

## Podsumowanie i wnioski

Wprowadzenie zaawansowanych strategii remontowych (CBM, RCM, RBI) należy rozpocząć od uporządkowania i weryfikacji udokumentowanych informacji oraz zorganizowania procesu systemowego przekształcania ich w aktualną wiedzę.

Archiwizowanie wybranych informacji i generowanie na ich podstawie użytecznej wiedzy powinno być traktowane jako działanie długofalowe, aż do końca resursu urządzeń.

- ◆ Jedynym, oczywistym źródłem wiedzy o stanie technicznym obiektu jest diagnostyka remontowa i eksploatacyjna.
- ◆ Nie każdy wynik badania można traktować jak informację wartą umieszczenia w bazie danych, nie każda interpretacja (diagnoza, prognoza) ma status wiedzy.
- ◆ Strategii remontowych opartych na systemowo generowanej wiedzy (CBM, RCM, RBI) nie można traktować wyłącznie jako narzędzi redukcji kosztów. To przede wszystkim metodologie wspomagające wydłużanie czasu eksploatacji, a więc dające szanse ograniczenia nakładów na obsługę techniczną urządzeń w dłuższej perspektywie, także poprzez rezygnację z kosztownych i często nieuzasadnionych nakładów inwestycyjnych.

- ◆ LM SYSTEM PRO® może być użytecznym narzędziem wspomagającym wypracowane strategie remontowe przede wszystkim w zakresie proceduralnie zorganizowanej analizy stanu technicznego urządzeń. Stwarza dobre warunki dla obiektywnej weryfikacji często uproszczonych i intuicyjnych argumentów strategicznych i ekonomicznych.

## LITERATURA

- [1] Georg E.W. Sturm F.A.: Effective Plant Management Through Intelligent Diagnostic In the Power Plant. *VGB Power Tech.* 9/2003
- [2] Risk-Based Methods and the ASM handbook. Raport ASME – C535/029/98
- [3] Manney D.A.: Economic Optimization of Multiply Comparant Replacement Inspection in the Power System Environment. *ASME Publication PVP* Vol. 251, July 1993
- [4] Cockburn A.: Just-In-Time Methodology Construction. *Humans & Technology* '2003, arc@cm.org
- [5] Mc Elroy, Burton J.: EPRI Solutions. American Electric Power. Proceedings of the seminar: Risk-Based Management of the Power Plant Equipment. London, 21–23 October 2003
- [6] Balistreri R., Delle Site C., Tonti: Application of RBI in a Petrochemical Plant. Proceedings of the Conference: Probabilistic Life/Crack Assessment and Preventive Maintenance in Industrial Plant. Cambridge Churchill Colledge, 21–22 September 2004



Ewa Zbroińska-Szczuchura, Jerzy Dobosiewicz  
*Pro Novum Sp. z o.o.*

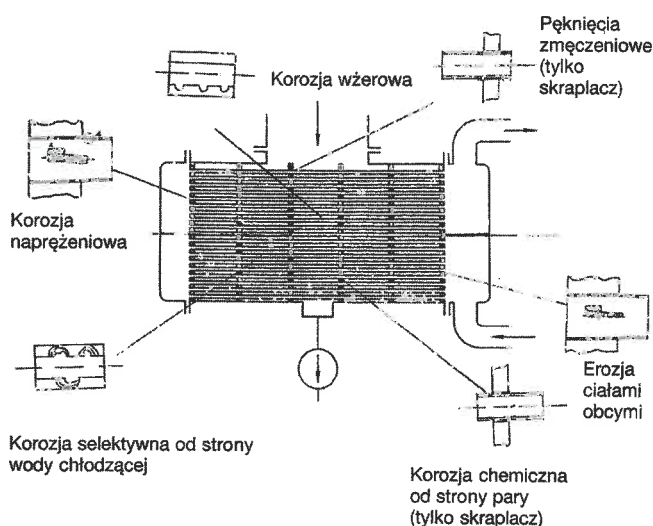
## Uszkodzenia i diagnostyka wymienników ciepła w elektrociepłowniach

Znaczący wpływ na niezawodność wymienników ciepłych (skraplaczy, podgrzewaczy regeneracyjnych, wymienników woda-woda itp.) mają: konstrukcja, materiał i warunki wodne.

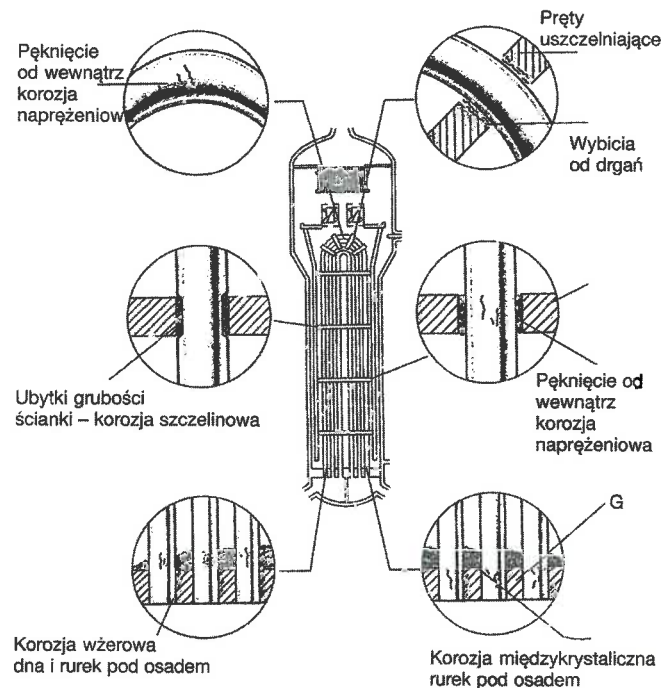
Najczęściej ulegają uszkodzeniom wkłady rurowe, których nieszczelności powstają wskutek:

- ◆ korozji – chemicznej selektywnej naprężeniowej wżerowej } elektrochemiczne
- ◆ erozji – wodą parą mieszkanką parowodną
- ◆ zmęczenia – w wyniku drgań.

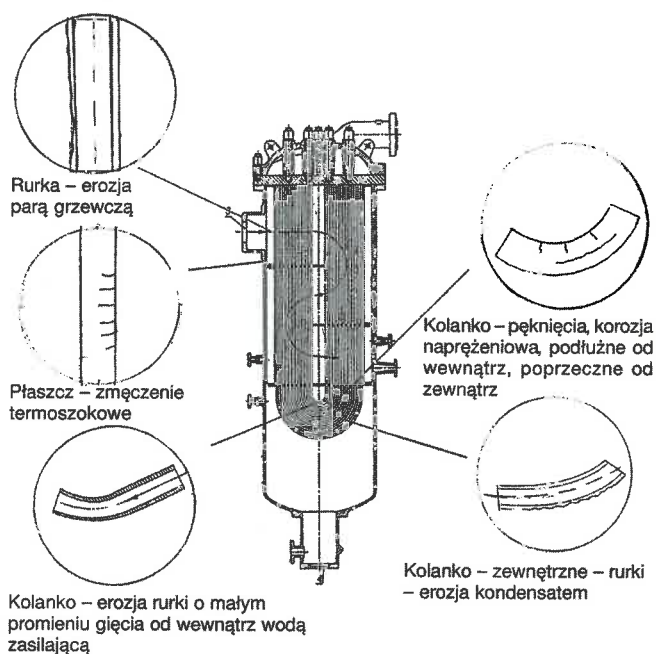
Umiejscowienie nieszczelności związane jest ściśle z przyczyną ich powstawanie (rys. 1–3).



Rys. 1. Umiejscowienie nieszczelności w wymienniku poziomym



Rys. 2. Umiejscowienie nieszczelności wkładów rurowych z U-rurkami w przestrzeni parowej



Rys. 3. Umiejscowienie nieszczelności wkładów rurowych w wymiennikach z U-rurkami w przestrzeni kondensatu

Należy podkreślić, że większość uszkodzeń w podgrzewaczach regeneracyjnych powodowana jest procesami erozyjnymi zachodzącymi od strony pary i wody.

Uszkodzenia od strony wody pojawiają się:

- przeważnie na wlocie wody na kolankach w zależności od ich promieni gięcia,
- w okolicy wypływek przy spoinach.

Natomiast od strony pary:

- w okolicy wlotu pary, a szczególnie w przypadku uszkodzenia osłony przeciwerozyjnej; w tym rejonie mogą występować również termozokowe pęknięcia na płaszczu,
- w dolnej części podgrzewacza na kolankach, szczególnie w okolicy wlotu kondensatu (erozjo-korozja).

Ponadto w tego rodzaju wymiennikach często występują uszkodzenia powodowane korozją naprężeniową na kolankach (pęknięcia podłużne w obojętnej strefie gięcia), zwłaszcza w przypadku rurek wykonanych ze stali nierdzewnej. Natomiast w skraplaczach i wymiennikach ciepłowniczych przeważają uszkodzenia korozyjne.

Istotny wpływ na charakter uszkodzeń ma materiał, z którego zostały wykonane rurki wkładu.

Wkłady skraplaczy, wymienników woda-woda oraz podgrzewaczy niskoprężnych są najczęściej wykonywane ze stopów miedzi; mosiądzów lub rzadziej miedzioniklowych. Natomiast wkłady podgrzewaczy regeneracyjnych wysokoprężnych wykonuje się zazwyczaj ze stali węglowych, rzadziej nierdzewnych lub nawet kwasoodpornych (austenitycznych), które w pewnych warunkach są mało odporne na korozję naprężeniową.

W tabeli 1 podano ocenę zachowania się niektórych stopów miedzi i żelaza oraz tytanu w różnych warunkach pracy. Najbardziej uniwersalny okazał się tytan i niektóre stopy miedzi, zwłaszcza niklowe. Stop MZN101 uzyskał odporność na korozję punktową oraz podosadową większą niż innych stopów miedzi. Nie ulega on korozji selektywnej i jest odporny na korozję naprężeniową.

Tabela 1

Porównawcza ocena trwałości rurek stosowanych na skraplacze (wg BBC)

Przyczyny uszkodzeń	Materiał rurek					
	MC70+ +As	MA77+ +As	90/10	70/30	SN	T
Korozja ogólna	2	3	4	4	5	6
Erozja korozyjna	2	2	4	5	6	6
Korozja wżerowa (podczas pracy)	4	4	6	5	4	6
Korozja wżerowa przy wodzie w stagnacji	2	2	5	4	1	6
Zwiększona prędkość przepływu wody	3	3	4	5	6	6
Erozja na napływie wody	2	2	3	4	6	6
Erozja od strony pary	2	2	3	4	6	6
Pęknięcie pod naprężeniem	1	1	6	5	1	6
Korozja chlorkowa	3	5	6	5	1	6
Korozja amoniakowa	2	2	4	5	6	6

90/10 i 70/30 - stopy miedzioniklowe z udziałem 10 i 30% Ni,

SN - stal nierdzewna,

T - tytan,

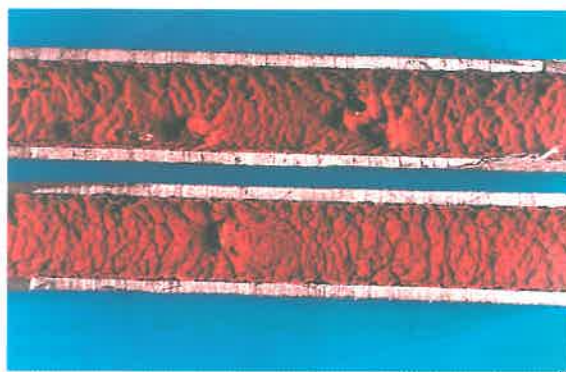
6 - bardzo dobra, 5 - dobra, 4 - zadowalająca, 3 - wystarczająca, 2 - dostateczna, 1 - niedostateczna



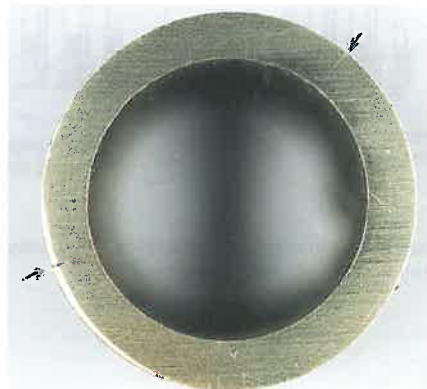
Rys. 4. Odcynkowanie powierzchni  
a) zewnętrznej, b) wewnętrznej



Rys. 5. Korozja międzykrystaliczna na powierzchni  
a) zewnętrznej, b) wewnętrznej



Rys. 6. Osady na powierzchni wewnętrznej



Rys. 7. Pęknięcia na przekroju poprzecznym  
(korozja naprężeniowa)



Rys. 8. Pęknięcia na pow. zewnętrznej rury na odcinku końcowym



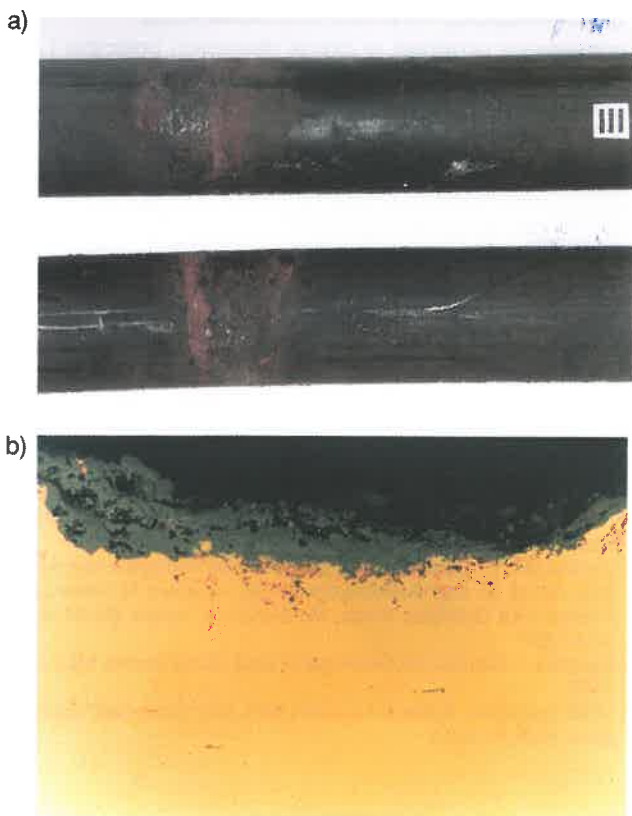
Rys. 9. Osady na powierzchni zewnętrznej wymiennika



Rys. 10. Erozja czynnikiem (para grzewcza) na powierzchni zewnętrznej



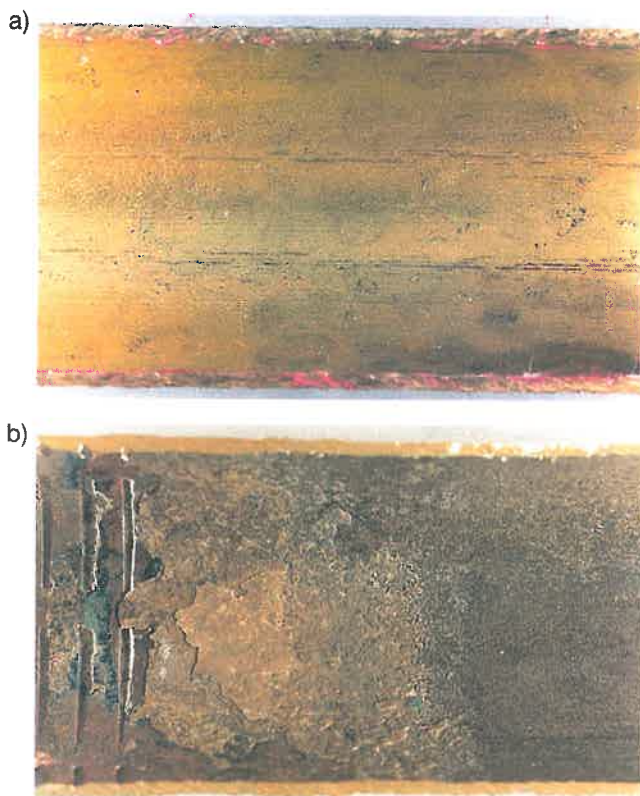
Rys. 11. Erozja czynnikiem (woda zasilająca) na powierzchni wewnętrznej rury o małym promieniu gięcia



Rys. 12. Wybicia w miejscu przejścia rurki przez usztywnienia a) atak korozyjny w miejscu wybicia b)



Rys. 13. Pęknięcia od wewnętrznej powierzchni (poprzeczne i równoległe)



Rys. 14. Powierzchnia wewnętrzna rurek po oczyszczeniu osadów a) pęknięcia wzdłużne, b) erozja

Decyzja o celowości zamiany materiału wkładu rurowego, dla istniejącego wymiennika pracującego w określonych warunkach, powinna być poprzedzona techniczno-ekonomiczną analizą. Wyjściowymi danymi do analizy są:

- ◆ przeznaczenie urządzenia, tj. miejsce w obiegu wodno-parowym,
- ◆ parametry cieplne czynników,
- ◆ parametry chemiczne czynników,
- ◆ fizykochemiczne własności metalu rurek.

Wpływ typu pracy turbiny na wybór metalu rurek skraplacza jest bardzo istotny, na przykład przy przejściu turbiny ciepłowniczej z pracy w układzie kondensacyjnym na ciepłowniczy, skraplacz praktycznie jest wyłęczony, a warunki pracy wymienników sieciowych i regeneracyjnych niskociśnieniowych ulegają zmianom.

Również przy zamianie stopów miedzi na stal zachodzi obniżenie współczynnika przejmowania ciepła ( $\alpha$ ), który może ulec obniżeniu o 25–45%.

Ogólnie biorąc, im wyższe parametry grzejącego i nagrzewanego medium, tym znaczniejszy wpływ na sprawność urządzenia ma opór cieplny ścianki rurki wymiennika.

Ponadto przy zamianie stopów miedzi na rurki ze stali nierdzewnej w skraplaczach wzrasta niedogrzenie wody chłodzącej, co może powodować podwyższenie ciśnienia pary, a tym samym obniżenie mocy turbiny.

Dla podgrzewaczy wody sieciowej gdzie należy dokładnie utrzymywać parametry sieci, obniżenie współczynnika przejmowania ciepła metalu rurek powoduje niedogrzenie wody.

Przy względnie wysokiej odporności stali nierdzewnych i austenitycznych na korozję należy uwzględniać ich skłonność do korozji naprężeniowej, szczególnie w środowiskach zawierających jony chloru.

Doświadczenia wskazują, że przy zamianie rurek z metali kolorowych na stalowe częstotliwość drgań własnych wzrasta nawet o 40%.

## Zakres badań diagnostycznych

Ze względu na różnorodne czynniki wpływające na stan wymienników cieplnych, a tym samym na ich niezawodność, konieczne jest wykonywanie badań diagnostycznych w podanym niżej zakresie:

1. Skraplacze i wymienniki wody grzewczej:
  - przeglądy od strony pary i wody sieciowej,
  - oględziny (endoskop) od strony wody chłodzącej,
  - badania nieniszczące-prądowirowe od strony wody chłodzącej wszystkich rurek lub jedynie wybranych stale tych samych,
  - badania niszczące przez pobór próbek z rurek uszkodzonych i nieuszkodzonych,
  - analiza składu chemicznego osadów wydzielonych na obu powierzchniach rurek.
2. Podgrzewacze regeneracyjne oraz inne wymienniki ciepła:
  - przeglądy endoskopowe powierzchni wewnętrznej rurek i płaszczu oraz oględziny powierzchni zewnętrznej, szczególnie w okolicach den i przegród,
  - badania niszczące uszkodzonych i nieuszkodzonych rurek w miarę możliwego dostępu do nich,
  - pomiary grubości ścianek, kolanek rurek i płaszczu,
  - badania nieniszczące płaszczu w miejscach dostępnych wymienników (ultradźwięk) w okolicy dolotu pary, spoin, kotłnierzy itp.

Wymienione badania należy wykonywać w czasie każdego remontu turbiny, nie rzadziej jednak jak co 30 000–40 000 h.

Współczynnikami, które mogą być brane pod uwagę przy ocenie stanu skraplaczy oraz innych wymienników cieplnych są wiek i liczba uszkodzonych rurek. Wg badań EPRI ustalono cyfrowe kryterium wymiany tych rur (kryterium to nie zawiera kosztów wymiany).

Ostateczne decyzje powinny być podjęte na podstawie analizy kosztów usuwania nieszczelności i strat wywołanych postojami urządzenia z powodu nieszczelności. Kryterium to jest wyrażone matematycznie następująco:

$$R = 0,1078P\sqrt{\gamma}$$

gdzie:

P – stosunek rurek uszkodzonych do ogólnej ilości rurek,  
 $\gamma$  – lata pracy rurek.

jeżeli:

$1 < R < 2$  – rurki należy przewidzieć do wymiany,

$R \geq 2$  – rurki należy wymienić koniecznie.

Wszystkie wymienniki mają zazwyczaj powierzchnie wymiany ciepła zaprojektowane z nadmiarem. Powszechnie uważa się za celową wymianę wkładu lub rurki (np. w skraplaczu) w przypadku, gdy liczba zakończonych rur przekracza 10% ogólnej ich liczby.

## Profilaktyka

Zapobieganie uszkodzeniom w przypadku znajomości stanu rurek powinno polegać na:

- uzdatnianiu wody chłodzącej, zasilającej lub kondensatu przez dodatek odpowiednich związków chemicznych,
- wytwarzaniu warstw ochronnych na powierzchniach wewnętrznych rurek,
- okresowym lub stałym oczyszczaniu rurek, dotyczy to szczególnie skraplaczy i wymienników woda-woda,
- konserwacji urządzeń w czasie dłuższych postojów i koniecznym opróżnianiu z wody chłodzącej lub utrzymaniu jej przepływu przy postojach krótkich, 1–14 dni.

## LITERATURA

- [1] Dobosiewicz J.: Awaryjność skraplaczy turbin. *Energetyka* 1994, nr 11
- [2] Zbrońska-Szczuchura E.: Materiały stosowane na rurki skraplaczy turbin parowych. *Energetyka* 1994, nr 11
- [3] Miller S.: Replacement feed water heaters how to evaluate them. *Power Engineering*, September 1985
- [4] Czyżowicz S., Millński P.: Przyczyny uszkodzenia U-rurek chłodnicy pary podgrzewacza niskoprężnego i proponowane środki zaradcze. *Energetyka* 1995, nr 8
- [5] Jankowski J., Głowacka M.: Uszkodzenia korozyjne wymienników ciepła ze stali austenitycznej 18/8. Krajowa Konferencja – Politechnika Gdańska, Wydz. Mechaniczny, Jurata 22–24 września 1997
- [6] Douglas J.: Solution for steam generators. *EPRI Journal*, May/June 1995
- [7] VGB Guideline: Tubes for Condensers and Other heat Exchangers. VGB\_R106Le

