

# System diagnostyczny jako sposób na wydłużenie czasu bezpiecznej eksploatacji rurociągów parowych

## Diagnostic system as a method for an extension of a steam pipeline safe operating time

W wielu przypadkach zakładany na etapie projektowania czas eksploatacji rurociągów parowych już minął, co powoduje, że najwyższy czas zadać pytanie: co dalej? Znane są przypadki eksploatacji rurociągów parowych przez ponad 250 tysięcy godzin. Pytanie brzmi: jak długo będą one mogły jeszcze pracować, nie stwarzając przy tym zagrożenia, oraz jakie kroki należy ku temu przedsięwziąć? Coraz bardziej popularny jest dziś pogląd, że osiągnięcie 350 tysięcy godzin pracy przez bloki energetyczne (w tym również rurociągi) jest w pełni realne. Inna sprawa, że nie ma innej alternatywy. Minie bowiem trochę czasu zanim stare jednostki zastąpimy nowszymi, a wymiana eksploatowanych rurociągów parowych dla przedłużenia żywotności starego bloku musi być ekonomicznie uzasadniona – musi na to wskazywać ich stan techniczny.

Bezpieczna, długotrwała eksploatacja urządzeń ciśnieniowych nie jest możliwa bez posiadania rzetelnych informacji o ich rzeczywistym stanie technicznym. Inaczej rzecz ujmując, długotrwała eksploatacja rurociągów parowych jest realna pod warunkiem, że ich stan techniczny na to pozwoli. Możliwości bezpiecznej eksploatacji rurociągów parowych transportujących parę wysokoprężną z kotłów do turbin są obecnie weryfikowane poprzez okresowe badania diagnostyczne uwzględniające wymogi UDT i ustalenia ze służbami eksploatacyjnymi. Nie ma jednoznacznych przepisów warunkujących zakresy i okresy badań, dlatego zarówno rewizje, jaki i wiedza na temat stanu technicznego rurociągów są bardzo zróżnicowane. Należy podkreślić, że nieszczelność rurociągu stwarza olbrzymie zagrożenie dla życia i zdrowia pracowników obsługi – posiadanie rzetelnej wiedzy o stanie urządzeń i instalacji jest więc kluczowe.

### Eksploatacja powyżej 250 tysięcy godzin?

Niewiele osób zadaje sobie dziś pytanie, dlaczego możliwa jest eksploatacja rurociągów parowych w okresach o wiele przewyższających czas, na jaki były projektowane. Aby zrozumieć

poprawność wykonywanych obecnie badań potwierdzających dalsze możliwości eksploatacyjne należy wiedzieć, że obliczenia z lat 70. i 80. ubiegłego stulecia, zakładające 100, a później 200 tysięcy godzin pracy, wykonywane były z góry założoną ograniczoną dokładnością. Dlatego ówczesni projektanci stosowali szereg „zabezpieczeń”, aby zostawić sobie pewne rezerwy wytrzymałościowe [4].

Dzisiejsze metody modelowania trójwymiarowego pozwalają nie tylko projektantom, ale także odpowiednio wykwalifikowanym służbom diagnostycznym na wykonywanie obliczeń sprawdzających poprawność pracy rurociągów z określeniem rozkładu naprężeń w stanach rzeczywistych. Na tej podstawie możliwa jest ewentualna korekta pracy systemów zamocowań prowadząca do optymalizacji występujących naprężeń. Stosowane w przeszłości zapasy grubości ścianek, dzięki wcześniejszemu niedoszacowaniu własności mechanicznych, pozwalają dziś na przedłużanie możliwości eksploatacyjnych, które w przypadku prawidłowo eksploatowanego rurociągu i pod warunkiem stałego monitorowania jego stanu technicznego opartego na prawidłowo opracowanych systemach diagnostycznych są olbrzymie. Dodatkowo rozwój metod defektoskopowych i metalograficznych pozwala w bezpieczny sposób monitorować postępujące zmiany pęczniami, co dodatkowo wydłuża okres do wymiany elementu.

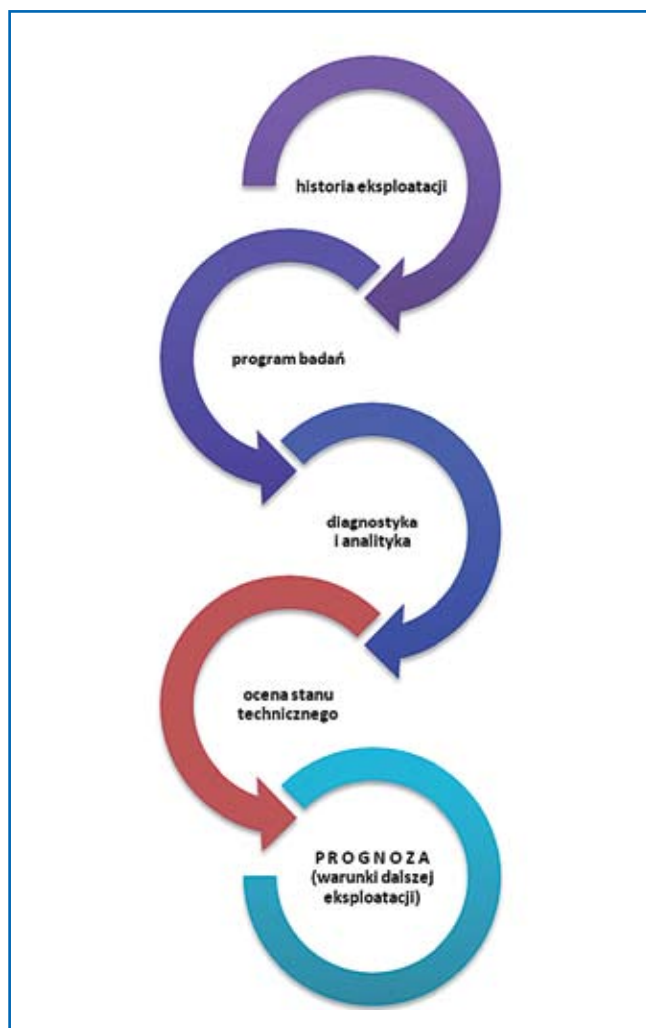
### Co to jest system diagnostyczny?

Podstawowymi zasadami efektywnych działań diagnostycznych powinny być:

- wszechstronność analiz poprzedzających same badania, w tym historii eksploatacji i wyników badań historycznych,
- wybór odpowiednich metod badawczych opartych na najbardziej aktualnym stanie wiedzy inżynierskiej,
- dobór odpowiednich metod analitycznych,
- odpowiednia interpretacja uzyskanych wyników.

Do właściwej oceny stanu elementu konieczna jest znajomość procesów wpływających na obniżenie trwałości w trakcie jego eksploatacji, znajomość mechanizmów niszczenia oraz świadomość zróżnicowanej intensywności ich zachodzenia w różnych warunkach pracy. Bezcelne są zatem odpowiednio planowane badania, profilaktyka i monitorowanie stanu technicznego realizowane na podstawie najbardziej aktualnej wiedzy inżynierskiej. Do diagnostyki i oceny stanu technicznego rurociągów parowych należy zatem przystępować według uporządkowanego systemu, w którym rodzaj i zakres badań są logiczną konsekwencją przeprowadzonej analizy.

Celami nadrzędnymi dla systemu diagnostycznego są ocena rzeczywistego stanu technicznego i określenie perspektywy dalszej bezpiecznej eksploatacji (rys. 1), w tym nakreślenie kierunku ewentualnych modernizacji w celu wydłużenia trwałości urządzenia. Badania diagnostyczne powinny być ściśle powiązane z prognozowaniem, więc wymagają wyboru metod badawczych, które poza określeniem stanu rzeczywistego w danym momencie dają również możliwość przewidywania zachowania się materiału elementów w stosunkowo długim okresie dalszej eksploatacji w zadanych warunkach roboczych przy jednoczesnej analizie wyników badań historycznych.



Rys. 1. Główne elementy systemu diagnostycznego

## Historia eksploatacji

W przypadku eksploatowanego rurociągu parowego sukcesywna ocena stanu technicznego powinna być związana z analizą historii eksploatacji. Zestawienie koniecznych informacji, które powinny być w tym celu dostępne, pokazano na rysunku 2. Są to w większości standardowe dane, które z uwagi na nadzór UDT powinny być dostępne, a które należy rozszerzyć o wyniki rzeczywistych własności materiałowych określonych podczas niszczących laboratoryjnych badań w momencie eksploatacji ponad obliczeniowy czas pracy. Jak widać, jest to olbrzymia ilość informacji. Brak któregośkolwiek z poniższych „klocków” należy uzupełnić, gdyż tylko pełna analiza daje rzetelną informację o możliwościach bezpiecznej eksploatacji i stanowi punkt wyjścia w momencie planowania kampanii remontowych oraz kierunków modernizacji.

Najczęściej problemy z uzyskaniem pełnych informacji polegają na tym, że:

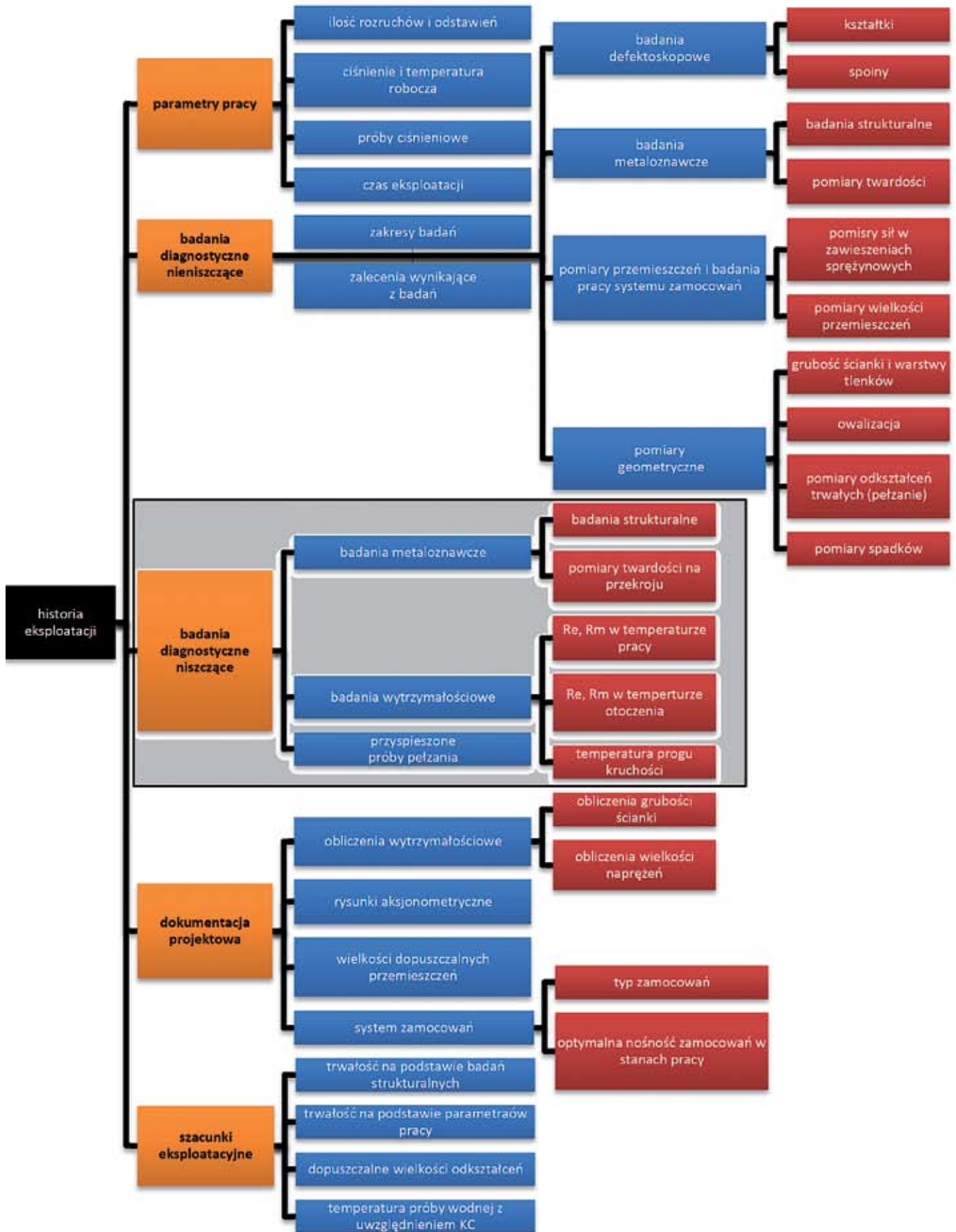
- brakuje dokumentacji koncesyjnej lub jest ona nieaktualna – rysunki nie oddają rzeczywistej geometrii, brakuje pełnych obliczeń wytrzymałościowych;
- badania diagnostyczne w przeszłości wykonywane były na elementach typowanych losowo, bez odpowiedniego planu, a zakresy badań nie były pełne;
- analiza pracy systemu zamocowań opierała się jedynie na oględzinach miejsc dostępnych – bez konserwacji i regulacji zawiesznień;
- do momentu objęcia nadzoru nad rurociągami przez UDT nie dokonywano zapisów dotyczących czasu pracy, ilości odstawień oraz nie pilnowano odpowiednich szybkości nagrzewania;
- temperatura pracy określana jest na podstawie pomiarów czynnika obiegowego, a nie temperatury metalu;
- nie wykonywano pomiarów spadków na poziomych odcinkach rurociągów ani przemieszczeń pomiędzy stanami pracy.

Doświadczenia z rynku krajowego pokazują, że system diagnostyczny w takich przypadkach wymaga uzupełnienia szeregu brakujących informacji, co nie jest łatwym zadaniem, zwłaszcza dla rurociągów długo eksploatowanych, wyprodukowanych w latach 70. ubiegłego stulecia. Pierwszym problemem, z jakim trzeba się zmierzyć, jest często brak świadomości o takiej potrzebie wśród służb eksploatujących urządzenie.

Analiza historii eksploatacji rurociągów daje dodatkowo możliwość zebrania niezbędnych danych, takich jak: ilość cykli odstawień i rozruchów, parametry pracy (ciśnienie, temperatura), przeprowadzane remonty, historia ewentualnych napraw lub wymiany elementów (kolan, trójkników, armatury). Dla uzyskania tych danych warto więc przeprowadzić wiele rozmów z pracownikami obsługi, którzy mogą pamiętać zdarzenia, o których nie ma wzmianki w istniejących zapisach.

## Metody diagnostyczne

Jak wcześniej wspomniano, system diagnostyczny wymusza zastosowanie szeregu metod diagnostycznych, których przeznaczenie jest z góry zaplanowane i dobrze przemyślane. Wybór metod diagnostycznych musi uwzględniać ciągły ich rozwój



Rys. 2. Zestawienie informacji koniecznych do analizy możliwości eksploatacyjnych rurociągów parowych – pole szare zawiera dane konieczne do uzyskania informacji w przypadku eksploatacji ponad obliczeniowy czas pracy [9]

i doskonalenie. Rozwój metod defektoskopowych spowodował zwiększenie ich czułości, dzięki czemu wykonywane są one z dużą dokładnością. Wymogi norm przedmiotowych określają dla tych metod zakresy kompetencji personelu badającego i oceniającego uzyskane wyniki. Dlatego w tym obszarze wyniki uzyskiwane przez różne laboratoria badawcze są ze sobą w łatwy sposób porównywalne.

Inaczej sprawa ma się z metodami nienormatywnymi. Zaliczyć do nich należy z pewnością badania metalograficzne i badania systemów zamocowań. Norma PN-ISO 3057:2000: *Badania nieniszczące. Badania powierzchni technikami replik matrycowych* podaje jedynie w sposób ogólny, jak wykonywać repliki, nie mówi natomiast nic o interpretacji uzyskanych wyników, zwłaszcza o sposobie śledzenia rozwoju zmian pęczaniowych, tak istotnych w przypadku elementów pracujących w temperaturach wyższych od granicznej. Do tego problemu laboratoria badawcze podchodzą różnie i bardzo trudne jest porównywanie uzyskanych wyników. Niestety większość laboratoriów przy badaniach tych operuje jedynie klasyfikacją wg wielkości ziarna (PN-84/H-04507; PN-84/H-04507/01), pasmowości itp., która w żaden sposób nie przedstawia zmian wywołanych pęczaniem. Dlatego też wskazane są w tym zakresie ujednoczenie i klasyfikacja stopnia wyczerpania w powiązaniu ze zmianami struktury oraz destrukcją fizyczną metalu, zgodnie z rysunkiem 3.

Jeszcze bardziej skomplikowane jest określenie zakresu metod badawczych dla systemów zamocowań. Ich prawidłowa praca uzależniona jest od szeregu czynników, a tak naprawdę żadna norma nie opisuje wystarczająco tego zagadnienia. Podejście do systemu zamocowań jest w praktyce niestety bardzo różne, podobnie zresztą jak różna jest świadomość laboratoriów diagnostycznych na ten temat, przez co z reguły kończy się na

KLASY PROCESÓW STRUKTURY			GŁÓWNA KLASA STRUKTURY	STOPIEŃ WYCZERPANIA
PROCESY USZKODZENIA	ZMIANY STRUKTURY PERLITU/BAINITU	PROCESY WYDZIELENIOWE		t <sub>m</sub>
0	0	0	0	0.1
	I		1	0.2
A	I	a	2	0.3
		a	3	0.4
B	II	a	4	0.5
		b	5	0.6
C	II		6	0.7
		b	7	0.8
D	II			0.9
				1.0

**PROCESY USZKODZENIA:**  
 • 0 – bez zmian, jak w materiale rodzimym;  
 • A – pojedyncze pory;  
 • B – pory zorientowane;  
 • C – mikropełnięcia;  
 • D – makropełnięcia.

**PROCESY WYDZIELENIOWE:**  
 • 0 – bez zmian, jak w materiale rodzimym;  
 • a – koagulacja, rozrost węglików w bainicie, węgliki na granicach ziaren;  
 • b – rozkład i sferoidyzacja węglików, siatka węglików.

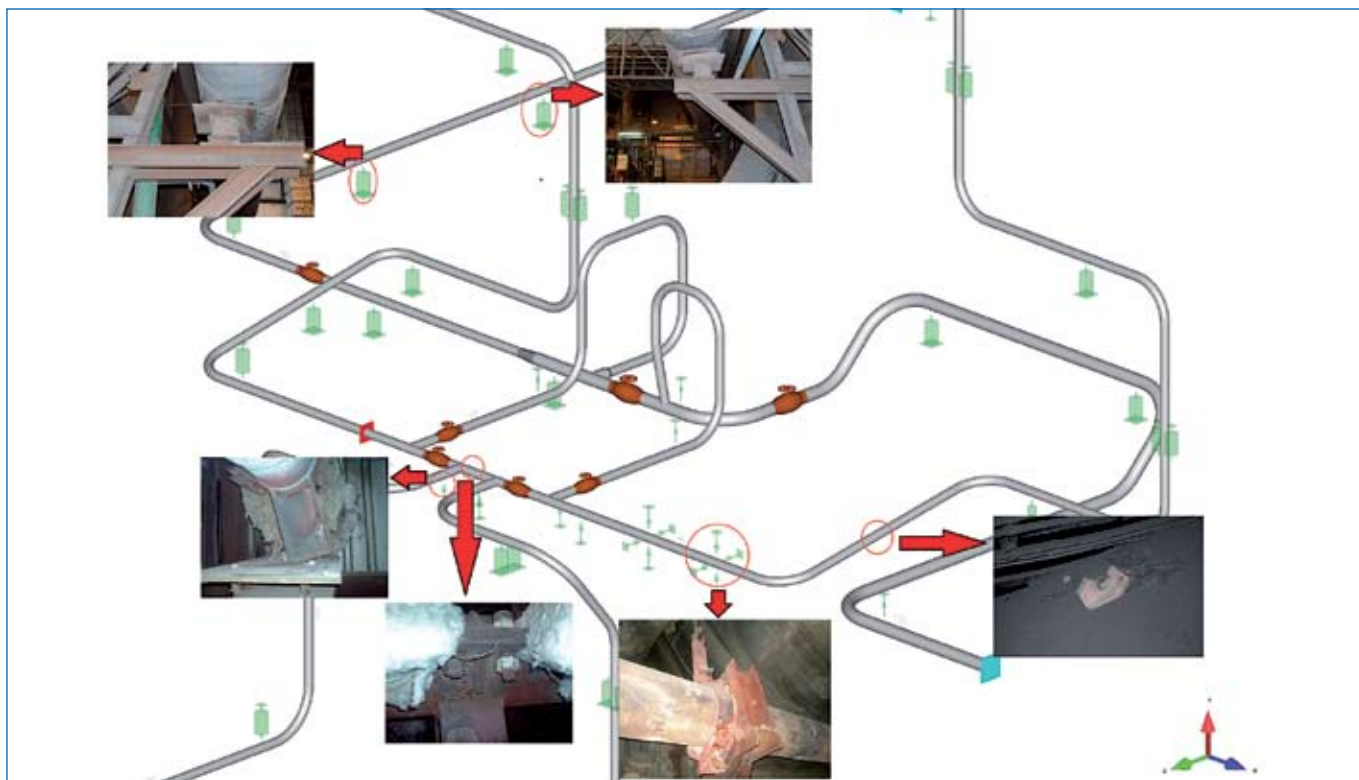
**ZMIANY STRUKTURY:**  
 • 0 – bez zmian, jak w materiale rodzimym;  
 • I – częściowy rozpad obszarów perlit/bainit;  
 • II – rozkład, ferryt + węgliki.

**STOPIEŃ WYCZERPANIA:**  
 • t – maksymalny czas pracy;  
 • t<sub>m</sub> – rzeczywisty czas pracy

Rys. 3. Związek składowych procesów degradacji mikrostruktury materiału z klasą struktury i stopniem wyczerpania materiału [1]

pobieżnych oględzinach i sprawdzeniu kompletności. Niezależnie od powyższego diagnostyka systemu zamocowań powinna obejmować [2]:

- analizę historii eksploatacji – zebranie możliwie największej ilości informacji o układzie,
- analizę dokumentacji technicznej obejmującej wyniki poprzednich badań (jeśli istnieją) i obliczeń konstrukcyjnych (jeśli istnieją),



Rys. 4. Wynik inwentaryzacji stanu zamocowań fragmentu układu rurociągów pary świeżej pracujących w układzie kolektorowym – szereg nieprawidłowości pokazano na fotografiach [9]

- inwentaryzację wszystkich zawieszzeń i podparć (rys. 4), ocenę stanu technicznego wszystkich zamocowań układu, ich oczyszczenie i konserwację,
- kontrolę trasy układu rurociągu pod kątem ewentualnych kolizji z innymi rurociągami lub elementami konstrukcyjnymi,
- pomiary i weryfikację poprawności przemieszczeń pomiędzy stanem zimnym (postój) a gorącym (praca),
- pomiary i regulację rzeczywistych nośności zamocowań sprężynowych, sprawdzenie charakterystyk sprężyn,
- obliczenia naprężeń i dopuszczalnych przemieszczeń.

System diagnostyczny powinien obejmować analizę rozkładu występujących naprężeń, dzięki czemu stawiane diagnozy będą bardziej wiarygodne. Analiza naprężeń stanów rzeczywistych, które występują w pracujących rurociągach, powinna być dziś standardowym elementem systemu diagnostycznego. Modele rurociągów oparte na rzeczywistych warunkach pracy, geometrii i pracy systemu zamocowań są wiarygodne – uszkodzenia typowe dla długotrwałych obciążeń występują w obszarach najbardziej obciążonych [3].

## Metody obliczeniowe

Przy ocenie możliwości eksploatacyjnej, w ramach systemu diagnostycznego, powinno obowiązywać każdorazowo wykonanie przynajmniej:

- obliczenia wymaganej grubości ścianki elementów (zgodnie z WUDT/UC/2003),
- obliczenia trwałości eksploatacyjnej (zgodnie z PN-EN 12952-4:2000).

Do określenia minimalnej grubości ścianki, zgodnie z przepisami UDT, stosuje się tzw. naprężenie dopuszczalne, które dla rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania wynosi zazwyczaj:

$$K^{III} = \frac{R_{z(t_0)}}{1,65} \quad (1)$$

gdzie:

$R_{z(t_0)}$  – średnia gwarantowana wytrzymałość materiału na pełzanie w czasie ( $\tau$ ) przy temperaturze ( $t_0$ ).

W analizie możliwości eksploatacyjnych materiału należy zestawić otrzymane wyniki pomiarów grubości ścianki grz elementu z obliczoną grubością minimalną  $g_{min}$ . W przypadku gdy  $g_{rz} \leq g_{min}$ , konieczna jest wymiana elementu lub obniżenie parametrów pracy.

Obliczenia trwałości eksploatacyjnej wymagają większego zaangażowania, gdyż w zależności od rodzaju elementu naprężenia w nim występujące będą różne. Dla przykładu naprężenie rzeczywiste ścianki (średnie naprężenie zredukowane  $\sigma_r$ ) oblicza się wg zależności:

$$\sigma_r = \frac{p_{rz} [D_z - g_{rz} (2-z)]}{2g_{rz} z} \quad (2)$$

gdzie:

- $p_{rz}$  – ciśnienie robocze czynnika,
- $D_z$  – średnica zewnętrzna,
- $g_{rz}$  – rzeczywista grubość ścianki,
- $z$  – minimalny współczynnik osłabienia wg UDT.

W przypadku kolan i łuków należy uwzględnić w obliczeniach stopień owalizacji, dlatego naprężenia  $\sigma_g$  oblicza się zgodnie z zależnością:

$$\sigma_g = \frac{2p_{rz}}{m(\beta^{2/m} - 1)} \left(1 + c \frac{\alpha}{100}\right) \quad (3)$$

gdzie:

- $p_{rz}$  – ciśnienie robocze czynnika,
- $\beta$  – stosunek średnic (zewnętrznej do wewnętrznej),
- $\alpha$  – owalizacja kolana,
- $m$  – współczynnik pełzania,
- $c$  – współczynnik zależny od  $\beta$  i  $m$ .

Operując obliczonymi na podstawie rzeczywistych danych naprężeniami zredukowanymi  $\sigma_{red}$  wyznacza się trwałość eksploatacyjną  $T_t$ ,

$$\lg T_t = 5 + 0,30103 \cdot \frac{\lg \left[ \frac{0,8R_{z/\tau_1/tr}}{\sigma_{red}} \right]}{\lg \left[ \frac{0,8R_{z/\tau_2/tr}}{0,8R_{z/\tau_1/tr}} \right]} \quad (4)$$

Obliczenia teoretyczne oparte na rzeczywistych danych dają pogładową wiedzę o ubytku trwałości, a przez to o przewidywanej żywotności elementu. Dlatego do obliczeń należy przyjmować rzeczywiste parametry (ciśnienie, temperatura, grubość ścianki, reakcje zamocowań, relaksacja i samokompensacja naprężeń). Największe naprężenia należy wybrać z uwzględnieniem naprężeń grawitacyjnych (pochodzących od ciężaru), przemieszczeń, owalizacji i ciśnienia. Każdorazowo wyniki obliczeń należy uzupełnić o ocenę stopnia degradacji struktury materiału wg skali pokazanej na rysunku 3. Uzupełnieniem obliczeń dla elementów grubościennych powinna być analiza stopnia wyczerpania trwałości eksploatacyjnej z uwzględnieniem zmęczenia niskocyklicznego.

## Prognoza – warunki dalszej eksploatacji

Szeroko pojęta diagnostyka wykonywana zgodnie z systemem diagnostycznym powinna być ściśle powiązana z prognozowaniem, dlatego dokonywana na jej podstawie ocena stanu technicznego daje możliwość przewidywania zachowania się materiału elementów w stosunkowo długim okresie dalszej eksploatacji w zadanych warunkach roboczych. Prognoza dotycząca późniejszej eksploatacji nie jest możliwa, jeśli zabraknie któregokolwiek z elementów systemu wskazanych na rysunku 1. Oczywiście w przypadku długo eksploatowanych rurociągów parowych tych informacji będzie mnóstwo; dużą ilość trzeba będzie odtwarzać, jednak zebranie tych danych i uporządkowanie dokumentacji sprawi, że postawiona na tej podstawie prognoza możliwości pracy będzie wiarygodna.

Prawidłowa prognoza uwarunkowana jest również odpowiednią interpretacją wyników badań dotyczących oceny stanu technicznego, która wymaga interdyscyplinarnej wiedzy i doświadczenia zespołu oceniającego. Wbrew pozorom nie jest to zadanie łatwe, lecz z pewnością ułatwieniem będzie konsekwentna praca wedle logicznie zorganizowanego procesu.

## Podsumowanie

Sytuacja dotycząca wydłużania możliwości eksploatacyjnej poza obliczeniowy czas pracy, z jaką mamy dziś do czynienia, zmusza do wyciągnięcia wniosków na przyszłość. Poprawnie opracowany i odpowiednio zorganizowany, indywidualny dla każdego urządzenia system diagnostyczny to podstawa utrzymania urządzeń w odpowiednim stanie technicznym. Zbieranie wiedzy na temat stanu technicznego rurociągów parowych na podstawie zorganizowanego systemu diagnostycznego pozwoli w przyszłości na lepsze planowanie eksploatacji i wydłużenie możliwości długoterminowej bezpiecznej pracy. System ten powinien być indywidualnie opracowywany dla każdego rurociągu niezależnie od tego czy pracuje w układzie blokowym, czy kolektorowym. Zorganizowany system diagnostyczny daje korzyści nie tylko służbom utrzymania ruchu, ale też komórkom odpowiedzialnym za planowanie strategii długoterminowych inwestycji. Kiedy warto wdrożyć system? Dla nowych urządzeń należy go opracować i wdrożyć już na etapie montażu, co da długoterminowe korzyści w przyszłości. W przypadku urządzeń eksploatowanych im wcześniej zostanie uruchomiony, tym szybciej eksploatacja będzie prowadzona pod właściwą kontrolą.

## LITERATURA

- [1] Hernas A., Dobrzański J.: Trwałość i niszczenie elementów kotłów i turbin parowych, Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2003
- [2] Jasiński A., Zaczekiewicz T.: Diagnostyka systemu zamocowań rurociągów parowych pracujących w układzie kolektorowym, „Energetyka” 2011, nr 11
- [3] Jasiński A.: Modelowanie rozkładu naprężeń w systemie diagnostycznym rurociągów pracujących w warunkach pełzania, „Energetyka” 2012, nr 2
- [4] Kopaliński J.: Możliwości projektowe przedłużenia żywotności bloków energetycznych 200 MW w zakresie technologii pomocniczych i obiektów budowlanych, Konferencja „Przedłużanie czasu pracy bloków energetycznych”, Szczyrk, 27–28.10.2011
- [5] Zieliński A., Dobrzański J., Wodzyński J.: Ocena trwałości elementów części ciśnieniowej kotłów energetycznych w procesie dopuszczenia do eksploatacji poza obliczeniowy czas pracy, Prace IMŻ, t. 62, nr 1, Gliwice, 2010
- [6] Trzeszczyński J.: Kiedy diagnostyka przynosi korzyści, „Energetyka” 2007, nr 12
- [7] System Diagnostyki Materiałowej Podstawowych Elementów Urządzeń Energetycznych, Instytut Energetyki, Warszawa 1996
- [8] Instrukcja ramowa kompleksowych badań diagnostycznych eksploatowanych głównych rurociągów parowych, „ENERGO-POMIAR” Sp. z o.o., Gliwice 1993 (niepubl.)
- [9] Jasiński A., Kwiecień M., Zaczekiewicz T.: Sprawozdania oraz wyniki prac pomiarowych i badawczych, opracowania „ENERGO-POMIAR” Sp. z o.o., Zakład Chemii i Diagnostyki, Gliwice 2007–2011 (niepubl.)



*www.energoelektronika.pl*  
WORTAL BRANŻOWY

# Regionalne Seminary / Szkolenia dla Służb Utrzymania Ruchu

**03.10.2012 – Szczecin**  
**24.10.2012 – Katowice**  
**05.12.2012 – Poznań**  
**2013**  
**21.02.2013 - Kraków**  
**28.03.2013 - Stalowa Wola**  
**18.04.2013 - Wałbrzych**  
**23.05.2013 - Rzeszów**  
**20.06.2013 - Trójmiasto**  
**10.10.2013 - Bydgoszcz**  
**28.11.2013 - Warszawa**







Jeżeli jesteś zainteresowany uczestnictwem w Seminarium, zaprezentowaniem produktu lub nowego rozwiązania napisz do nas: [marketing@energoelektronika.pl](mailto:marketing@energoelektronika.pl)  
 Energoelektronika.pl tel. (+48) 22 70 35 291

Ilość miejsc ograniczona

Partnerzy:







