

Tabela 1  
Siły wzdłużne  $T$  dla rurek pęczka chłodnicy

Wymiar i materiał rurek		Siła $T$ [N]	
		lato	zima
24 × 1	MC70	-308,8	582,29
25 × 1	MC70	-323,67	606,23
24 × 1,5	MC70	-111,52	880,24
25 × 1,5	MC70	-115,76	917,42
24 × 1	MA77	-10,62	618,97
25 × 1	MA77	-12,39	644,59
24 × 1,5	MA77	-13,66	910,18
25 × 1,5	MA77	-16,27	948,64
24 × 1	MNŻ101	479,15	620,49
25 × 1	MNŻ101	498,92	646,42
24 × 1,5	MNŻ101	704,66	912,05
25 × 1,5	MNŻ101	734,35	950,96

- [2] Blijudow W.P.: Kondensacyjnye ustrojstwa parowych turbin. G.E.I. 1951  
 [3] Miller S.S.: Condenser vibration analysis by mikrocomputer. *Power Engineering* 1985, nr 11  
 [4] Wytyczne rekonstrukcji skraplaczy turbin parowych. Energopomiar, Gliwice 1957  
 [5] Ochędusko S.: Teoria maszyn ciepłych — Tablice. PWT, Warszawa 1953  
 [6] Kurowski R., Parzowski Z.: Zbiór zadań z wytrzymałości materiałów PWN, Warszawa 1962  
 [7] Soler A. I.: Thermal stresses and initial deformation of heated condenser tubes. *Journal of Engineering for Power*, 1973 nr 4  
 [8] Saunders E. A. D.: Heat exchanger selection at construction. Longman, 1988  
 [9] Anderson George A.: Condenser tube mechanical considerations. *Power Engineering* 1975, nr 2  
 [10] Pawlik-Dobrowolski S., Winnicki A.: Sposób obliczania sił wzdłużnych działających na rurki górnego pęczka w skraplaczu, na przykładzie skraplacza turbiny TK-50. *Energetyka* 1997, nr 9

Errata do artykułu: „Sposób obliczania sił wzdłużnych działających na rurki górnego pęczka w skraplaczu, na przykładzie skraplacza turbiny TK-50”, opublikowanego w „Energetyce” 1997, nr 9.  
 W pozycji [8] literatury błędnie podano nazwisko Saunders; ma być Saunders.

#### LITERATURA

- [1] Pawlik-Dobrowolski S., Winnicki A.: Obliczenia drgań rurek skraplacza na przykładzie skraplacza turbiny TK-50. *Energetyka* 1997, nr 3

PRO NOVUM

Dr inż. Jerzy Trzeszczyński, mgr inż. Ewald Grzesiczek

UKD 658.589:621.311

Pro Novum — Katowice

Rafako Energo — Katowice

## Wymieniać czy rewitalizować?

Problem zasygnalizowany w tytule występuje zawsze wtedy, gdy ze względu na stan techniczny elementu należy rozstrzygnąć czy:

- ▶ wykonać klasyczną (w minimalnym zakresie) naprawę dopuszczającą element do eksploatacji na okres do najbliższego remontu kapitalnego, licząc się jednak z możliwością ponownego wystąpienia uszkodzeń;
- ▶ wymienić element na nowy o identycznej lub podobnej konstrukcji;
- ▶ przeprowadzić rewitalizację, tj. sekwencję takich działań, które pozwolą przywrócić pierwotne cechy użytkowe elementu.

W niektórych przypadkach, gdy wymiana elementu może prowadzić do wzrostu sprawności (np. wirnik o zmienionej konstrukcji) lub obniżenia emisji substancji, których ilość jest ściśle limitowana (np. nowe palniki w kotle) wymiana połączona z modernizacją może być traktowana jako postępowanie bardziej racjonalne.

Kompleksowe rozstrzygnięcie tego problemu wymaga jednak na ogół szerszej analizy technicznej (m.in. uwzględnienia stopnia zużycia pozostałych elementów, stanu urządzeń technicznych) oraz — co oczywiste i decydujące — określenia ekonomicznych skutków przedsięwzięcia.

### Warunki pracy a stan techniczny elementu

Najczęściej przyjmuje się, że stan techniczny elementu po długotrwałej eksploatacji jest funkcją warunków pracy, tj.

specyficznego dla określonego elementu korozyjno-erozyjnego oddziaływania środowiska oraz temperatury i naprężeń. Doświadczenie remontowe wskazuje jednak, że stanowi to tylko część prawdy. Aktualny stan techniczny elementu zależy bowiem — oprócz warunków eksploatacji — także od jego początkowego stanu technicznego uzyskanego u producenta oraz zakresu i sposobu wykonywania remontów, w tym głównie napraw. Ma to szczególne znaczenie w przypadku elementów odlewanych (kadłubów turbin i komór zaworowych), które charakteryzują się ewidentnymi błędami obróbki cieplnej oraz licznymi wadami odlewniczymi.

W takich sytuacjach jest możliwe — co zakrawa na paradoks — uzyskanie po rewitalizacji własności metalu lepszych niż w stanie początkowym. Pospieszne, „kosmetyczne” wykonywanie napraw — ograniczające się do usuwania pęknięć, spawania ubytków elektrodami austenicznymi lub o składzie zbliżonym do składu metalu kadłuba, ale bez obróbki cieplnej lub z obróbką cieplną źle wykonaną — może spowodować częstsze występowanie pęknięć w miejscu naprawy niż w strefach najbardziej obciążonych ze względu na warunki pracy.

W przypadku kadłubów turbin innym, często spotykanym działaniem „na skróty” jest stosowanie obróbki mechanicznej jako jedynej zabieg mającego skorygować nadmierną deformację. Praktyka remontowa pozwala zakwalifikować takie działanie jako ewidentny błąd. Legalizowanie nieodprężonego kadłuba (naprężenia spawalnicze i eksploatacyjne) pozwala zapewnić mu „właściwą” geometrię na czas montażu i do pierwszego nagrzania turbiny. W dalszej eksploatacji prowadzi

Tabela 1

Warunki pracy	Materiał	Uszkodzenia	Zakres badań i oceny stanu technicznego	Zakres rewitalizacji
<b>Walczak</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Naprężenia statyczne</li> <li>◊ Naprężenia zmienne</li> <li>◊ Naprężenia termoszokowe</li> <li>◊ Środowisko korozyjne</li> <li>◊ Temperatura ~320°C</li> </ul>	m.in. 18CuNMT, 15NCuMNB, K22M	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pęknięcia zmęczeniowe</li> <li>2. Pęknięcia korozyjno-zmęczeniowe</li> <li>3. Pęknięcia termoszokowe</li> <li>4. Starzenie materiału (w stalach z miedzią)</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Badania defektoskopowe</li> <li>◊ Pomiar owalizacji i strzałki ugięcia</li> <li>◊ Badania metalograficzne</li> <li>◊ Udarność — temp. przejścia w stan kruchy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Naprawa pęknięć</li> <li>◊ Modernizacja węzłów zawierających błędy konstrukcyjne</li> <li>◊ Obróbka cieplna całego walczaka</li> </ul>
<b>Kadłuby turbin</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Naprężenia statyczne</li> <li>◊ Naprężenia zmienne (cieplne)</li> <li>◊ Naprężenia termoszokowe</li> <li>◊ Temperatura ~530÷350°C</li> </ul>	L21HMF L17HMF L20HM L16M	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pęknięcia zmęczeniowe</li> <li>2. Pęknięcia termoszokowe</li> <li>3. Deformacja</li> <li>4. Spadek własności wytrzymałościowych i plastycznych</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Badania defektoskopowe</li> <li>◊ Badania niszczące (metalograficzne, badania udarowości, pomiar twardości)</li> <li>◊ Pomiar geometrii</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Naprawa pęknięć</li> <li>◊ Termiczne prostowanie</li> <li>◊ Obróbka cieplna w piecu (regeneracja struktury — poprawa plastyczności)</li> </ul>
<b>Komory zaworowe</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Naprężenia statyczne</li> <li>◊ Naprężenia zmienne</li> <li>◊ Naprężenia termoszokowe</li> <li>◊ Temperatura ~530°C</li> </ul>	L21HMF L17HMF	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pęknięcia zmęczeniowe i termoszokowe</li> <li>2. Pęknięcia peźzaniowe</li> <li>3. Spadek własności wytrzymałościowych i plastycznych</li> <li>4. Pęknięcia i erozyjne ubytki oraz luzowanie się dyfuzorów</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Badania defektoskopowe</li> <li>◊ Badania niszczące (metalograficzne, badania udarowości, pomiar twardości)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Naprawa pęknięć</li> <li>◊ Zmiany konstrukcyjne w komorze parowej</li> <li>◊ Regeneracja dyfuzora</li> </ul>
<b>Sprzęgła główne (wirnik NP — generator)</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Naprężenia statyczne (od wirowania)</li> <li>◊ Naprężenia udarowe (podczas zwarcia w układzie elektrycznym)</li> <li>◊ Naprężenia zmienne</li> </ul>	Stale węglowe wyższej jakości oraz stopowe typu HM i HNM	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Uszkodzenia osadzenia (otwór centralny)</li> <li>2. Owalizacja otworów śrubowych</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Pomiary geometrii otworu centralnego i otworów śrubowych</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Przywrócenie właściwych wymiarów otworów śrubowych i otworu centralnego</li> </ul>
<b>Segmenty dyszowe WP (turbiny 200 MW)</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Naprężenia statyczne</li> <li>◊ Naprężenia zmienne</li> <li>◊ Erozyjne oddziaływanie czynnika (na łopatkę)</li> <li>◊ Temperatura ~530°C</li> </ul>	15H11MF	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pęknięcia</li> <li>2. Uszkodzenia uszczelnienia</li> <li>3. Ubytki erozyjne</li> <li>4. Deformacje</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Badania defektoskopowe</li> <li>◊ Pomiary geometrii</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Naprawa pęknięć</li> <li>◊ Naprawa ubytków erozyjnych</li> <li>◊ Naprawa uszczelnienia (wraz z modernizacją)</li> <li>◊ Przywrócenie właściwej geometrii</li> </ul>
<b>Tarcze kierownicze</b>				
<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Naprężenia statyczne</li> <li>◊ Naprężenia zmienne</li> <li>◊ Wysokie temperatury<sup>a)</sup></li> </ul>	Stale typu HMF, HM, stale węglowe lub żeliwo (w zależności od temperatury pracy)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pęknięcia spoin bandaż/tarcze</li> <li>2. Pęknięcia spoin bandaż/łopatkę</li> <li>3. Pęknięcia i/lub erozyjne ubytki łopatek</li> <li>4. Nadmierne deformacje</li> <li>5. Zwiększenie objętości — zmiana własności (dotyczy tarcz żeliwnych)</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Badania defektoskopowe</li> <li>◊ Pomiar geometrii</li> <li>◊ Pomiar strzałki ugięcia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◊ Naprawa pęknięć</li> <li>◊ Naprawa ubytków erozyjnych</li> <li>◊ Pomiar strzałki ugięcia (atestacja tarczy po naprawie)</li> </ul>
<sup>a)</sup> dotyczy: temp. >450°C dla tarcz ze stali stopowych, temp. >320°C dla tarcz ze stali węglowych, temp. >270°C dla tarcz żeliwnych.				

to często do konieczności napawania wytoczeń i płaszczyzn podziałowych w celu uzyskania wymaganego kształtu oraz/lub do indywidualnej obróbki siedzeń pod nakrętki śrub szpilkowych.

Działania remontowe o doraźnym charakterze powodują zatem, że problem: wymieniać czy rewitalizować? powstaje dużo wcześniej niż wynikałoby to z wpływu czasu i warunków eksploatacji.

### Błędy konstrukcyjne a przyspieszone zużycie elementu

Naprężenia w elemencie zależą od charakteru procesu, który w nim zachodzi oraz od jego konstrukcji. Nieoptymalne lub błędne rozwiązania konstrukcyjne prowadzą do wzrostu naprężeń lokalnych i przyspieszonego zużycia (pęknięcia). W elementach, które wg obecnego stanu wiedzy poddaje się rewitalizacji dostrzega się m.in. następujące błędy konstrukcyjne:

- ◆ w komorach zaworowych: wadliwe ukształtowanie żeber ukierunkowujących strumień pary, nieoptymalne ukształtowanie obszarów w sąsiedztwie siedziska grzyba;
- ◆ w walczakach: wadliwe rozwiązania króćców, sposoby mocowania separacji oraz ukształtowanie urządzeń służących do rozprężu wody zasilającej;
- ◆ w segmentach dyszowych: nietrwale uszczelnienie (tzw. daszek segmentu dyszowego WP turbin 200 MW).

Podczas rewitalizacji istnieje możliwość usunięcia tych błędów, co sprawia, że wymienione węzły konstrukcyjne przestają być potencjalnymi strefami występowania uszkodzeń.

### Kryteria kwalifikacji elementów do rewitalizacji

Wśród przesłanek technicznych za najważniejsze należy uznać:

- stan techniczny elementu, a w szczególności: liczbę, miejsce, charakter pęknięć, wielkość deformacji, stan struktury, własności wytrzymałościowe, w tym plastyczne;
- gatunek materiału i stan obróbki cieplnej;
- konstrukcję elementu.

Wykaz elementów, których sens rewitalizacji potwierdziła dotychczasowa praktyka remontowa wraz z opisem warunków pracy, sposobu badania i najczęstszych uszkodzeń przedstawiono w tabeli 1.

Nasze doświadczenia w odniesieniu do kadłubów turbin i komór zaworowych wskazują, że praktycznie każde ich uszkodzenie może być naprawione, a własności początkowe materiału przywrócone. Ta sama uwaga odnosi się do rewitalizacji płaszczyz walczaków.

W przypadku sprzęgieł problem jest znacznie prostszy, gdyż warunki ich pracy nigdy nie prowadzą do zmian własności materiału. Należy tylko przywrócić wymagane wymiary, co jest zabiegiem dość prostym. Wcześniejsze próby tulejowania otworów śrubowych sprzęgieł wskazują, że poszukiwanie sposobu uniknięcia wymiany sprzęgieł ma już wieloletnią historię.

Z uwagi na konstrukcję, warunki pracy (w tym także możliwe do przewidzenia konsekwencje zmian tych warunków wywołanych modernizacją turbiny — wzrost mocy, dodatkowe upusty ciepłownicze) rewitalizację tarcz kierowniczych należy traktować inaczej niż pozostałych elementów wymienionych w tabeli 1. Problem sprowadza się w zasadzie do:

- ⇒ wykrycia uszkodzeń w postaci pęknięć i ich naprawy,
- ⇒ korekty profilu łopatek w przypadku ich pęknięć, uszkodzeń mechanicznych i ubytków erozyjnych,

⇒ pomiarów geometrii i porównania deformacji z dopuszczalnymi ich wartościami,

⇒ wykonania kompletnych badań, pomiarów i obliczeń potwierdzających przydatność tarcz do dalszej eksploatacji (także do warunków pracy zmienionych na skutek modernizacji turbiny).

Zagadnienia związane z naprawą tarcz kierowniczych zostaną opisane obszerniej w jednym z następnych Biuletynów *Pro Novum*.

### Korzyści z rewitalizacji

Dla elementów, które nie wpływają istotnie na sprawność rewitalizacja może być traktowana jako w pełni akceptowalna alternatywa wymiany. Możliwość przywrócenia początkowych cech użytkowych elementu połączona z usunięciem błędów konstrukcyjnych i modernizacją nieoptymalnie ukształtowanych węzłów konstrukcyjnych potwierdza jej sens techniczny.

Ekonomiczne korzyści wydają się być równie zachęcające. Za 30—40% ceny nowego uzyskuje się element o zbliżonych cechach. Biorąc pod uwagę koszt wymiany takich elementów jak walczak czy kadłub turbin parowych można zaryzykować twierdzenie, że poddając je rewitalizacji uzyskuje się środki na modernizację prowadzącą do poprawy wskaźników ekonomicznych na etapie wytwarzania. Z uwagi na okres potrzebny do wykonania nowego elementu wymiana musi być precyzyjnie zaplanowana, a rewitalizacja powinna. Rewitalizacja może być wykonana doraźnie nie wpływając istotnie na termin remontu; jest to korzyść, która została już przez wielu doceniona.

Czy z punktu widzenia użytkownika rewitalizacja ma minusy? Właściwie przeprowadzona — żadnych. Pewnym mankamentem jest fakt, że — technologicznie rzecz biorąc — wymaga licznego zespołu o wysokich kwalifikacjach i dużym doświadczeniu. Jest to naturalna konsekwencja faktu, że o ile nowe elementy (nawet najbardziej złożone) są na ogół identyczne, o tyle rewitalizacja każdego elementu to odrębny kompleks zagadnień technicznych do rozwiązania. Nie jest to jednak zmartwienie zamawiającego usługę.

### Podsumowanie

Dyskusja, jaka się toczy wokół problemu: wymieniać czy rewitalizować?, a w szczególności argumenty oponentów rewitalizacji, może wywoływać wrażenie, że jest to nowy, kontrowersyjny sposób rozwiązywania problemów technicznych. Taki wniosek byłby daleki od prawdy. W krajach o zaawansowanej technologii i adekwatnych możliwościach finansowych rewitalizuje się od dawna różne elementy urządzeń energetycznych. Przykładami publikacji na ten temat mogą być artykuły [1, 2] w *EPRI Journal* oraz *Power*. Wszyscy, którzy orientują się w działalności Energy Power Research Institute z pewnością przyznają, że filozofia działania tej instytucji nie ma nic wspólnego z głoszeniem herezji i technologicznego średniowiecza.

### LITERATURA

- [1] Viswanathan V.: Advances in Weld Repair Technology. *EPRI Journal*, May/June 1996
- [2] Reason J.: Weld repair of h-p diaphragms saver replacement cost. *Power*, February 1983

pro•novum