

■ Jerzy Trzeszczyński, Radosław Stanek,
Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” Sp. z o.o.

proNovum[®]
RESEARCH & TECHNOLOGICAL SERVICES
Centrum Badawczo - Rozwojowe
od 1987 r.

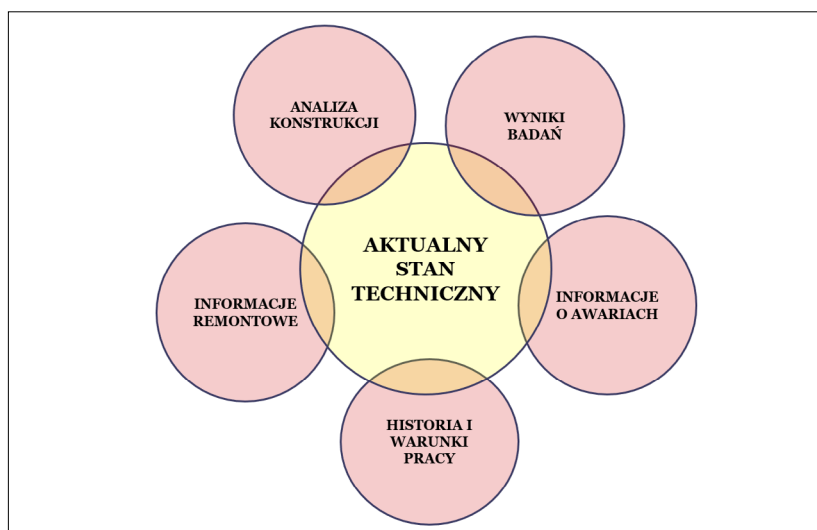
Oceny stanu technicznego urządzeń energetycznych i ich aktualizacja

W ostatnim czasie diagnostyka, będąca częścią remontów staje się w większym stopniu źródłem informacji niż wiedzy, która wtedy, gdy jest odpowiedniej jakości - może być wykorzystana do kreowania strategii eksploatacji, utrzymania technicznego i modernizacji. Dzięki diagnostyce można było dotąd uzyskiwać wiedzę o urządzeniach energetycznych zbliżoną do wiedzy ich dostawców, co dla ich użytkowników posiada istotne znaczenie, zwłaszcza wtedy, gdy urządzenia eksploatowane są dłużej niż ich dostawcy obecni są na rynku.

Taka sytuacja ma miejsce na długo eksploatowanych urządzeniach energetycznych. Inaczej jest na blokach nowych, zwłaszcza na licznie budowanych blokach gazowo-parowych i gazowych kupowanych z paru nastoletnim LTSA dostawcy bez offsetu technologicznego.

Diagnostyka to nie tylko badania

Jakość wiedzy na podstawie diagnostyki zależy od jakości badań, interpretacji ich wyników oraz wniosków o charakterze ocen stanu technicznego i prognoz trwałości. Diagnostyka jednak to nie tylko badania, a oceny stanu technicznego urządzeń wymagają uwzględnienia wielu informacji (rys. 1). Podstawą do



Rys. 1. Zakres informacji wymagany do oceny stanu technicznego głównych urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków energetycznych

opracowania zakresu badań powinna być retrospekcja (rys. 2). W ostatnich latach zakresy badań na starszych blokach węglowych limituje często ograniczony budżet oraz brak jasno określonych strategii dalszej eksploatacji.

Prawidłowo zorganizowana i profesjonalnie wykonywana diagnostyka umożliwiła poznanie konstrukcji i technologii wykonania komponentów urządzeń w stopniu zbliżonym do ich dostawców. Tej jakości wiedza pozwala nie tylko optymalizować zakres i koszty utrzymania technicznego, ale także stwarza warunki do modernizacji urządzeń w zakresie usuwania błędów konstrukcyjnych, poprawy bezpieczeństwa, przedłużania trwałości, wydłużania czasu eksploatacji, niskonakładowej poprawy elastyczności. Z tych względów diagnostykę najlepiej traktować jako system zintegrowany z eksploatacją urządzeń (rys. 2).

Rozwój i potanie technologii informatycznych i cyfrowych, w ostatnim czasie także możliwość kreowania wiedzy z wykorzystaniem Sztucznej Inteligencji sprawiły, że optymalną formą diagnostyki stała się diagnostyka wykonywana w trybie zdalnym, który pozwala na prawie bezobsługową ocenę bieżącej

go stanu technicznego, prognozowanie trwałości i predykcję awarii, uwzględniając różne warianty przyszłej eksploatacji urządzenia.

Dla bloków konwencjonalnych, zwłaszcza tych, które w przyszłości będą jeszcze w większym stopniu niż dotąd stabilizować pracę systemu elektroenergetycznego, racjonalnie powiększona elastyczność i wysoka dyspozycyjność będą ich najbardziej pożądanymi cechami. Odnosi się to zwłaszcza do bloków obecnych na Rynku Mocy. Oczekiwania takie może zapewnić na bieżąco aktualizowana wiedza, z odpowiednio zorganizowanej diagnostyki oraz odpowiedniej jakości remonty wykonywane w zakresie adekwatnym do stanu technicznego i aktualnego oraz przyszłego trybu eksploatacji.

Elementy krytyczne oraz wpływające na niezawodność

Urządzenia ciepłno-mechaniczne bloków energetycznych składają się z:

- elementów krytycznych wpływających zwłaszcza na bezpieczeństwo,
- elementów wpływających na nie-

zawodność/dyspozycyjność (np. pow. ogrzewalne kotłów).

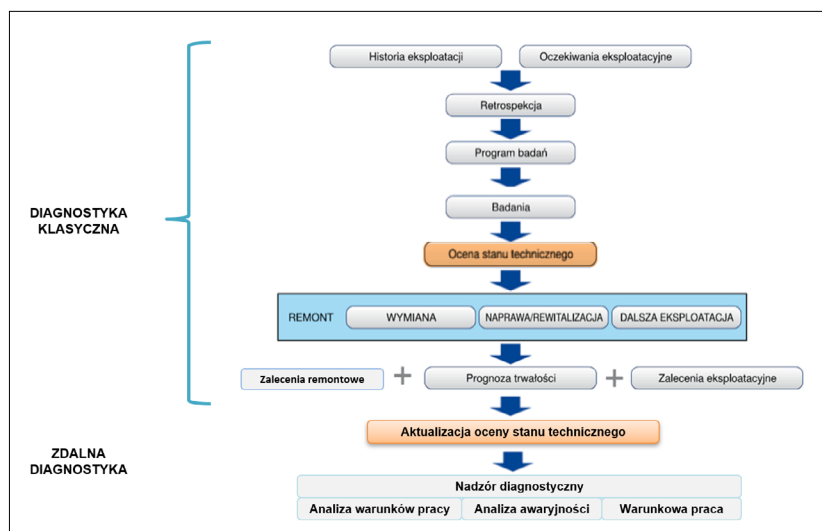
Wszystkie komponenty bloków i urządzeń energetycznych, zarówno krytyczne, jak i pozostałe wpływające na niezawodność, ulegają wyczerpaniu trwałości podczas eksploatacji. Dzieje się to z wielu przyczyn, które z kolei mogą występować z różnym nasileniem i interakcją.

Stan techniczny elementów krytycznych podstawowych urządzeń ciepłno-mechanicznych decyduje o bezpieczeństwie eksploatacji, natomiast o dyspozycyjności, tak ważnej podczas pracy elastycznej, w pierwszym rzędzie decyduje niezawodność pozostałych elementów i węzłów konstrukcyjnych bloku energetycznego, w tym jego urządzeń pomocniczych. Diagnostyce tych elementów i węzłów konstrukcyjnych należy poświęcać więcej, niż dotąd, uwagi. Wśród ważnych instalacji ciśnieniowych bloków energetycznych są takie, których stan techniczny ocenia się rzadko a nawet wcale, np. rurociągi wody zasilającej. Wśród bloków konwencjonalnych - węglowych należy wyróżnić:

- Bloki klasy 200 MW,
- Bloki (umownie) 360 MW,
- Bloki (umownie) > 400MW,
- Bloki (umownie) > 800 MW na parametry nadkrytyczne,
- Bloki/urządzenia ciepłno-mechaniczne elektrociepłowni.

Każda z grup bloków/urządzeń ciepłno-mechanicznych jest specyficzna pod wieloma względami. Diagnozowanie ich stanu technicznego powinno to uwzględniać.

Bloki jw. były w przeszłości wielokrotnie modernizowane, zwłaszcza bloki klasy 200 MW. Niektóre urządzenia bloków 200 MW mają czas pracy zbliżony do uważanych za nowe, bloków nadkrytycznych. Najstarsze bloki/urządzenia, zwłaszcza w elektrociepłowniach przepracowały nawet ok. 350 tys. godz. **Ze względu na nadmierne, rzeczywiste**



Rys. 2. Diagnostyka klasyczna, wykonywana podczas postojów urządzeń oraz zdalna wykonywana podczas ich eksploatacji, jako proces zintegrowany z pracą urządzenia

wyczerpanie trwałości nie wyłączono dotąd z eksploatacji żadnego bloku klasy 200 MW.

Związek pomiędzy mechanizmem wyczerpania trwałości, a trybem pracy bloku

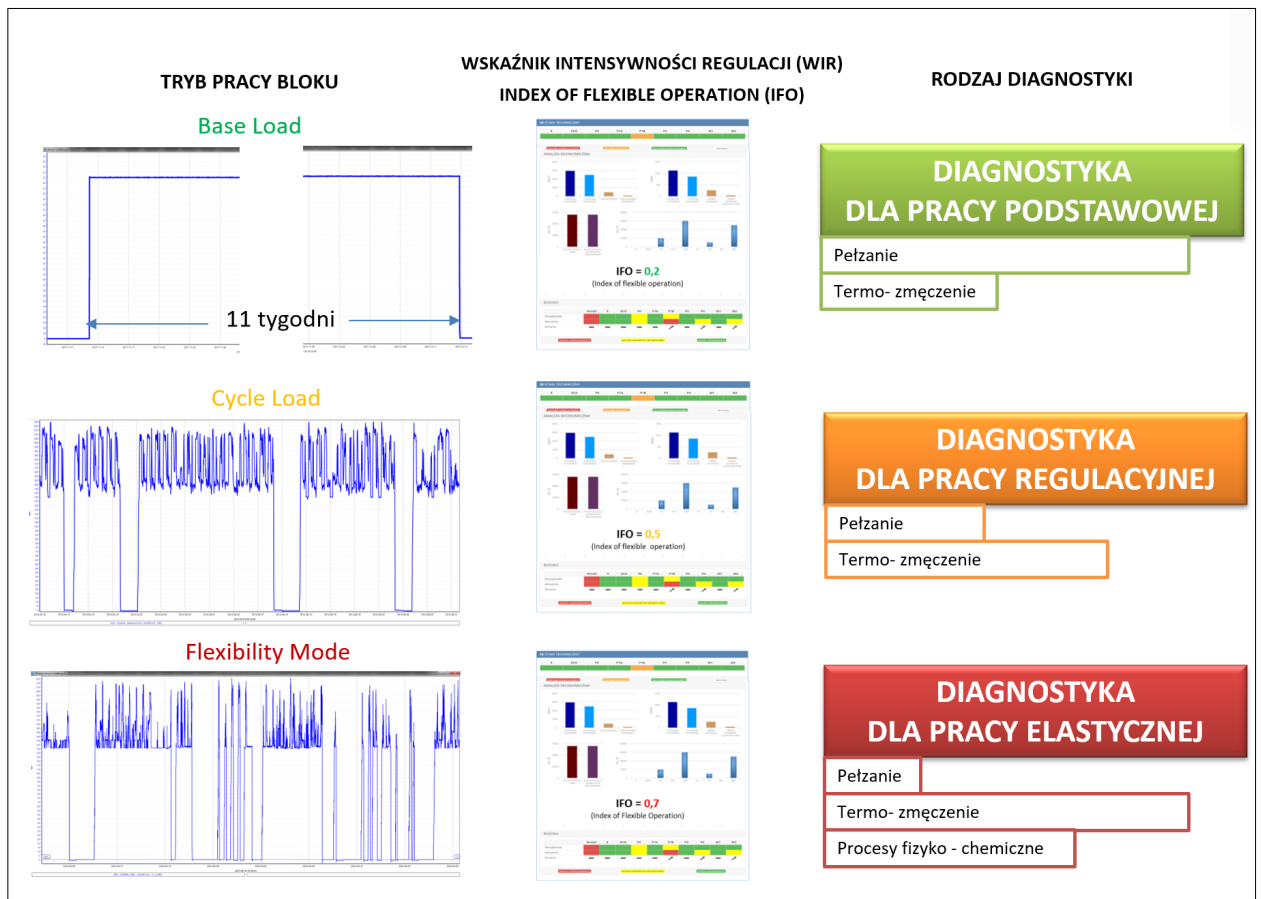
Bloki węglowe w coraz większym stopniu pełnią funkcje stabilizujące KSE. Dawno przestały pracować w trybie podstawowym, do którego zostały zaprojektowane. Stopniowo przechodzą do pracy w trybie coraz intensywniej regulacyjnym. Liczba godzin pracy przestaje być jedynym kryterium bezpieczeństwa, a pełzanie dominującym procesem niszczącym (rys. 3). Uszkodzenia, termozmęczenie oraz korozyjno-

-erozyjne stają się dominującą przyczyną uszkodzeń. Wyczerpanie trwałości często „wykrywane jest” w trybie awaryjnym. Badania podczas postojów urządzeń to tylko jeden ze sposobów aktualizacji ocen stanu technicznego (rys. 2). Identyfikowanie charakteru uszkodzeń oraz mechanizmu inicjacji i propagacji pęknięć może stanowić cenne źródło wiedzy do oceny bieżącego stanu technicznego elementów/urządzeń oraz prognozowania ich trwałości. Im bardziej regulacyjnie pracują bloki energetyczne tym termozmęczenie oraz procesy fizyko-chemiczne towarzyszące zarówno częstym uruchomieniom i zmianom mocy, jak również postojom mogą być źródłem nietypowych, rzadko dotąd występujących uszkodzeń (rys. 3).

Analiza awaryjności jako źródło wiedzy

Awaria zawsze stanowi problem, bo może stwarzać zagrożenie dla bezpieczeństwa obsługi oraz majątku produkcyjnego często o dużej wartości. Awaria to także problem o charakterze ekonomicznym, bo wiąże się z utratą produkcji oraz dodatkowymi kosztami remontowymi.

Przez awarię należy rozumieć sytuację, gdy z powodu uszkodzenia elementu(ów) niemożliwa jest produkcja prądu i ciepła lub gdy moc elektryczną i/lub ciepłą bloku trzeba ograniczyć. Jako awarię należy traktować także uszkodzenie powstałe podczas postoju urządzenia (np. na skutek niewykonania w ogóle lub poprawnie ochrony przed korozją postojową) lub ujawnienie uszkodzenia,



Rys. 3. Zależność pomiędzy intensywnością pracy regulacyjnej wyrażonej przez Wskaźnik Intensywności Regulacji (WIR), a przyczynami uszkodzeń

którego naprawa przedłuża czas trwania i koszty remontu.

Prawidłowo wykonywana analiza awarii (rys. 4), powinna umożliwiać:

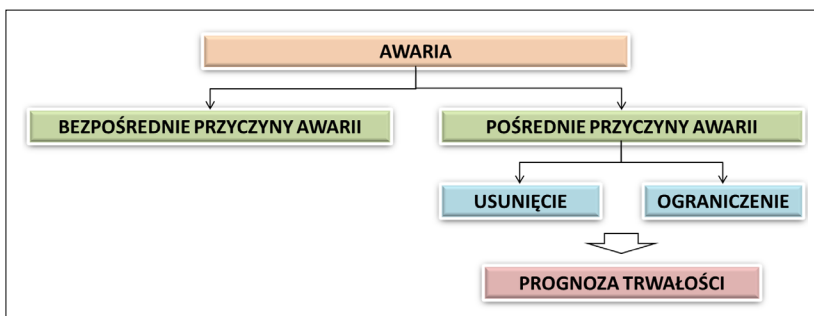
- ustalenie przyczyn(y) bezpośredniej i pośredniej awarii,
- określenie kosztów awarii z rozróżnieniem strat produkcyjnych i kosztów usuwania awarii oraz stopnia zagrożenia życia i zdrowia personelu,
- aktualizację statystyk awaryjności z uwzględnieniem co najmniej częstotliwości, lokalizacji i przyczyn pośrednich.

Należy pamiętać, że awarie są nie tylko źródłem problemów, ale właściwie analizowane, mogą być źródłem wiedzy pozwalającej na:

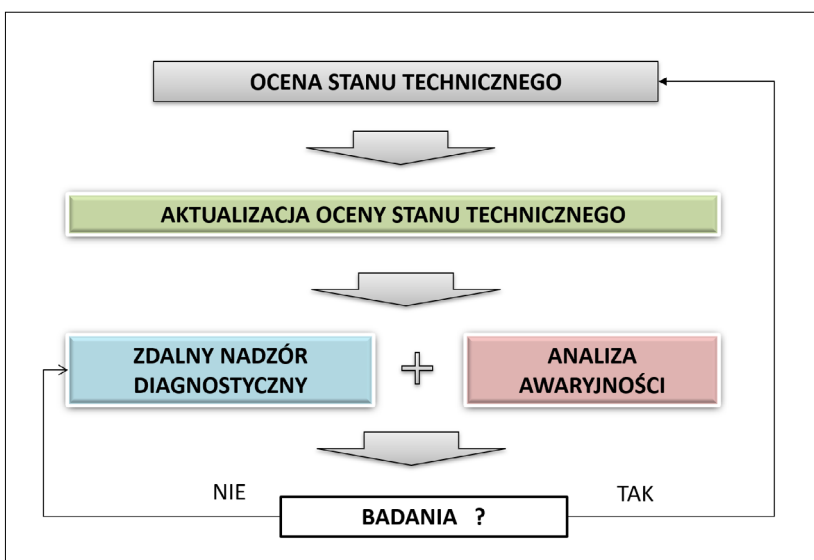
- ograniczenie ryzyka występowania uszkodzeń i innych nieprawidłowości,
- zapobieganie kolejnym awariom,
- weryfikowanie (aktualizowanie) ocen stanu technicznego i prognoz trwałości.

Zdalny nadzór diagnostyczny jako sposób aktualizacji oceny stanu technicznego

Regulacyjna praca bloków energetycznych stawia wysokie wymagania w zakresie utrzymania stanu technicznego według kryterium niezawodności i dyspozycyjności. Z wielu względów stawia to nie tylko większe, ale także nowe wymagania dla diagnostyki. Diagnostyka powinna pozwalać zarówno na identyfikowanie charakteru i przyczyn uszkodzeń na podstawie badań, jak również na bieżącą ocenę stanu technicznego i weryfikację prognozy trwałości (predykcji uszkodzeń) na podstawie analizy wybranych sygnałów pomiarowych i innych informacji w trybie on-line. Kreowana w trakcie zdalnego nadzoru diagnostycznego wiedza może być integrowana z wybranymi wskaźnikami ekonomicznymi w celu bieżącego szacowania ryzyka uszkodzeń/awarii.



Rys. 4. Schemat procesu analizy awarii



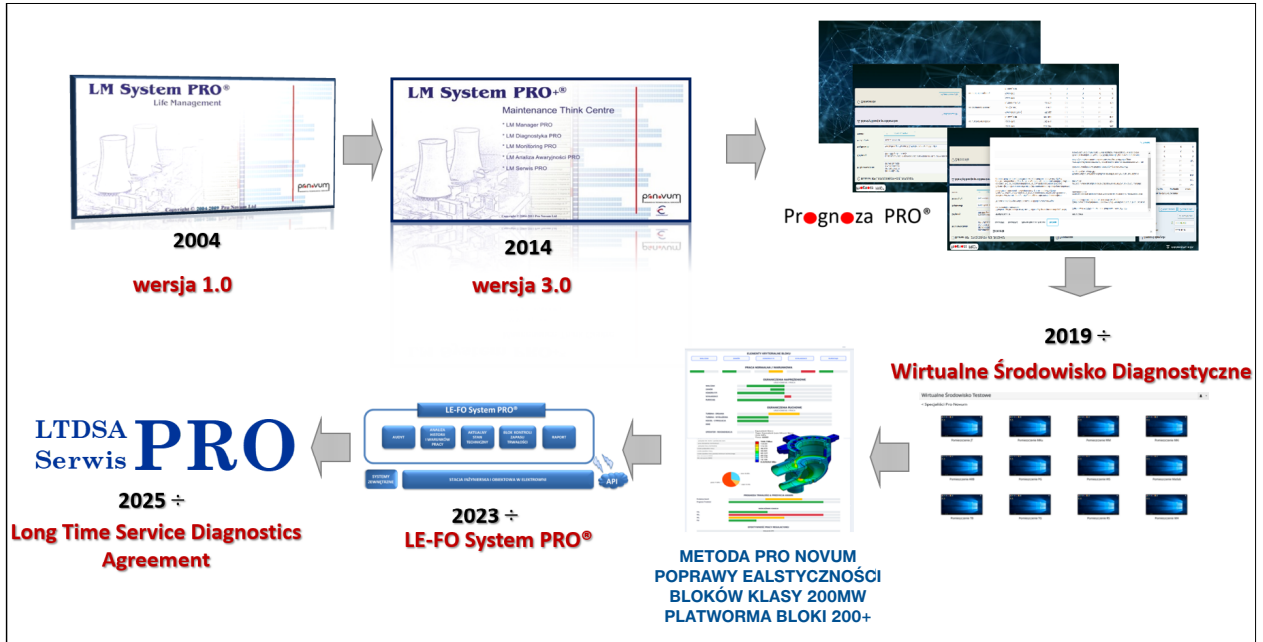
Rys. 5. Badania diagnostyczne podczas postojów urządzeń jako opcja aktualizacji oceny stanu technicznego urządzenia wykonywanej w trybie nadzoru diagnostycznego (zdalnego serwisu diagnostycznego)

Aktualizacji oceny stanu technicznego można dokonywać nie tylko podczas postojów urządzeń energetycznych, ale także podczas ich eksploatacji (rys. 5). To tańsze i pozwala lepiej wykorzystać często ograniczone środki na utrzymanie majątku produkcyjnego.

Bieżący nadzór diagnostyczny mógłby stać się ważną częścią diagnostyki, która powinna zostać zorganizowana w sposób systemowy wykorzystując współczesne, sprawdzone technologie analityczne, cyfrowe i informatyczne jednocześnie opierając się na wiedzy i doświadczeniu, które są rezultatem bogatej, także pod względem know-how, historii polskiej elektroenergetyki.

Posiadamy wieloletnie doświadczenia w sprawowaniu serwisów diagnostycznych o podobnym charakterze, uprawnione laboratoria zapewniające pełne spektrum badań oraz systemy do sprawowania diagnostyki w zdalnym trybie, w których zaimplementowano wiedzę i wieloletnie doświadczenie specjalistów, jak również obowiązujące standardy i wytyczne (rys. 6).

Zdalny nadzór diagnostyczny stosowany jest w energetyce i systematycznie rozwijany od wielu lat. Polega on na integracji klasycznej, zaawansowanej wiedzy na temat eksploatacji i diagnozowania urządzeń energetycznych oraz współczesnych technologii modelowania numerycznego konstrukcji i procesów



Rys. 6. Specjalistyczne programy i platformy inżynierskie wspierające oceny stanu technicznego urządzeń ciepłno-mechanicznych w trybie on-line

This block contains several diagnostic reports and software interfaces. On the left is a report titled 'RAPORT' for 'ENERGA Elektroenergetyka SA' dated 2019-01-11. In the center is a 'STAN SYSTEMU' (system status) interface showing a color-coded bar chart for 'JAKOŚĆ INFORMACJI' (information quality) with categories: dobry (green), średni (yellow), i niski (red), and precyzyjny (grey). On the right is the 'LM System PRO+ 3.0' interface, which includes a 'KONCENTRACJA CIĘŻAROWA' (weight concentration) heatmap and various charts like 'ANALIZA ENERGETYCZNA' (energetic analysis) and 'Liczba awarii' (number of failures).

Rys. 7. Nadzór diagnostyczny nad głównymi urządzeniami bloku parowego oraz gazowo-parowego

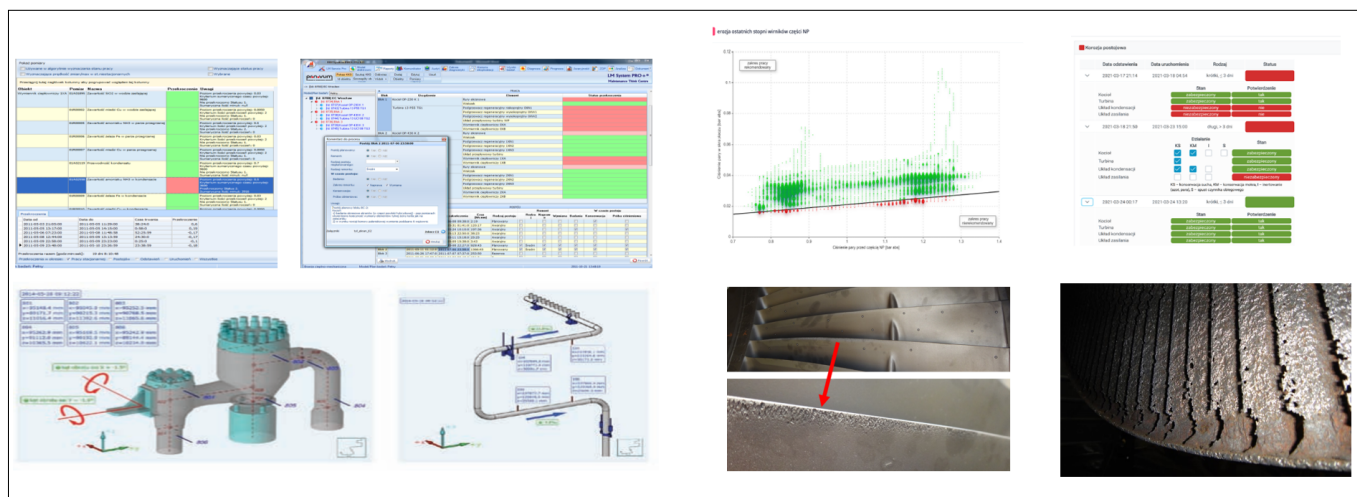
wymiany ciepła, generowania naprężeń, przemieszczeń i utraty trwałości.

Posiadamy ponad 20-letnie doświadczenia z wdrażaniem diagnostyki w wykonywanej w takim trybie. W tym czasie udostępniliśmy naszym Klientom odpowiednio skonfigurowane aplikacje informatyczne - oparte na platformie informatycznej **LM System PRO+®**. W ten sposób powstały nasze najnow-

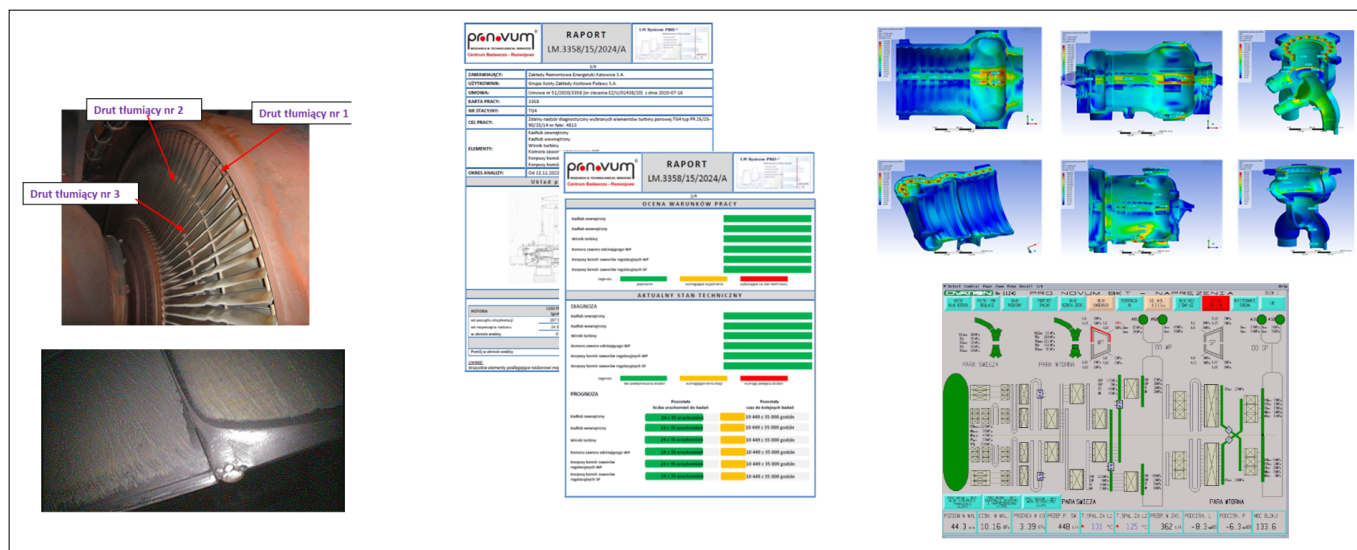
sze rozwiązania stosowane w energetyce, tj. **Progniza PRO®** i **LE-FO System PRO®**, jak również **LTDSA®** (*Long Time Diagnostics Service Agreement*) [1,2], wspierające bezpieczeństwo eksploatacji i dyspozycyjność, także w przypadku, gdy praca niektórych elementów krytycznych odbywa się w trybie warunkowym [5]. Poniżej przedstawiono kilka najczęściej stosowanych serwisów dia-

gnostycznym sprawowanych w ostatnim czasie:

- nadzór diagnostyczny w zakresie oceny stanu technicznego i jej aktualizacji oraz prognozy trwałości elementów krytycznych głównych urządzeń ciepłno-mechanicznych bloku parowego oraz gazowo-parowego z uwzględnieniem chemii energetycznej,



Rys. 8. Nadzór diagnostyczny towarzyszący identyfikowaniu i monitorowaniu wybranych problemów technicznych



Rys. 9. Nadzór diagnostyczny wybranych, krytycznych elementów turbin

- nadzór diagnostyczny towarzyszący identyfikowaniu oraz monitorowaniu bezpieczeństwa wybranych problemów technicznych wraz z oceną ryzyka.
- nadzór diagnostyczny długo i względnie krótko eksploatowanych elementów krytycznych turbin parowych w celu przedłużenia okresów między remontowych - Rys. 8, w okresie gwarancyjnym i/ lub kontroli on-line poziomu naprężeń z oddziaływaniem na sterowanie - Rys. 9.
- nadzór diagnostyczny nad warunkową eksploatacją uszkodzonych

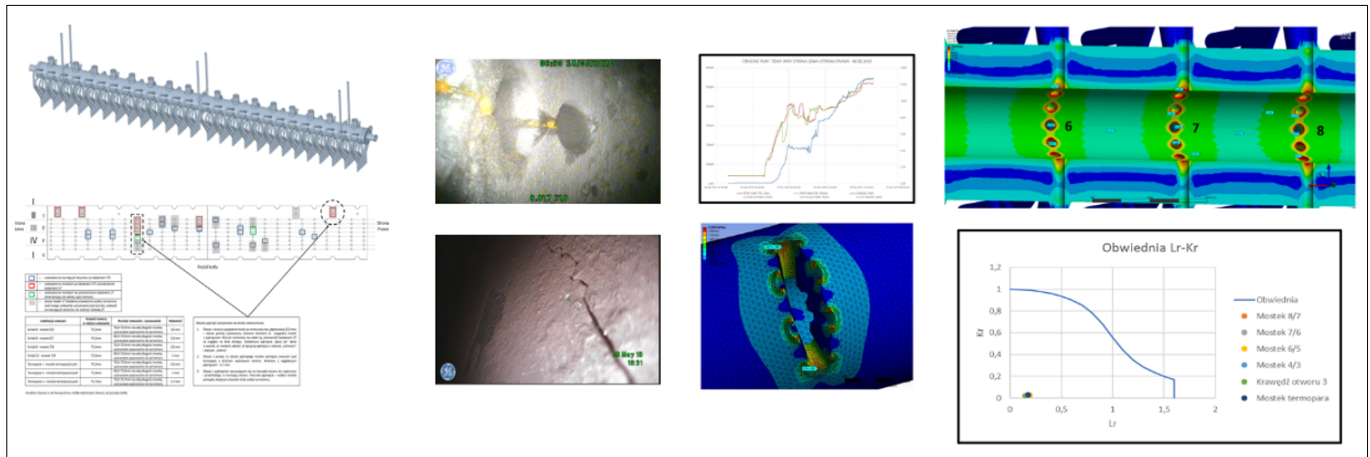
elementów, np. komór przegrzewaczy pary i schładzaczy - Rys. 10.

Podsumowanie

Wydłużona eksploatacja części bloków węglowych jest niezbędna dla bezpieczeństwa Krajowego Systemu Energetycznego. Wraz z przyrostem w KSE energii z innych źródeł generacji zwłaszcza z OZE - bloki węglowe będą musiały pracować w coraz bardziej intensywnej regulacji. Część z nich powinna zostać zachowana w zimnej (operacyjnej) rezerwie. Bloki eksploatowane

w trybie zbliżonym do pracy elastycznej powinny zostać:

- zmodernizowane, np. zgodnie z jedną z technologii opracowanych podczas Programu Bloki 200+,
- „dostosowane” niskonakładowo w celu poprawy elastyczności z wykorzystaniem naturalnych rezerw po stronie zapasów trwałości elementów krytycznych oraz w systemach sterowania [3],
- zabezpieczone na czas pozostawania w (zimnej) rezerwie operacyjnej.



Rys. 10. Nadzór diagnostyczny nad warunkową eksploatacją krytycznych elementów kotłów

Bloki niezależnie od ich przyszłego statusu powinny mieć dobrze zaplanowane remonty oraz diagnostykę zapewniającą ich bezpieczeństwo oraz dyspozycyjność. Proces tzw. transformacji polskiej energetyki zawiera wiele niewiadomych. Jego tempo, zwłaszcza

na remonty i diagnostykę coraz bardziej to utrudniają. Coraz skromniejsze środki na utrzymanie stanu technicznego można jednak lepiej niż dotąd wykorzystać:

- Dostosować diagnostykę do regulacyjnego trybu pracy bloków energetycznych,

korozję i erozję, nie były ujawniane w trybie awaryjnym,

- Nadać wyższą rangę analizie awaryjności - awaria to nie tylko problem, ale także źródło wiedzy.

” Proces tzw. transformacji polskiej energetyki zawiera wiele niewiadomych. Jego tempo, zwłaszcza w ostatnim czasie, tego nie uwzględnia

w ostatnim czasie, tego nie uwzględnia. Dyspozycyjność i elastyczność bloków będzie najbardziej pożądaną ich cechą. Oczekiwania takie można spełnić zapewniając utrzymanie ich stanu technicznego na odpowiednio wysokim poziomie. Ograniczane w ostatnich latach środki

- Ograniczyć znaczenie czasowych kryteriów bezpieczeństwa,
- Aktualny stan techniczny w większym stopniu nadzorować niż oceniać na podstawie badań,
- Sprawić, aby uszkodzenia termomechaniczne i wywołane przez

Coraz mniejsze grono specjalistów o wysokich kompetencjach można wspierać przy pomocy zaawansowanych, metod analitycznych i cyfrowych oraz Sztucznej Inteligencji. Współczesne technologie na to pozwalają. Algorytmy potrafią wspierać, a nawet zastępować ludzi. Aktualną ocenę stanu technicznego można mieć w dowolnej chwili, a nie tylko po wykonaniu kolejnych badań często w zakresie ... niezbyt dostosowanym do potrzeb. To najkrótsza droga do zapewnienia bezpieczeństwa i dyspozycyjności przy możliwie najniższych kosztach. □

Literatura:

- [1] Trzeczcyński J., Stanek R. - *Serwis diagnostyczny w formule LTDSA źródłem korzyści dla inwestora i użytkownika nowych urządzeń energetycznych*, XXVII Sympozjum Pro Novum 2025.
- [2] Trzeczcyński J., Stanek R. - *Diagnostyka wykonywana w trybie LTSA zapewniająca dyspozycyjność bloków węglowych w okresie ich dalszej eksploatacji*, Sympozjum Pro Novum 2024.
- [3] Trzeczcyński J. - *Projekt BLOKI 2025+. Założenia do strategii kontynuowania eksploatacji bloków klasy 200MW (I). Aktualny stan implementacji Projektu*. Biuletyn Pro Novum nr 2/2023. „Energetyka” 2023, nr 12.
- [4] Rajca S., Pośpiech S., Dragon A. - *Diagnostyka wspierająca remonty i eksploatację turbin parowych*, Biuletyn Pro Novum nr 2/2022. „Energetyka” 2022, nr 12.
- [5] Trzeczcyński J., Murzynowski W. - *Nadzór diagnostyczny nad warunkową eksploatacją uszkodzonych schładzaczy do czasu ich wymiany lub naprawy*. Biuletyn Pro Novum nr 1/2019. „Energetyka” 2019, nr 7.