

# Biuletyn

nr 1/1999

**pro NOVUM**<sup>®</sup>  
RESEARCH & TECHNOLOGICAL SERVICES

Zespół redakcyjny: mgr inż. Jerzy Dobosiewicz, dr inż. Jerzy Trzeszczyński

Mgr inż. Ewa Zbroińska-Szczuchura, mgr inż. Jerzy Dobosiewicz

UKD 621.643.3

Pro Novum — Katowice

## Sposób oceny przydatności węzownic przegrzewaczy

Przyczynami zużycia, a tym samym uszkodzeń węzownic przegrzewaczy są procesy fizykochemiczne zachodzące w metalu, związane z oddziaływaniem: wysokiej temperatury, agresywnych spalin, popiołu oraz naprężeń. Do procesów tych należą:

- pełzanie,
- korozja (naprężeniowa, wysokotemperaturowa i popiołowa),
- erozja (popiołowa i parowa).

W wyniku ich działania:

- powstają pustki pełzaniowe,
- następują zmiany strukturalne (tzw. starzenie),
- wzrastają naprężenia stałe (ubytek grubości ścianki).

Zachodzący proces degradacji strukturalnej (starzenie) nie upoważnia jednak do — praktykowanej często — przedwczesnej wymiany węzownic. Obecnie istnieją już metody badań, pomiarów i obliczeń pozwalające na dokładną ocenę stanu metalu przegrzewaczy.

Do niedawna osiągnięcie przez materiał stanu całkowitego zaniku struktury wyjściowej i spadku wytrzymałości doraźnej, nawet bez zapoczątkowania procesów niszczenia (pustki), traktowano jako stan krytyczny, kwalifikujący węzownice do wymiany. Wyniki wieloletnich badań wyeksploatowanych elementów wskazują, że istnieje uzasadnienie możliwości przedłużenia ich czasu pracy.

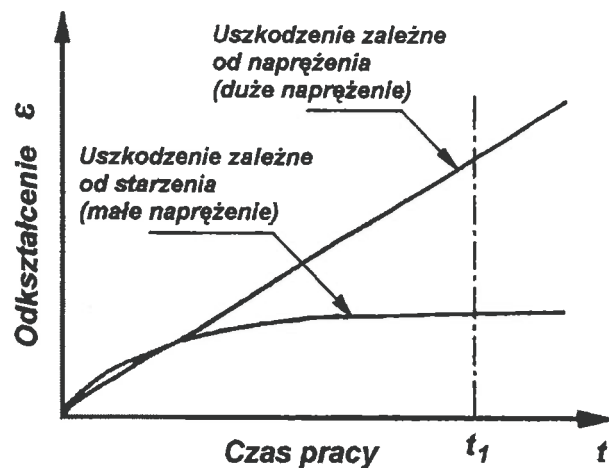
Należy podkreślić, że zużycie metalu pracującego w temperaturach wyższych od temperatury granicznej, jest powodowane jednoczesnym działaniem naprężeń i temperatury:

- pod wpływem naprężenia następuje fizyczne niszczenie metalu począwszy od odkształcenia ziarna, przez pustki pełzaniowe aż po mikro- i makropęknięcia włócznie;
- pod wpływem temperatury występują zmiany w strukturze takie, jak: sferoidyzacja cementytu, koagulacja węglików itp.

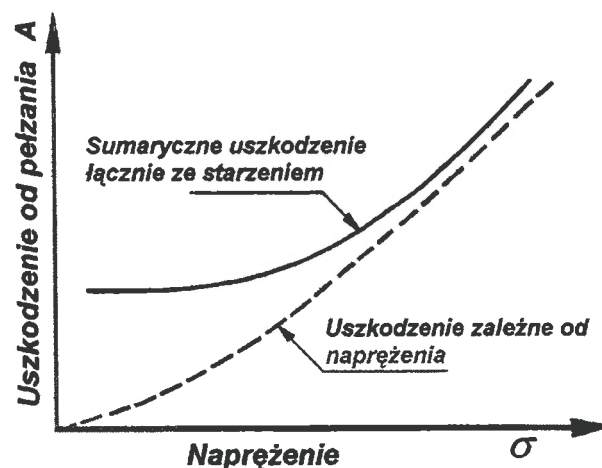
Najwcześniej uszkodzają się węzownice obwiedniowe oraz kolanka, zwłaszcza te, których promień gięcia jest mniejszy od dwóch średnic zewnętrznych rury.

W przypadku elementów poddanych działaniu naprężenia i temperatury uszkodzenie zależy przede wszystkim od liczby pustek oraz ich umiejscowienia, a nie od zmian w strukturze.

Pustki najczęściej pojawiają się w trzeciej fazie pełzania, tj. wtedy, gdy wyczerpanie trwałości od pełzania przewyższa 50%. Natomiast w przypadku elementów poddanych niskim naprężeniom o uszkodzeniach decydują zmiany strukturalne zależne od czasu i temperatury pracy metalu (rys. 1 i 2).



Rys. 1. Odkształcenie w funkcji czasu dla różnych naprężeń



Rys. 2. Stopień uszkodzenia w funkcji naprężenia

Aby określić stopień wyczerpania trwałości węzownic należy znać obliczeniowy i dopuszczalny czas pracy. Obliczeniowy czas pracy  $t_o$  wyznacza się uwzględniając systematyczny przyrost temperatury ścianki i naprężenia na skutek przyrostu warstwy tlenków na wewnętrznej powierzchni rury oraz ubytku grubości ścianki. Po przekroczeniu dopuszczalnego czasu pracy  $t_n$  zwiększa się prawdopodobieństwo uszkodzenia węzownicy. Czas ten powinien stanowić 80% obliczeniowego czasu pracy  $t_o$ . Resztkową trwałość przegrzewacza  $t_a$  można obliczyć ze wzoru:

$$t_a = t_n - t_r \quad (1)$$

gdzie:  $t_r$  — dotychczasowa liczba godzin pracy węzownic,  
 $t_n = 0,8 t_o$ .

Są to obliczenia teoretyczne węzownic, które powinny być wykonywane już przy projektowaniu. Obecnie jednak ciągle dokonuje się obliczeń grubości ścianki węzownic przy niesłusznym założeniu stałości naprężeń i temperatury pracy.

### Ocena stanu węzownic w miarę zbliżania się rzeczywistego czasu ich pracy do czasu dopuszczalnego

Doświadczenia i badania eksploatacyjne potwierdzają ścisły związek między przebiegiem zmian temperatury i czasu jej oddziaływania a grubością warstwy tlenków  $g$ , na wewnętrznej powierzchni rury. Znając grubość warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej oraz rzeczywistą liczbę godzin pracy  $t_r$ , można ustalić równoważną temperaturę pracy ścianki metalu  $T_{ie}$ . Dysponując wartościami długotrwałej wytrzymałości dla temperatury  $T_{ie}$  oraz posługując się znanymi zależnościami ustala się rzeczywisty dopuszczalny czas pracy  $t_{dop}$  oraz wymaganą grubość ścianki dla 100 tys. h lub 200 tys. h pracy —  $g_{(1/2)}$ .

#### Zmierzenie rzeczywistej grubości ścianki

Pomiary wykonuje się z dokładnością do 0,1 mm na odcinkach oczyszczonych z tlenków oraz innych zanieczyszczeń. Kierując się tymi pomiarami można wyselekcjonować rury nieprzydatne do dalszej pracy, a mianowicie te, dla których:

$$g_r < g_{min} = \frac{g_n}{1,15}$$

gdzie  $g_n$  — grubość nominalna.

Jeśli ubytki grubości są małe ( $g_r > g_{min}$ ) jest wskazane obliczenie orientacyjnego czasu pracy  $t'_o$  potrzebnego do osiągnięcia nierówności:

$$g_r \leq g_{min}$$

#### Zmierzenie odkształcenia średnicy wewnętrznej

Pomiarów dokonuje się na dwóch prostopadłych średnicach i oblicza odkształcenie  $\varepsilon$  wg następującego wzoru:

$$\varepsilon = \frac{2(dw_{max} - dw_{min})}{dw_{max} + dw_{min}} 100 \quad [\%]$$

Na dłuższy okres (ponad 200 tys. h) można dopuścić do pracy rury, których odkształcenie  $\varepsilon \leq 2\%$ . Natomiast po uzyskaniu przez rury odkształcenia  $\varepsilon = 4\%$  należy węzownice wymienić. W przypadku odkształcenia nieznacznego, jest wskazane obliczenie orientacyjnego czasu pracy  $t'_o$  potrzebnego do osiągnięcia wartości odkształcenia  $\varepsilon = 2\%$  lub  $\varepsilon = 4\%$ .

Jednak zasadniczym czynnikiem decydującym o dalszej przydatności węzownic ocenianych przegrzewaczy jest rzeczywisty dopuszczalny czas pracy  $t_{dop}$ . Gdy czasy dalszej przydatności, obliczone na podstawie szybkości ubytku grubości i przyrostu odkształcenia ( $t'_o$ ,  $t''_o$ ), są większe od rzeczywistego dopuszczalnego czasu pracy  $t_{dop}$ , to ograniczającym jest właśnie czas  $t_{dop}$ , a w przeciwnym przypadku odwrotnie.

Węzownice przegrzewaczy — jak dotychczas — są wykonane ze stali K18, 16M, 15HM, 10H2M, 13HMF, 20H12M1F i H9AMFN6 i pracują teoretycznie w temperaturze 400—600°C (temperatura ścianki). Niestety, rozrzut temperatury pracy metalu jest znaczny i może być różny nie tylko dla kotłów tego samego typu, lecz nawet dla poszczególnych węzownic tego samego przegrzewacza. Temperatura spalin, przepływ pary oraz zanieczyszczenie powierzchni zewnętrznej rur nie są bowiem jednakowe w podłużnym przekroju kotła. Dlatego też temperatura metalu rur w tym samym przegrzewaczu może się różnić nawet o kilkadziesiąt stopni.

#### Ocena stanu struktury

Integralną częścią oceny dalszej przydatności węzownic jest określenie stopnia degradacji struktury, którą zazwyczaj powinno się wykonywać po osiągnięciu przez węzownice teoretycznego czasu pracy wg danych dokumentacji projektowej. Przekroczenie czasu  $t_n$  oznacza, że należy rozpocząć specjalny nadzór diagnostyczny ocenianego elementu.

Fizyczny stopień degradacji obejmuje różne etapy, i tak do celów diagnostyki przyjęto:

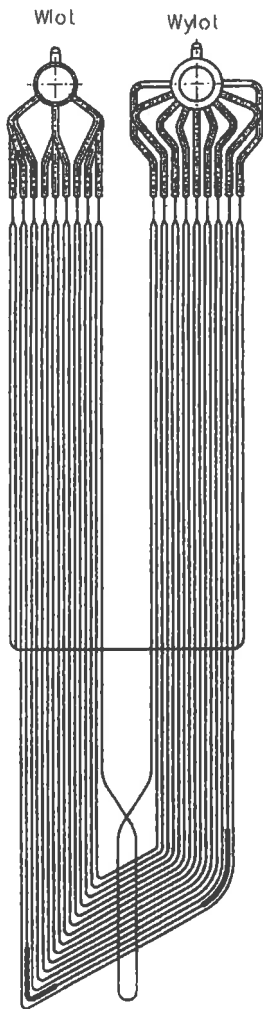
- stopień klasy A — pojedyncze mikropory → element można dopuścić do pracy na ok. 20 tys. h;
  - stopień klasy B — łańcuchy mikropor → wymiana po 10 tys. h;
  - stopień klasy C — mikropęknięciami → wymiana po 3 tys. h.
- Wykrycie makropęknięć klasyfikuje element do natychmiastowej wymiany.

#### Diagnostyka węzownic

Aby skutecznie ocenić trwałość przegrzewaczy należy zastosować kompleksowy system diagnostyki węzownic, składający się z trzech etapów.

##### I. Diagnostyka statystyczna:

- ▶ zbieranie i uszeregowanie informacji o uszkodzeniach (liczba, miejsce, częstotliwość — np. liczba uszkodzeń na każde 100 tys. h),
- ▶ ustalenie przyczyn uszkodzenia oraz zastosowane środki mające na celu ich unikanie,
- ▶ liczba godzin pracy ocenianego elementu  $t_r$ .



Rys. 3. Przykładowe miejsca pobierania próbek do badań

**II. Diagnostyka techniczna:**

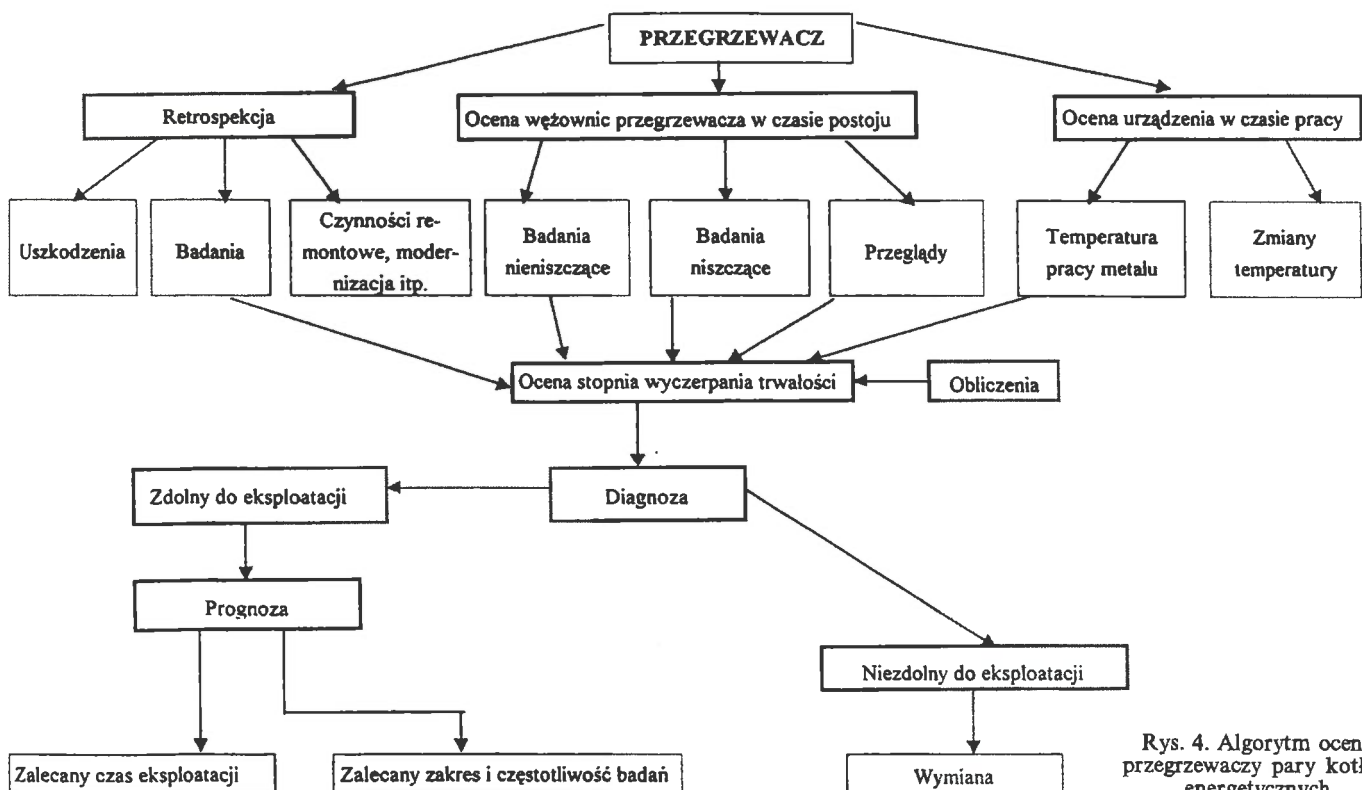
- ▶ przegląd wizualny (wykrycie korozji, erozji, wyboczeń, odkształceń, uszkodzeń zamocowań itp.),
- ▶ badania nieniszczące (pomiar zewnętrzne średnic i grubości ścianki, badania i pomiary kolan, zamocowań i usztywnień przyspawanych do węzownic),
- ▶ badania niszczące na pobranych próbkach (wymiary średnic, grubości ścianki, pomiary grubości warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej, pomiar twardości na przekroju poprzecznym, struktura).

**III. Ocena stanu wyczerpania trwałości metalu:**

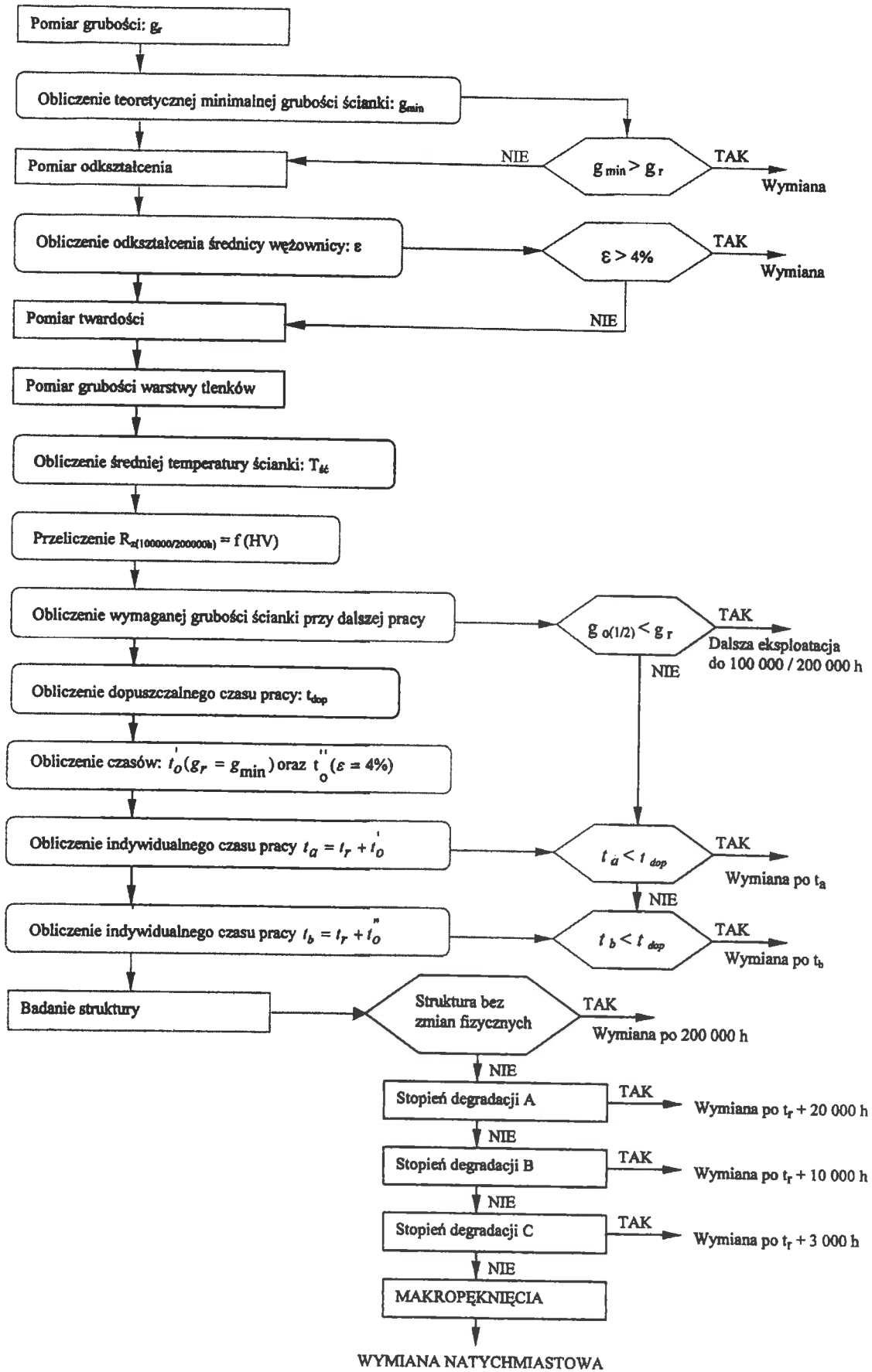
- ▶ ustalenie dopuszczalnego czasu pracy (dalszej przydatności węzownic),
- ▶ ustalenie sposobu, zakresu i terminu naprawy (wymiana częściowa, całkowita lub modernizacyjna).

Największym problemem jest opracowanie i wprowadzenie diagnostyki technicznej. W tym celu, opierając się na wynikach diagnostyki statystycznej oraz oględzin i badań nieniszczących należy ustalić miejsce pobrania próbek. Z praktyki wiadomo, że z reguły najgorsze warunki pracy mają zewnętrzne węzownice w płatach lub grodziach, zwłaszcza u wylotu pary z przegrzewacza.

Ze względu na niejednorodne przepływy pary i spalin warunki pracy metalu węzownic poszczególnych płatów mogą być znacznie zróżnicowane. Miejsca pobrania próbek powinny więc zostać wytypowane na podstawie wyników diagnostyki statystycznej i technicznej oraz oględzin i badań nieniszczących (rys. 3). Najczęściej pobiera się co najmniej 16 próbek z zewnętrznych i środkowych węzownic u wylotu i wlotu pary wraz z kolanami (cztery próbki) z krańcowych czyli przyściennych i środkowych płatów (razem cztery płaty). Następnie należy:



Rys. 4. Algorytm oceny przegrzewaczy pary kotłów energetycznych



Rys. 5. Algorytm oceny przegrzewaczy

- zmierzyć grubość warstwy tlenków na powierzchni wewnętrznej,
- sprawdzić rzeczywiste wymiary, tj. grubość ścianki i średnicę wewnętrzną,
- obliczyć odkształcenie średnicy wewnętrznej,
- zbadać strukturę.

Na podstawie wyników badań i pomiarów można ocenić stan przegrzewacza wg algorytmu przedstawionego na rysunku 5.

Należy podkreślić, że ocena niezawodności eksploatacyjnego przegrzewacza powinna być kompleksowa (rys. 4), tj. wykorzystująca dane dotyczące:

- dotychczasowego stanu technicznego,
- rzeczywistych warunków pracy (temperatura czynnika, spalin, metalu),
- badań, pomiarów i obliczeń.

Ocenę niezawodności ze względu na możliwość zmiany warunków pracy kotła należy okresowo sprawdzać i korygować na podstawie nowo uzyskanych wyników.

### Wnioski

1. Częstość wymian węzownic przegrzewaczy pary w krajowych elektrowniach nie zawsze znajduje uzasadnienie w stopniu ich zużycia.
2. Stosując kompleksową diagnostykę można dość dokładnie ocenić dalszą przydatność węzownic i przewidzieć czas ich dalszej eksploatacji.

3. Ocena diagnostyczna powinna być okresowo powtarzana w celu uściślenia jej wyników.

### LITERATURA

- [1] Cwynar L.: Analityczne wyznaczenie rozrzutu temperatury pary w węzownicach stopnia przegrzewacza. *Energetyka* 1969, nr 5
- [2] Dobosiewicz J.: Ocena stanu przegrzewaczy pary kotłów wysokoprężnych. *Energetyka* 1986, nr 8
- [3] Dobosiewicz J., Miliński P.: Ocena powierzchni ogrzewalnej kotła po długotrwałej eksploatacji. Seminarium RAFAKO SA pt. „Kompleksowa ocena elementów ciśnieniowych kotła oraz prognozowanie czasu ich dalszej bezpiecznej eksploatacji. Katowice 21–23 września 1994 r.
- [4] Dobrzański J.: Degradacja struktury i własności materiału po długotrwałej eksploatacji. Seminarium RAFAKO SA pt. „Kompleksowa ocena elementów ciśnieniowych kotła oraz prognozowanie czasu ich dalszej bezpiecznej eksploatacji. Katowice 21–23 września 1994 r.
- [5] Dobosiewicz J., Krzywda Z.: Niezawodność powierzchni ogrzewalnych w kotłach typu OP-380K i OP-650K. *Energetyka* 1976, nr 4
- [6] Dobosiewicz J.: Uszkodzenia węzownic przegrzewaczy kotłów parowych wskutek przegrzania. *Energetyka* 1986, nr 7
- [7] Dobosiewicz J.: Uszkodzenia węzownic przegrzewaczy kotłów parowych wskutek korozji. *Energetyka* 1989, nr 9
- [8] Dobosiewicz J.: Katalog typowych uszkodzeń powierzchni ogrzewalnych. *Pro Novum*, 1993
- [9] Dobosiewicz J.: Badania diagnostyczne urządzeń cieplnomechanicznych. Wyd. Biuro Gamma, cz. I i II

pronovum

Dr Wojciech Brunné

Pro Novum — Katowice

UKD 621.311:621.644

## Wyczerpanie trwałości materiału lanych czwórników wysokoprężnych rurociągów parowych

Wysokoprężne rurociągi w elektrowniach i elektrociepłowniach cechują się zazwyczaj złożonym przestrzennym kształtem. Te pozornie statyczne, wielkowymiarowe konstrukcje w trakcie wieloletniej eksploatacji podlegają zmiennym w czasie naprężeniom. Źródłem naprężeń są dwa główne czynniki, tj. zmienna temperatura i ciśnienie transportowanego przez rurociągi medium. Rozszerzalność cieplna materiału rurociągów wywołuje siły cieplne, które z kolei powodują występowanie momentów zginających i skręcających o znacznej wartości.

Współcześnie budowane rurociągi wysokoprężne są projektowane na podstawie analizy wyników obliczeń konstrukcyjnych i badań modelowych, co pozwala na zredukowanie do minimum obszarów spiętrzenia naprężeń.

Materiał rurociągów eksploatowanych od kilkunastu czy nawet kilkudziesięciu lat jest narażony na zmęczenie powodowane małą liczbą cykli. Proces technologiczny w elektrowni charakteryzuje się w pewnym uproszczeniu odzerowym trape-

zoidalnym cyklem, który może trwać od kilku dni do kilkunastu miesięcy. Ponieważ amplituda naprężeń jest duża, a częstość zmian niewielka, ten rodzaj zmęczenia można analizować zgodnie z założeniami teorii złożonego zmęczenia małowyciskowego (LCF). Na zmęczenie małowyciskowe są narażone przede wszystkim sztywniejsze elementy czy obszary rurociągu, do których należą kształtki oraz spoiny doczołowe i pachwinowe.

### Warunki pracy głównych rurociągów parowych bloku energetycznego o mocy 200 MW

#### Cykl obciążeń termicznych

Z głównych rurociągów parowych bloku energetycznego o mocy 200 MW interesują nas rurociągi pary świeżej pracujące w temperaturze  $+540^{\circ}\text{C}$  i pod ciśnieniem 13,5 MPa oraz rurociągi pary wtórnie przegrzanej ( $+540^{\circ}\text{C}$ , 2,85 MPa).