

■ Dr inż. Jerzy Trzeszczyński, Dr inż. Marcin Hattas, Mgr inż. Wojciech Murzynowski,  
Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” Sp. z o.o.

# Digitalizacja środowiska diagnostycznego

jako proces wspierający bezpieczeństwo i dyspozycyjność bloków energetycznych oraz możliwość poprawy ich elastyczności w niskonakładowy sposób

*Stirrings still*

Obiecującym kierunkiem rozwoju diagnostyki urządzeń energetycznych jest cyfryzacja wszystkich towarzyszących jej procesów oraz komunikacji pomiędzy obiektem rzeczywistym i diagnostycznym środowiskiem testowym. To technologia uniwersalna, dająca ewidentne korzyści na blokach starszych, jak również na nowych.

W pierwszym przypadku obniża znacznie koszty przy zachowaniu wysokiej jakości wiedzy, w drugim przypadku może być najlepszym wsparciem uzyskania kompetencji technicznych na nowych blokach energetycznych stwarzając szanse na partnerskie, równorzędne relacje pomiędzy użytkownikiem, a dostawcą, jeśli... zawarta umowa LTSA nie wyklucza takiego działania.

Ostatnie wydarzenia w Europie pokazują, że bezpieczeństwo jest najważniejsze. Nie da się go zbudować ani na nierealistycznych założeniach, ani na outsourcingu. Ta sytuacja jeszcze bardziej niż dotąd pokazuje, że kompetencje, w tym także techniczne, są

najważniejsze. Czy potrafimy wyciągnąć z tego właściwe wnioski i skorygować działania? Czy starczy nam na to czasu?

## Dlaczego warto cyfryzować diagnostykę?

Diagnostyka urządzeń energetycznych, niestety swoje najlepsze czasy ma już za sobą [1, 2]. Nic nie zapowiada żeby mogło się to zmienić, bo:

- Diagnostyka utraciła w znacznym stopniu swoją autonomię i staje się częścią remontów. Ułatwia to może organizację przetargów, jednak ogranicza korzyści użytkowni-

ka w zakresie wiedzy, zwłaszcza dotyczącej profilaktyki.

- Wymiana wiedzy i doświadczeń ulega dalszej redukcji. Trudności jakie wywołała pandemia proces ten jeszcze bardziej akcelerują. Algorytmy w tym względzie mogłyby pomóc nie tylko w skali elektrowni, ale także w skali użytkowników jednej klasy urządzeń.
- Niska jest ranga działań będących źródłem najbardziej użytecznej wiedzy, tj.:
  - badań niszczących elementów wycofanych z eksploatacji,
  - korzystanie ze zdalnej diagnostyki, nawet w czasach pandemii, nie zdobyło uznania [4],

– ograniczone korzystanie z możliwości jakie stwarzają cyfrowe technologie w zakresie analizy warunków pracy, a zwłaszcza naprężeń (także w trybie on-line) - nadal korzysta się z metod i kryteriów konstruktorskich często opracowanych parędziesiąt lat temu.

- Współczesne technologie:
  - projektowania,
  - modelowania konstrukcji, nie tylko poszczególnych ich komponentów,
  - modelowania procesów towarzyszących eksploatacji,
  - komunikacji,
  - zaawansowanej analizy danych, także (zwłaszcza!) z wykorzystaniem sztucznej Inteligencji,

zmieniają, już bardzo zmieniły, diagnostykę.

Coraz bardziej nietypowy, regulacyjny charakter pracy bloków węglowych, a także rezultaty dotąd wykonanych modernizacji ograniczają, a nawet wykluczają, klasyczne podejście do diagnostyki:

- rosnący udział OZE w systemie

elektroenergetycznym sprawia, że praca bloków energetycznych, nawet tych o największej mocy (!) od wielu lat nie ma wiele wspólnego nie tylko z trybem *base load* do jakiego zostały zaprojektowane, ale nawet z trybem *cyclic load*,

- „Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej” obowiązująca od ponad 9 lat (!) wymaga m. in. od bloków o statusie JWCD:
  - przy postoju do 8 godz. - czasu rozruchu do 2 godz.,
  - przy postoju od 8 do 50 godz. - czasu rozruchu do 3 godz.,
  - przy postoju powyżej 50 godz. - czasu rozruchu do 5 godz.

Dodatkowo „Instrukcja...” zaleca, aby jednostki wytwórcze były przystosowane do co najmniej (!) 200 rozruchów w ciągu roku,

- Modernizacje przeprowadzone na znacznej części bloków klasy 200 MW sprawiły, że część kotłów OP-650 pracuje z wydajnością ok. 700 ton pary/godz.

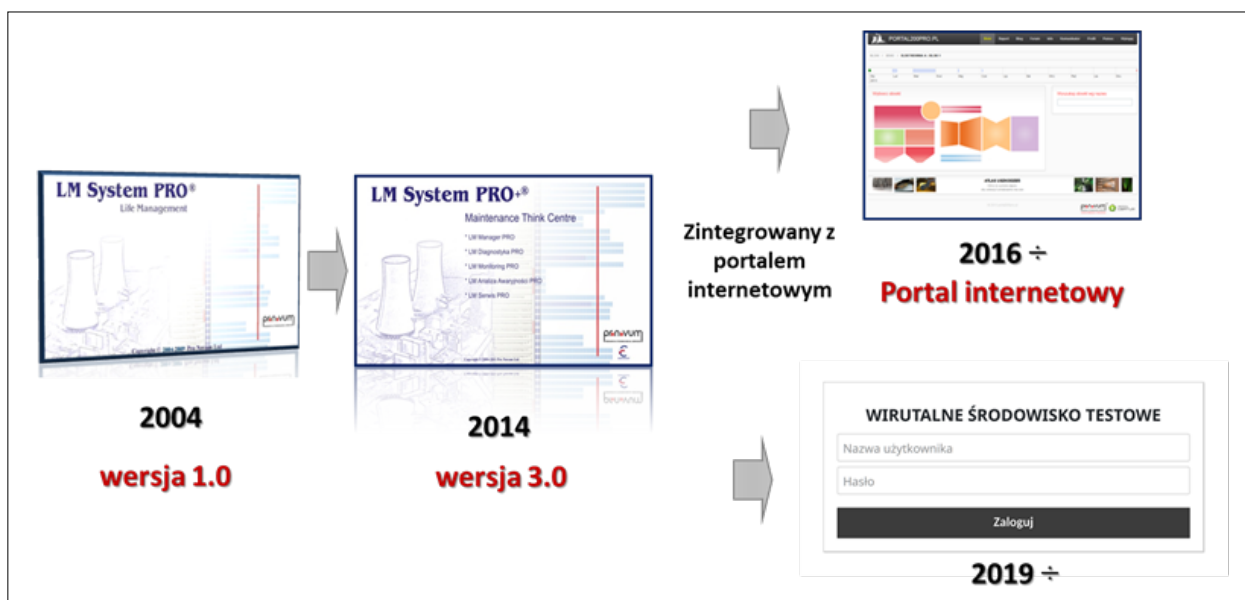
Rosnący udział OZE, jeśli jej zwolnicy będą usiłowali zrealizować strategię

UE nazwaną *Fit for 55*, sprawi, że stabilizowanie polskiego systemu elektroenergetycznego będzie jeszcze większym niż dotąd wyzwaniem, zwłaszcza dla bloków klasy 200 MW [3]. Ich praca w trybie *flexible mode* stanie się nieodzowna. Jeśli dodatkowo przyjąć, że równolegle do opisanego trybu pracy będzie wdrażane zwiększone spalanie biomasy i paliw alternatywnych, to zapewnienie ich bezpieczeństwa oraz oczekiwanej dyspozycyjności może okazać się sporym wyzwaniem.

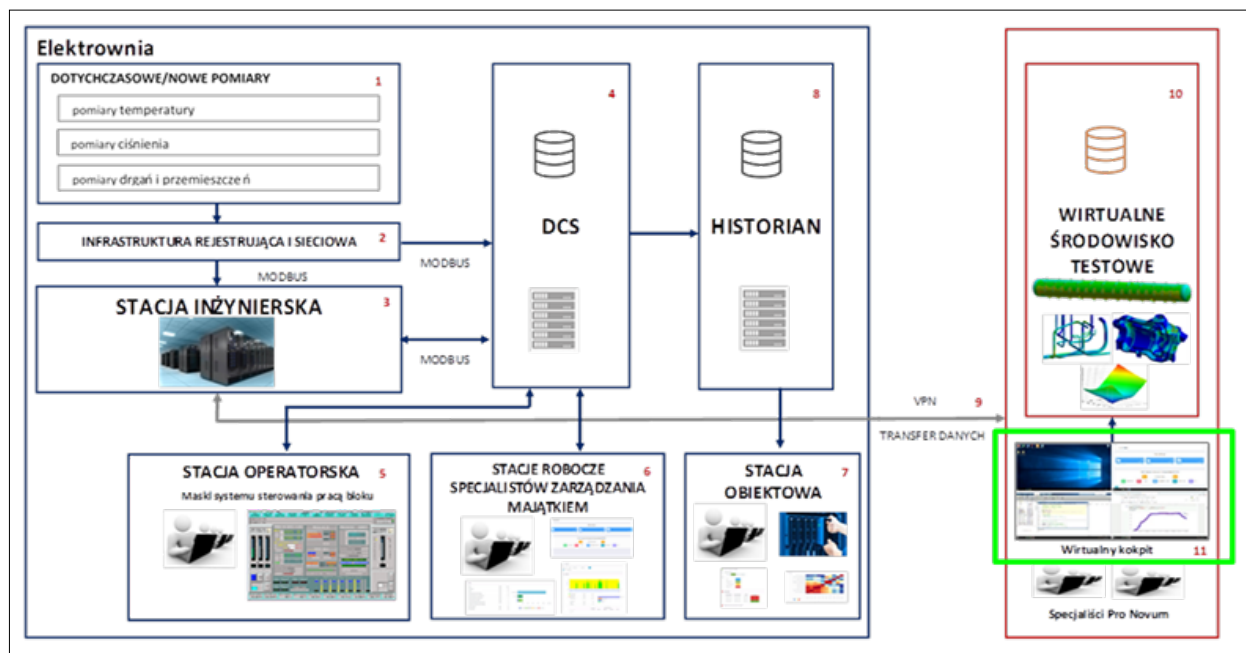
Z powodów jw. Pro Novum systematycznie cyfryzuje swoje środowisko diagnostyczne, rozwija i oferuje - od prawie 20 lat - diagnostykę zdalną (rys. 1), a od 3 lat robi to z wykorzystaniem Wirtualnego Środowiska Diagnostycznego (WŚD), stanowiącego jedną z części Systemu Diagnostycznego Pro Novum (rys. 2).

## Funkcjonalności Wirtualnego Środowiska Diagnostycznego

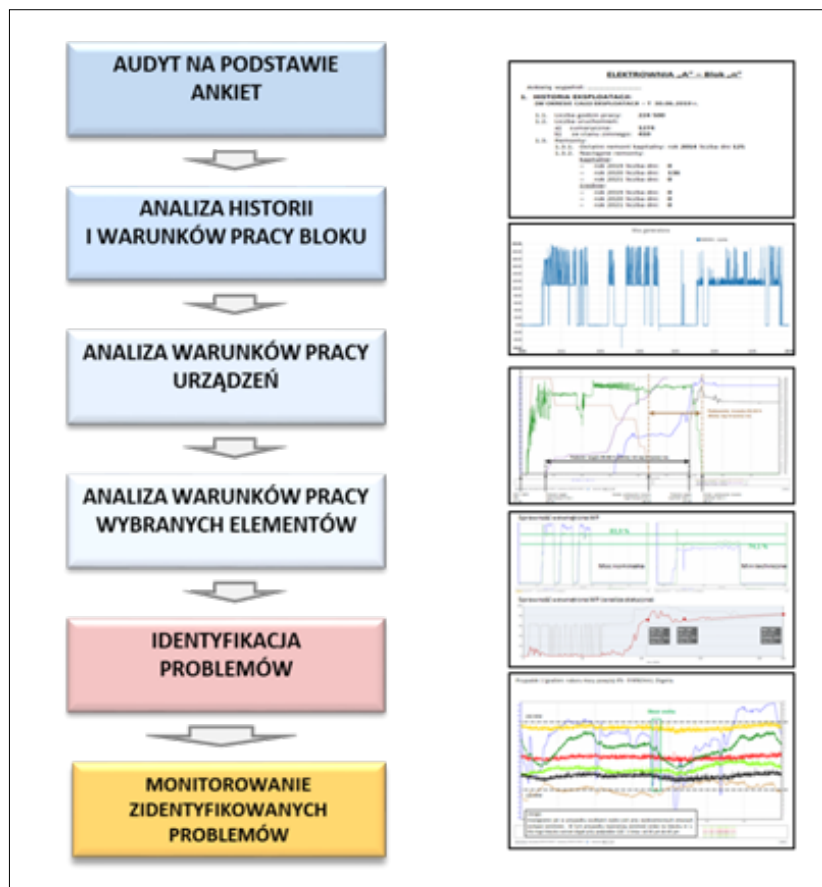
Wirtualne Środowisko Diagnostyczne (WŚD) to bezpieczna, monitorowana, informatyczna infrastruktura składająca się z odpowiedniego sprzętu i opro-



Rys. 1. Od programu Diagnostyka PRO poprzez platformę informatyczną LM System PRO® do Wirtualnego Środowiska Diagnostycznego oraz portalu internetowego



Rys. 2. Architektura Wirtualnego Środowiska Diagnostycznego Pro Novum [5]



Rys. 3. Audyt bloku - proces analizy informacji

gramowania. Użytkownikami WŚD są specjaliści Pro Novum oraz wydziałów zarządzania majątkiem elektrowni. W najbardziej zaawansowanych projektach, skoncentrowanych zwłaszcza na bezpieczeństwie, informacje generowane przez algorytmy predykcyjne mogą być wizualizowane na maskach operatorskich. Do WŚD przesyłane są dane i informacje procesowe w celu:

- zapewnienia bezpieczeństwa danych oraz prowadzenia prac nad rozwojem aplikacji informatycznych związanych z diagnostyką,
- analizy warunków i historii eksploatacji elementów/urządzeń (rys. 4),
- modelowania i symulacji z wykorzystaniem MATLAB, ANSYS, IPSEPro i metod AI,
- analizy stanu naprężeń elementów krytycznych bloku w trybie on-line z wykorzystaniem bieżących warunków ich pracy, a także w zakresie symulowanych warunków pracy (rys. 4),
- monitorowania i symulowania pozostałego zapasu trwałości elementów krytycznych (rys. 5),
- kalibracji, testowania i walidacji rozwiązań z zakresu eksploatacji, diagnostyki i serwisu,

- przygotowania nowych/zmodyfikowanych algorytmów sterowania i ich testowania przed zaimplementowaniem w DCS,
- testowania funkcjonalności aplikacji informatycznych przed ich zaimplementowaniem na Stacji Operatorskiej,
- sprawowania nadzoru diagnostycznego elementów/urządzeń lub bloku eksploatowanego w trybie regulacyjnym.

### Program Bloki 200+ - założenia i rezultaty Metody Pro Novum

Cyfryzacja diagnostyki związana z odpowiednio przygotowaną architekturą Wirtualnego Środowiska Diagnostycznego i jego funkcjonalnościami, których przykłady zaprezentowano powyżej, umożliwiły zrealizowanie Metody Pro Novum opracowanej na potrzeby Programu Bloki 200+. Podstawowymi atutami Metody są: uniwersalność i niskie koszty wdrożenia, co sprawia, że może zostać

zaimplementowana z korzyścią ekonomiczną nawet na blokach, których dalsza eksploatacja może być względnie krótka ze względu na niespełnienie wymagań emisyjnych wg konkluzji BAT, jak również bez znaczących profitów z Rynku Mocy. Istotę Metody przedstawiono na rys. 6.

W celu potwierdzenia zapasów/rezerw po stronie trwałości i sterowania zaprojektowano narzędzia zarówno dla:

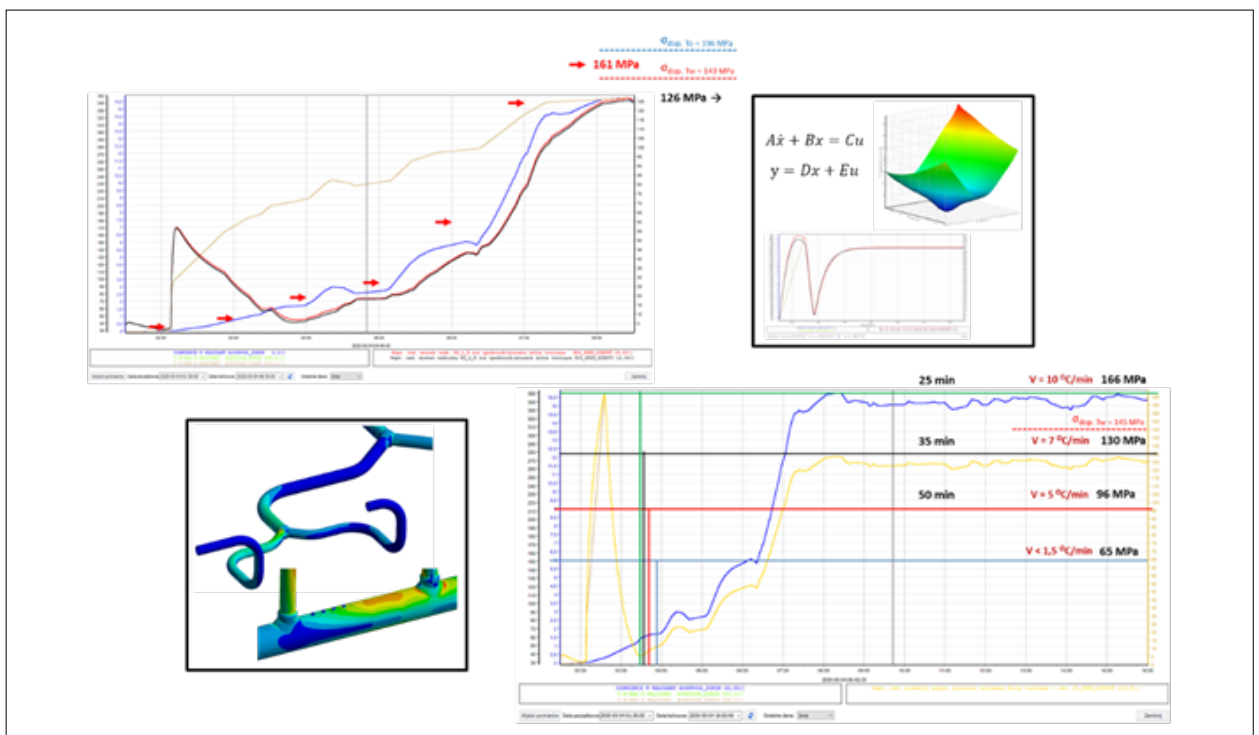
- ich identyfikacji,
- weryfikacji, z wykorzystaniem modelowania i symulacji procesów, analizy stanów termicznych, naprężeń i utraty trwałości,
- oceny stanu technicznego i prognozowania trwałości do jej całkowitego wyczerpania na skutek:
  - zmęczenia,
  - pęcznienia,
- z uwzględnieniem pracy warunkowej na podstawie metod i kryteriów mechaniki pęknięcia,
- bieżącego monitorowania:
  - stanów termicznych i naprężeń w wybranych elemen-

tach krytycznych kotła, głównych rurociągów parowych oraz turbiny,

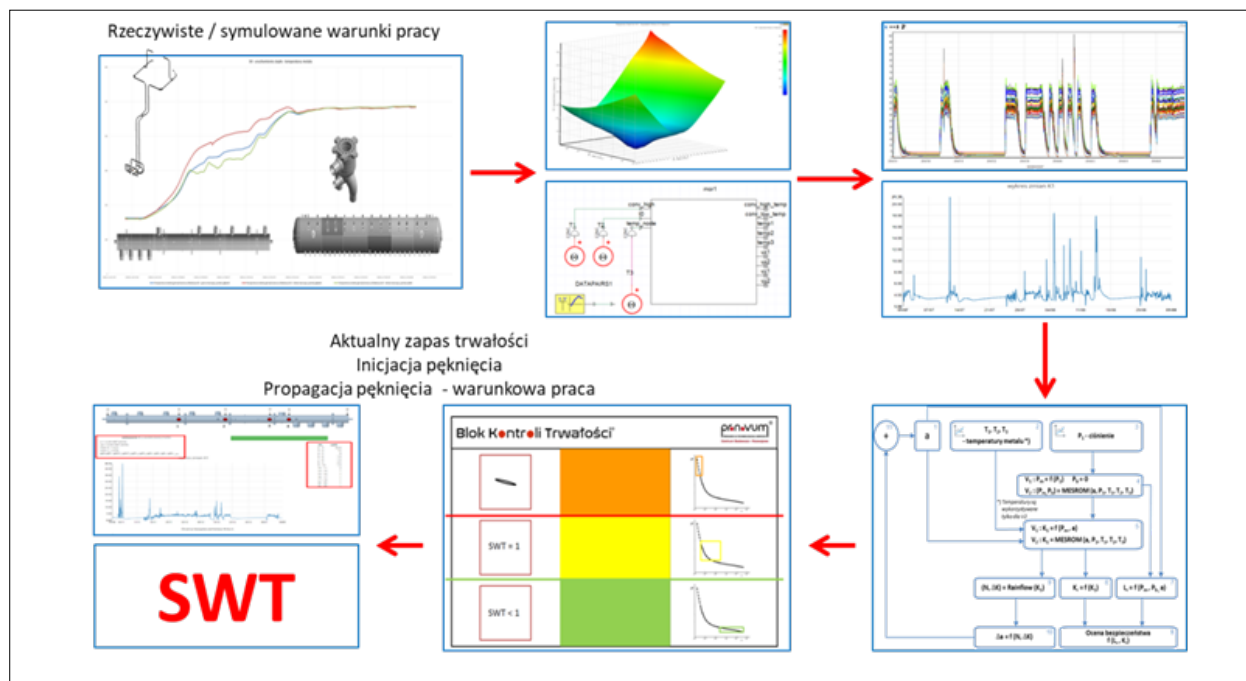
- emisji podstawowych zanieczyszczeń w spalinach w kontekście intensywności regulacji,
- efektywności wytwarzania energii z wykorzystaniem pomiaru w trybie *on-line* Wskaźnika Jednostkowego Zużycia Energii Chemicznej Paliwa,
- optymalizacji pracy pompy wody chłodzącej z uwzględnieniem pracy regulacyjnej.

W celu weryfikacji założeń Metody przyjęto, że jej wdrożenie będzie przebiegało na bloku referencyjnym, który:

- w przeszłości został zmodernizowany w niewielkim zakresie,
- w okresie wdrażania podlegał będzie wyłącznie typowym, wcześniej zaplanowanym remontom bieżącym,
- plany produkcyjne zachowa bez zmian, za wyjątkiem okresów te-



Rys. 4. Cyfrowe bliźniaki elementów krytycznych - stan naprężeń na podstawie rzeczywistych lub symulowanych warunków pracy

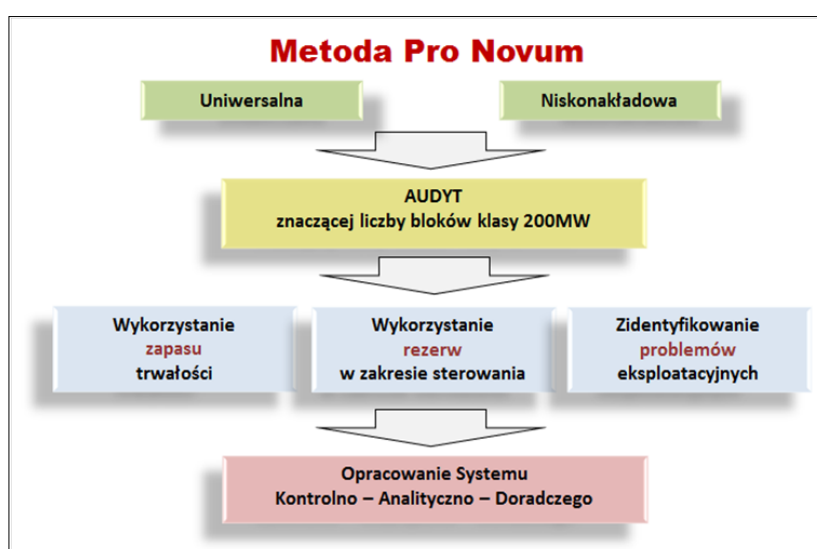


Rys. 5. Monitorowanie zapasu trwałości elementów krytycznych [5]

- stwów i optymalizacji po zmianach w systemie sterowania oraz podczas Pomiaru I i Pomiaru II (wg wymagań NCBIR),
- Instrukcje Eksploatacji zachowa z możliwie najmniejszą ilością zmian,
  - poza instalacją czujników dla dodatkowych pomiarów temperatury metalu i czynnika (w możliwie najmniejszym zakresie) nie doznają żadnych zmian konstrukcyjnych zarówno w obszarze urządzeń głównych, jak i pomocniczych,
  - nie będzie udostępniał sygnałów o charakterze obliczeniowym zaimplementowanych wcześniej na potrzeby kontroli eksploatacji i sterowania.

Pozytywne rezultaty założeń Metody Pro Novum zostały potwierdzone poprzez przeprowadzenie Pomiarów II przez niezależną firmę pomiarową - wg wymagań NCBIR, którymi były:

- Uruchomienia ze stanu zimnego, ciepłego i gorącego w cza-



Rys. 6. Istota Metody Pro Novum - powiększenia elastyczności bloków klasy 200 MW [5]

- odpowiednio do: 5 godz., 2 godz. i 30 min. i 1 godz. i 30 min.
- 8 godz. praca bloku przy obniżonym min. technicznym do 40% mocy osiągalnej, tj. 90 MW, przy nie pogorszonej - w stosunku do Pomiarów I - stężeniu  $NO_x$  w spalinach.

- Nabór mocy z gradientem 4% mocy nominalnej na minutę, tj. 9 MW/min.
- Niepogorszenie sprawności bloku.
- Porównanie wartości jednostkowego zużycia energii chemicznej paliwa przez blok brutto wyznaczonego na drodze pomiarów

NAZWA ZADANIA		Kryterium konkursowe	Rezultat Metody Pro Novum
OBLIGATORYJNE	Skrócenia czasu uruchomienia ze stanu zimnego	5:00	3:01
	Skrócenia czasu uruchomienia ze stanu ciepłego	2:30	1:48
	Skrócenia czasu uruchomienia ze stanu gorącego	1:30	1:13
	Stabilna i bezpieczna praca przy obniżonym minimum technicznym <b>PRZY NIEPOGORSZONEJ - W STOSUNKU DO POMIARÓW I - EMISJI NO<sub>x</sub> W SPALINACH</b>	40% mocy osiągalnej <b>129 MW</b>	<b>90 MW</b>
	Zwiększenie gradientu naboru mocy	4% mocy osiągalnej /minutę <b>2MW / min</b>	<b>9,1 MW/min</b>
	Narzędzie informatyczne i kontrolno-pomiarowe – JZChP <b>ZBIĘŻNOŚĆ WYNIKÓW Z WYNIKAMI UZYSKANymi NA DRODZE POMIARÓW CIEPLNO – PRZEPLYWOWYCH FIRMY POMIAROWEJ</b>		<b>10 158 kJ/kWh</b>
FAKULTATYWNE	Sprawność wytwarzania energii elektrycznej (netto) <b>BEZ POGORSZENIA SPRAWNOŚCI W STOSUNKU DO POMIARÓW I</b>		<b>36,30 %</b>

Tab. 1. Wyniki Pomiarów II

cieplno-przepływowych z wartością obliczoną przez narzędzie informatyczne.

Wyniki Pomiarów II (tab. 1) udowodniły, że dzięki zastosowaniu Metody Pro Novum blok referencyjny [6]:

- Można uruchamiać szybciej niż w oczekiwanych przez NCBiR czasach uruchomień, a nawet krócej od czasów deklarowanych przez Pro Novum,
- Może pracować stabilnie i bezpiecznie z mocą obniżoną do 90 MW przy emisji NO<sub>x</sub> w zakresie 394-402 mg/m<sup>3</sup> - co jest wynikiem lepszym od tego uzyskanego w czasie Pomiarów I,
- Nabór mocy może realizować z prędkością 9,1 MW/min.,
- Poprawa elastyczności bloku referencyjnego nie pogorszyła jego sprawności, a wartości jednostkowego zużycia energii chemicznej paliwa przez blok na drodze pomiarów i poprzez narzędzie infor-

matyczne opracowane przez Pro Novum są zbieżne.

## Podsumowanie

Digitalizację środowiska diagnostycznego Pro Novum rozpoczęło prawie 5 lat temu, gdy uświadomiliśmy sobie, że zagrożeniem dla bezpiecznej eksploatacji, zwłaszcza długo eksploatowanych bloków, w większym stopniu niż wyczerpanie trwałości jest wyczerpanie kompetencji. Implementację wiedzy i doświadczeń w formie algorytmów uznaliśmy za najlepszy kierunek rozwoju diagnostyki. Najbardziej zaawansowaną aktualnie fazę rozwoju digitalizacji w Pro Novum jest WŚD, które swoją przydatność potwierdziło praktycznie wspierając weryfikację założeń oraz proces wdrożenia Metody Pro Novum zwiększenia elastyczności bloków klasy 200 MW.

Wirtualne Środowisko Diagnostyczne to bezpieczna, monitorowana, informatyczna infrastruktura składająca się z odpowiedniego sprzętu i oprogramowania. Korzystając z Wirtualnego Śro-

dowiska Diagnostycznego zintegrowanego poprzez Stację Inżynierską z DCS bloku pozwoliło na szybkie i komfortowe dla specjalistów elektrowni, technologicznych partnerów Pro Novum oraz naszych specjalistów potwierdzić założenia Metody Pro Novum poprawy elastyczności bloku referencyjnego oraz przeprowadzić z sukcesem cały proces jej wdrożenia aż do Pomiarów II zakończonych w pierwszych dniach listopada ub. r.

Metoda Pro Novum zwiększenia elastyczności bloków klasy 200 MW pozwala zrobić to:

- w sposób niskonakładowy.
- względnie szybko, bez potrzeby istotnej zmiany planów produkcyjnych, w tym planów remontowych.

Metoda Pro Novum poprawia bezpieczeństwo i dyspozycyjność niezależnie od stopnia intensywności pracy regulacyjnej:

- Może być wdrażana w całości lub w formie implementacji wybranych

komponentów w zależności od wymagań Operatora Systemu Energetycznego oraz specyficznych uwarunkowań danej elektrowni, czy konkretnego bloku.

- Wspiera racjonalną redukcję nakładów na utrzymanie stanu technicznego z zachowaniem bezpieczeństwa i oczekiwanej dyspozycyjności.
- Może zostać zaimplementowana

z korzyścią ekonomiczną nawet na blokach, których dalsza eksploatacja może być względnie krótka, bez znaczących profitów z Rynku Mocy. □

Literatura

[1] Trzeczcyński J., Dokąd zmierza diagnostyka?, „Energetyka” 2021, *Biuletyn Pro Novum* 2/2021.

[2] Trzeczcyński J., Diagnostyka źródłem wiedzy i strategii eksploatacji. *Energetyka*, grudzień 2020. *Biuletyn Pro Novum* 2/2020.

[3] Trzeczcyński J.: Bloki klasy 200 MW dziś i jutro. *Biuletyn Pro Novum* 1/2020. *Energetyka* czerwiec 2020.

[4] Trzeczcyński J., Murzynowski W., Stanek R., Merdalski W.: Zdalna diagnostyka - niewykorzystana szansa na niskonakładowe zapewnienie bezpieczeństwa. „Energetyka” 2020, nr 6. *Biuletyn Pro Novum* 1/2020.

[5] Metoda Pro Novum poprawy elastyczności bloku klasy 200 MW Opis Funkcjonalno-użytkowy. Dokumentacja przygotowana na potrzeby Programu Bloki 200+. Materiał niepublikowany. Listopad 2021.

[6] Sprawozdanie z Pomiarów II bloku nr 1 zainstalowanego w EI. Połaniec związanych z Programem Bloki 200+. Materiał niepublikowany. Listopad 2021.



Rozwiązujemy  
bieżące problemy  
polskich elektrowni



1987 - 2022



TECHNOLOGIE