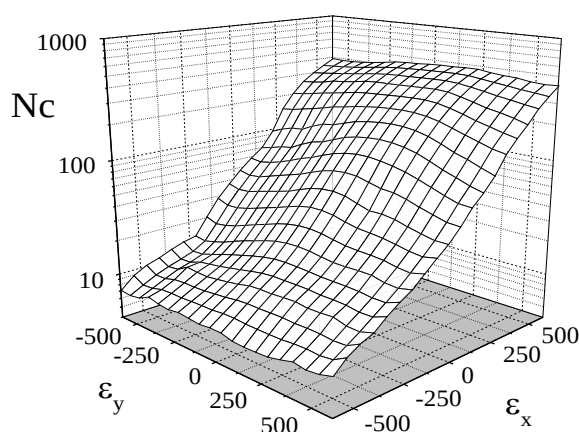
$$\sigma_{1/2} = -\frac{E}{4A}(\varepsilon_b + \varepsilon_c) \pm \frac{E}{4B} \sqrt{(2\varepsilon_a - \varepsilon_b - \varepsilon_c)^2 + (\varepsilon_c - \varepsilon_b)^2}$$

gdzie :

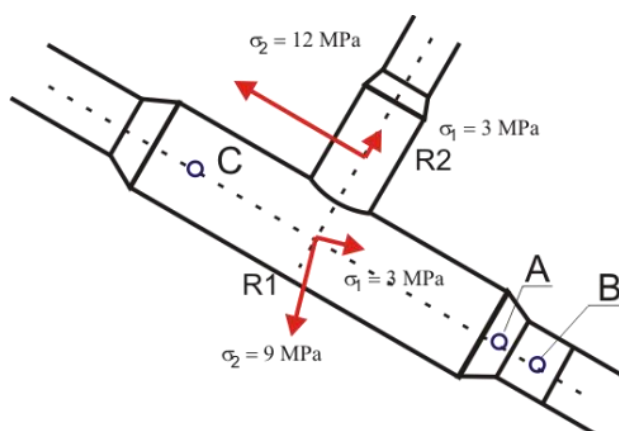
ε_a , ε_b , ε_c – odkształcenia jednostkowe w kierunkach pomiarowych a, b, c
E – moduł Younga

W przypadku badań materiałów ferromagnetycznych można posilkować się metodą magnetyczną opartą na teorii szumów Barkhausena. Metoda ta ma zastosowanie dla elementów czy instalacji gdzie ze względów technologicznych czy eksploatacyjnych nie ma możliwości wykonania pomiarów metodą tensometryczną. Metoda magnetyczna jest metoda bezinwazyjną dla materiału, lecz dla uzyskania wiarygodnego wyniku niezbędne jest wykonanie procedury skalowania.

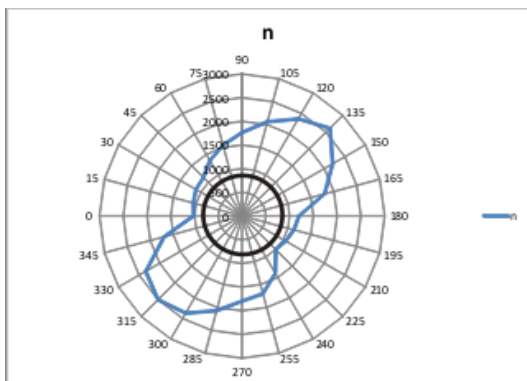
W przypadku badań materiałów ferromagnetycznych można posilkować się metodą magnetyczną opartą na teorii szumów Barkhausena. Metoda ta ma zastosowanie dla elementów czy instalacji gdzie ze względów technologicznych czy eksploatacyjnych nie ma możliwości wykonania pomiarów metodą tensometryczną. Metoda magnetyczna jest metoda bezinwazyjną dla materiału, lecz dla uzyskania wiarygodnego wyniku niezbędne jest wykonanie procedury skalowania. Na kolejnych rysunkach przedstawiono wyniki pomiarów metodą tensometryczną (Mathara) i odpowiadające im wykresy biegunowe parametru „counter” efektu Barkhausena.



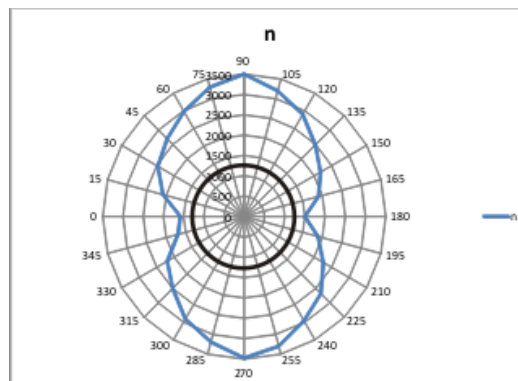
Rys.4. Przykład funkcji skalowania dla płaskiego stanu naprężenia.



Rys.5. Wyniki pomiaru naprężeń na trójkniku metodą tensometryczną.



Rys.6. Rozkład kątowy naprężeń. Punkt R1.



Rys.7. Rozkład kątowy naprężeń. Punkt R2.

Dla uzyskania wiarygodnych i powtarzalnych wyników badań wykonano skalowanie metody magnetycznej szumów Barkhausena dla różnych parametrów napięcia skutecznego oraz liczby zliczeń. Dla obu metod uzyskano podobne wyniki, przy czym metoda tensometryczna była referencyjna dla metody magnetycznej. Wartości określone metodą magnetyczną odbiegały około o 30% od referencyjnych, co dla niewielkiego stanu naprężenia materiału należy uznać jako wynik zadowalający.

4. Uwarunkowania materiałowe eksploatacji rurociągów wysokoprężnych na przykładzie materiału 13HMF (14MoV63).

W eksploatowanych krajowych obiektach energetycznych od wielu lat w instalacjach rurociągów pary pierwotnej stosowano materiał 13HMF (14MoV63) zastępowany obecnie innymi materiałami jak np. P91, P92.

Własności mechaniczne elementów rurociągowych wykonanych ze stali 13HMF, określane w temperaturze pokojowej, charakteryzują się niskimi wartościami po eksploatacji w warunkach pełzania powyżej 100 000 godzin. Wyniki badań granicy plastyczności czy energii i łamania są znacznie niższe niż wymagania minimalne dla stanu wyjściowego tej stali. Pogorszenie tych własności spowodowane jest zmianami struktury stali do których zalicza się:

- rozpad obszarów bainit/perlit,
- rozwój procesów wydzieleniowych węglików.

W stali 13HMF po długotrwałej eksploatacji obserwuje się powstawanie nowych węglików wewnątrz jak i na granicach ziarn oraz rozrost już istniejących. Przy założeniu stosunkowo stabilnego poziomu temperatury pracy, wzrost naprężeń może przyczynić się do znacznego wzrostu wydzieleni, rozpadu obszarów perlit/bainit, co w konsekwencji prowadzi do nadmiernej utraty trwałości.

Długotrwała eksploatacja elementów rurociągowych pracujących w warunkach pełzania powoduje degradację materiału poprzez zmiany strukturalne, które w konsekwencji prowadzą do obniżenia odporności na pełzanie oraz do przesunięcia temperatury przejścia w stan kruchy w kierunku wyższej temperatury. Nie powoduje to jednak jednoznacznej konieczności dokonania wymiany takich elementów na nowe. W większości przypadków elementy te mogą pracować znacznie poza obliczeniowy czas pracy co związane jest z istnieniem trwałości resztkowej.



Rys.8. Widok pęknięcia na trójniku.



Rys.9. Trójnik rurociągu pary świeżej w trakcie procesu naprawczego.

W przypadkach występowania niezamierzonych ograniczeń przemieszczeń dylatacyjnych, długoletnia praca materiału w warunkach eksploatacji w temperaturach rzędu 540°C skutkuje szybciej postępującą degradacją materiału rodzimego oraz występowaniem pęknięć złączy spawanych z reguły w strefie wpływu ciepła. W zależności od stopnia degradacji materiału stosowane są różne technologie napraw, rozszlifowanie, napawanie z obróbką cieplną lub wymiana spoiny. Częstą przyczyną uszkodzeń jest poziom naprężeń rzeczywistych w stosunku do wynikających z rzeczywistych wymiarów geometrycznych, głównie grubości ścianki oraz występowania złożonego stanu naprężeń w wyniku oddziaływania momentów gnących i skręcających.

Badania przeprowadzone na zniszczonych łukach wykazały, że proces degradacji struktury nie przebiega równomiernie w całej ich objętości. Obszarem uszkodzenia jest najczęściej zewnętrzna powierzchnia na zewnętrznym konturze łuku (obszar rozciągany w procesie gięcia).



Rys.10. Awarie eksploatacyjne układu ciśnieniowego kotła

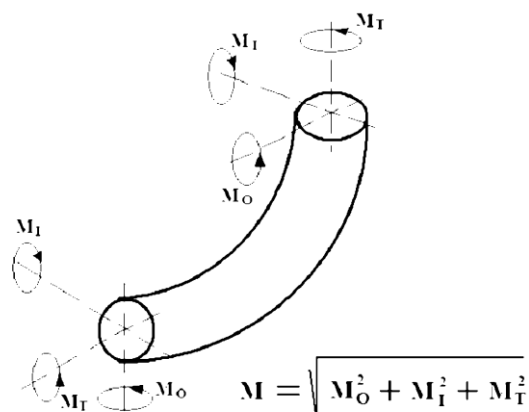
Zapas trwałości czasowej wyczerpuje się w trakcie eksploatacji i zależy od gatunku, własności mechanicznych, struktury materiału oraz obciążeń i zmiennych stanów naprężeń, a także ilości cykli cieplnych.

5. Dyskusja awarii rurociągu.

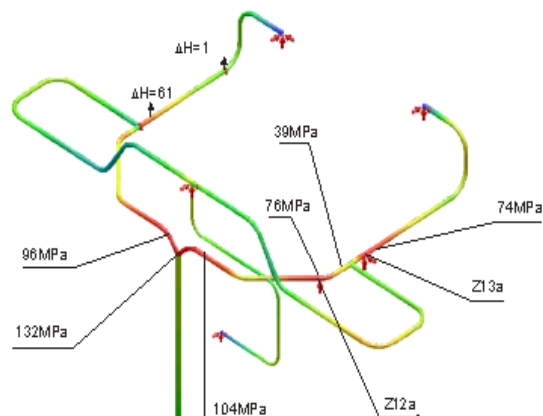
W trakcie długoletniej eksploatacji rurociągów pomimo prowadzonych procesów diagnostycznych mających na celu zapewnienie bezawaryjnej pracy instalacji rurociągowych

spotyka się co jakiś czas sytuacje awaryjne wynikające z przyczyn konstrukcyjnych, eksploatacyjnych i materiałowych.

Poniżej przedstawiony przykład dotyczy pęknięcia kolana rurociągu wysokoprężnego w trakcie eksploatacji obiektu energetycznego. Pęknięcia wzdłużne jednego z głównych rurociągowych elementów kształtowych pary świeżej stanowi bardzo poważną awarię mogącą pociągnąć za sobą katastrofalne skutki.



Rys.11. Obciążenia łuku wg PN-EN 13480



Rys.12. Rozkład naprężeń przy nieprawidłowej pracy zamocowań (Z12a i Z13a)

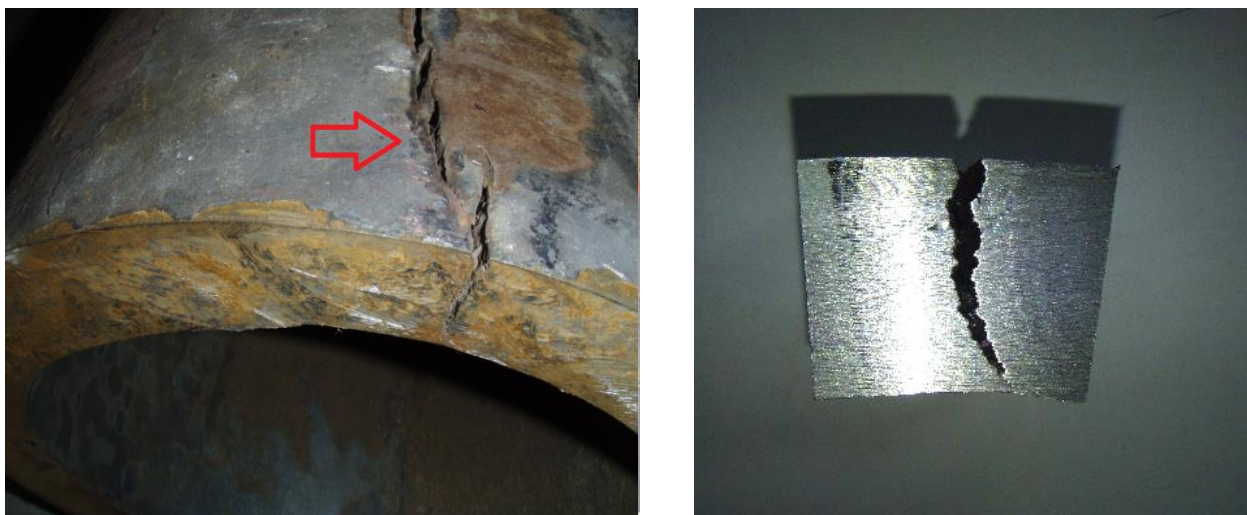
Rozkład naprężeń obliczony na podstawie pomiarów dylatacji cieplnej przy założeniu nieprawidłowej pracy zamocowania Z13a i Z12a ujawnia wzrost naprężeń na trójkniku widlastym (duże przekroczenie naprężeń dopuszczalnych) oraz wzrost naprężeń na kolanie w rejonie zamocowania Z12a i trójknika przy zamocowaniu Z13a. Obliczenia prowadzone przy założeniu obciążeń projektowych oraz poprawności działania zamocowań, nie wykazały przekroczeń naprężeń zredukowanych w kolanie które uległo zniszczeniu. Wyteżenie w tym kolanie (stosunek naprężeń od temperatury do naprężeń dopuszczalnych) nie przekraczało wskaźnika 0,5.

Wyniki obliczeń w świetle faktu pęknięcia kolana, przy braku wad produkcyjnych i niedopuszczalnych zmian pełzaniowych, wyraźnie wskazują na dodatkowe inne przyczyny. Stwierdzone szybkie zmiany pełzaniowe w badanym kolanie musiały być spowodowane lokalnymi wzrostami obciążeń.

W rejonie pękniętego kolana stwierdzono nie sprawność w pracy układu zamocowań powodującą wzrost naprężeń w materiale rurociągu podczas eksploatacji w zmiennych warunkach cieplnych przez ograniczenie możliwości dylatacyjnych rurociągu.



Rys.13. a) pęknięcie zlokalizowane na rurociągu,



Rys.13. b) fragment materiału pobranego do badań.

Badania defektoskopowe w całej objętości dostarczonych odcinków kolan z wyłączeniem widocznych pęknięć nie wykryły wzdłużnych ani poprzecznych nieciągłości. Badania strukturalne ujawniły na granicach ziaren liczne, znacznej wielkości wydzielienia, tworzące łańcuszki. Blisko pęknięcia widoczne są liczne nieciągłości mające postaci mikroszczelin[4]. Wymagane własności mechaniczne stali 13HMF oraz część uzyskanych wyników badań kolana w temperaturze otoczenia przedstawiono w tabeli nr1.

Oznaczenie badanej próbki	Własności mechaniczne stali 13HMF					
	Kierunek poboru próbek	Re _{0,2} [MPa]	Rm [MPa]	A5 [%]	KCU ₂ [J/cm ²]	HB
					Wyniki (KV) [J]	
wg PN-74/H-47252	poprzeczny	min 355	490-690	min 18	min 60 48 J	135-180
prostka	poprzeczny	321	531	26,0	27,5 20 20	155
					22 16 16	155 153
„rozciągana”	poprzeczny	313	524	26,4	17,5 20 17,5	157
					14 16 14	155 157

Tabela.1. Wyniki badań własności mechanicznych kolana ze stali 13HMF po długotrwałej eksploatacji.

Przeprowadzone badanie składu chemicznego próbek potwierdziło zgodność z wymaganiami normy PN-75/H-84024. Analizując otrzymane wyniki stwierdzić należy, że:

- własności uzyskane podczas statycznej próby rozciągania we wszystkich badanych miejscach potwierdzają zgodność R_m i A₅ z wymaganiami normy PN-74/H-74252,
- umowna granica plastyczności R_{0,2} we wszystkich badanych miejscach jest nieznacznie niższa od wymagań normy PN-74/H-74252,
- energia łamania w temperaturze otoczenia próbek Charpy V pobranych ze wszystkich badanych miejsc kolana jest niska co jest charakterystyczne dla stali 13HMF po długotrwałej eksploatacji i świadczy znacznym postępie w zmianach struktury.

Ponadto badania wykazały, że umowna granica plastyczności $R_{0,2t}$ w temperaturze 500°C (zawierająca się w granicach 230-242 N/mm²) we wszystkich badanych miejscach jest zgodna z wymaganiami normy PN-74/H-74252 (wartość normatywna 226 N/mm²). Wstępne badanie progu kruchości prowadzone w temperaturze około 80°C na próbkach pobranych z prostki wskazują, że dla tej stali w tym stanie struktury próg kruchości znajduje się w pobliżu 100°C. Wyniki badań energii łamania J (próbka KV) mieszczą się w zakresie 25-31 J.

Analiza uzyskanych wyników badań strukturalnych, a także własności mechanicznych prowadzonych w temperaturze otoczenia potwierdza, niekorzystne skłonności stali 13HMF poddanej długotrwałej eksploatacji w warunkach pełzania do niskich energii łamania i niższej granicy plastyczności.

Wnioski wynikające z zaistniałej awarii. Stwierdzone szybkie zmiany pełzaniowe w badanym kolanie musiały być spowodowane nieprzewidywalnym lokalnym wzrostem obciążeń. Wzrost naprężeń, wynikających w szczególności z działania momentów skręcających, obciążając uszkodzony element wraz z wyraźnym obniżeniem wskaźników wytrzymałościowych przyczynił się do pęknięcia materiału rurociągu. Opisany przypadek wskazuje również na niebagatelną rolę układu zamocowań dla bezpieczeństwa eksploatacji energetycznych instalacji rurociągowych.

6. Rola systemu zamocowań w realizacji przemieszczeń dylatacyjnych rurociągu

Geometria rurociągu łączącego kocioł z turbiną musi uwzględniać pętle kompensacyjne ze względu na rozszerzalność cieplną. O konkretnym kształcie rurociągu decyduje projektant. Zamocowania podtrzymują rurociąg i jednocześnie umożliwiają mu ruch dylatacyjny. Prawidłowo dobrane zamocowania, w poprawnym stanie technicznym nie powinny być źródłem dodatkowych obciążeń mechanicznych dla podtrzymywanego rurociągu.

Układy rurociągów dzielą się na dwa rodzaje ważne z punktu widzenia dozoru zamocowań, a także prowadzenia badań i napraw. Są to układy blokowe (elektrownie) i kolektorowe (elektrociepłownie). Główne różnice w budowie układów rurociągów w elektrowniach i elektrociepłowniach:

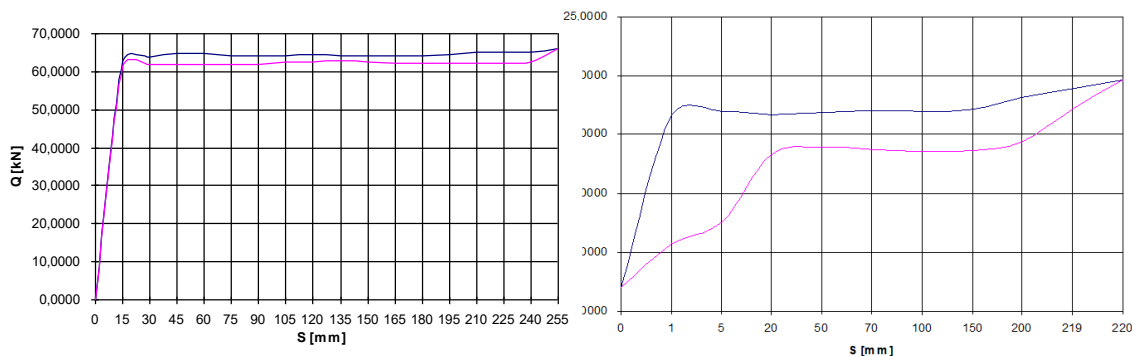
elektrownie – rurociąg łączy bezpośrednio kocioł z turbiną, na jeden kocioł przypada jedna turbina. W trakcie pracy cały układ poddawany jest jednakowym obciążeniom (ciśnienie, temperatura).

elektrociepłownie – charakteryzują się występowaniem kolektora (rozdzielnika pary).

Para może być kierowana z różnych kotłów do różnych turbin. Konsekwencją jest nierównomierne obciążenie układu. Pewne fragmenty układu pracują w stanie gorącym, podczas gdy inne są wyłączone.

Projektowane systemy zamocowań powinny uwzględniać charakter pracy cieplnej poszczególnych obiektów. W systemie zamocowań można spotkać zamocowania stałonośne, proporcjonalne oraz stałe. Rodzaj i umiejscowienie poszczególnych zamocowań ustalane są na etapie projektowania instalacji.

Stan techniczny zamocowań charakteryzują dwie wielkości: histereza i siła progowa. Uznaje się, że jeżeli wartość histerezy nie przekracza 5% zamocowanie pracuje poprawnie. Zwiększenie wielkości histerezy prowadzić może w skrajnym przypadku do zatarcia zamocowania. Wielkości sił obciążających zamocowania są wynikiem sumarycznym obciążenia w punkcie zamocowania z uwzględnieniem ciężaru rurociągu, izolacji cieplnej i płaszcza zewnętrznego.



a) Histereza $H = 2\%$; $\Delta Q = 1\%$

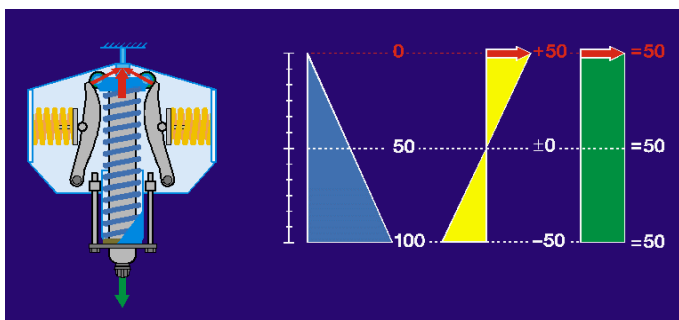
b) Histereza $H = 21\%$; $\Delta Q = 14\%$

Rys.14. Porównanie stanu technicznego dwóch zamocowań stałonośnych:

a) sprawnego i b) nienadającego się do eksploatacji

Zamocowania stałosiłowe stosowane w układach pracujących na rurociągach wysokoprężnych to: krzywkowo - sprężynowe, przeciwcieżarowe dźwigniowe i wielokrążkowe.

Wielkości sił obciążających zamocowania są wynikiem sumarycznym obciążenia w punkcie zamocowania z uwzględnieniem ciężaru rurociągu, izolacji cieplnej i płaszcza zewnętrznego.



Rys.15. Zasada działania zamocowania stałosiłowego

Zamocowania stałosiłowe stosowane w układach pracujących na rurociągach wysokoprężnych to zamocowania: krzywkowo-sprężynowe, przeciwcieżarowe dźwigniowe i wielokrążkowe. Wielkości sił obciążających zamocowania są wynikiem sumarycznym obciążenia w punkcie zamocowania z uwzględnieniem ciężaru rurociągu, izolacji cieplnej i płaszcza zewnętrznego. Prawidłowa praca układu zamocowań gwarantuje przede wszystkim utrzymanie naprężeń w punktach newralgicznych (trójniki, kolana, zwężki) na zaprojektowanym (odpowiednio niskim) poziomie. Stały, niski poziom naprężeń w trakcie eksploatacji zapewnia z kolei wydłużenie okresu degradacji materiału rurociągu oraz zmniejsza prawdopodobieństwo awarii (pęknięcia).

Długoletnie doświadczenie w tym zakresie upoważnia nas do stwierdzenia, że systematyczne monitorowanie stanu zamocowań i ich odpowiednia konserwacja wydłuża w sposób istotny żywotność rurociągu.

7. Podsumowanie.

Rozwój nowoczesnych metod badawczych [7] i narzędzi modelowania numerycznego pozwala monitorować postęp degradacji, a w konsekwencji umożliwia przewidywać okres żywotności elementu oraz instalacji ciśnieniowych. Wśród metod tych szczególnie użyteczne wydają się metody badań nieniszczących prowadzonych bezpośrednio na obiekcie. Dodatkowo stosuje się procedury oceny z wykorzystaniem maszyn wytrzymałościowych z próbkami wyciętymi z badanych elementów (badania niszczące). Obliczenia MES pozwalają zbudować ogólny model zużycia rozpatrywanych obiektów pracujących powyżej temperatury granicznej z uwzględnieniem czasowego zużycia od pełzania oraz zużycia termozmęczeniowego.

Obecnie do oceny wytrzymałości i niezawodności elementów konstrukcyjnych zawierających pęknięcia wdraża się również narzędzia mechaniki pęknięcia z procedury SINTAP i FITNET [5] oraz metody akumulacji zniszczenia zmęczeniowego.

Prowadzenie badań ma na celu kompleksową ocenę materiału z zastosowaniem nowoczesnych technik badawczych, prowadzącą do wczesnego wykrycia ewentualnych zmian mikrostruktury i własności wytrzymałościowych materiału badanych elementów kryterialnych, a w konsekwencji do oceny stopnia zużycia oraz prognozowania żywotności instalacji energetycznych. Pogorszenie własności wytrzymałościowych materiału nie powoduje jednoznacznej konieczności dokonania wymiany eksploatowanych elementów na nowe. W większości przypadków elementy te mogą pracować znacznie poza obliczeniowy czas pracy co związane jest z istnieniem trwałości resztkowej.

Na bezpieczeństwo i niezawodność eksploatacji obiektów energetycznych najistotniejszy wpływ ma stan wyężenia węzłów kryterialnych, co nierozdzielnie łączy się z prawidłowo prowadzoną polityką diagnostyczną. Zastosowanie w procesie diagnostycznym odpowiednich metod badawczych stwarza możliwość formułowania trafnych prognoz czasu bezpiecznej eksploatacji ocenianego obiektu lub elementu. Wady materiałów w postaci nieciągłości bądź nieodpowiednich własności powstają zarówno w czasie eksploatacji, jak i podczas procesów produkcyjnych. Wady powstające w trakcie eksploatacji to przede wszystkim pęknięcia, uszkodzenia korozyjne i degradacja struktury wskutek procesów zmęczeniowych lub pełzania, szczególnie w przypadku materiałów pracujących w podwyższonych temperaturach. Problem rozwoju uszkodzeń wywołanych procesami pełzaniowymi i zmęczeniowymi mającymi bezpośredni wpływ na żywotność materiału, badany jest obecnie niezależnymi metodami nieniszczącymi i niszczącymi.

W praktyce istnieje jeszcze wiele innych zagrożeń, co należy przeanalizować w ścisłych grupach zawodowych. Dla każdej siłowni stopień zagrożenia jest inny, inny dla elektrowni opalanych węglem kamiennym, brunatnym czy paliwem ciekłym lub gazowym.

LITERATURA

- [1] D. Mężyk: Wpływ przebiegu eksploatacji urządzeń ciśnieniowych w energetyce zawodowej na ich bezpieczeństwo i niezawodność pracy, Zagadnienia projektowo-diagnostyczne. Seminarium rozwoju niszczenia materiałów i laserowego modelowania materiałów, Zakopane 2003
- [2] Instrukcja oceny stanu oraz kwalifikowania do wymiany komór, kolektorów, rurociągów kotłowych i głównych rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania. Ministerstwo Górnictwa i Energetyki, Warszawa 1986
- [3] D. Mężyk: Eksploatacja i diagnostyka rurociągów energetycznych, IX Forum Energetyków 2004
- [4] Sprawozdanie z badań IEn 6/12
- [5] A. Neimitz: Ocena wytrzymałości elementów konstrukcyjnych zawierających pęknięcia, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2004
- [6] Polskie normy: PN-75/H-84024, PN-74/H-74252
- [7] J. Płowiec, R. Karczewski, W. L. Spychalski, A. Zagórski, K. J. K. Kurzydłowski: Zastosowanie Emisji Akustycznej do analizy aktywnych rozwarstwień wodorowych w instalacjach przemysłu rafineryjno-petrochemicznego, 40 Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Warszawa 2011

