

- badania nasze wykazały nie tylko rozbieżności pomiędzy lokalizacją pęknięć wykrytych metodą PA i wizualną, ale także to, że... w rzeczywistości pęknięcie (w miejscu trepanacji) jest ponad 100% dłuższe niż określone metodą PA.

Pęknięcie miało głębokość ponad 10 mm, co przy okazji stanowi ciekawy przyczynek do poglądów (i teorii) tych, którzy zalecają poszukiwać nieciągłości ca 0,2 mm (!).

Badania i ekspertyzy weryfikujące wykonuje się nie tylko w Polsce, ale i na świecie, i będzie się je wykonywać nadal. W czasie naszej dwudziestoletniej działalności wykonaliśmy takich ekspertyz kilkadziesiąt, o czym firma *Westinghouse-Modelpol* powinna od dawna wiedzieć.

Mamy świadomość (i wiedzę), że nasze prace były także weryfikowane. To dobrze, m.in. w taki sposób dokonuje się postęp w technice oraz zapewnia bezpieczeństwo pracy urządzeń. Zarzut braku obiektywizmu jest poważnym pomówieniem. Po namyśle zdecydowaliśmy się „machnąć ręką”, ponieważ jak na razie jest to pogląd wyłącznie samych Autorów. Z tekstu [1] widać wyraźnie, że Autorom „puściły nerwy”. W wielu fragmentach swojego elaboratu chyba nie uniknęli śmieszności, możliwe, że Czytelnicy *Energetyki* będą podobnego zdania.

Redakcja Biuletynu Pro Novum

Jerzy Dobosiewicz, Krzysztof Brunné
Pro Novum, Katowice

Ultradźwiękowy pomiar grubości warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej

Wężownice przegrzewaczy, komory i rurociągi pracujące powyżej temperatury granicznej liczone są na czasową wytrzymałość (10^5 , 2×10^5 , $2,5 \times 10^5$ h). Badania laboratoryjne oraz doświadczenia eksploatacyjne wykazały, że wymienione elementy mogą pracować znacznie dłużej niż wynika to z czasu obliczeniowego. Rzeczywisty dopuszczalny czas pracy powinien być ustalony na podstawie oceny stanu metalu oraz ponownych obliczeń wytrzymałościowych zgodnie z EN.

Należy podkreślić, że warunki pracy metalu elementów kotłów wysokoprężnych są zmienne i dlatego elementy te powinny być, okresowo, poddawane badaniom diagnostycznym. Dotyczy to szczególnie metalu rur powierzchni ogrzewalnych, a przede wszystkim przegrzewaczy (rys. 1). Przyczynami zużycia wężownicy przegrzewaczy są procesy fizykochemiczne zachodzące w metalu związane z jednoczesnym oddziaływaniem: wysokiej temperatury, agresywnych spalin oraz znacznych naprężeń.

Do procesów tych należą:

- pękanie,
- korozja wysokotemperaturowa (strona spalin),
- korozja parowa (strona czynnika),
- erozja.

LITERATURA

- [1] Kopec A., Borowski P.: Phased Array – metoda na miarę potrzeb diagnostyki w energetyce. Odpowiedź na „Polemikę” zamieszczoną w Biuletynie *Pro Novum* nr 1/2007. *Energetyka* 2007, nr 6–7
- [2] Bobrowski P., Kopec A.: Phased Array – metoda na miarę potrzeb diagnostyki w energetyce. *Energetyka* 2007, nr 2
- [3] Rajca S., Pizon E., Brunné K.: Niektóre doświadczenia związane z badaniami stanu materiału w obszarze wrębów tarcz wirnikowych. VIII Symposium: DIAGNOSTYKA I REMONTY DŁUGOEXPLOATOWANYCH URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH. Ustroń, 4 – 6 października 2006
- [4] Rajca S., Pizon E., Brunné K.: Niektóre doświadczenia związane z badaniami stanu materiału w obszarze wrębów tarcz wirnikowych. *Energetyka* 2006, nr 12
- [5] Artykuł Redakcji Biuletynu *Pro Novum* Nr 1/2007. *Energetyka* 2007, nr 4



Redakcja Energetyki uprzejmie informuje, że odpowiedź Redakcji Biuletynu Pro Novum na „odpowiedź na polemikę zamieszczoną w Biuletynie Pro Novum nr 1/2007” kończy dyskusję na temat wyników badań diagnostycznych metodą PhaseD Array.

Do sprawy będziemy mogli wrócić w przyszłości.

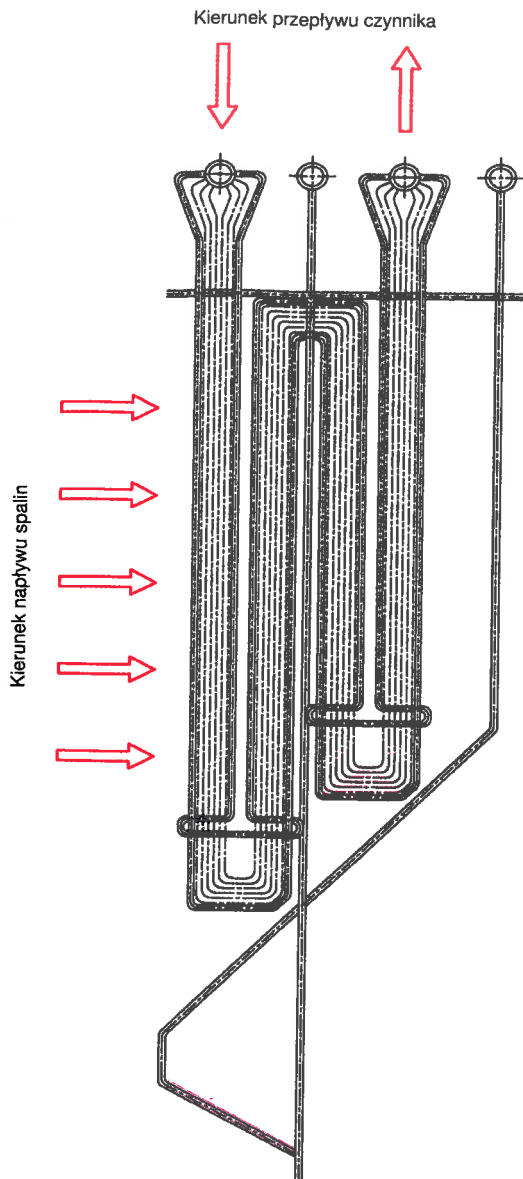
Redakcja Energetyki

Skutkiem tych procesów są:

- wyczerpanie się trwałości czasowej metalu (degradacja struktury pod wpływem działania wysokiej temperatury),
- wzrost naprężeń (korozyjny i erozyjny ubytek grubości ścianki).

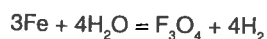
Do określenia stopnia wyczerpania metalu niezbędna jest znajomość obliczeniowego dopuszczalnego czasu pracy, który wyznacza się uwzględniając systematyczny ubytek grubości ścianki (przyrost naprężenia) oraz przyrost temperatury ścianki (przyrost warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej). Dopuszczalny czas pracy jest wielkością, po przekroczeniu której zwiększa się prawdopodobieństwo uszkodzenia ocenianego elementu.

W celu obliczenia rzeczywistego, dopuszczalnego czasu pracy potrzebna jest znajomość grubości ścianki metalu i rzeczywistej temperatury pracy. Dane te można uzyskać przez pomiar metodą ultradźwiękową grubości ścianki (metoda znana) oraz grubości warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej wężownicy.

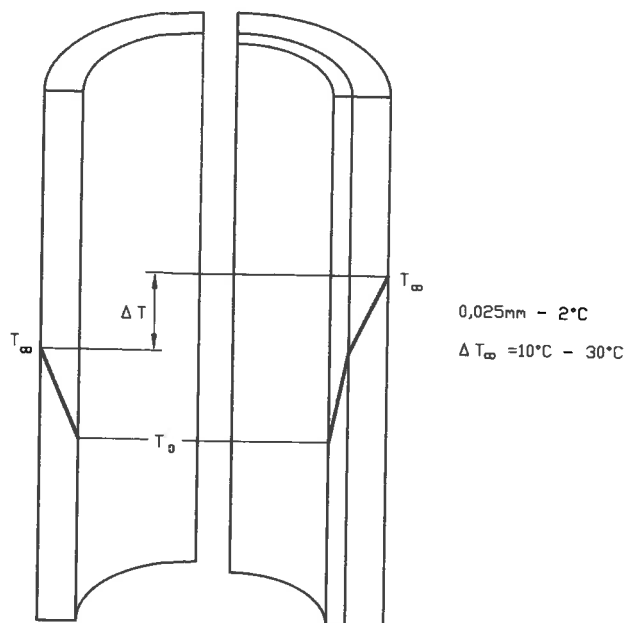


Rys. 1. Widok przegrzewacza

W czasie pracy metalu węzownic w wysokich temperaturach, tj. $>500^{\circ}\text{C}$, na powierzchniach wewnętrznych powstaje ściśta twarda warstwa tlenków. W podwyższonych temperaturach metal reaguje z parą wodną zgodnie z reakcją:



Powstające tlenki żelaza tworzą warstwę magnetytu, która chroni metal przed nadmiernym utlenianiem, lecz – z drugiej strony – działa jako izolator cieplny, albowiem jej przewodnictwo ciepła stanowi 5% przewodnictwa stali. Z czasem grubość warstwy stale przyrasta, a ponieważ temperatura czynnika na wylocie kotła musi być stała, to przyrost warstwy tlenków powoduje przyrost temperatury metalu (rys. 2). Przykładowo, każde 0,03 mm grubości warstwy tlenków podnosi temperaturę metalu o 0,6 – 1°C [1]. Przyrost warstwy tlenków, wskutek korozji, obywają się kosztem grubości węzownicy przyczyniając się jednocześnie do wzrostu naprężeń w ściance.



Rys. 2. Wpływ grubości warstwy tlenków na temperaturę ścianki [1]

W celu dokonania oceny stopnia wyczerpania potrzebna jest znajomość:

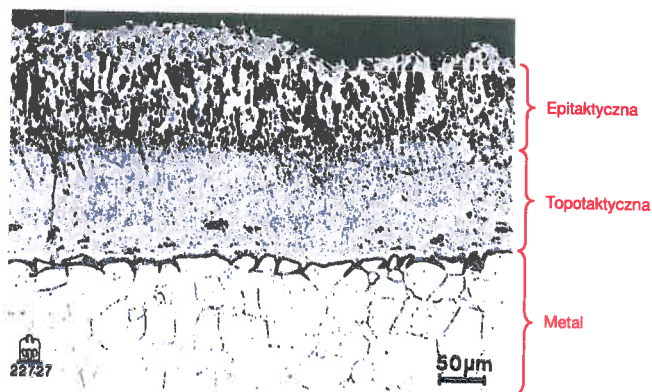
- przepracowanej liczby godzin węzownic,
- grubości ścianki węzownic,
- rzeczywistej temperatury ścianki.

Dwa pierwsze wymagania są łatwe do spełnienia, trudności sprawia uzyskanie danych dotyczących rzeczywistej temperatury ścianki.

Wyznaczanie średniej temperatury metalu

Tworzące się tlenki na wewnętrznej powierzchni węzownicy występują w dwóch warstwach (rys. 3):

- w warstwie szczelnej, wewnętrznej, drobnokrystalicznego topotaktycznego magnetytu, przylegającej ściśle do podłoża i powstającej przez utlenienie metalu,
- w warstwie nieszczelnej, zewnętrznej, porowatej, epitaktycznej przylegającej do warstwy, powstającej z jonów żelaza i tlenu znajdujących się w czynniku.



Rys. 3. Charakter warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej [2]

Temperatura ścianki wewnętrznej może być ustalana na podstawie ubytku grubości ścianki, którego proces jest opisany równaniem parabolicznym [2]

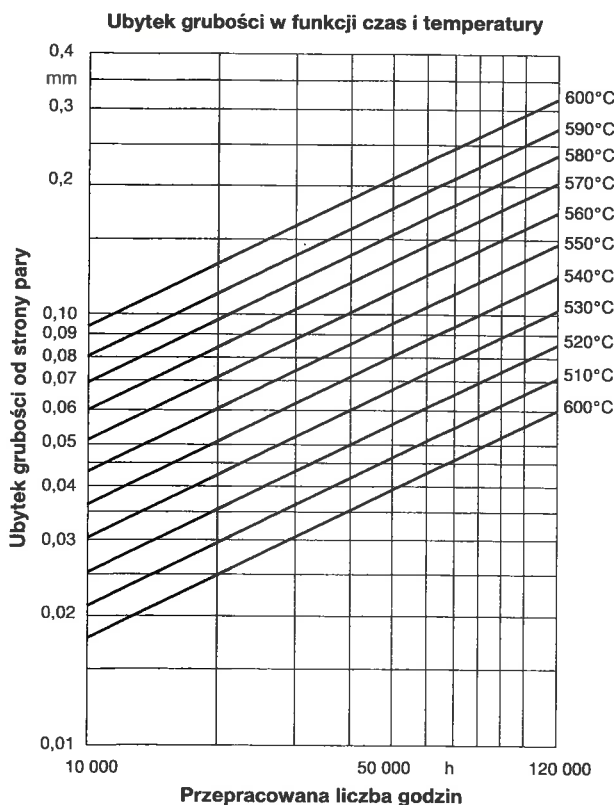
$$d_D^2 = K_D^{(T)} \cdot t$$

gdzie ubytek grubości ścianki d_D zależy od stałej K_D wynikającej z prawa Tammana, temperatury $T(K)$ oraz czasu pracy $t(h)$.

Stała K_D zależy od temperatury pracy i można ją obliczyć wg następującego wzoru

$$\log K_D = \frac{9856}{T} + 5,2222$$

Przyrost grubości warstwy jest funkcją czasu i temperatury. Obliczone na podstawie wymienionych równań ubytki grubości ścianki przedstawiono dla różnych temperatur dla stali chromomolibdenowych (rys. 4). Znając grubość warstwy oraz przepracowaną liczbę godzin można ustalić temperaturę ścianki.



Rys. 4. Ubytek grubości w funkcji czasu i temperatury [3]

Sposób oceny trwałości

Sposób oceny stopnia wyczerpania [3] metalu wężownic, komór, rurociągów polega na wykorzystaniu rzeczywistych parametrów pracy, a mianowicie:

- średniej temperatury ścianki (pomiar grubości warstwy),
- naprężenia panującego w ściance (dla rzeczywistej zmierzonej grubości),
- przepracowanej liczby godzin.

Dysponując wartościami czasowej wytrzymałości metalu dla danej temperatury można zgodnie z normą europejską EN 12952-4/2000 ustalić, względnie dokładnie, stopień wyczerpania, jak również:

- rozkład temperatur ścianki w poszczególnych wężownicach grodzi,
- przewidzieć czas wymiany ocenianego elementu uwzględniając stopniowy ubytek grubości ścianki i przyrost jej temperatury,
- ustalić rozkład temperatur spalin na przekroju kotła.

Pomiaru grubości ścianki rury i tlenków na powierzchni wewnętrznej dotychczas dokonywano metodą niszczącą przy użyciu mikroskopu na wycinkach z wężownic. Niestety, taki sposób nie mógł być, ze względów oczywistych, stosowany do komór i rurociągów.

Pomiary ultradźwiękowe bardzo ułatwiają pracę (pomiar) oraz umożliwiają rozszerzenie oceny na znaczną ilość wężownic. Dzięki tym pomiarom można sprawdzić większą ilość wężownic niż stosując metodę niszczącą, a zatem otrzymać bardziej reprezentatywne wyniki i więcej informacji o stanie przegrzewacza oraz cieplnych warunkach pracy. Znajomość grubości tlenkowej warstwy wewnętrznej, na wszystkich grodziach, może dostarczyć informacji o rozplywie spalin w kotle, natomiast nagły wzrost grubości tlenków w którejś z wężownicy może świadczyć o ograniczonym przepływie czynnika. Sam pomiar grubości ścianki metalu informuje o ubytkach korozyjnych i erozyjnych wężownicy.

Można również zauważyć odpadanie tlenków, które unoszone z parą mogą zatkać kolana oraz osadzać się w turbinie.

Pomiar grubości warstwy tlenków

Podczas ultradźwiękowego pomiaru grubości warstwy tlenków najważniejsze jest oddzielenie ech od grubości metalu i warstwy tlenków oraz zmierzenie odległości między nimi.

Zadanie to ułatwiają współczesne szerokopasmowe defektoskopy z dużą rozdzielczością, w połączeniu z czujnikami o wysokiej częstotliwości.

Wybrany przyrząd – charakterystyka:

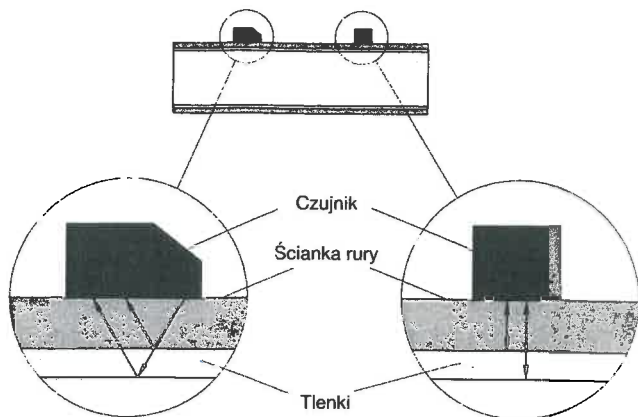
- szerokopasmowy odbiornik z możliwie najwyższą częstotliwością,
- duży odstęp między sygnałem a szumem,
- duża rozdzielczość – co najmniej 0,001 mm.

Wybór czujnika

Wymiary grubości mierzonych elementów wahają się w granicach 3 – 40 mm, dlatego dobrze jest zastosować czujnik o wysokiej częstotliwości z wymienną stopą (Delay line). Do pomiaru wykorzystuje się fale podłużne lub poprzeczne. Rozprzestrzenianie się fali ultradźwięków w stalach ferrytyczno – perlitycznych w przybliżeniu następuje przy następujących prędkościach:

- 5900 m/s – fale podłużne,
- 3200 m/s – fale poprzeczne.

Fale poprzeczne dla danej częstotliwości, do przejścia przez grubość warstwy tlenkowej, wymagają 2 razy dłuższego czasu niż fale podłużne. Z tego powodu umożliwiają też dokładniejszy pomiar (rys. 5).



Rys. 5. Metody pomiaru

Czujniki podłużne – charakterystyka:

- łatwe sprzężenie akustyczne – kontakt – dobre przewodzenie sygnału na chropowatych powierzchniach,
- większa amplituda echa,
- większa prędkość rozprzestrzeniania fali, niższa wykrywalność warstwy tlenków, zwłaszcza poniżej 200 μm .

Czujniki poprzeczne – charakterystyka:

- wymagane specjalne ciecze kontaktowe (SLC70),
- mniejsza amplituda echa,
- wyższa dokładność pomiaru, nawet do 130 μm .

Ultradźwiękowy pomiar grubości warstwy tlenków na wewnętrznej powierzchni rurek przegrzewaczy oraz elementów grubościennych jest techniką wymagającą od operatora bardzo dobrej znajomości urządzenia oraz doświadczenia w przeprowadzaniu badań ultradźwiękowych.

Przygotowanie powierzchni

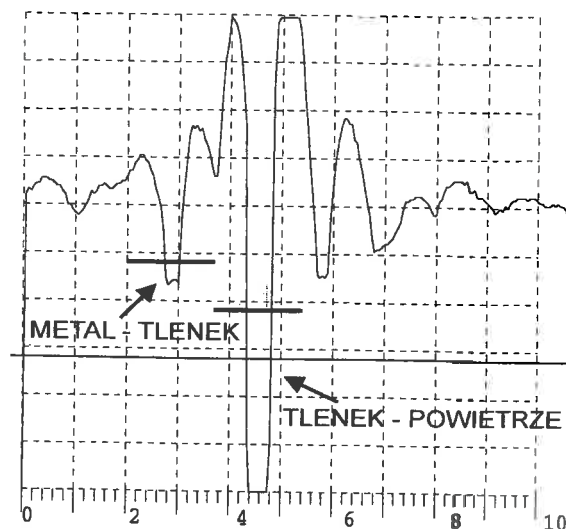
Po usunięciu nalotów znajdujących się na badanym elemencie powierzchnie należy polerować papierami ściernymi o ziarnie 60–100, a następnie 120–200. Powierzchnia musi być możliwie gładka, bez zarysowań. Na elementach o małym promieniu należy powierzchnie polerować „na okrągło”, nigdy „na płasko”. Takie przygotowanie powierzchni zapewni lepszy pomiar i nie powoduje nadmiernego ubytku ścianki.

Kalibracja

Do pomiaru grubości tlenków na wewnętrznych powierzchniach używa się głowic prostych lub skośnych. Głowice proste muszą być wyposażone w linię opóźniającą (Delay line).

Przebieg kalibracji zestawu sonda + defektoskop (rys. 6):

- ustawić parametry urządzenia (szerokość i napięcie oraz dostosowanie częstotliwości sygnału dla fali prostokątnej, tłumienie stosowanego kryształu przetwornika),
- wykalibrować zestaw w zależności od grubości badanego elementu,
- sprawdzić wykrywalność tlenków na specjalnym wzorcu w celu ustawienia poziomu wzmocnienia.



Rys. 6. Obraz na ekranie – fale podłużne

Pomiar

W omawianym przypadku zakres obserwacji jest bardzo mały w porównaniu ze standardowym badaniem ultradźwiękowym. Dlatego należy do oceny grubości tlenków używać funkcji lupy. Badanie polega na obserwacji pików sygnału ultradźwiękowego. Podczas badania należy uchwycić sygnał *metal – tlenek* na właściwym poziomie (40–60%) wysokości ekranu. W momencie uchwycenia sygnału należy zamrozić obraz. Używając ustawień bramki odczytać drogę sygnału *metal – tlenek* i *tlenek – powietrze*. Z różnicy tych dwóch dróg fali otrzymamy grubość tlenku na wewnętrznej powierzchni elementu dla prędkości fali ultradźwiękowej w stali. Otrzymałą wartość należy przeliczyć w celu określenia prawdziwej grubości tlenku. Dla głowicy prostej możliwe jest mierzenie wartości tlenków od ok. 200 μm .

Podsumowanie

Omawiany, nieniszczący sposób pomiaru grubości warstwy umożliwia:

- użycie metody badań ultradźwiękowych do:
 - pomiaru grubości warstwy tlenków,
 - pomiaru grubości ścianki;
- ocenę równoważnej temperatury pracy metalu węzownicy;
- ocenę stanu węzownic wszystkich grodzi bez wycinania próbek;
- wykrycie węzownic z ograniczonym przepływem czynnika;
- zapobieganie powstawaniu niespodziewanych nieszczelności,

Standardowe ultradźwiękowe metody pomiaru grubości ścianek uniemożliwiają stwierdzenie obecności tlenków. Zmierzona wartość grubości ścianki obejmuje również grubość tlenków, bez możliwości ich rozróżnienia. Poprzez przyłożenie szerokopasmowego czujnika z dużą częstotliwością do nowej rury otrzymamy echo końcowe. Z narastającą warstwą tlenków echo na granicy *metal – tlenki* ciągle maleje z większym odstępem od wyraźnego echa rozgraniczenia *tlenek – powietrze*. Zadaniem przy ultradźwiękowym pomiarze grubości warstwy tlenków jest oddzielenie ech i pomierzenie odległości między nimi.

LITERATURA

- [1] Beak W.E., Bonin D.W., Rechner M.R.: Non destructive testing predicts superheater tube problems. *Power Engineering* 1988, nr 6
- [2] Mechanismen und Schadenformen der Hochtemperaturkorrosion an Uberhitzerrohren SteinKohlebefuehrter Groskessel. *Der Maschineschaden* 1977, nr 5

- [3] Zbroińska-Szczechura E., Dobosiewicz J.: Ocena stopnia wyczerpania trwałości węzownic przegrzewaczy kotłów parowych. *Prace IMiUE Politechniki Śląskiej* 1998, tom 3
- [4] Eckhart E., Funsten T.: Meranie grubky oxidickej vrstvy teploty-mennych trubiek ultrazvukom



Wojciech Brunné
Pro Novum, Katowice

Wpływ trasy rurociągu na jego bezpieczną eksploatację

Jednym z istotnych czynników mających wpływ na prawidłową pracę rurociągów wysokoprężnych i wysokotemperaturowych (nazywanych w dalszej części artykułu rurociągami) jest ich trasa. W niniejszym artykule zwrócono uwagę na dwa główne problemy wynikające z niewłaściwej trasy rurociągów:

- niedostateczną kompensację wydłużeń cieplnych,
- nieodwadniałość odcinków rurociągów.

Problemy z prawidłową pracą rurociągów związane z ich trasą mogą występować na etapie ich:

- projektowania,
- montażu,
- eksploatacji.

Nieprawidłowości trasy rurociągów powstałe na etapie projektowania rurociągów

W fazie projektowania, w wytyczaniu trasy rurociągów najczęściej popełniane są cztery błędy:

- niedostateczne uwzględnienie rozszerzalności cieplnej metalu wynikającej z temperatury pary, a co za tym idzie zbyt mała kompensacja wydłużeń,

- pozostawienie nieodwadniających odcinków rurociągów bez odwodnień,
- nieprawidłowy dobór i rozmieszczenie zamocowań,
- poprowadzenie rurociągu w sposób kolizyjny z istniejącą konstrukcją stałą lub innym rurociągiem [1].

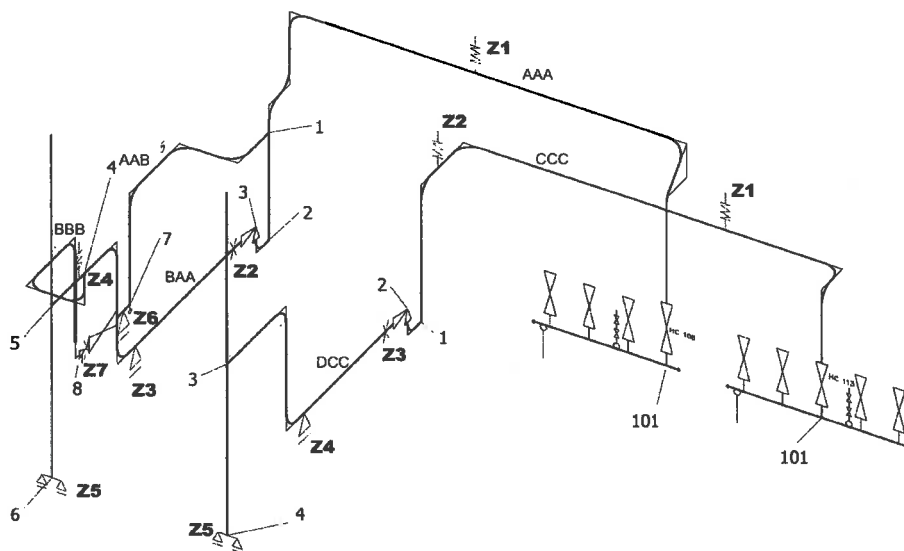
Ostatnia z wymienionych nieprawidłowości daje o sobie znać w czasie montażu i najczęściej jest usuwana na bieżąco, trzy pierwsze „wychodzą” w trakcie eksploatacji i niejednokrotnie eliminowane są dopiero po analizie przyczyn mniejszej lub większej awarii.

Niedostateczna kompensacja wydłużeń cieplnych

Niedostateczna kompensacja rurociągu powoduje w stanie gorącym wzrost naprężeń, które mogą przekroczyć naprężenia dopuszczalne.

Długotrwałe i niejednokrotnie znaczne przekroczenie naprężeń dopuszczalnych jest powodem:

- inicjacji pęknięć – dla rurociągów wysokoprężnych,
- przyspieszenia procesów pełzania – dla rurociągów wysokotemperaturowych (o ile materiał rurociągu pracuje powyżej temperatury granicznej).



Rys. 1. Rurociągi pary świeżej do zmodernizowanych stacji redukcyjno-szczadzących