

II/XXIV Sympozjum DIAGNOSTYKA URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH I INSTALACJI PRZEMYSŁOWYCH

Bezpieczeństwo i dyspozycyjność bloków i urządzeń energetycznych w okresie transformacji polskiej elektroenergetyki (I)

W dniach 6-7 października 2022 r. odbyło się zorganizowane przez Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o. **II/XXIV Sympozjum DIAGNOSTYKA URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH I INSTALACJI PRZEMYSŁOWYCH**, którego tematem przewodnim było **Bezpieczeństwo i dyspozycyjność bloków i urządzeń energetycznych w okresie transformacji polskiej elektroenergetyki (I)**.

Po zeszłorocznej edycji zdalnej Sympozjum w tym roku powróciło do formuły całkowicie stacjonarnej – Sympozjum odbyło się Hotelu *Diamant* w Ustroniu.

Patronat Honorowy nad Sympozjum sprawowały: Towarzystwo Gospodarcze Polskie Elektrownie, Izba Gospodarcza Energetyki i Ochrony Środowiska oraz Business Centre Club.

Z kolei patronami merytorycznymi wydarzenia zostali: *ENEA Elektrownia Połaniec SA*, *PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna SA*, *TAURON Wytwarzanie SA* i *Veolia Energia Poznań SA*. Strategicznym Partnerem Technologicznym Sympozjum został *ORLEN Serwis SA*.

Wszystkie najważniejsze czasopisma branżowe objęły Sympozjum patronatem merytorycznym, a były to: *Dozór Techniczny*, *Energetyka*, *Nowa Energia* i *Śląskie Wiadomości Elektryczne* oraz portal *Cire.pl*. W tym roku po raz pierwszy patronatem medialnym objął Sympozjum również miesięcznik *INSTAL*.

Otwarcia Sympozjum dokonała Ewa Trzeszczyńska – prokurent i zastępca dyrektora ds. administracyjnych i finansowych w *Pro Novum sp. z o.o.*, która przedstawiła partnerów Sympozjum, jego tematykę i program tegorocznego wydawnictwa. Następnie powitalne adresy do uczestników skierowali członkowie Komitetu Honorowego i przedstawiciele partnerów Sympozjum, którzy podkreślali rolę Sympozjów *Pro Novum* dla branży i znaczenie technicznych, inżynierskich dyskusji w obecnej sytuacji polskiej elektroenergetyki.

Podczas dwóch dni Sympozjum odbyło się 7 sesji, w ramach których wygłoszone zostały 24 referaty. Sesje poprowadzili Waldemar Szulc – dyrektor Biura w Towarzystwie Gospodarczym Polskie Elektrownie, dr hab. inż. Rafał Kobyłecki z Politechniki Częstochowskiej oraz Krzysztof Brunné – prokurent i zastępca dyrektora ds. technicznych, *Pro Novum sp. z o.o.*

Sympozjum rozpoczęła debata techniczna pt. *Przyszłość energetyki konwencjonalnej*, którą poprowadził Waldemar Szulc (TGPE), a w której udział wzięli: Herbert Gabryś, Michał Cegielski (*TAURON Wytwarzanie SA*), prof. Roman Krok (Politechnika Śląska), Grzegorz Pakuła (*Grupa Powen-Wafapomp SA*) i Jerzy Trzeszczyński (*Pro Novum sp. z o.o.*).





Wstępem do debaty były trzy wystąpienia:

- 1) Herbert Gabryś: AKTUALNY STAN ENERGETYKI POLSKIEJ – WYBRANE INFORMACJE,
- 2) Ewa Trzeszczyńska (*Pro Novum sp. z o.o.*): O ENERGETYCE KONWENCJONALNEJ PODCZAS KONGRESU VGBE W ANTWERPII, 14-15.09.2022 r.,
- 3) Jerzy Trzeszczyński (*Pro Novum sp. z o.o.*): BLOKI 2022+. ZAŁOŻENIA DO STRATEGII KONTYNUOWANIA EKSPLOATACJI BLOKÓW KLASY 200 MW.

Agenda debaty obejmowała m.in. zagadnienia.

- Na jak długo należy zaplanować eksploatację bloków węglowych w Polsce, żeby zapewnić bezpieczną transformację naszej energetyki?
- Jaką rolę do odegrania w okresie transformacji polskiej energetyki powinny spełniać bloki klasy 200 MW?
- Wg jakich kryteriów bloki węglowe powinny być wycofywane z eksploatacji?
- Jaki w tym czasie może być tryb ich pracy, w tym status po wyłączeniu z eksploatacji?
- W jaki sposób najbardziej racjonalnie (od 2025 roku) można spełnić kryterium 550 g CO₂/kWh na blokach węglowych?
- Czy zastępowanie węgla biomasą oraz paliwami alternatywnymi jest realistyczne z punktu widzenia: dostępności paliwa, kosztów modernizacji i eksploatacji, elastyczności źródeł wytwarzania?
- Jak zapewnić kompetencje techniczne, zwłaszcza w obszarze utrzymania stanu technicznego urządzeń energetycznych?

Uczestnicy debaty oraz licznych dyskusji w trakcie Sympozjum byli zgodni co do tego, że nie sposób wyobrazić sobie bezpieczeństwa energetycznego Polski bez dobrze zaplanowanej eksploatacji bloków węglowych w całym okresie transformacji sektora energetyki. Tempo wycofywania bloków węglowych powinno być odpowiednio zsynchronizowane nie tylko z oddawaniem do eksploatacji nisko- i zeroemisyjnych źródeł generacji. Bloki węglowe powinny, w odpowiednim trybie, pracować tak długo, aż nowy mix energetyczny będzie można uznać za bezpieczny i ekonomicznie akceptowalny. Po energetykę węglową sięgają w ostatnim czasie wszystkie kraje europejskie, nawet takie, w których generacja energii z węgla odgrywa niewielką rolę. Szczególną rolę powinno się powierzyć energetyce opartej na węglu kamiennym, której w przeciwieństwie do energetyki opartej na węglu brunatnym nie grozi wyczerpanie własnych zasobów w dającej się przewidzieć przyszłości. Znaczącą rolę w okresie transformacji mogą i powinny odegrać bloki klasy 200 MW, których stan techniczny pozwala nie tylko na bezpieczne przedłużenie eksploatacji, ale także poprawę ich elastyczności.





Powinny odegrać większą niż im dotąd przypisano rolę w tzw. przejściowym okresie transformacji energetycznej, jeśli tylko nakłady na ich modernizację oraz kompetencje zwłaszcza w zakresie utrzymania stanu technicznego sprawią, że mogą pełnić regulacyjną rolę w systemie elektroenergetycznym. *Pro Novum* od dłuższego czasu lansuje strategię zaawansowanych technicznie serwisów LTSA z Partnerami Technologicznymi. Podczas tegorocznego Sympozjum zaprezentowaliśmy nasze związki techniczne i przykłady ich realizacji z ważnymi polskimi firmami remontowymi. To najlepszy sposób na zapewnienie kompetencji technicznych w długim czasie oraz na wysokiej jakości diagnostykę, remonty i modernizacje. Podczas tegorocznego Sympozjum przedstawiono założenia projektu BLOKI 2022+, który wykorzystując najlepszą wiedzę i doświadczenia z eksploatacji bloków klasy 200 MW oraz rozwiązania opracowane na potrzeby Programu Bloki 200+ stworzyłby warunki do zapewnienia naszego bezpieczeństwa energetycznego w okresie

najbliższych ok. 15 lat. Koncepcję projektu konsultowano przed Sympozjum. Była także dyskutowana w jego trakcie. Jednym z rezultatów konsultacji była modyfikacja jego nazwy na BLOKI 2025+®. Zakładamy, że ma szansę na powodzenie, zwłaszcza, jeśli do konsultacji włączą się elektrownie oraz przedstawiciele odpowiednich agend rządowych. Mamy nadzieję, że za rok, podczas kolejnego Sympozjum *Pro Novum*, poinformujemy zarówno o postępach procedowaniu projektu BLOKI 2025+®, jak również o sukcesach związanych z komercjalizacją *Metody Pro Novum* poprawy elastyczności bloków klasy 200 MW opracowanej i zweryfikowanej podczas realizacji Programu Bloki 200+ oraz zaprezentowanej podczas tegorocznego Sympozjum wraz z założeniami do jej komercjalizacji.

Sympozjum *Pro Novum* po raz kolejny pokazało, że w branży energetycznej istnieje potrzeba wszechstronnej dyskusji na tematy techniczne i wymiany doświadczeń.





Marcin Hałas, Wojciech Murzynowski, Jerzy Trzeszczyński

PRZEDSIĘBIORSTWO USŁUG NAUKOWO-TECHNICZNYCH
„PRO NOVUM” SP. Z O.O.

Parametryczne bliźniaki cyfrowe źródłem informacji i wiedzy dla bezpiecznej eksploatacji urządzeń i instalacji energetycznych

Streszczenie: Elementy krytyczne, takie jak walczaki, komory, zawory i kadłuby turbin, jak również instalacje rurociągowie i duża część pozostałych urządzeń bloku energetycznego, pracują w wysokich temperaturach oraz jednocześnie poddawane są zmiennym obciążeniom termicznym i mechanicznym, które wpływają na ich trwałość na skutek zmęczenia termomechanicznego, jak również pełzania. W celu zapewnienia bezpieczeństwa pracy elementów krytycznych należy prowadzić badania oceniające wyczerpanie ich trwałości na podstawie bieżącej analizy parametrów i warunków eksploatacji. Wykorzystując symulację komputerową (MES) możliwe jest wyznaczenie stanów naprężenia i przemieszczenia urządzeń energetycznych we wszystkich fazach ich eksploatacji, co pozwala na określenie miejsc najbardziej wytężonych oraz na oszacowanie ubytku trwałości elementów. Aby zapewnić prowadzenie obliczeń w czasie rzeczywistym należy sprowadzić model numeryczny do modelu zredukowanego, który odzwierciedla zachowanie modelu MES znacznie zmniejszając koszt obliczeniowy konieczny do prowadzenia symulacji. Parametryczne modele zredukowane umożliwiają symulację działania elementów energetycznych, zwłaszcza krytycznych (grubościennych) oraz całych instalacji energetycznych w czasie rzeczywistym i z wysoką dokładnością. Pozwala to na bieżącą ocenę ich stanu technicznego zwłaszcza prognozowanie wyczerpania trwałości elementów i instalacji, co przekłada się na możliwość wdrożenia planów badań i remontów opartych na analizie warunków pracy wykonywanych w zdalnym trybie. W artykule zostanie przedstawiony przykład zastosowania podejścia do oceny bezpieczeństwa pracy elementów krytycznych z wykorzystaniem parametrycznych modeli zredukowanych i Wirtualnego Środowiska Diagnostycznego firmy Pro Novum.

The application of parametric digital twins to ensure the safety of critical components, equipment and installations of power units

Summary: The critical components as boilers, vessels, valves and turbine casings and also pipelines and other equipment of a power unit are operating at high temperature and are subjected to variable thermal and mechanical loads which cause variable stress state in components which influences their damage due to thermomechanical fatigue and creep. To ensure the safety of the critical equipment operation, the lifetime assessment has to be conducting based on the analysis of operation condition and parameters. By the application of numerical simulation (FEM), it is possible to determine the stress state and displacements of the critical components in every phase of their operation which allows to find the most stressed locations and to estimate changes in the components durability. To enable the real-time simulation the numerical model could be transformed to the reduced order models, which reflect the behavior of the FEM model, significantly reducing the computational cost. Parametric reduced order models (PROM) of the power components enable the analysis of stress state in real time and for simulated operation conditions. The application of PROM also allows forecasting the components durability, which translates into the possibility of implementing test and repair plans based on the analysis of the work and actual load of the components. In this article an example of the approach to assessing the durability of critical components with the application of PMOR and Pro Novum Virtual Diagnostic Environment will be presented.

Elementy krytyczne urządzeń energetycznych, takie jak walczaki, komory, zawory i kadłuby turbin, jak również instalacje rurociągowie, poddawane są zmiennym obciążeniom termicznym i mechanicznym. Obciążenia te wywołują zmienny stan naprężenia elementów, a przez to wpływają na ich trwałość zwłaszcza w skutek zmęczenia termomechanicznego oraz pełzania. Dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy elementów krytycznych urządzeń energetycznych oraz instalacji rurociągowych wykonuje się okresowe badania mające na celu ocenę ich aktualnego stanu technicznego. Badania uzupełnia się w wielu przypadkach obliczeniami stopnia wyczerpania trwałości. Czas dalszej pracy skalu-

je się na ogół w godzinach pracy urządzenia oraz liczbą uruchomień z poszczególnych stanów cieplnych. Znaczna część bloków energetycznych oraz ich urządzeń ciepłno-mechanicznych pracuje jednak, od wielu lat, w trybie regulacyjnym. W takich przypadkach wyrażanie historii eksploatacji, jak również prognozy trwałości poprzez liczbę godzin pracy daleko odbiega od rzeczywistości. Wyrażanie trwałości elementów urządzenia w godzinach czy latach tylko wtedy posiada praktyczną wartość, gdy jest skojarzone z warunkami pracy analizowanymi w trybie off-line, gdy analiza dotyczy aktualnego stopnia wyczerpania trwałości oraz w trybie on-line, gdy odnosi się do prognozy trwałości [1-3].

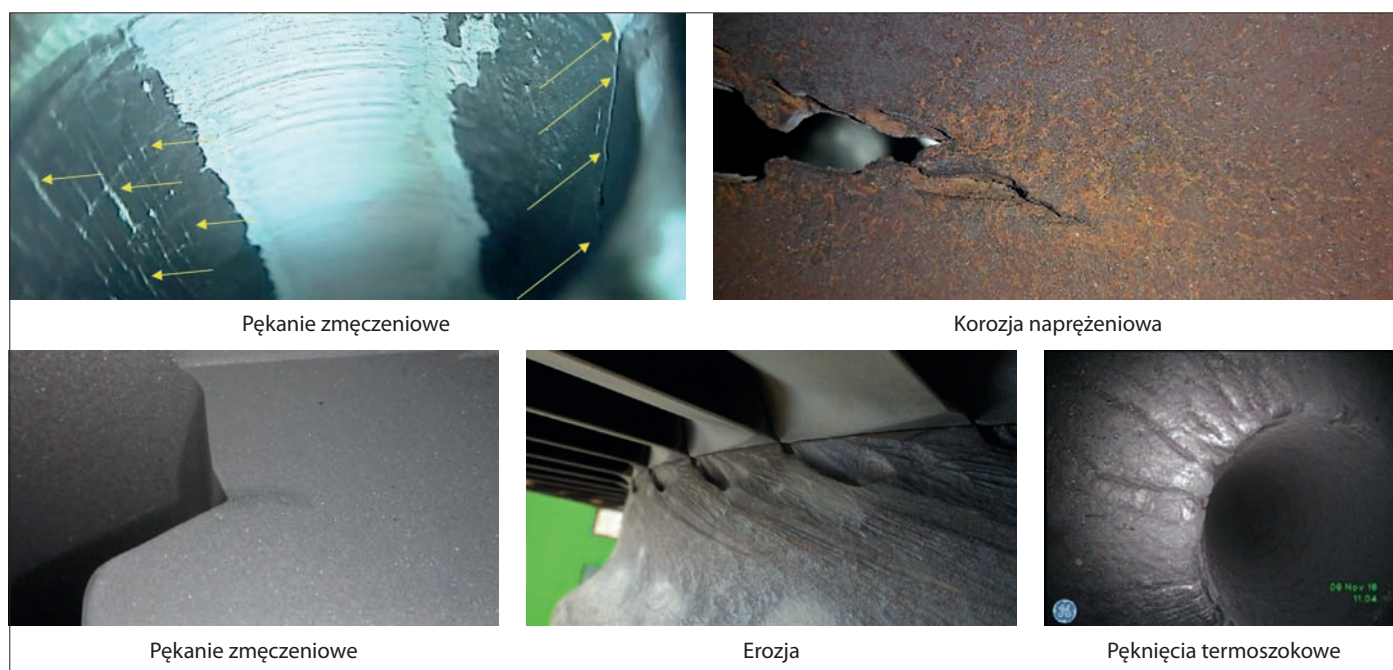
Wykorzystując symulację komputerową (MES) możliwe jest wyznaczenie stanów naprężenia i przemieszczeń w urządzeniach energetycznych i instalacjach rurociągowych w trakcie ich pracy oraz w czasie uruchomień i odstawień. Wyniki symulacji pozwalają na określenie miejsc najbardziej wyłożonych oraz na oszacowanie zmian trwałości elementów. Niestety ze względu na rozmiar modeli numerycznych potrzebnych do uzyskiwania wysokiej jakości wyników obliczeń, jak również średnie, dostępne moce obliczeniowe stacji inżynierskich, czas symulacji uniemożliwia prowadzenie obliczeń w czasie rzeczywistym. Rozwiązaniem tego problemu jest sprowadzenie modelu numerycznego do modelu zredukowanego, który odzwierciedla zachowanie modelu MES znacznie skracając czas obliczeń oraz zmniejszając koszt wykonywania symulacji.

Parametryczne modele zredukowane umożliwiają symulację warunków pracy elementów energetycznych, takich jak komory przegrzewaczy, zawory itp., w czasie rzeczywistym i z wysoką dokładnością. Zastosowanie modeli zredukowanych pozwala na analizę stopnia wyczerpania trwałości oraz prognozowanie bezpiecznego czasu pracy elementów, co przekłada się na możliwość wdrożenia planów badań i remontów opartych na analizie rzeczywistych warunków pracy urządzenia. Bliźniaki cyfrowe stwarzają możliwość wykonywania obliczeń w czasie rzeczywistym co sprawia, że mogą zostać wykorzystane do sterowania pracą bloków energetycznych. Tę możliwość wykorzystaliśmy w Metodzie Pro Novum do poprawy elastyczności oraz wydłużenia eksploatacji bloków klasy 200 MW [4-10].

WSTĘP

Diagnostyka urządzeń i instalacji energetycznych jest skomplikowanym procesem, którego poprawne wykonanie wymaga specjalistycznej wiedzy w zakresie konstrukcji, technologii oraz cieplno-mechanicznych i chemicznych warunków pracy poszczególnych elementów krytycznych jak również całych urządzeń i instalacji rurociągowych. Dotychczas, i nadal w wielu przypadkach, wiedza i informacje o historii i warunkach pracy elementów pochodzą z klasycznie rozumianej retrospekcji, informacji od użytkownika urządzenia oraz doświadczeń zespołu diagnostycznego. Aktualnie, wykorzystując zaawansowane technologie modelowania komputerowego oparte na MES oraz matematyczną redukcję modeli numerycznych, możliwe jest akcelerowanie dotychczasowej wiedzy, a przez to zwiększenie jakości wykonywanej diagnostyki.

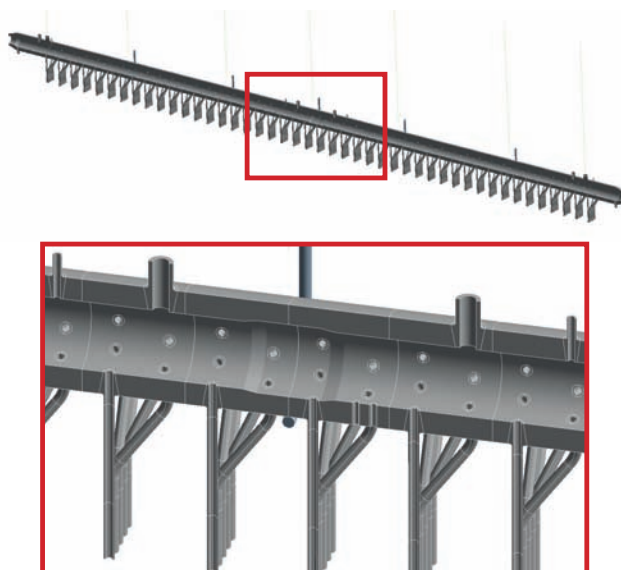
W artykule przedstawiono przykład możliwości zastosowania parametrycznych bliźniaków cyfrowych (Digital Twins) w celu zapewnienia bezpiecznej eksploatacji elementów krytycznych, które mogą ulegać uszkodzeniom na skutek pełzania, zmęczenia, erozji, korozji oraz termoszoku (rys. 1). O ile mechanizmy erozyjno-korozyjne mogą być tylko zidentyfikowane (np. za pomocą analizy warunków pracy), to stopień wyczerpania trwałości elementów na skutek zmęczenia czy pełzania można z powodzeniem określać z zastosowaniem technologii jw. na podstawie analizy ich rzeczywistych warunków pracy.



Rys. 1. Przykłady uszkodzeń elementów krytycznych



Geometria rzeczywistego obiektu



Model geometryczny

Rys. 2. Model geometryczny komory przegrzewacza

MODELOWANIE KOMPUTEROWE ELEMENTÓW KRYTYCZNYCH

Pierwszym etapem modelowania komputerowego elementu krytycznego jest utworzenie jego modelu geometrycznego CAD. Model ten tworzony jest na podstawie dokumentacji technicznej oraz pomiarów wykonywanych na obiekcie rzeczywistym w trakcie remontów lub badań diagnostycznych. Aby zapewnić wysoką jakość modelu numerycznego, należy zadbać o możliwie najdokładniejsze odwzorowanie geometryczne rzeczywistego elementu uwzględniając aktualny stan obiektu spowodowany jego dotychczasową pracą, awariami, remontami oraz modernizacjami. W *Pro Novum* w celu tworzenia modeli geometrycznych (rys. 2) wykorzystywane są narzędzia pakietu ANSYS Workbench tj. ANSYS SpaceClaim.

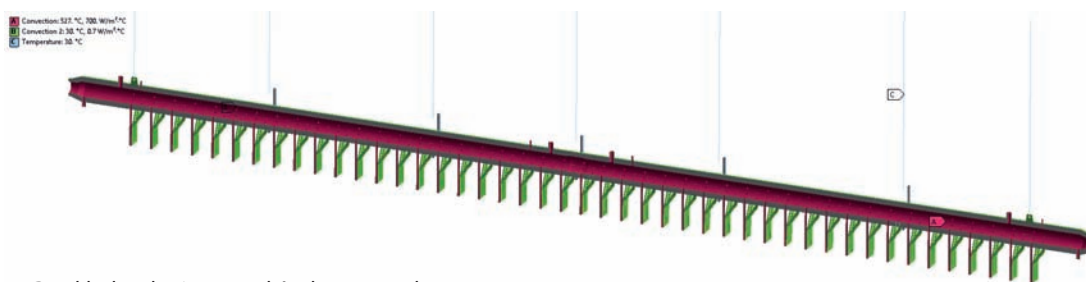
Komputerowy model geometrii urządzenia umożliwia zastosowanie różnych metod numerycznych, w tym takich jak metoda elementów skończonych (MES) do symulacji stanów wyężenia materiału elementu. Dla potrzeb MES przygotowywany jest model geometryczny, który dyskretyzuje się tworząc siatkę elementów skończonych (rys. 3). W zależności od geometrii elementu możliwe jest stosowanie regularnych siatek elementów heksagonalnych, cechujących się nie tylko dobrym odwzorowaniem geometrii, ale również jakością wyników obliczeń (np. naprężeń), przy niewielkich rozmiarach modelu numerycznego. Utworzenie takiej siatki wymaga odpowiedniego przygotowania geometrii, jednak znacznie skraca czas obliczeń modelu w tym jego walidacji i utworzenia modelu zredukowanego.



Rys. 3. Siatka elementów skończonych na fragmencie komory przegrzewacza

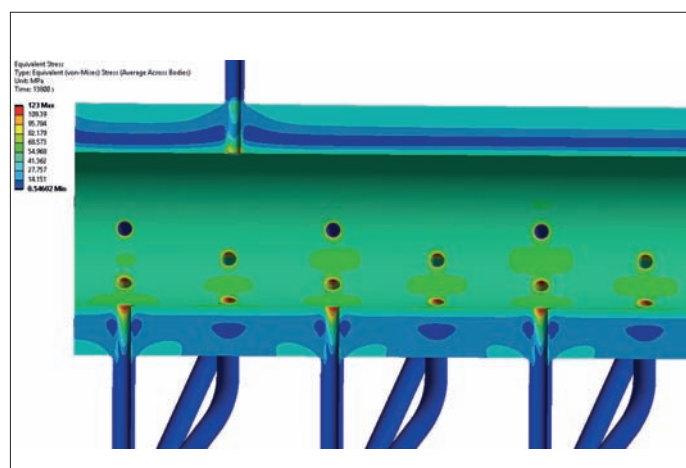
Dane materiałowe zasilające model numeryczny powinny być określone na podstawie badań materiałowych wykonanych na obiekcie rzeczywistym, gdyż mogą się zmieniać wraz z eksploatacją elementu. W przypadku braku dostępu do takich badań należy korzystać z norm opisujących właściwości danego materiału i ze względów bezpieczeństwa przyjmować wartości prowadzące do najbardziej konserwatywnego podejścia do symulacji.

Znając charakter pracy elementu możliwe jest zadanie odpowiednich obciążeń i warunków brzegowych na model numeryczny i wykonanie symulacji komputerowej. W przypadku analizy elementów energetycznych najistotniejsze jest uwzględnienie obciążeń o charakterze termicznym oraz mechanicznym. Oddziaływania termiczne są



Rys. 4. Przykład zadania warunków brzegowych

bezpośrednio związane z przepływem medium roboczego przez instalację/urządzenie. Tego typu obciążenia mogą być modelowane za pomocą warunków konwekcyjnej wymiany ciepła. Informacje o wartościach obciążenia powinny być uzyskiwane oraz walidowane za pomocą danych procesowych z systemu kontrolno-pomiarowego elektrowni. Obciążenia mechaniczne związane są z ciśnieniem medium, prędkością wirowania oraz wynikają z warunków współpracy z innymi urządzeniami.



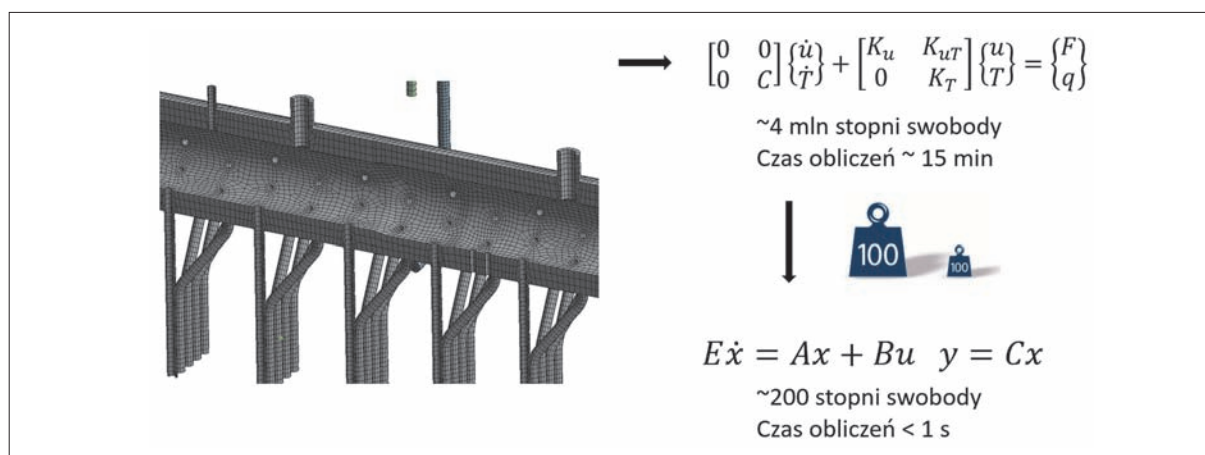
Rys. 5. Przykład wyników naprężeń uzyskanych po przeprowadzeniu symulacji numerycznej

Wynikami symulacji urządzeń energetycznych (rys. 5) są ich stany termiczne w czasie eksploatacji, które wraz z obciążeniami mechanicznymi przekładają się na stan przemieszczeń i naprężeń. W celu walidacji modelu numerycznego otrzymywane przebiegi temperatury metalu oraz przemieszczeń należy porównywać z sygnałami z odpowiednich czujników zamontowanych na obiekcie rzeczywistym.

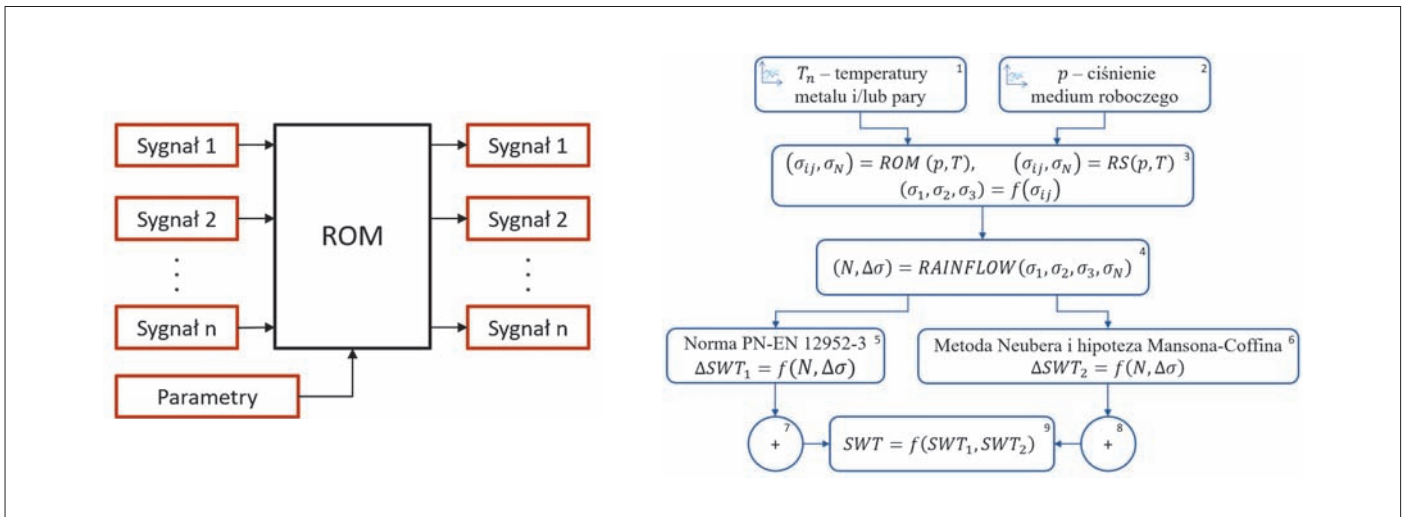
PARAMETRYCZNE BLIŹNIAKI CYFROWE

Model numeryczny po jego walidacji może posłużyć do utworzenia modelu zredukowanego urządzenia – parametrycznego bliźniaka cyfrowego, który pozwala na znaczne zmniejszenie rozmiaru modelu numerycznego (zmniejszenie liczby stopni swobody – niewiadomych modelu), co przekłada się na znaczny wzrost prędkości wykonywanych obliczeń. Zredukowany model numeryczny pozwala na prowadzenie obliczeń w czasie rzeczywistym umożliwiając ciągle monitorowanie naprężeń wynikających z aktualnego stanu obciążenia elementu.

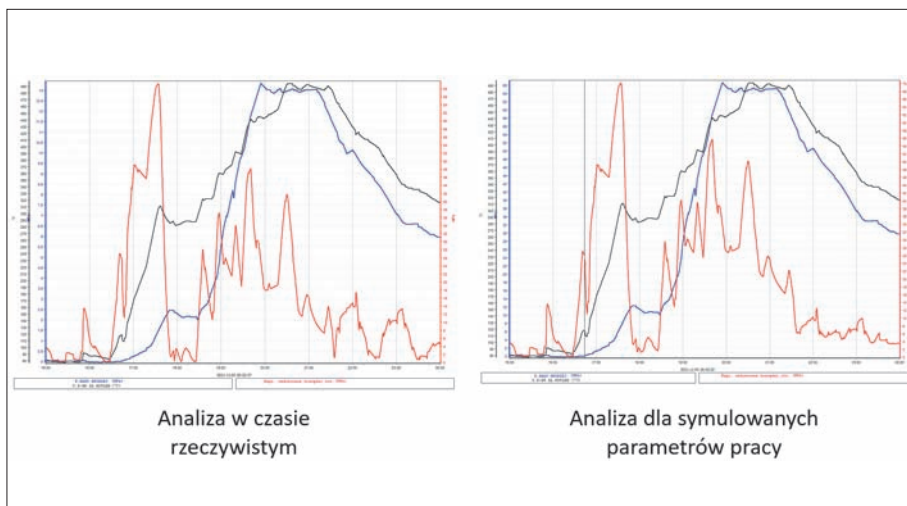
Matematyczna redukcja modelu opiera się na odpowiedniej modyfikacji macierzy opisujących model MES sprowadzając go do uproszczonego układu równań stanu (rys. 6). Układ ten pozwala na uzyskiwanie bardzo wysokiej jakości wyników z określonych wstępnie lokalizacji modelu numerycznego. Do celu redukcji wykorzystywane jest narzędzie Model Order Reduction inside ANSYS firmy CADFEM.



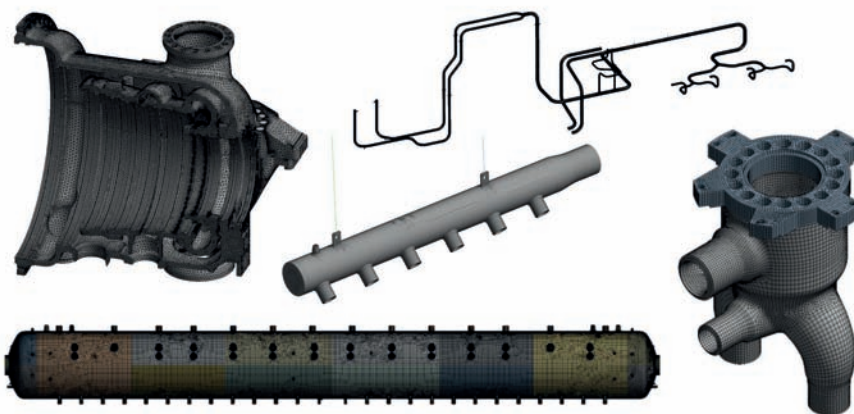
Rys. 6. Proces przygotowania cyfrowego bliźniaka elementu krytycznego



Rys. 7. Integracja cyfrowych bliźniaków z rzeczywistymi warunkami pracy elementów i procedurami obliczeniowymi



Rys. 8. Wykorzystanie cyfrowych bliźniaków do analiz w czasie: rzeczywistym i symulowanych warunków pracy

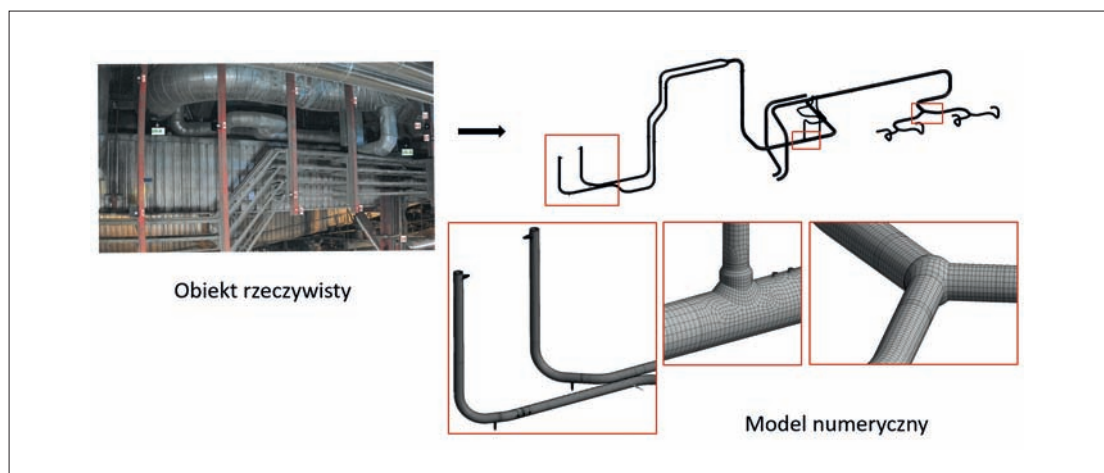


Rys. 9. Przykłady analizowanych elementów krytycznych i instalacji

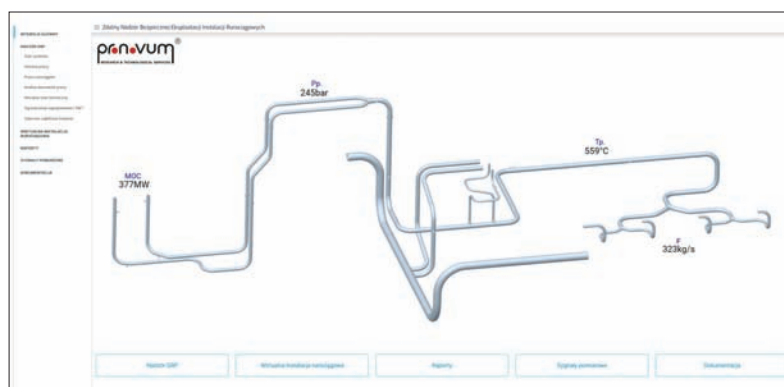
ZASTOSOWANIE CYFROWYCH BLIŹNIAKÓW – TRWAŁOŚĆ ELEMENTÓW KRYTYCZNYCH

Bliźniaki urządzeń energetycznych (ROM z ang. Reduced Order Model) implementuje się w odpowiednio do tego przygotowanym Systemie/środowisku informatycznym *Pro Novum*, które umożliwia analizę stanu wytężeń elementów na podstawie rzeczywistych warunków pracy udostępnianych z systemu pomiarowego elektrowni w sposób zdalny. Wyniki analizy naprężeniowej z cyfrowych bliźniaków stanowią parametry wejściowe do specjalistycznych procedur obliczeniowych, np. związanych bezpośrednio ze stopniem wyczerpania trwałości (rys. 7). Równolegle takie same bliźniaki można zaimplementować w środowisku IT Elektrowni, a wyniki ich analiz udostępniać – w zależności od potrzeb – operatorom bloku i/lub specjalistom utrzymania majątku [8-10].

Ze względu na elastyczność opisanego systemu diagnostyki z wykorzystaniem bliźniaków cyfrowych może być zastosowana dla różnego typu elementów krytycznych, tj. kadłubów turbin i zaworów, instalacji rurociągowych, komór przegrzewaczy i schładzaczy (rys. 9) [7].



Rys. 10. Modelowanie numeryczne rurociągu



Rys. 11. Interfejs aplikacji do nadzoru GRP

BLIŹNIAKI CYFROWE JAKO ŹRÓDŁO WIEDZY

Ważną cechą cyfrowych bliźniaków, oprócz bieżącej analizy naprężeniowej i trwałościowej, jest także możliwość symulowania innych/zmiennych warunków pracy (rys. 8). W przypadku planowanej zmiany reżimu pracy urządzeń i instalacji, w szybki i bezpieczny sposób, za pomocą cyfrowych bliźniaków, możliwe jest sprawdzenie czy planowane zmiany mają istotny wpływ na wyłączenie i zmianę prognozowanej trwałości elementów. Symulacje takie umożliwiają także wprowadzenie odpowiednich korekt w procedurach diagnostycznych, np. z uwagi na identyfikację nowych potencjalnych stref uszkodzeń.

Wykorzystując powyższe możliwości bliźniaków cyfrowych zostały one zastosowane do wspierania procesu diagnostycznego głównych rurociągów parowych (GRP) bloku pracującego na parametry nadkrytyczne. Bliźniak GRP, powstały na podstawie modelu matematycznego obiektu rzeczywistego (rys. 10), został zainstalowany jako element aplikacji do zdalnego nadzoru GRP (rys. 11) umożliwiając zastosowanie eksperckich algorytmów diagnostycznych pracujących w czasie rzeczywistym. Algorytmy te służą np. do nadzorowania możliwości wystąpienia przeciwnapadów, przekroczeń naprężeń

dopuszczalnych oraz do analizy zmiany trwałości poszczególnych elementów instalacji. Dane te mogą być również wynikami symulacji bliźniaka, prowadzonymi w celu prognozowania stanu technicznego elementów w zmieniających się warunkach eksploatacji (zmiany częstotliwości uruchomień, prędkości uruchomień bloku itp.).

Wykorzystując możliwości bieżących analiz oraz analiz na podstawie symulowanych warunków pracy rurociągu, a także integrację z odpowiednio przygotowanymi środowiskami informatycznymi w Pro Novum i Elektrowni, z zapewnieniem zdalnych dostępu, powstały warunki do sprawowania zdalnej diagnostyki GRP w sposób ograniczający prace i koszty w zakresie utrzymania stanu technicznego obiektu przy zachowaniu jego bezpieczeństwa.

PODSUMOWANIE

Przedstawiona metoda umożliwia wykorzystanie analizy warunków pracy, symulacji komputerowej oraz koncepcji modeli zredukowanych do zdalnej analizy bezpieczeństwa eksploatacji elementów krytycznych. Umożliwia wykrywanie nieprawidłowości, ocenę stanu technicznego i weryfikację prognozy trwałości w czasie rzeczywistym, jak również

symulowanie zmian trwałości podczas przyszłej eksploatacji. Dokładność metody jest zapewniona przez wykorzystanie rzeczywistych parametrów procesowych otrzymanych z instalacji pomiarowych elektrowni oraz modelowania opartego nie tylko na dokumentacji, ale także na podstawie inwentaryzacji obiektu oraz okresowych pomiarów i badań.

Zastosowanie cyfrowych bliźniaków opartych na modelach fizycznych obiektów rzeczywistych daje możliwość analizy szerokiej grupy elementów krytycznych bloku energetycznego – np. instalacji rurociągowych, komór (przegrzewaczy i schładzaczy), kadłubów zaworów i wirników turbin. Parametryczne bliźniaki cyfrowe tworzone są z uwzględnieniem wyników badań elementów/instalacji, a także ich rzeczywistej konstrukcji nawet z nieprawidłowościami powstałymi na etapie wykonawstwa, montażu czy prac remontowych.

Zastosowanie modeli zredukowanych pozwala przede wszystkim na analizę stopnia wyczerpania trwałości oraz prognozowanie czasu bezpiecznej eksploatacji elementów, co przekłada się na możliwość wdrożenia planów badań i remontów opartych na analizie rzeczywistych warunków pracy urządzenia oraz oczekiwań eksploatacyjnych użytkownika. Bliźniaki cyfrowe stwarzają możliwość wykonywania obliczeń w czasie rzeczywistym co sprawia, że mogą zostać wykorzystane do sterowania pracą bloków energetycznych. Tę możliwość wykorzystaliśmy w *Metodzie Pro Novum* do poprawy elastyczności oraz wydłużenia eksploatacji bloków klasy 200 MW [4-10].

LITERATURA

- [1] Trzeszczyński J.: *Diagnostyka dziś i jutro*. „Energetyka” 2021, nr 2(800).
- [2] Trzeszczyński J.: *Dokąd zmierza diagnostyka?* Biuletyn Pro Novum 2/2021. „Energetyka” 2021, nr 12.
- [3] Trzeszczyński J., Murzynowski W., Białek S.: *Monitorowanie stanu technicznego urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków energetycznych przy wykorzystaniu platformy informatycznej LM System PRO+®*. „Dozór Techniczny” 2011, nr 5.
- [4] Trzeszczyński J., Trzeszczyńska E.: *Diagnostic as a source of knowledge and strategy for units of coal flexible fired power plants*. VGB PowerTech 9/2020.
- [5] Trzeszczyński J., Stanek R., Rajca S., Staszalek K., Sobczyszyn A.: *Diagnostics of Long Time Operated Power Units Planned for Flexible Operation*. VGB Workshop „Materials and Quality Assurance”. 18-19 May 2017 in Maria Enzersdorf/Austria.
- [6] Trzeszczyński J., Hatłas M., Murzynowski W.: *Digitalizacja środowiska diagnostycznego jako proces wspierający bezpieczeństwo i dyspozycyjność bloków energetycznych oraz możliwość poprawy ich elastyczności w niskonakładowy sposób*. „Nowa Energia” 2022, nr 2(83).
- [7] Trzeszczyński J., Hatłas M., Murzynowski W.: *Wykorzystanie parametrycznych bliźniaków cyfrowych do analizy trwałości kadłubów turbiny podczas uruchomień*. Biuletyn Pro Novum 1/2022. „Energetyka” 2022, nr 3.
- [8] Trzeszczyński J.: *Wirtualne Środowisko Diagnostyczne*. Biuletyn Pro Novum 1/2021. „Energetyka” 2021, nr 6.
- [9] Kusibab M., Hatłas M., Murzynowski W.: *Architektura cyfrowego środowiska diagnostycznego wspierającego wdrożenie Metody Pro Novum na blokach klasy 200 MW*. Biuletyn Pro Novum 2/2022. „Energetyka” 2021, nr 6.
- [10] Trzeszczyński J.: *Poprawa elastyczności bloków klasy 200 MW poprzez wykorzystanie możliwości i rezerw po stronie sterowania oraz zapasów trwałości*. Biuletyn Pro Novum 2/2022. „Energetyka” 2022, nr 6.



**Rozwiązujemy
bieżące problemy
polskich elektrowni**

