

# Monitorowanie pracy urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni jako istotny element prognozowania ich żywotności w ostatniej fazie wydłużonej eksploatacji

Urządzenia energetyczne ze względu na planowany czas pracy min. 200 000 godzin oraz bezpieczeństwo eksploatacji projektowane są ze znacznym współczynnikiem bezpieczeństwa. Szczególnie najstarsze, jeszcze eksploatowane, projektowane ca 50 – 60 lat temu można uznać za bardzo „przewymiarowane”, o czym świadczą zarówno ich długi, bezawaryjny czas pracy jak i znaczna tolerancja na błędy eksploatacyjne. Stabilne, w typowych warunkach pracy, struktury zastosowanych materiałów są źródłem stabilnych własności. Cechy j.w. sprzyjają znacznej tolerancji na błędy obliczeń. Do pewnego czasu eksploatacji, mniej więcej 250 – 300 tys. godzin, błędy towarzyszące obliczeniom stopnia wyczerpania trwałości czy dopuszczalnego czasu pracy nie były (nie są) krytyczne. Jeśli przyjąć, że urządzenia ciepłno-mechaniczne elektrowni miałyby pracować, przy nominalnych parametrach, powyżej 300 tys. godzin ich stan techniczny powinien być oceniany na podstawie badań i obliczeń w sposób gwarantujący większą dokładność [1].

## Problemy prognozowania trwałości urządzeń długo eksploatowanych

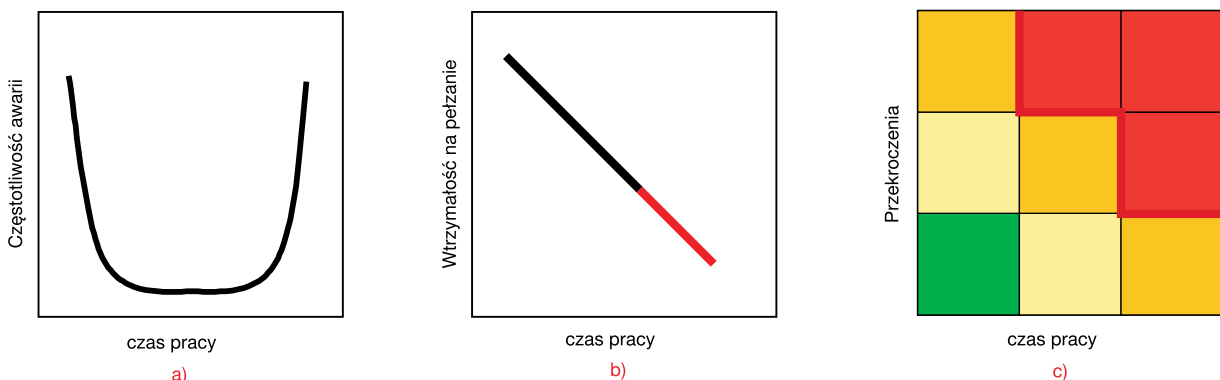
Wraz ze wzrostem czasu eksploatacji w sposób „naturalny” rośnie częstotliwość (rys. 1a) i ryzyko uszkodzeń (rys. 1c) jako rezultat zmiany własności (rys. 1b) oraz kumulacji negatywnego wpływu przekroczeń parametrów pracy.

Dynamika tych zmian nie jest w prosty sposób zależna od czynników, które na nią wpływają, może mieć charakter regularnie zmienny lub zmienny skokowo.

Uszkodzenia pętlaniowe ewoluują powoli i regularnie – od wykrycia pierwszych oznak do zmian fizycznych może upłynąć ok. 30 000 h. Uszkodzenia zmęczeniowe mogą pojawiać się i podlegać wzrostowi znacznie szybciej, w pewnych okolicznościach mogą nawet propagować lawinowo.

Na dynamikę pojawiania się i rozwoju uszkodzeń duży wpływ wywierają warunki pracy, których szczególnym przypadkiem są niesprawności urządzeń oraz błędy eksploatacji, np. w przypadku uszkodzeń termosokowych [2].

W przypadku ekstremalnie długich czasów pracy pojawiają się specjalne problemy związane z ograniczonym zakresem danych eksperymentalnych, tj. charakterystyk materiałowych, które mogłyby być wykorzystywane do obliczeń. O ile w początkowych fazach eksploatacji przeszkadza często zbyt duży – jak na kryteria inżynierskiej przydatności – błąd obliczeniowy, o tyle podczas ekstremalnie długich czasów eksploatacji może okazać się niemożliwe nawet oszacowanie jego wartości, szczególnie wtedy, gdy jedynym źródłem danych jest .... aproksymacja wykresów przy pomocy linijki.



Rys. 1. Konsekwencje długotrwałej eksploatacji:  
a) rosnące prawdopodobieństwo awarii, b) spadek wytrzymałości na pękanie oraz ograniczona liczba danych eksperymentalnych, c) wzrost poziomu ryzyka

## Ograniczanie błędów obliczeniowych przy prognozowaniu trwałości

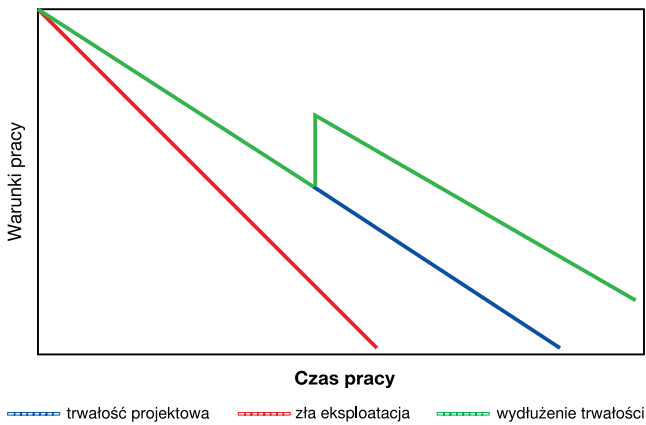
Z praktycznego punktu widzenia znaczenie mają dwa podejścia.

- wyniki obliczeń traktować należy z rezerwą, uznając ich przybliżony status, kłaść nacisk raczej na umiejętną ich interpretację, niż fizyczny sens konkretnych wartości,
- preferować wyniki badań przyjmując, że stan metalu, który można określić na podstawie badań NDT i DT ma zdecydowanie większą przydatność do prognozowania czasu pracy niż wskaźniki uzyskane na drodze obliczeniowej.

W praktyce warto stosować obydwie podejścia mając świadomość ich słabości i zalet.

### Praktyczne korzyści analizy warunków pracy

Określona podczas postoju ocena stanu i prognoza ma często ograniczoną przydatność (nie tylko dla urządzeń długo eksploatowanych), ponieważ warunki pracy mogą, nawet istotnie, różnić się od tych, które były podstawą prognozy (rys. 2).



Rys. 2. Wpływ warunków pracy i stanu urządzenia (elementu) na jego trwałość

Często można spotkać nieprawdziwą opinię, że Kontrola Eksploatacji analizuje wystarczająco dokładnie ten problem. Niestety tak nie jest, bowiem przedmiotem jej analizy bywają głównie zakłócenia o charakterze awarii. Wpływu przekroczeń na trwałość elementów w średnim i dłuższym horyzoncie czasowym raczej nikt nie analizuje. Jednym z powodów tej sytuacji jest to, że analiza taka nie jest prosta, wymaga doświadczenia, odpowiednich metod, najlepiej zaimplementowanych w formie inteligentnego oprogramowania.

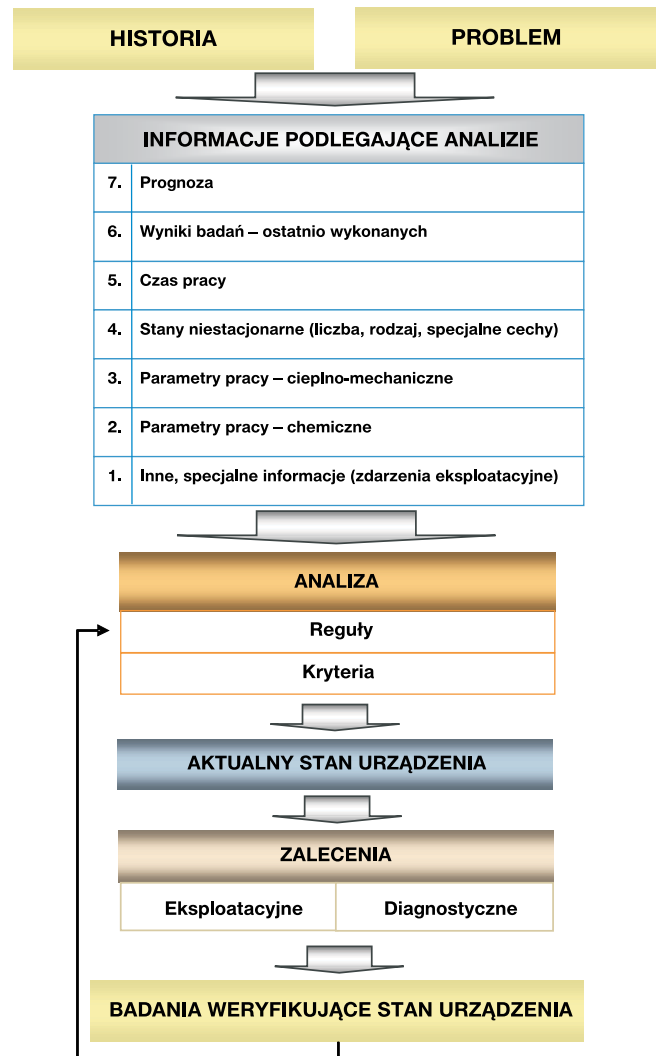
### Co i w jaki sposób analizować?

Analizy jakie wykonuje Kontrola Eksploatacji nie mogą przynieść sukcesu także z tego powodu, że wpływu sposobu eksploatacji (nawet z uwzględnieniem analizy zakłóceń) nie da się wykonać bez uwzględnienia szeregu innych danych, takich jak:

- wyniki badań,
- przyczyny (rzeczywiste) awarii i skuteczność ich usunięcia,
- jednoczesna analiza parametrów:
  - cieplno-mechanicznych,
  - chemicznych,
- sposobu postępowania z urządzeniem podczas postoju, zakładając, że uwzględnienie wpływu:
  - czasu pracy,
  - typowych stanów niestacjonarnych,
 jest brane pod uwagę.

Analiza wszystkich ww. danych, praktycznie, nie jest możliwa bez odpowiednich narzędzi – oprogramowania, które rejestruje i przetwarza informacje j.w., z uwzględnieniem określonych reguł i kryteriów [3-5]. Sam program to jeszcze nie wszystko, jego aplikacji musi towarzyszyć ekspert (grupa ekspertów), nie wszystko warto zaprogramować – przy sensownych nakładach, części potrzebnych możliwości jak wiedza i doświadczenie nie da się zaprogramować, przynajmniej na razie (rys. 3).

Takie podejście musi być odpowiednio zintegrowane z eksploatacją, czyli zahacza o organizację elektrowni (grupy elektrowni) w zakresie utrzymania.



Rys. 3. Analiza warunków pracy urządzenia zapewniająca monitorowanie aktualnego stanu technicznego generująca zalecenia eksploatacyjne i diagnostyczne

## Podsumowanie i wnioski

- Ostatnia faza eksploatacji urządzenia wiąże się z wykorzystaniem indywidualnego zapasu trwałości najdłużej eksploatowanych elementów. Aby, w tych warunkach, zapewnić ich bezpieczną pracę należy – po wykonaniu oceny stanu technicznego – wymienić je lub eksploatować nadal monitorując ich rzeczywiste warunki eksploatacji. Indywidualny zapas trwałości może być wykorzystany bezpiecznie i racjonalnie tylko podczas „indywidualnego” nadzoru ich aktualnego stanu technicznego.
- Zdecydowanie lepszym niż wykonanie skomplikowanych obliczeń naprężeń, odkształceń, stopni wyczerpania trwałości etc. jest inteligentna analiza eksploatacji wsparta (zintegrowana) z odpowiednio zaplanowaną diagnostyką.
- Podejście j.w. może okazać się szczególnie przydatne na blokach długo eksploatowanych. Wydłużeniu czasu pracy powyżej 300 tys. godzin powinno towarzyszyć odpowiednie zorganizowanie diagnostyki, najlepiej w formie serwisu, które w czasie rzeczywistym zapewniałby:
  - a) rejestrację historii eksploatacji,
  - b) weryfikację prognozy,
  - c) zalecenia eksploatacyjne
- Serwis diagnostyczny można wykonywać w sposób zdalny, co ma wpływ zarówno na jego cenę jak również jakość (udział ekspertów o najwyższych kompetencjach).  
*Pro Novum* jest w trakcie wdrażania takiej usługi w kilku krajowych elektrowniach.

Możliwe, że także na nowych blokach powstaną warunki do niezależnego, od dostawcy, monitorowania stanu technicznego

urządzeń. *VGB* przedstawiło – w ostatnim czasie – propozycję wymagań dla dostawców urządzeń w zakresie minimum informacji technicznych, jakie powinny być przekazywane Użytkownikowi wraz z oddaniem urządzenia do eksploatacji [6].

## LITERATURA

- [1] Dobosiewicz J.: Badania diagnostyczne urządzeń ciepłno-mechanicznych w energetyce. Część I. Turbiny i Część II. Kotły i rurociągi. Biuro Gamma, Warszawa 1998
- [2] Trzecznyński J.: Termozok jako czynnik ograniczający trwałość elementów ciśnieniowych pracujących powyżej temperatury granicznej. Biuletyn *Pro Novum* nr 3/2006, *Energetyka* 2006, nr 12
- [3] Duda A., Gawron P., Śliwa A.: Rejestracja wybranych wielkości chemicznych w LM System PRO® elementem oceny stanu technicznego urządzeń i prognozy ich trwałości. Materiały konferencyjne X Sympozjum: Diagnostyka i Remonty Długoeksploatowanych Urządzeń Energetycznych. Ustroń, Hotel BELWEDER 1-3 października 2008
- [4] Trzecznyński J.: Concept and Present state of implementation of LM System PRO® – The System supporting Maintenance of Thermo-Mechanical Power Equipment 3rd ETC Generation & Technology Workshop. Dublin, 30th October
- [5] Trzecznyński J.: Remote diagnostic systems for assessment of thermo-mechanical equipment of Power Plants. 2 nd ECCC Creep Conference. 21 – 23 April 2009, Zurich
- [6] Richnow J.: VGB - Anforderungen an Technische Anlagendaten für den Kraftwerksbetrieb. *VGB Power Tech* 8/2009