

Możliwości wydłużania żywotności głównych rurociągów parowych do założonego czasu pracy

Czas bezpiecznej eksploatacji bloków energetycznych, a co za tym idzie również rurociągów, określony na poziomie $\tau = 200\ 000$ h jest liczbą umowną, nie wynikającą z przesłanek technicznych. Znane są przykłady bezpiecznej pracy rurociągów przez 250 000—300 000 h z jednej strony i wymian elementów (zwłaszcza lanych trójników i czwórników) już po ~100 000 h. Problem nie leży zatem w tym, jak długo można eksploatować rurociągi, lecz czy konkretny rurociąg można eksploatować bezpiecznie jeszcze przez z góry założony czas? Pytanie to jest tym bardziej zasadne, że spora część bloków energetycznych ma za sobą remonty modernizacyjne pozwalające na wieloletnie eksploatowanie kotłów i turbin.

Od kilku lat prowadzona jest tzw. rejestracja w UDT głównych rurociągów parowych bloków energetycznych, a od roku również rurociągów w układzie kolektorowym. Zakres badań do rejestracji nie zawsze był na tyle kompletny, że stanowił podstawę do opracowania prognozy technicznej związanej z bezpiecznym czasem pracy.

Ocena stanu technicznego elementów kryterialnych rurociągów

Ocenę stanu technicznego rurociągów firma *Pro Novum* prowadzi na podstawie własnej, uzgodnionej z UDT w 1993 Instrukcji [1]. Najczęściej ocena stanu technicznego materiału rurociągów jest poprzedzona:

- analizą historii eksploatacji,
- obliczeniami konstrukcyjnymi rurociągów za pomocą własnego programu RC PIPING dla danych dokumentacyjnych,
- opracowaniem programu badań i pomiarów diagnostycznych,
- badaniami i pomiarami diagnostycznymi,
- analizą wyników badań i pomiarów diagnostycznych,
- obliczeniami konstrukcyjnymi rurociągów dla danych rzeczywistych,
- obliczeniami stopnia wyczerpania trwałości elementów kryterialnych rurociągów.

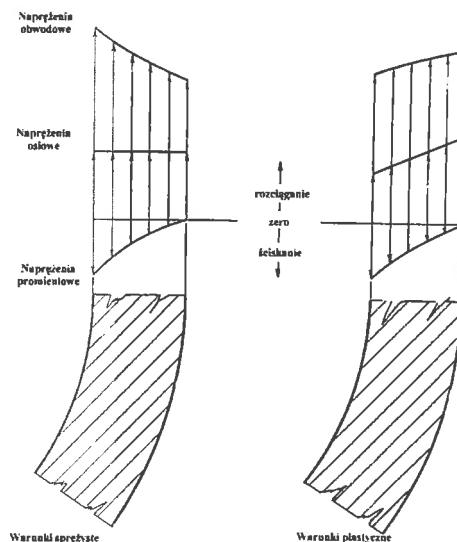
Istotnym elementem badań diagnostycznych są badania metalograficzne materiałów rurociągów. *Pro Novum* wykonuje je metodą replik w rozciąganej strefie gięcia kolana, czyli w obszarze najwyższych naprężeń. Wybór miejsca badań podyktowany był zarówno przez wynik analizy rozkładu naprężeń (rys. 1) [2], jak i analizę obszarów

występowania uszkodzeń elementów rurociągów [3]. W pełni świadomie odstąpiono od badań niszczących. Powody tej decyzji omówiono w [4] i [5].

Wykryte w trakcie badań nieciągłości materiałowe są natychmiast zgłaszane służbom remontowym.

Pro Novum w takim przypadku gotowe jest opracować założenia do technologii naprawy. Najczęstszymi uszkodzeniami materiałowymi rurociągów są termoszkowe pęknięcia króćców odpowietrzeń, odwodnień lub rurociągów do impulsowego pomiaru ciśnienia, rzadziej pęknięcia zmęczeniowe lub technologiczne czy uszkodzenia petzaniowe [6].

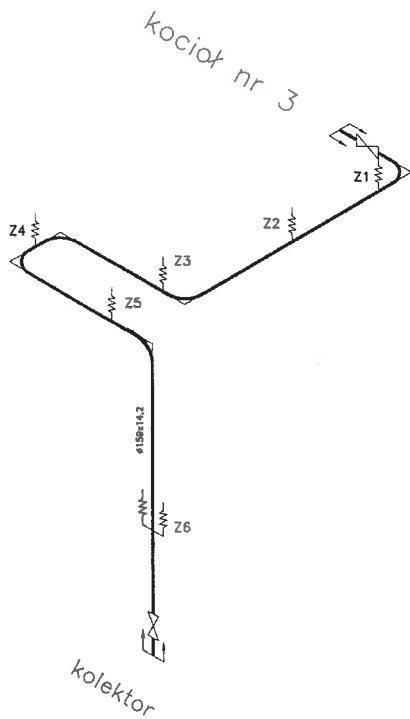
Na podstawie wyników analizy wszystkich z siedmiu składników opracowana zostaje ocena stanu technicznego materiału rurociągu.



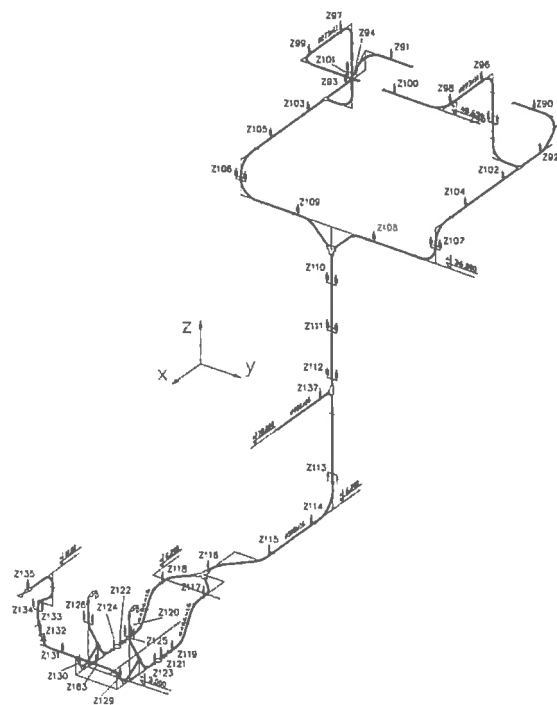
Rys. 1. Rozkład naprężeń w rurociągu

Ocena pracy zamocowań i ich optymalny dobór

Rurociągi energetyczne będące rozbudowaną konstrukcją przestrzenną podtrzymywane są na swej trasie przez kilka (rys. 2), kilkanaście (rys. 3), a czasem kilkadziesiąt (rys. 4) zamocowań. Można zatem mówić o systemie zamocowań, którego prawidłowa praca jest jednym z warunków bezpiecznej eksploatacji rurociągów energetycznych.



Rys. 2. Rurociąg pary świeżej kotła OP-70



Rys. 3. Rurociągi pary wtórnej kotła OP380

Wyniki obliczeń konstrukcyjnych pozwalają określić zarówno reakcję każdego z zamocowań w stanie zimnym i gorącym, jak i przestrzenne przemieszczenie ciepłe rurociągów w miejscach zabudowy zamocowań.

Oględziny rurociągów w stanie gorącym (przed odstąpieniem), a następnie oględziny i pomiary w stanie zimnym pozwalają na inwentaryzację stanu zamocowań, tj:

- wykrycie uszkodzeń,
- sprawdzenie zgodności reakcji rzeczywistych z oczekiwanymi (wyniki obliczeń),



Rys. 4. Rurociągi pary świeżej w układzie kolektorowym

- sprawdzenie doboru zamocowań zabudowanych do warunków pracy rurociągów (reakcje i przemieszczenia ciepłe),
 - sprawdzenie miejsc zabudowy zamocowań (czasem miejsca zabudowy zamocowań nie są optymalne ze względu na przemieszczenia ciepłe, co najczęściej prowadzi do koncentracji naprężeń).
- Inwentaryzacja stanu zamocowań jest podstawą do określenia zakresu regulacji, konserwacji i/lub napraw bądź modernizacji systemu zamocowań rurociągów.

Dobrze dobrane do warunków pracy zamocowanie to takie, które pracuje od 25 do 75% zakresu swej siły nośnej i umożliwia przemieszczenia ciepłe rurociągu pomiędzy stanem zimnym i gorącym bez wprowadzenia dodatkowych naprężeń w materiale rurociągu. Optymalny dobór zamocowań w całym systemie uwzględnia dodatkowo dobór właściwych typów zamocowań do warunków ich pracy.

Analiza trasy rurociągów i ich przemieszczeń cieplnych

Dobrze wybrana trasa rurociągów energetycznych uwzględniać musi kilka postulatów, z których najważniejsze to:

- 1) minimalne straty energetyczne na przesyle,
- 2) co najmniej poprawność konstrukcyjna,
- 3) odpowiednie spadki na odcinkach poziomych,
- 4) kompensacja skutków rozszerzalności cieplnej rurociągów.

Realizacja pierwszego postulatu, to z jednej strony możliwie najkrótsza trasa rurociągu, z drugiej — dobra izolacja cieplna. Spełnienie wymagania możliwie najkrótszej trasy jest zawsze kompromisem pomiędzy trzema pozostałymi postulatami. Zapewnienie dobrej izolacji nie stanowi od strony technicznej żadnego problemu.

Spełnienie drugiego z postulatów wymaga dobrej znajomości konstrukcji budowlanej kotłowni i maszynowni oraz całej infrastruktury technicznej „wypełniającej” przestrzeń pomiędzy kotłem a turbiną. Z dobrym przybliżeniem można przyjąć, że rurociąg to struna wielokrotnie podparta, utwierdzona tylko na swych końcach — rurociągi latające, lub posiadająca co najmniej jeden punkt stały, ze względu na co najmniej jedną oś współrzędnych — rurociągi z punktem stałym. Wyniki obliczeń konstrukcyjnych pozwalają na wybór typu rurociągu i na optymalne określenie miejsc zabudowy zamocowań. Rzeczywiste miejsca zabudowy zamocowań są najczęściej kompromisem pomiędzy stanem optymalnym a możliwościami budowlanymi.

Trzeci z postulatów prawie wyłącznie zależy od projektanta i ekip monterskich. Zapewnienie ~ 3‰ spadku odcinków poziomych rurociągów w kierunku przepływu czynnika lub najbliższego odwodnienia to najlepsza profilaktyka przed „uderzeniami wodnymi” i pęknięciami termoszokowymi materiału rurociągów.

Dobrze wytyczona trasa rurociągu musi uwzględniać kompensację skutków rozszerzalności cieplnej materiału rurociągu. Źle skompensowany rurociąg to bardzo realne zagrożenie uszkodzenia zaworów i/lub spoin obwodowych, do rozszczelnienia rurociągu włącznie.

Pomiędzy ustabilizowanym stanem gorącym i zimnym rurociągi przemieszczają się względem każdej z osi współrzędnych prostokątnych. Stosowane obecnie programy obliczeniowe pozwalają precyzyjnie określić kierunki i wielkość liniową przemieszczeń.

Bezkolizyjne i „swobodne” przemieszczenia ciepłe rurociągu to atut dobrze poprowadzonej trasy rurociągu i właściwego doboru zamocowań. Unika się wówczas występowania lokalnych spiętrzeń naprężeń, a co za tym idzie potencjalnych obszarów uszkodzeń materiału.

Bardzo dobre rezultaty kontroli przemieszczeń cieplnych rurociągów dają pomiary geodezyjne [6]. Pozwalają one na sprawdzenie, na ile rzeczywiste przemieszczenia cieplne są zgodne z obliczonymi.

Program przedsięwzięć pozwalających na bezpieczną eksploatację rurociągów wysokoprężnych przez z góry założony czas

Bezpieczna eksploatacja rurociągów wysokoprężnych wymaga, aby:

- o system zamocowań rurociągu był prawidłowo dobrany i dobrze wyregulowany,
- o trasa rurociągu była właściwie poprowadzona,
- o stopień wyczerpania elementów kryterialnych rurociągów odpowiadał założonemu czasowi eksploatacji.

Ocena stanu technicznego rurociągów jest podstawą do oszacowania stopnia wyczerpania trwałości każdego z ocenianych elementów. Pozwala to stwierdzić czy elementy rurociągów mają porównywalną trwałość, czy też są „ogniwa” o wyraźnie mniejszej trwałości od pozostałych elementów.

Dla rurociągów o porównywalnej trwałości elementów, program przedsięwzięć pozwalający na bezpieczną eksploatację przez z góry założony czas ($\tau > 200\ 000$ h) składa się z trzech podstawowych segmentów:

- ze „stałego nadzoru” nad stanem zamocowań, ich regulacją (ustabilizowane stany cieplne) [7],
- z okresowej kontroli trasy rurociągów (przemieszczenia cieplne, spadki) [8],
- z diagnostyki, której program i częstotliwość badań i pomiarów zależy od stanu technicznego elementów kryterialnych [9].

Wieloletnie doświadczenie diagnostyczne Pro Novum pozwala stwierdzić, że większość rurociągów długotrwałe eksploatowanych posiada wyraźnie słabsze „ogniwa” (elementy kryterialne).

Dla takich rurociągów w Pro Novum opracowano procedurę Częściowej Wymiany Elementów (CEW).

CEW składa się z trzech głównych części:

- kompleksowej oceny stanu technicznego rurociągów,
- kwalifikacji elementów do naprawy i/lub modernizacji bądź wymiany,
- naprawy i/lub modernizacji oraz wymiany elementów o niewystarczającej trwałości.

Kompleksowa ocena stanu technicznego rurociągów obejmuje wszystkie zagadnienia omówione wcześniej, a analiza jej wyników stanowi podstawę do kwalifikacji

poszczególnych węzłów konstrukcyjnych do dalszej eksploatacji przez z góry założony czas.

W zależności od tego, jaki procent elementów kryterialnych należy wymienić, CWE można uznać za:

- modernizację — gdy wymianie podlega 30—65% elementów kryterialnych, dokonana jest korekta trasy rurociągu oraz modernizacja i regulacja systemu zamocowań,
- remont kapitalny — gdy wymianie podlega 10—30% elementów kryterialnych, przeprowadzony jest remont i regulacja zamocowań oraz częściowa (wg potrzeb) korekta trasy rurociągów,
- remont średni — gdy wymianie podlega do 10% elementów, a zamocowania wymagają konserwacji i regulacji.

Zakwalifikowanie do wymiany więcej niż 65% elementów praktycznie oznacza dyskwalifikację rurociągu, gdyż koszty materiałowe i robocizna są w takim przypadku porównywalne z zabudową nowego rurociągu.

Realizacja CEW składa się z wymienionych poniżej etapów.

1. Opracowanie założeń do technologii napraw i/lub modernizacji.
2. Opracowanie założeń do technologii wymian elementów.
3. Uzgodnienia z UDT.
4. Złożenia zamówień materiałowych.
5. Przeprowadzenia napraw, modernizacji i wymian elementów.
6. Przeprowadzenia badań odbiorczych i regulacji zamocowań.
7. Opracowania i uzgodnienia z UDT dokumentacji wykonawczej.
8. Opracowanie zaleceń diagnostycznych.

Podsumowanie

Zaproponowana przez *Pro Novum* procedura Częściowej Wymiany Elementów dla zapewnienia bezpiecznej eksploatacji rurociągów przez zadany czas jest alternatywą dla problemu: co dalej z rurociągami po 200 000 godzinach pracy.

Sukcesywnie gromadzona wiedza o stanie technicznym rurociągów pozwala na dokładne określenie skali i zakresu CWE.

Podjęcie zaproponowanej procedury odpowiednio wcześniej w stosunku do planowanego remontu pozwala na jego dobre przygotowanie logistyczne, co z kolei jest warunkiem sprawnego przeprowadzenia wszelkich prac.

Przedstawiona procedura Częściowej Wymiany Elementów jest praktycznie realizowana od kilku lat. Na głównych rurociągach parowych trzech bloków 125 i 225 MW [10, 11, 12] zakończono remonty modernizacyjne. Na kilkunastu blokowych i kilku kolektorowych rurociągach procedura jest zaawansowana, gdyż wykonano kompleksową ocenę stanu technicznego rurociągów i przeprowadzono lub jest przeprowadzana modernizacja systemu zamocowań.

LITERATURA

- [1] Instrukcja badań, pomiarów i oceny stanu technicznego głównych rurociągów parowych w elektrowniach i elektrociepłowniach. Sprawozdanie *Pro Novum* nr PN/19.245/93 – uzgodnione z UDT przy piśmie DC-29/93
- [2] Design of Piping Systems. John Wiley & Sons Inc. New Yoer 1957
- [3] Ustalenie miejsc badań nieniszczących i poboru próbek do badań niszczących elementów urządzeń energetycznych pracujących w warunkach pełzania. Sprawozdanie *Pro Novum* nr 91.126/91
- [4] Brunné W, Rajca S.: Przydatność badań niszczących do programowania żywotności wysokoprężnych rurociągów parowych. Materiały IV Symposium Informacyjno-Szkoleniowego, Wisła 2002
- [5] Trzeszczyński J., Stachura S.: Przydatność badań niszczących do oceny stanu technicznego rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania. *Energetyka* 1997, nr 3, str. 127
- [6] Dobosiewicz J, Brunné W.: Ocena stanu technicznego głównych rurociągów parowych bloków energetycznych. *Energetyka* 1993, nr 3, str. 101
- [7] Brunné W.: Stały nadzór nad stanem rurociągów wysokoprężnych w elektrowniach i elektrociepłowniach. *Energetyka* 1999, nr 11, str. 566
- [8] Brunné W, Gołka J., Haliński J.: Geodezyjny pomiar przemieszczeń cieplnych rurociągów wysokoprężnych w elektrowniach i elektrociepłowniach. *Energetyka* 1999, nr 11, str. 568
- [9] Brunné W.: Wytyczne nadzoru stanu głównych rurociągów elektrowni. *Energetyka* 1996, nr 51, str. 291
- [10] Modernizacja urządzeń kotłowych. Sprawozdanie *Pro Novum* nr 95.1097/2000
- [11] Modernizacja rurociągów pary świeżej z wymianą kolan K11. Sprawozdanie *Pro Novum* nr 106.1227/2001
- [12] Modernizacja rurociągów pary wtórnej z wymianą kolan K11. Sprawozdanie *Pro Novum* nr 107.1228/2001

□