

## Diagnostyka kształtek zabudowanych na rurociągach energetycznych

Przeważająca część podstawowych urządzeń ciepłno-mechanicznych eksploatowanych obecnie w elektrowniach i elektrociepłowniach ma za sobą 150 000 h, a wiele przekroczyło już 200 000 h pracy. Niezależnie czy mamy do czynienia z układem blokowym, czy kolektorowym wysokoprężne i wysokotemperaturowe rurociągi energetyczne stanowią bardzo ważną część źródła energii elektrycznej, a ich bezpieczna eksploatacja ma istotny wpływ na dyspozycyjność urządzeń energetycznych.

### Diagnostyka rurociągów

Diagnostyka rurociągów to złożony proces, który powinien składać się co najmniej z następujących etapów (elementów):

- analiza historii eksploatacji,
- analiza dokumentacji technicznej, w tym obliczeń konstrukcyjnych,
- opracowanie programu badań i pomiarów diagnostycznych,
- przeprowadzenie badań i pomiarów diagnostycznych,
- analiza wyników badań i pomiarów diagnostycznych,
- określenie stopnia wyczerpania trwałości materiału na podstawie stopnia degradacji struktury,
- opracowanie prognozy dalszej bezpiecznej pracy rurociągu, zaleceń remontowych i eksploatacyjnych.

Program badań kształtek i elementów sterujących przepływem czynnika powinien obejmować badania magnetyczno-proszkowe (MT) na powierzchni zewnętrznej w obszarach zmian kształtu i pola przekroju, a także spoin przyległych oraz badania metalograficzne metodą replik matrycowych i pomiaru twardości w miejscach „zdejmowania” replik. Dla elementów sterujących przepływem dodatkowo należy przeprowadzić oględziny endoskopowe powierzchni wewnętrznych (po zdemontowaniu ustroju sterującego).

Przyczyną uszkodzeń kształtek rurociągów energetycznych są najczęściej:

- wady technologiczne (odlewnicze),
- nieodpowiedni dobór zamocowań – błędy projektowe,
- długotrwała lub niewłaściwa eksploatacja.

W artykule [1] autorzy szczegółowo omówili ostatnią z przyczyn uszkodzeń trójników lanych, w niniejszym artykule zwrócono uwagę na dwie pierwsze przyczyny.

### Aspekt projektowy

Dobrze zaprojektowany rurociąg z racji swej dużej elastyczności bardzo dobrze realizuje swe funkcje. Z powodów funkcjonalnych na rurociągu oprócz prostek i kolan zabudowane są również elementy o znacznej sztywności, jak kształtki (czwórniki, trójniki, zwężki, kryzy pomiarowe) i elementy sterujące przepływem czynnika (zasuwki, klapy zwrotne, zawory redukcyjne). Fakt musi być brany pod uwagę przy projektowaniu trasy rurociągu i przy rozmieszczeniu i doborze rodzaju zamocowań. Jest to tym ważniejsze, ponieważ w obszarze skokowej zmiany sztywności występuje połączenie spawane.

Na rysunku 1 pokazano rozkład naprężeń, a ściślej, rozkład ilorazu naprężeń zredukowanych i dopuszczalnych dla złożonego, kolektorowego układu rurociągów pary świeżej. Rurociąg został zaprojektowany prawidłowo i pomimo dużej gęstości nasycenia elementami o znacznej sztywności nie dochodzi do przekraczania naprężeń dopuszczalnych.



Rys. 1. Rozkład ilorazu naprężeń zredukowanych i dopuszczalnych w kolektorowym układzie rurociągów

Przykładem niewłaściwego doboru zamocowań, a co za tym idzie i wielkości ich reakcji, jest rurociąg w układzie blokowym pokazany na rysunku 2. Widać wyraźnie, że w rejonie trójnika „Y” występuje obszar o przekroczonych naprężeniach dopuszczalnych.

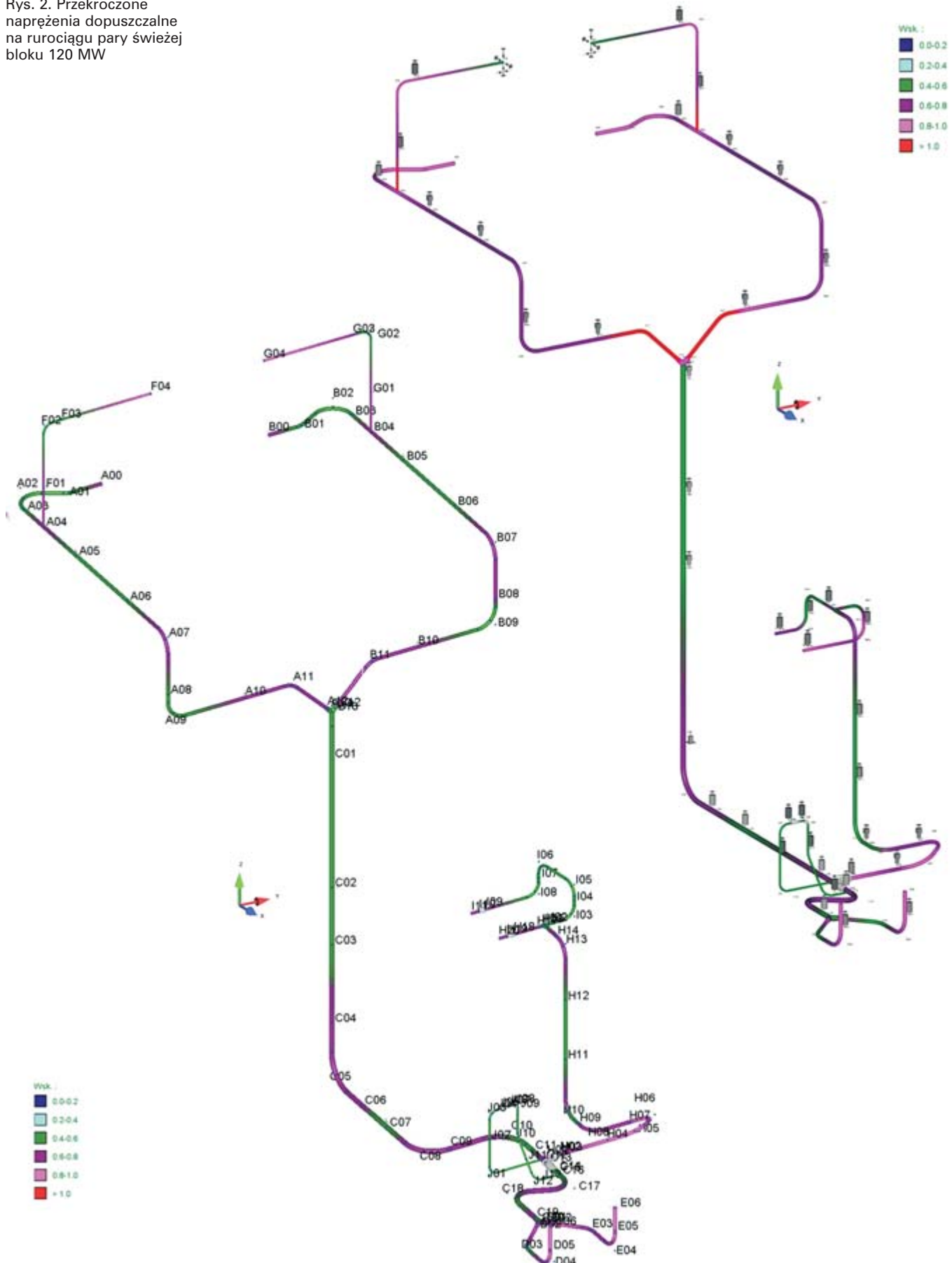
### Przykłady wykrytych uszkodzeń trójników i ich interpretacja

Znajomość warunków pracy elementu pozwala optymalnie dobrać metodę badań diagnostycznych w celu wykrycia spodziewanych nieciągłości materiałowych. Dla kształtek zabudowanych na rurociągach, dla których metal pracuje w „warunkach pełzania”, maksymalne naprężenia zlokalizowane są na powierzchni zewnętrznej w obszarach zmian kształtu i pola przekroju. Natomiast dla kształtek zabudowanych na rurociągach, których materiał pracuje poniżej temperatury granicznej, najbardziej narażone na uszkodzenia są obszary sąsiadujące z dolną powierzchnią wewnętrzną poziomych kształtek.

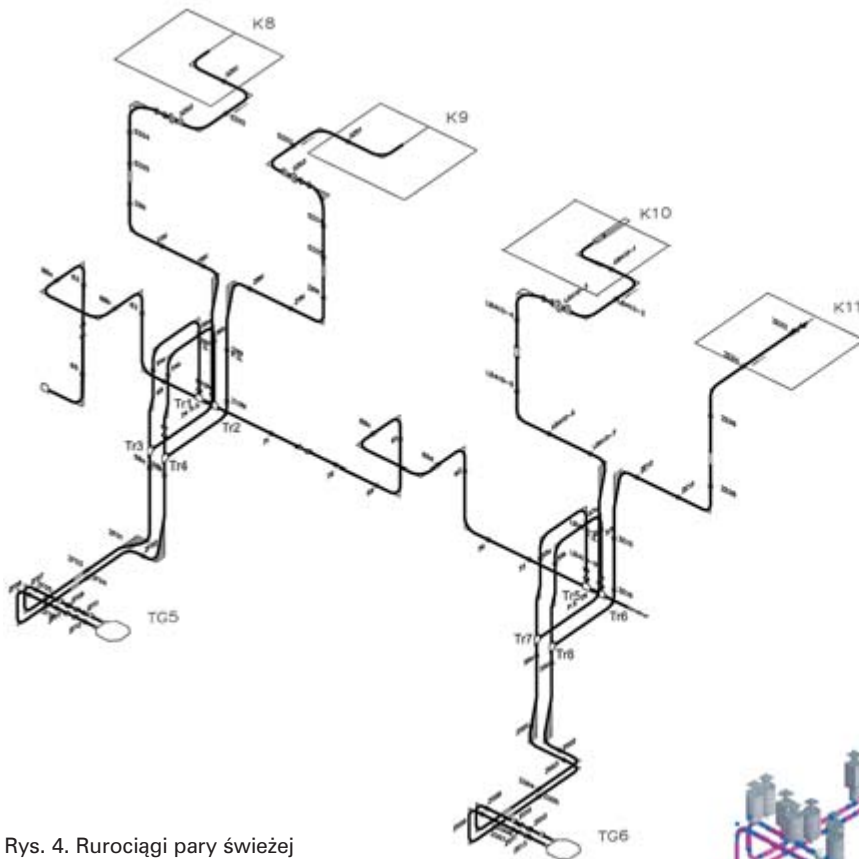
### Przykłady konsekwencji wad projektowych

Badania magnetyczno-proszkowe trójnika typu „Y” (rys. 2) w pełni potwierdziły podejrzenia podjęte na podstawie analizy wyników obliczeń konstrukcyjnych.

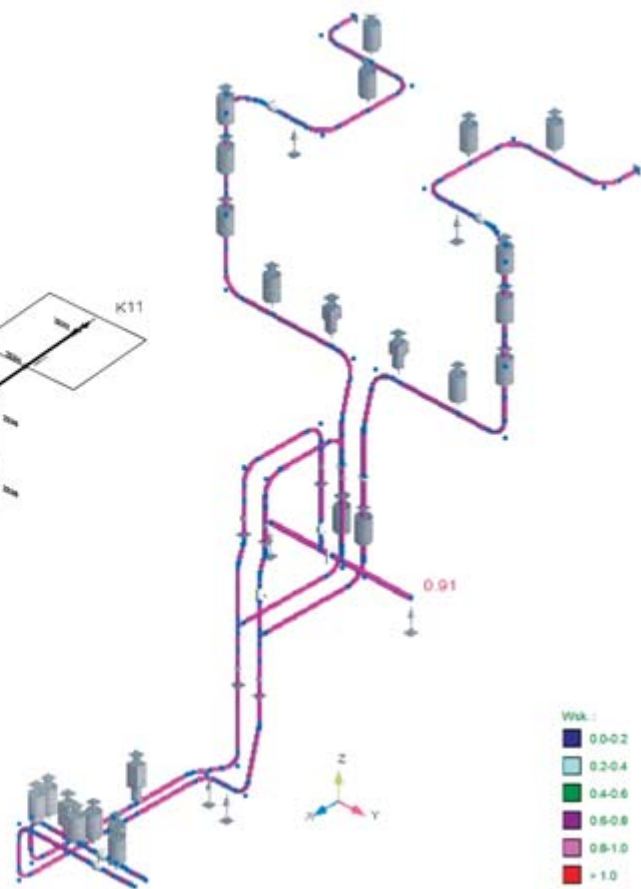
Rys. 2. Przekroczone naprężenia dopuszczalne na rurociągu pary świeżej bloku 120 MW



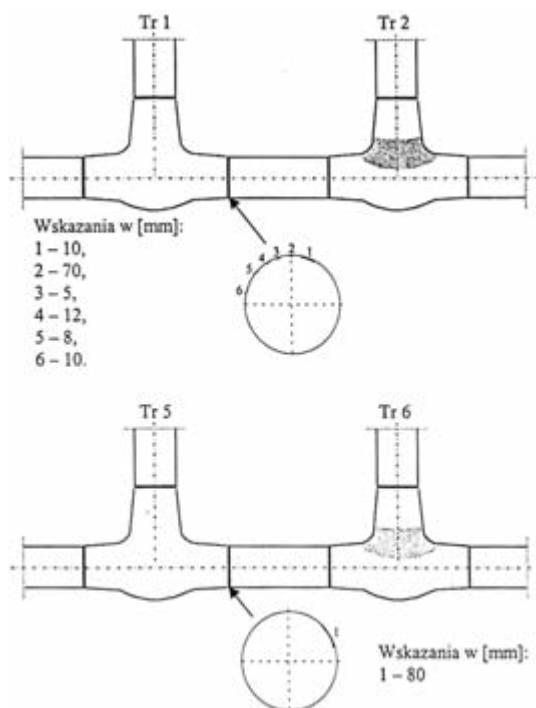
Rys. 3. Rozkład ilorazu naprężeń zredukowanych i naprężeń dopuszczalnych rurociągu pary świeżej bloku 120 MW po zmodernizowaniu systemu zamocowań [2]



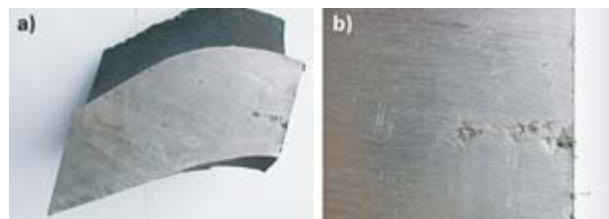
Rys. 4. Rurociągi pary świeżej w układzie kolektorowym – lokalizacja trójnika



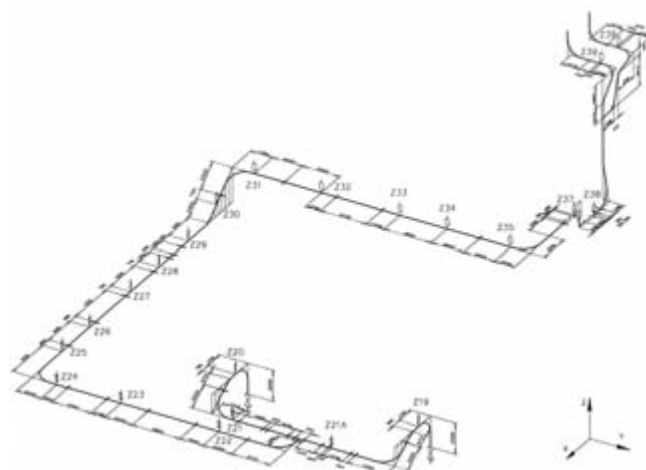
Rys. 6. Stosunek naprężeń zredukowanych do naprężeń dopuszczalnych po modernizacji zamocowań [4]



Rys. 5. Miejsca występowania wskazań na spoinach obwodowych trójniki-kolektor oraz wielkość i usytuowanie wskazań [3]



Rys. 7. Wada odlewnicza zalegająca w połowie grubości ścianki trójnika lanego – przekrój przez wadę: a) wzdłużny, b) poprzeczny



Rys. 8. Rurociąg wody zasilającej bloku 120 MW w rejonie pomp zasilających (P2)

Stwierdzono pęknięcie trójnika w siodle po zaledwie 113 260 h pracy. Zalecono wymienić trójnik na nowy, najlepiej kuto-spawany oraz zmianę systemu zamocowań, który pozwoli na obniżenie naprężeń zredukowanych do poziomu nieprzekraczającego 0,8 naprężeń dopuszczalnych (rys. 3).

Spiętrzenie naprężeń powyżej poziomu naprężeń dopuszczalnych było powodem pęknięć trójników, a ściślej obszarów w strefie wpływu ciepła (SWC) spoin obwodowych trójników i kolektora od strony trójników.

Na rysunku 4 pokazano lokalizację trójników, a na rysunku 5 usytuowanie i wielkość wskazań.

Podobnie, jak dla rurociągu bloku 120 MW, tak i w tym układzie kolektorowym powodem przekroczenia naprężeń, oprócz znacznego zagęszczenia elementów „sztywnych”, był zły dobór zamocowań, tj. podparcie trójników podporą stałą. Likwidacja podpory stałej i zastąpienie jej dwoma zawieszonymi sprężynowymi zabudowanymi na rurociągach z kotłów (rys. 6) pozwoliło na zniwelowanie naprężeń zredukowanych do poziomu 0,91 naprężeń dopuszczalnych.

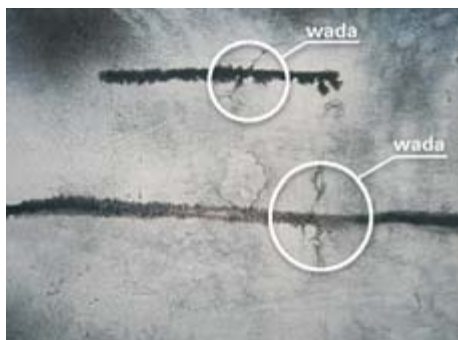
### Eksplatacyjne i technologiczne powody uszkodzeń trójników

Dobrze zaprojektowany rurociąg to bardzo istotny element warunkujący bezpieczną eksploatację rurociągów, ale niestety niewystarczający. Na jednym z trójników rurociągów pary świeżej w układzie kolektorowym (rys. 1) wykryto wskazanie powierzchniowe. Naprawa przez szlifowanie do 95% pierwotnej grubości ścianki nie dała rezultatu pozytywnego, a wręcz przeciwnie, wskazania zajęły znacznie większą powierzchnię niż poprzednio. Zalecono wymienić trójnik 350/350/350 przed upływem dalszych 6000 h pracy. Po wymianie trójnika przeprowadzono badanie niszczące, które ujawniło wadę odlewniczą zalegającą prawie w połowie grubości ścianki trójnika (rys. 7) [5]. Także wada materiałowa była powodem uszkodzenia czwornika na rurociągu pary świeżej [6].

Pęknięcia występują także na kształtkach rurociągów wody zasilającej. Poziomy trójnik (rys. 8) został poddany badaniom ultradźwiękowym i w ich wyniku stwierdzono wskazania w rejonie dolnej tworzącej. Ponieważ wskazania były bardzo wyraźne, zdecydowano się na wymianę trójnika na nowy.

Badania niszczące w pełni potwierdziły wyniki badań ultradźwiękowych. Na powierzchni wewnętrznej trójnika „wyszły” dwie duże wady (rys. 9) nie licząc licznych pomniejszych [7].

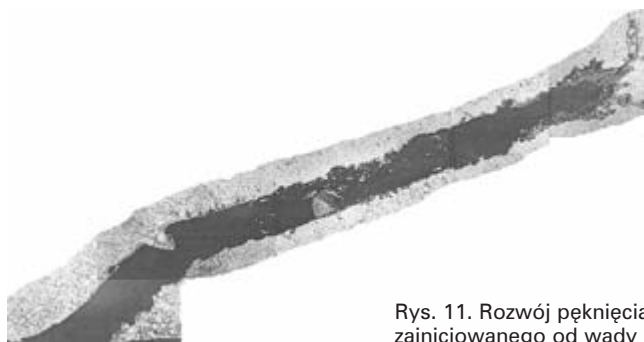
Analiza metalograficzna pozwoliła na pełne zobrazowanie wykrytych wad (rys. 10 i 11). Widać, że staliwo L20 na skutek swej dendrytycznej struktury, jest podatne na zmęczenie.



Rys. 9. Wybrane do analizy dwie wady na powierzchni wewnętrznej trójnika



Rys. 10. Pęknięcie widoczne na przekroju poprzecznym trójnika (pow. 4x), widoczny dendryt



Rys. 11. Rozwój pęknięcia zainicjowanego od wady I

### Podsumowanie

Kształtki zmieniają w sposób skokowy sztywność rurociągów energetycznych. Dodatkowo w obszarze zmiany sztywności usytuowany jest karb technologiczny, jakim jest spoina obwodowa. Najlepszym sposobem na uniknięcie awarii rurociągów energetycznych spowodowanych uszkodzeniem kształtek jest optymalne projektowanie oraz profilaktyka, którą należy stosować w czasie eksploatacji rurociągów. Podczas projektowania zapobiegać uszkodzeniom kształtek można poprzez:

- właściwy dobór trasy i systemu zamocowań,
- stosowanie kształtek kuto-spawanych zamiast odlewnych.

W czasie eksploatacji rurociągi energetyczne powinny być objęte stałym nadzorem diagnostycznym, który poprzez kontrolę reakcji zamocowań w stanie zimnym i gorącym oraz poprzez kontrolę przemieszczeń cieplnych rurociągów daje możliwość szybkiej reakcji na wykryte nieprawidłowości. Optymalne (ze względu na czas i zakres) badania i pomiary diagnostyczne umożliwiają bardzo wczesne wykrycie nieciągłości materiałowych, co z jednej strony zapobiega awariom, a z drugiej umożliwia zaplanowanie remontów.

### Literatura

- [1] Józwick T., Kaczenowski L.: Diagnostyka techniczna elementów rurociągów wysokoprężnych ze staliwa L21HMF. *Dozór Techniczny* 2009, nr 2
- [2] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 129.2082/2007
- [3] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 102.1633/2004
- [4] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 58.1866/2006
- [5] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 120.2244/2008
- [6] Brunné W.: Wyczerpanie trwałości materiału lanych czworników wysokoprężnych rurociągów parowych. *Energetyka* 1999, nr 2
- [7] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 26.1985/2007