

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

Jerzy Trzeszczyński

Remonty zmodernizowanych bloków energetycznych

Przyjmuje się, że zmodernizowane w latach dziewięćdziesiątych bloki energetyczne eksploatowane będą jeszcze przez ok. 15 lat. Oznacza to, że czas pracy elementów nie wymienionych na nowe zbliży się do 300 tys. godzin. Wysoka dyspozycyjność i efektywność ekonomiczna takich bloków zależą będzie w znacznym stopniu od strategii remontowych elektrowni.

Większość elementów urządzeń energetycznych pracuje w ekstremalnych warunkach, które charakteryzują jednocześnie oddziaływanie wysokich temperatur i naprężeń oraz towarzyszą im procesy korozyjne i erozyjne.

Bieżący stan techniczny elementów jest złożoną funkcją wielu czynników, spośród których za najważniejsze należy uznać:

- konstrukcję,
- gatunek zastosowanych materiałów,
- historię eksploatacji,
- jakość remontów.

Na stan techniczny urządzeń bloków zmodernizowanych, dodatkowo, istotny wpływ wywierać będzie zakres modernizacji i jakość towarzyszących im prac. Pod pojęciem modernizacji rozumie się co najmniej:

- ◆ przystosowanie urządzeń do wymagań ekologicznych,
- ◆ dostosowanie układów sterowania pracą bloków do wymagań UCPE,
- ◆ poprawę wskaźników techniczno-eksploatacyjnych (podwyższenie mocy, poprawa sprawności),
- ◆ wydłużenie żywotności elementów nie wymienianych i nie modernizowanych.

Spełnienie pierwszych dwóch wymagań umożliwi eksploatację bloków zgodnie z wymaganiami Unii Europejskiej. Zrealizowanie ostatnich dwóch stwarza warunki do skutecznego rywalizowania na coraz bardziej konkurencyjnym rynku energii.

Modernizacje w przedstawionym zakresie dotyczyły w największym stopniu bloków 200 MW. Były (dla niektórych elektrowni są nadal) poważnym techniczno-ekonomicznym wyzwaniem.

Niniejszy artykuł dotyczy wyłącznie zagadnień technicznych, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki remontowej.

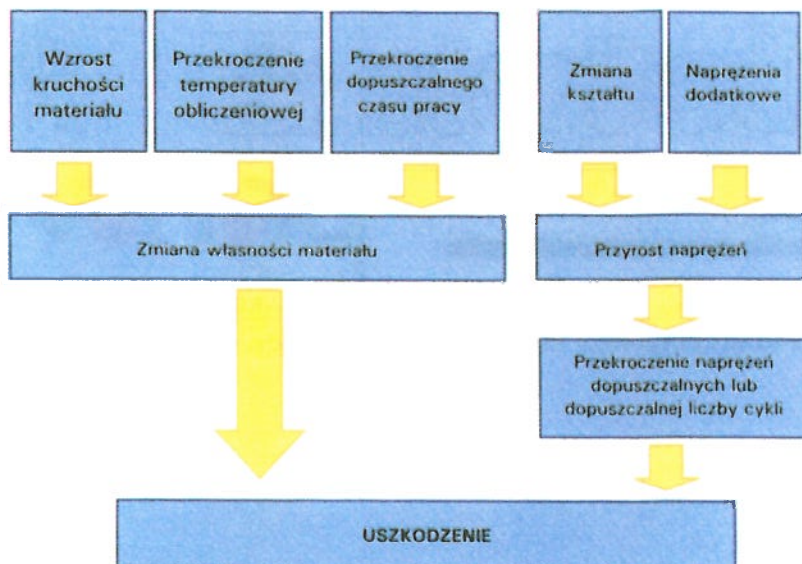
Cel, zakres i częstotliwość remontów

Podczas pracy urządzeń energetycznych powstawanie uszkodzeń (rys. 1) jest nieuniknione. Przez odpowiednie prowadzenie eksploatacji można jedynie opóźnić moment ich wystąpienia oraz ograniczyć zasięg i skutki.

W przeszłości, a także w wielu przypadkach obecnie, cel remontu formułuje się w „klasyczny” sposób, tzn. wymaga się wykonania w ustalonym czasie określonej sekwencji czynności, np.:

- sprawdzenia stanu technicznego wybranych elementów i węzłów konstrukcyjnych,
- usunięcia (naprawy) nieciągłości powierzchniowych,
- regulacji mechanizmów,
- poprawy geometrii (korekty luzów),
- konserwacji węzłów niedostępnych w trakcie pracy urządzeń.

Można oczekiwać, że w przyszłości użytkownik (operator reprezentujący właściciela) będzie formułował zadania



Rys. 1. Przyczyny powstawania uszkodzeń elementów urządzeń energetycznych

remontowe w formie bardziej ogólnej, mającej jednak bardziej oczywisty (ekonomiczny) sens, np.:

- przywrócenie nominalnej sprawności,
- zapewnienie żywotności elementów w określonym czasie przy zachowaniu odpowiedniego poziomu ryzyka wystąpienia uszkodzeń.

Nadrzędną zasadą konieczną do spełnienia przy planowaniu remontu jest dostosowanie jego zakresu do bieżącego stanu technicznego urządzeń. W systemie planowo-zapobiegawczego ustalania częstotliwości i zakresu remontów nie zawsze to się udaje.

Sztywno ustalone terminy i zakresy remontów niekiedy nie pozwalają na wykonanie wszystkich prac koniecznych do usunięcia nieprawidłowości w pożądanym zakresie.

Zdarza się, że niektóre prace przesuwają się na kolejny remont, którego termin się przyspiesza.

Ogólnie rzecz biorąc termin remontu można ustalić w trojaki sposób:

- doraźnie — po wystąpieniu awarii,
- planowo-zapobiegawczo — w *a priori* wyznaczonych terminach,
- ze względu na stan techniczny — gdy ryzyko wystąpienia awarii przekroczy dopuszczalną wartość.

Upraszczając nieco problem można stwierdzić, że w krajowej energetyce dominuje planowo-zapobiegawczy system ustalania terminów remontów. Historycznie rzecz ujmując można zauważyć trzy fazy jego ewolucji:

- do końca lat sześćdziesiątych — 3-letnie okresy między remontami kapitalnymi,

- od początku lat siedemdziesiątych — 4-letnie okresy między remontami kapitalnymi,
- w latach dziewięćdziesiątych — remonty kapitalne wykonywane w okresach 4–5-letnich przybierają formę remontów modernizacyjnych.

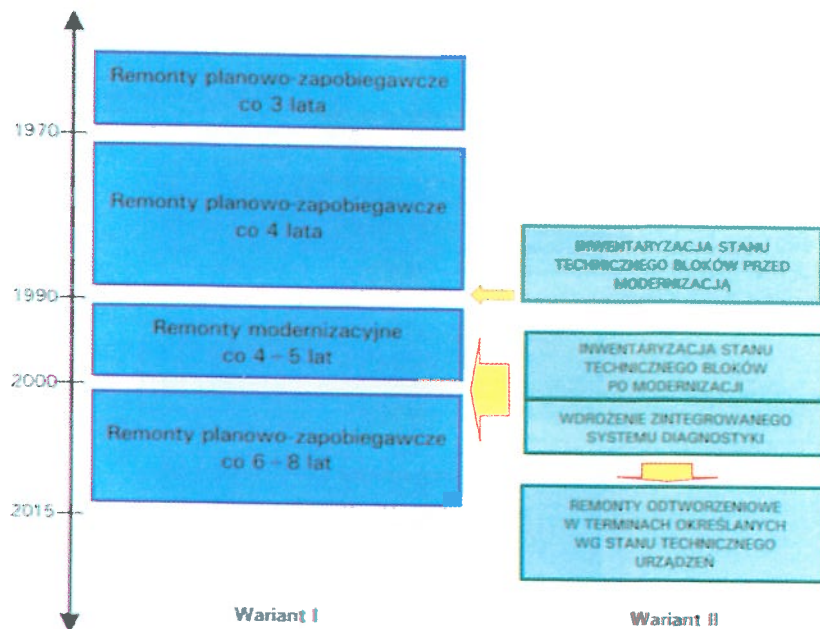
Remonty modernizacyjne

Remonty modernizacyjne należy traktować jako szczególną formę remontów kapitalnych. Na blokach 200 MW zaczęły być wykonywane w pierwszej połowie lat dziewięćdziesiątych. W stosunku do klasycznych remontów odtworzeniowych różniły się:

- czasem trwania — na ogół o 20–30 dni dłuższym,
- zakresem — pozwalającym zrealizować wymienione już w artykule zadania modernizacyjne.

Bezpośrednim impulsem do modernizacji bloków była inwentaryzacja ich stanu technicznego przeprowadzona w latach 1990/91 przez firmę *Westinghouse*. Jej wyniki stworzyły przesłanki do sformułowania strategii modernizacji w szczególności bloków 200 MW. Przyjęta strategia zakładała daleko idącą samodzielność elektrowni w zakresie wyboru poszczególnych rodzajów rozwiązań technicznych. Można nawet stwierdzić, że dla żadnego z rozwiązań modernizacyjnych nie przyjęto jednego, powszechnie obowiązującego standardu; w zakresie modernizacji proekologicznych (ograniczenie emisji SO_2 i NO_x) trudno znaleźć by było dwie elektrownie, w których zastosowano takie same rozwiązania techniczne [1].

Powszechnie przyjęto, że podstawowe zadania modernizacyjne wykonuje się w dwóch kolejnych remontach kapitalnych (modernizacyjnych). Pozostałe remonty, do końca resursu bloków mają mieć charakter odtworzeniowy (rys. 2).



Rys. 2. Częstotliwość remontów kapitalnych bloków energetycznych przed i po modernizacji:
 a) wariant I: z wykorzystaniem badań i pomiarów towarzyszących remontom,
 b) wariant II: z aktywnym wykorzystaniem zintegrowanego systemu diagnostycznego

Remonty bloków energetycznych po modernizacji

Z powodów technicznych i ekonomicznych w elektrowniach, które zmodernizowały bloki energetyczne, coraz wyraźniej formułowane jest oczekiwanie, aby częstotliwość i czas trwania remontów kapitalnych istotnie zmniejszyć – sugeruje się m.in. okresy 6-letnie [2, 3]. Oczekiwania takie należy uznać za naturalne i realne [4], przestrzec jednak trzeba przed mechanicznym, formalno-administracyjnym rozwiązaniem problemu, tj. powrotem do koncepcji remontów planowo-zapobiegawczych (jak w okresie przed modernizacją) tylko przy wydłużonych cyklach remontowych (rys. 2, wariant I). Z podanych niżej względów wydaje się, że wariant I strategii remontowej może okazać się trudny do realizacji, gdyż:

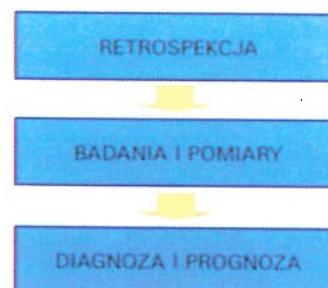
- zadanie modernizacyjne określane przez elektrownie jako „wydłużenie żywotności urządzeń” należy traktować z daleko posuniętą ostrożnością [5]:
 - np., jeśli grubościennne elementy turbiny (kadłuby, korpusy zaworów) nie były naprawiane w warunkach warsztatowych lub rewitalizowane, to na czym polega wydłużenie ich żywotności?
 - jaka będzie skuteczność systemów ograniczających negatywny wpływ niestacjonarności (rozruchy, odstawienia, rzuty mocy, etc) jeśli z przyczyn ekonomicznych (wyższe taryfy za sprzedaż energii) bloki będą często odstawiane, szybko uruchamiane oraz pracować będą przy niskim obciążeniu?
- dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne na blokach zmodernizowanych wskazują, że koegzystencja elemen-

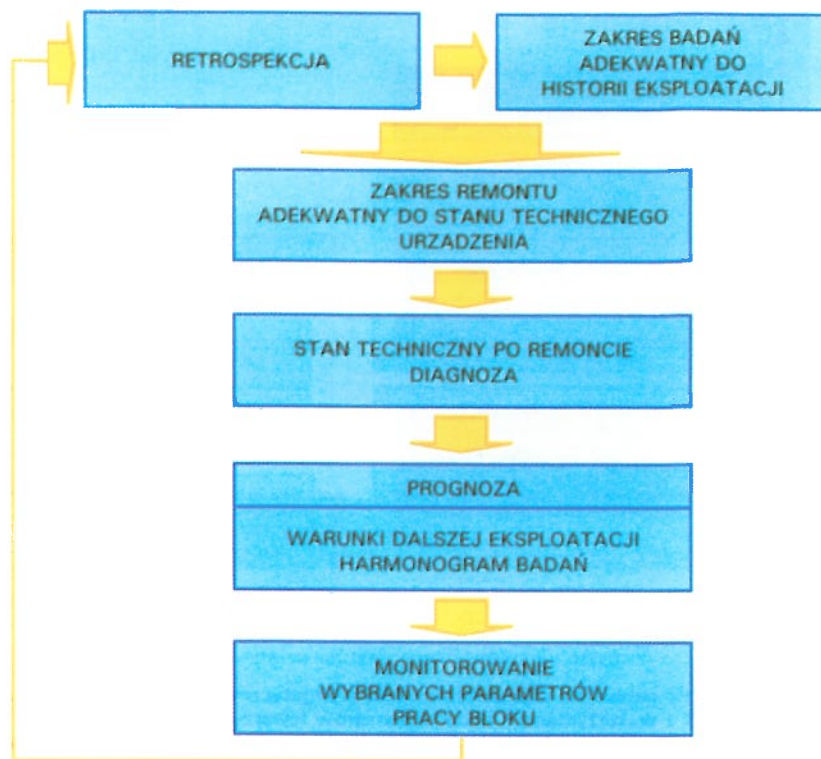
tów starych i nowych, a w szczególności skutki zmienionych procesów (np. spalania w kotłach po zainstalowaniu zmodernizowanych palników, reżimów wodnych bez uwzględnienia indywidualnych wymagań poszczególnych elektrowni czy bloków energetycznych) mogą prowadzić do powstania trudnych, wcześniej nie występujących problemów.

Żywotność wielu elementów nie wymienionych na nowe w trakcie modernizacji może przekroczyć 300 000 godz [6]. W celu oceny ich dalszej pracy należy:

- ustalić aktualny stan techniczny [7],
- określić prognozę i warunki dalszej eksploatacji z uwzględnieniem oczekiwań użytkownika – strategii eksploatacji elektrowni.

W rozwiązywaniu obydwu tych zagadnień pierwszoplanowa rola przypada diagnostyce materiałowej. Przez diagnostykę rozumie się zespół poniżej wymienionych czynności, będących w logicznym związku przyczynowo-skutkowym, w odróżnieniu od badań i pomiarów wyłącznie towarzyszących remontom.





Rys. 3. Schemat systemu diagnostycznego spełniającego warunek podejmowania decyzji remontowych i dotyczących rewizji ze względu na aktualny stan techniczny urządzenia

Diagnostyka powinna stwarzać wiedzę, a nie generować, mówiąc w uproszczeniu, raporty i protokoły. Prognoza zależy nie tylko od tego, w jakim stanie technicznym jest element, ale czy potrafimy określić przyczynę uszkodzenia, a w następnej kolejności usunąć lub ograniczyć jej wpływ. Każda prognoza musi być weryfikowana. Służą do tego kolejne badania oraz monitorowanie warunków eksploatacji urządzeń. Warunek samoweryfikacji prognoz spełnia zintegrowany system diagnostyczny (rys.3), wykorzystujący w odpowiedni sposób wyniki diagnostyki remontowej i eksploatacyjnej.

Z wyżej wymienionych względów należy rozważyć celowość wdrożenia wariantu II strategii remontowej wykonując poniższe przedsięwzięcia w następującej kolejności:

- dla bloku po modernizacji należy wykonać kompleksową ocenę stanu technicznego, w szczególności pod kątem żywotności elementów nie wymienionych na nowe oraz nie rewitalizowanych,
- w zależności od wyników oceny zaplanować w jednym z kolejnych remontów kapitalnych prace mające na celu wydłużenie żywotności elementów do czasu oczekiwanego rewersu bloku,
- wymienioną ocenę stanu potraktować jako pierwszy krok do wdrożenia zintegrowanego systemu diagnostyki (rys. 3),
- wdrożyć system ustalania częstotliwości i zakresu remontów według kryterium stanu technicznego urządzeń,
- uzgodnić u Urzędem Dozoru Technicznego wymieniony system w zakresie dotyczącym ustalania terminów i zakresów rewizji części ciśnieniowej kotła [8, 9].

Doświadczenia *Pro Novum* ze współpracy z firmami ubezpieczeniowymi wskazują, że mogą się one okazać sojusznikiem przy wdrażaniu systemów planowania eksploatacji bloków energetycznych (remontów, badań, rewizji) według kryterium stanu technicznego. W szczególności polisa ubezpieczeniowe od ryzyka strat produkcyjnych spowodowanych awaryjnymi postojami bloków energetycznych mogą okazać się mocnym impulsem w tym względzie.

Podsumowanie i wnioski

Nakłady poniesione na modernizację bloków energetycznych, techniczne rezultaty modernizacji oraz wymagania coraz bardziej konkurencyjnego rynku energii składają elektrownie do redukcji kosztów remontowych. Consensus pomiędzy wymaganiami techniki a dążeniem do maksymalizowania ekonomicznych korzyści można osiągnąć przez wdrożenie strategii remontowej polegającej na ustalaniu częstotliwości i zakresów remontów według kryterium stanu technicznego. Podstawą wdrożenia takiego systemu powinny być:

- inwentaryzacja stanu technicznego bloku energetycznego po modernizacji,
- opracowanie zintegrowanego systemu diagnostycznego w celu operatywnego podejmowania decyzji o terminach i zakresach remontów bloku oraz rewizji części ciśnieniowej kotła według kryterium stanu technicznego,
- uzgodnienie z UDT systemu planowania rewizji elementów podlegających dozorowi technicznemu.

LITERATURA

- [1] Trzeczcyński J.: Wybrane problemy modernizacji urządzeń ciepłno-mechanicznych w krajowej elektroenergetyce. Materiały Konferencji „Problemy i innowacje w remontach energetycznych”. PIRE 2000. Szklarska Poręba 28.11–1.12.2000
- [2] Ociepka K., Ratajczak R.: Dotychczasowe doświadczenia oraz zamierzenia w zakresie remontów kotłów po ich modernizacji. Materiały III Symposium Eksploatacji i diagnostyka modernizowanych bloków energetycznych. Remonty. Wisła 27–28.09.2001
- [3] Gębala S.: Strategia remontowa Elektrowni Jaworzno III. Tamże
- [4] Dobosiewicz J.: Przedłużanie okresów międzyremontowych turbin i kotłów parowych. Tamże
- [5] Trzeczcyński J.: Żywotność urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków energetycznych po ich modernizacji. *Energetyka* 2000, nr 12
- [6] Гладыштейн В.И.: Влияние длительной наработки на жаропрочность металла литых корпусов арматуры и турбин высокого давления. *Теплоэнергетика*. 2001, No 4
- [7] Laire CH., Euyckmans M.: Evaluating the Condition and Remaining Life of Older Power Plants. *VGB Power Tech*. 2001, nr 1
- [8] Trzeczcyński J., Gębala S., Kucz J.: Możliwości wydłużania okresów międzyrewizyjnych części ciśnieniowych kotłów. Materiały Konferencji „Problemy i innowacje w remontach energetycznych”. Polanica Zdrój 1999
- [9] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 79.1200/2001, Program badań elementów ciśnieniowych bloku nr 4 dla sprawdzenia możliwości wydłużenia okresów międzyrewizyjnych. Katowice, wrzesień 2001 (nie publ.)

□

Ewa Zbroińska-Szczuchura

Ocena stanu metalu rurek skraplaczy przez pomiar szybkości korozji

Korozja od strony wody rurek miedzianych jest zjawiskiem elektrochemicznym i zachodzi w wyniku przepływu prądu między katodą i anodą przez elektronoprzewodzącą warstwę ochronną (CuO_2). Odporność na korozję stopów miedzi zależy od stanu warstwy ochronnej (pasywnej), tj. od jej szczelności i grubości.

Słonność do korozji elektrochemicznej mierzona jest potencjałem elektrodowym i może być wyrażona wartością siły elektromotorycznej (SEM) ogniwo korozyjnych, które stanowią integralną część procesu korozji. Im większy jest potencjał [E] ogniwa, tym większa jest słonność do zachodzenia ogólnej reakcji ogniwa. Należy zaznaczyć, że słonność do korozji nie jest miarą szybkości reakcji elektrochemicznej.

Ponieważ bezwzględne wartości potencjałów elektrodowych nie są dokładnie znane umownie przyjmuje się, że potencjał standardowy reakcji:



jest w każdej temperaturze równy zeru, stąd potencjał półogniwa dowolnej elektrody jest równy SEM ogniwa, którego drugą elektrodą jest elektroda wodorowa. Na tej podstawie przyjmuje się, że potencjał półogniwa dowolnej elektrody jest odniesiony do normalnej lub standardowej skali wodorowej.

Uporządkowanym zbiorem standardowych potencjałów jest szereg napięciowy metali i stopów. Wartości bardziej dodatnich potencjałów odpowiadają metalom bardziej reaktywnym. Istnieją różne czynniki, które zmieniają położenie pewnych metali w szeregu napięciowym. Bardzo istotnym czynnikiem jest słonność metalu w warunkach

utleniających do tworzenia określonych warstw powierzchniowych – pasywnych. Obecność takich warstw powoduje przesunięcie metalu w szeregu napięciowym w kierunku potencjałów ujemnych.

Metal wystawiony na działanie wody lub roztworów wodnych, kwasów i zasad (elektrolitów) koroduje w wyniku powstania ogniwa i przepływu prądów lokalnych.

W ogniwie galwanicznym katoda jest biegunem dodatnim (na katodzie zachodzi wydzielanie się metalu, reakcja redukcji). Elektroda, na której zachodzi reakcja chemicznego utleniania nazywana jest anodą (na anodzie zachodzi rozpuszczanie się metalu). Jeżeli w ogniwie galwanicznym płynie prąd, to potencjał anody rośnie a katody maleje. Dzięki temu zmniejsza się różnica potencjałów między elektrodami ogniwa. Jakość zmiany potencjału wywołanej prądem wypadkowym płynącym do lub od powierzchni elektrody wyrażona w voltach nazywa się polaryzacją. Mierzony potencjał metalu ulegającego korozji jest wypadkowym potencjałem spolaryzowanej katody i anody i znany jest jako potencjał korozyjny J_{kor} . Intensywność korozji w obszarach anodowych jest proporcjonalna do wielkości $J_{max} = J_{kor}$.

Szybkość korozji danego metalu można wyznaczyć znając wartość potencjału korozyjnego, stopień spolaryzowania i wartość potencjału anody lub katody, a szczególnie oporu polaryzacyjnego anody.

Opór polaryzacyjny nie jest oporem elektrycznym w obiegowym pojęciu. Opór określa nachylenie krzywej polaryzacji opisującej zależność przesunięcia potencjału elektrodowego metalu korodującego (anody) w kierunku ujemnym od stanu równowagi przy wzroście gęstości prądu korozji. Dla stopów miedzi liniowy odcinek krzywej