

Możliwość i warunki przedłużania czasu eksploatacji zrewitalizowanych elementów stalowych turbin parowych

Possibilities and conditions necessary to extend the service life of steam turbines cast steel elements

Przedłużanie czasu pracy urządzeń energetycznych weszło w fazę realizacji [1,2]. Zabiegi te wykonuje się na bardzo różne sposoby; dotyczą głównych urządzeń energetycznych o mocy od parudziesięciu do 500 MW. Oczekuje się, że po przeprowadzeniu – w odpowiednim zakresie – remontów modernizacyjno-odtworzeniowych okres bezpiecznej eksploatacji będzie można przedłużyć o ok. 20 lat. To oznacza, że sumaryczny czas eksploatacji niewymienionych wcześniej elementów przekroczyć może 350 000 godzin fizycznych oraz ok. 400 000 godzin ekwiwalentnych¹⁾.

Do elementów niewymienionych zalicza się przede wszystkim zrewitalizowane stalowe elementy turbin, których w Polsce i zagranicą pracuje ponad 300 sztuk. Dotychczas, wg naszej wiedzy, nie wycofano z eksploatacji żadnego zrewitalizowanego elementu ze względu na jego stan techniczny.

Rewitalizacja – najważniejsze informacje

Rewitalizacja to technologia, która świąci sukcesy od siedemnastu lat. Dotyczy to procesu realizowanego przez firmy *Pro Novum* i *ZRE Katowice* na zamówienie elektrowni, firm remontowych, a nawet dostawców turbin [3,4].

Współpraca firmy diagnostycznej i remontowej jest nieprzypadkowa, co najmniej z dwóch powodów:

- rewitalizacja to w istocie aplikacja zaawansowanej diagnostyki,
- zrewitalizowany kadłub to element o „nowej” fabrycznej geometrii, który może sprawić trudności monterom, jeśli nie mają wystarczającej wiedzy i doświadczenia do montażu starej turbiny z fabrycznymi luzami układu przepływowego i „nowej” – optymalnej osi układu wirującego.

Rewitalizacja stalowych kadłubów wg technologii *Pro Novum* i *ZRE Katowice* to proces, który:

- przedłuża trwałość (o ok. 100 000 godzin),
- przywraca fabryczną sprawność układu przepływowego. Istotę rewitalizacji stanowi:
- poprawa plastyczności metalu, której miarą jest udarność $KCV \geq 3,5 \text{ daJ/cm}^2$,
- wykrycie i usunięcie:
 - pęknięć powierzchniowych,
 - obszarów wykazujących fizyczne uszkodzenia pęzaniowe,
- korekta deformacji - jeśli bardzo duża - także na drodze termicznej.

Rewitalizacji mogą, a nawet powinny, towarzyszyć prace podnoszące trwałość, np. regeneracja otworów gwintowanych.

Poprawy plastyczności nie da się uzyskać bez wykonania wysokotemperaturowej (znacznie powyżej temperatury AC_1/AC_3 dla danego wytopu staliwa) obróbki cieplnej. Jeśli proces taki zostanie wykonany w odpowiedni sposób, to regenerację struktury, której towarzyszy wzrost plastyczności można osiągnąć bez obniżenia wytrzymałości staliwa (R_e, R_m).

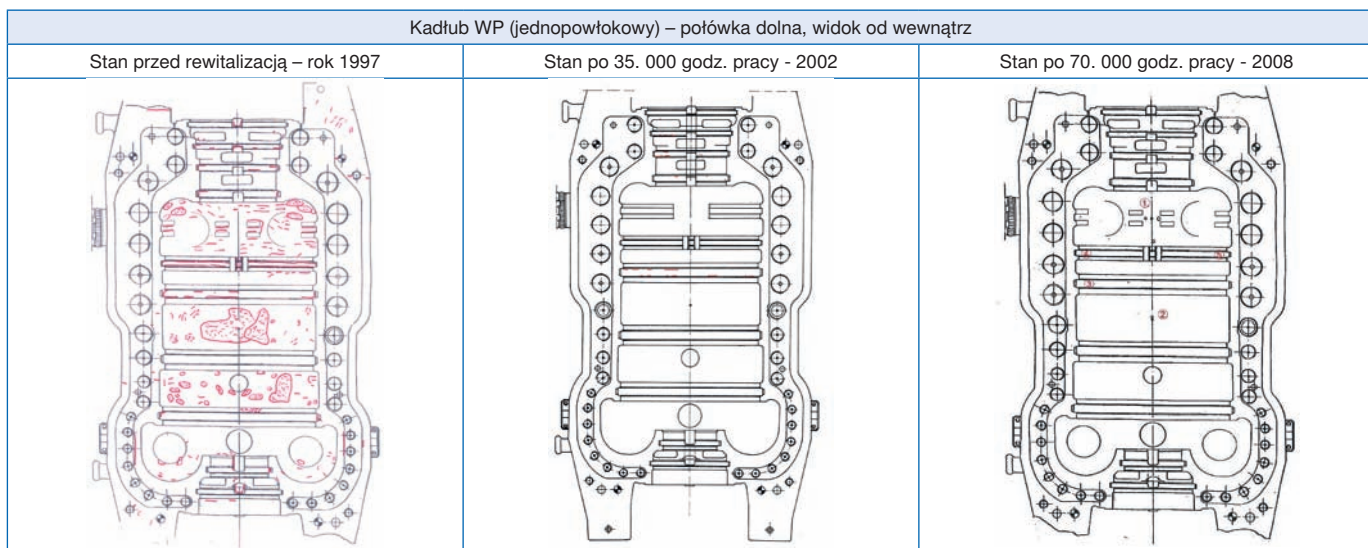
Doświadczenia eksploatacyjne wskazują, że wytrzymałość staliw w grubościennych kadłubach turbin produkcji *Zamech Elbląg* i większości innych dostawców jest własnością drugorzędną ponieważ konstrukcyjnie kadłuby są znacznie „przewymiarowane”. Dotychczas nie spotkaliśmy przypadku uszkodzenia kadłuba ze względu na zbyt małą wytrzymałość, natomiast bardzo dużo takich, które popękały ze względu na niską plastyczność, w tym sporo, których niska plastyczność utrudniała lub wręcz uniemożliwiała spawanie.

Typowe przykłady jednego z efektów rewitalizacji jednopłokowych kadłubów WP i SP turbiny 200 MW przedstawiono na rysunkach 1 i 2.

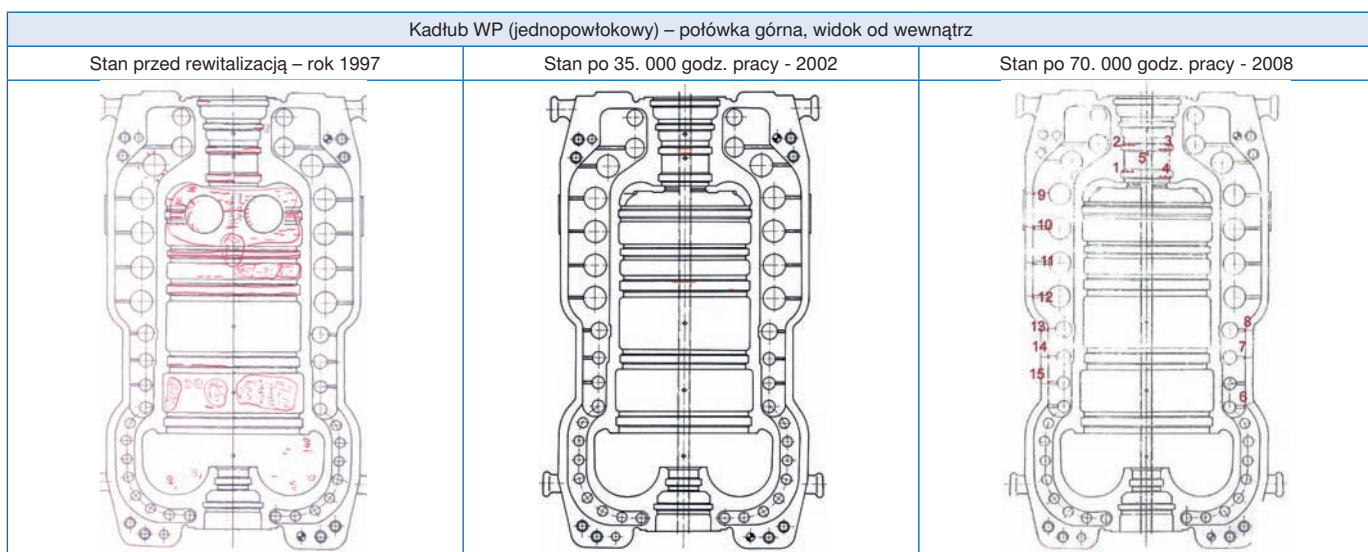
Rewitalizację można przeprowadzać wielokrotnie, dotychczas jednak nie spotkaliśmy się z ani jedną technicznie uzasadnioną taką potrzebą.

Nieco paradoksalną miarą sukcesu rewitalizacji stało się to, że zniknęli jej oponenti (bardzo liczni w pierwszych latach wdrażania tej technologii), a proces „ten” zaczęły wykonywać także inne, krajowe firmy remontowe. Z prestiżowego punktu widzenia był to sukces, z handlowego niewielkie straty,

¹⁾ Godzina ekwiwalentna = $K \times$ godzina fizyczna, gdzie K - współczynnik zależny od rodzaju niestacjonarności.



Rys. 1. Mapa wskazań o charakterze pęknięć powierzchniowych na powierzchni wewnętrznej jednopowłokowego kadłuba WP turbiny 200 MW



Rys. 2. Mapa wskazań o charakterze pęknięć powierzchniowych na powierzchni wewnętrznej jednopowłokowego kadłuba WP turbiny 200 MW

pojawił się jednak problem wizerunkowy samej technologii. Na wojnie, jako pierwsza ginie prawda, w warunkach często ostrej konkurencji „ofiara” padają nazwy i określenia oraz rzeczywiste, pierwotne ich znaczenie. Nazwy tracą swoją precyzję i jednoznaczność. Często zdarza się więc tak, że pod określeniem rewitalizacja każdy rozumie co innego, najgorzej jednak, że może to oznaczać, i często oznacza, zupełnie różny efekt, tym bardziej że można się spotkać z wieloma „ulepszeniami” naszej technologii, które nie koniecznie prowadzą do usługi o wyższej jakości.

Czy rewitalizacja może się nie udać?

Doświadczenia *Pro Novum* wskazują, że rewitalizacja może nie przynieść założonego efektu, jeśli nie jest wykonywana właściwie. Z tego powodu rozróżniliśmy dwa procesy:

- naprawę warsztatową wykonywaną przy temperaturze usuwającej naprężenia poeksploatacyjne oraz spawalnicze,
- rewitalizację wykonywaną przy temperaturach znacznie przewyższających AC_1/AC_3 , która zapewnia wymaganą poprawę plastyczności przy zachowaniu pierwotnej wytrzymałości (drobne i względnie jednorodne ziarno).

Jeśli procesy OC wykonywane są w piecu z odpowiednią kontrolą (i zapisem) temperatury, a właściwy proces OC poprzedzony jest jego symulacją w warunkach laboratoryjnych, istnieje 100-procentowa pewność właściwego przeprowadzenia procesu.

Postępując w wyżej opisany sposób nie zdarzyło się dotąd, aby jakość naszych prac zakwestionowała praktyka eksploatacyjna. Rzadko wykrywanych uszkodzeń elementów zrewitalizowanych nie udało się dotychczas powiązać ze źle przeprowadzonym procesem. Nie oznacza to oczywiście, że nie są

incydentalnie zgłaszane, powodowane różnymi motywacjami – zastrzeżenia. Zdarza się tak przede wszystkim dlatego, że nie bierze się pod uwagę faktu, iż stan techniczny zrewitalizowanego elementu, zwłaszcza kadłuba, zależy nie tylko od własności materiału, ale także, i wielokrotnie częściej, od:

- montażu (i jakości elementów złącznych),
- warunków eksploatacji.

Wyjaśnienie tego rodzaju zastrzeżeń jest często bardzo kłopotliwe, gdyż:

- dokumentacja poremontowa często nie daje szans na precyzyjne ustalenie jakości montażu,
- stan zapisów warunków pracy rzadko pozwala na wyciągnięcie jednoznacznych wniosków.

Wyjaśnianiu niektórych spornych sytuacji towarzyszą często przypadki zgęta kuriozalne; np. badania wykonywane w takim zakresie, że mogą prowadzić do większych uszkodzeń kadłuba niż wieloletnia eksploatacja. Towarzyszy im – prawdopodobnie – przekonanie, że wcześniej czy później natrafi się na takie miejsca w materiale, gdzie własności nieco odbiegają od oczekiwanych. Jeśli nie uwzględniać naturalnego rozrzutu własności, to można bez większych problemów zakwestionować własności także kadłubów nowych.

Jak widać ocenę jakości elementów stalowych turbiny należy wykonywać mając odpowiednią wiedzę, doświadczenie i... rozwiniętą potrzebę obiektywizmu.

Znane nam „modernizacje” rewitalizacji prowadzą do znacznie mniej zniuansowanych niekorzystnych efektów, np.:

- deformacja kadłuba źle zabezpieczonego przy wysokiej (poprawnej) temperaturze OC, możliwa do usunięcia dopiero po wieloetapowym termicznym prostowaniu,
- spadek udarności do średniej wartości rzędu 1,0 daJ/cm² będący rezultatem:
 - podwyższania wytrzymałości poprzez „pseudo” ulepszenie cieplne,
 - zbyt niskiej temperatury OC.

Podwyższona wytrzymałość, jeśli nie jest rezultatem klasycznego ulepszenia, tj. hartowania i odpuszczania, a jedynie uzyskana szybszym schłodzeniem kadłuba po austenitacji prowadzi do spadku odporności materiału na pękanie, wprowadzenia wysokiego poziomu naprężeń wewnętrznych oraz obniżenia spawalności. Trudno więc w takim przypadku mówić o przedłużeniu trwałości nie mówiąc już o tym, że podwyższanie wytrzymałości trudno uzasadnić ewidentną potrzebą.

W przypadku zbyt niskich temperatur obróbki cieplnej, nawet względnie wysoką plastyczność sprzed rewitalizacji można obniżyć do poziomu uniemożliwiającego spawanie. Wiadomo to zarówno z badań własnych, jak również z wykonywanych rewitalizacji korekcyjnych.

Jak długo może być eksploatowany zrewitalizowany element?

Dotychczasowe, 17-letnie doświadczenia eksploatacyjne wskazują, że zarówno dla kadłubów rewitalizowanych jak i nie-rewitalizowanych jest tylko, praktycznie, jedno ograniczenie, tzn. fizyczne uszkodzenia pełzaniowe na taką skalę, że ich naprawa może okazać się zbyt pracochłonna i przypominać bardziej rekonstrukcję elementu niż jego rewitalizację. Innych ograniczeń

nie ma, każdą deformację można skorygować, każde pęknięcie, zwłaszcza zmęczeniowe - naprawić, zdegradowaną strukturę - zregenerować. Rewitalizację, teoretycznie, mogłaby wykluczyć sytuacja, gdyby nowy element okazał się tańszy niż zrewitalizowany.

Wyżej opisany, optymistyczny scenariusz nie dotyczy, na razie, elementów stalowych cienkościennych ulepszanych cieplnie. To spory dyskomfort dla użytkowników nowych turbin, którzy „skazali się” wyłącznie na nowe... lub regenerowane przez dostawcę turbiny elementy.

Podsumowując doświadczenia eksploatacyjne dotyczące zrewitalizowanych elementów należy wspomnieć o nietypowych, często nieoptymalnie zaprojektowanych kadłubach turbin o małej mocy. Trwałość takich kadłubów bardzo ściśle zależy od:

- jakości montażu,
- jakości elementów złącznych,
- przestrzegania wymagań eksploatacyjnych.

Konstrukcyjnie uwarunkowanego wysokiego poziomu naprężeń żadna „modyfikacja” rewitalizacji czy inne, nietypowe zabiegi modernizacyjne nie są w stanie zneutralizować. Tylko spełnienie wyżej wymienionych warunków może wydłużyć czas pracy oraz zapewnić bezpieczeństwo eksploatacji i oczekiwaną dyspozycyjność.

Podsumowanie i wnioski

Najwcześniej zrewitalizowane, wg technologii *Pro Novum* – *ZRE Katowice*, stalowe elementy o strukturze ferrytyczno-perlitycznej lub ferrytyczno-bainityczno-perlitycznej przepracowały ponad 100.000 godzin bez potrzeby wykonywania napraw w szerszym zakresie. Ich trwałość może przekroczyć kolejne 100.000 godzin (sumarycznie ok. 350.000 godz.), pod warunkiem wykonania kompleksowych badań w odpowiednim zakresie oraz napraw adekwatnych do wyników badań.

Na podstawie badań własnych i znanych nam wyników badań innych firm nie widzimy potrzeby powtórnej rewitalizacji, w szczególności z zastosowaniem zmodyfikowanych wariantów „tego” procesu.

LITERATURA

- [1] Trzszczyński J.: Przedłużanie eksploatacji majątku produkcyjnego – realistyczna strategia elektrowni w Polsce. *Przegląd Energetyczny* 2011, nr 1 (61)
- [2] Trzszczyński J.: Wydłużanie czasu pracy urządzeń energetycznych – strategia bez alternatywy. *Nowa Energia* 2009, Nr 3.
- [3] Dobosiewicz J.: Zasady naprawy turbin parowych. *Energetyka* 1985, nr 6
- [4] Trzszczyński J., Grzesiczek E.: Wymienić czy rewitalizować? *Energetyka* 1998, nr 7