

■ Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o.

Bezpieczeństwo i dyspozycyjność bloków i urządzeń energetycznych w okresie transformacji polskiej elektroenergetyki

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).



Uczestnicy II/XXIV Sympozjum DIAGNOSTYKA URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH I INSTALACJI PRZEMYSŁOWYCH

Patronat Honorowy nad Sympozjum sprawowały Towarzystwo Gospodarcze Polskie Elekrownie, 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 czasopiśma branżowe objęły Sympozjum patronatem merytorycznym, a były to: Dozór Techniczny, Energetyka i Nowa Energia, Śląskie Wiadomości Elektryczne oraz portal Cire.pl. W tym roku po raz pierwszy patronatem medialnym objął Sympozjum również miesięcznik INSTAL.

Otwarcia Sympozjum dokonała Ewa Trzeczcyńska, Prokurent i Zastępca Dyrektora ds. Administracyjnych i Finansowych w Pro Novum sp. z o.o., która przedstawiła partnerów Sympozjum, jego tematykę i program tegorocznego wydarzenia. 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 Elekrownie, dr hab. inż. Rafał Kobyłeczki 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), Grze-



Ewa Trzeczcyńska, Pro Novum sp. z o.o.



Jerzy Rażny, Veolia Energia Polska SA



Jerzy Trzeczcyński, Pro Novum sp. z o.o.



Michał Cegielski, TAURON Wytwarzanie SA

gorz Pakuła (Grupa Powen-Wafapomp SA) i Jerzy Trzeczcyński (Pro Novum sp. z o.o.).

Wstępem do debaty były trzy wystąpienia:

- Herbert Gabryś - „Aktualny stan energetyki polskiej - wybrane informacje”,
- Ewa Trzeczcyńska - Pro Novum sp. z o.o. - „O energetyce konwencjonalnej podczas Kongresu VGBE w Antwerpii, 14-15.09.2022”,
- Jerzy Trzeczcyński - Pro Novum sp. z o.o. - „Bloki 2022+ - założenia do strategii kontynuowania eksploatacji bloków klasy 200 MW”.

Agenda debaty obejmowała n/w 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 r.) można spełnić kryterium 550g CO₂/KWh na blokach węglowych?
- Czy zastępowanie węgla biomasa 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



Uczestnicy Debaty Technicznej pt. Przyszłość energetyki konwencjonalnej



Waldemar Szulc z TGPE poprowadził debatę

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 ener-



Mariusz Saratowicz, OZW SEP



Remigiusz Kruzel, Enea Elektrownia Połaniec SA

getyki 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 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 Hatłas, 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

Elementy krytyczne urządzeń energetycznych, takie jak walczaki, komory, zawory i kadłuby turbin, jak również instalacje rurociągowe, 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 skaluje 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 wyężonych 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 ela-

styczności oraz wydłużenia eksploatacji bloków klasy 200 MW [4-10].

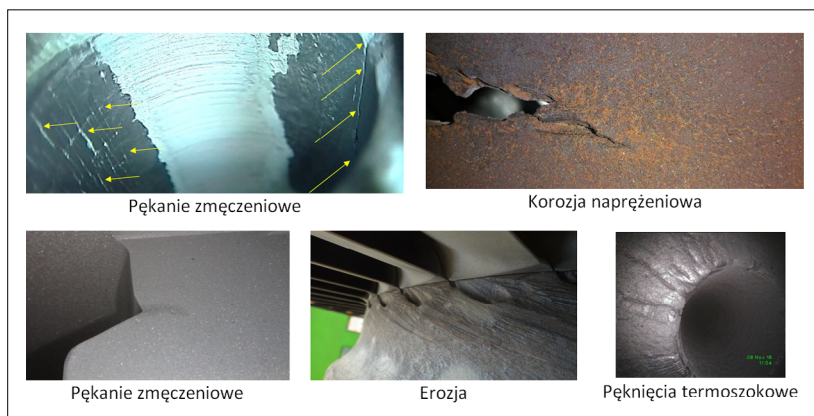
Informacje wstępne

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 o MES oraz matematyczną redukcję modeli numerycznych, możliwe jest akcelerowanie dotychczasowej wiedzy, a przez to - zwiększenie jakości wykonywanej diagnostyki.

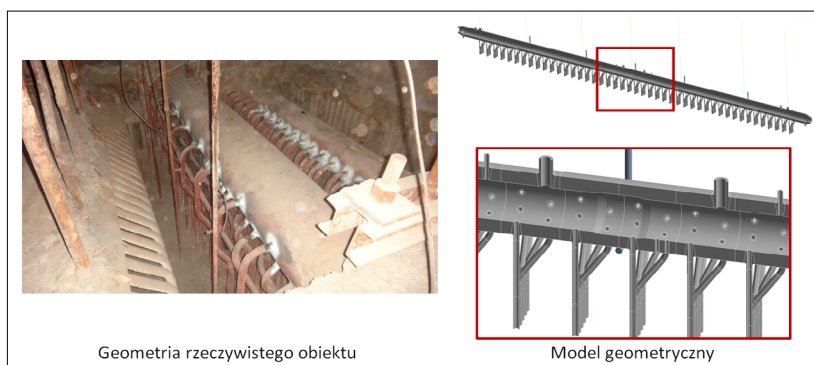
W artykule przedstawiono przykład możliwości zastosowania parametrycznych bliźniaków cyfrowych (Digital Twins) w celu zapewnienia bezpiecznej eksploatacji elementów krytycznych, które mogą ulegać uszkodzeniom na skutek pełzania, zmęczenia, erozji, korozji oraz termoszoku (rys. 1). O ile mechanizmy erozyjno-korozyjne 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.

Modelowanie komputerowe elementów krytycznych

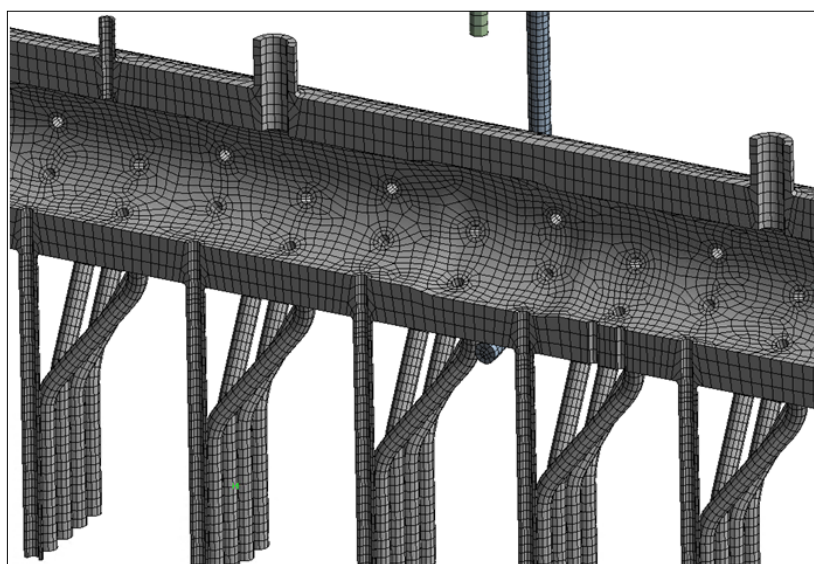
Pierwszym etapem modelowania komputerowego elementu krytycznego jest utworzenie jego modelu geometrycznego CAD. Model ten tworzony jest



Rys. 1. Przykłady uszkodzeń elementów krytycznych



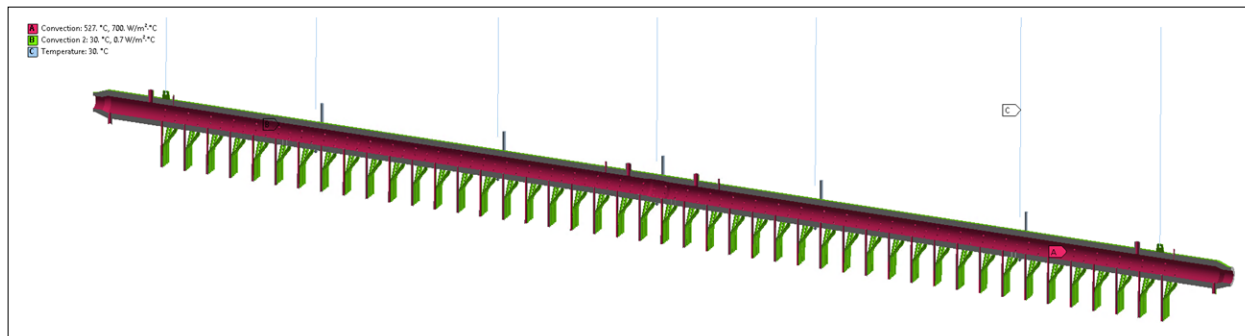
Rys. 2. Model geometryczny komory przegrzewacza



Rys. 3. Siatka elementów skończonych na fragmencie komory przegrzewacza

na podstawie dokumentacji technicznej oraz pomiarów wykonywanych na obiekcie rzeczywistym w trakcie remontów lub

badzeń diagnostycznych. Aby zapewnić wysoką jakość modelu numerycznego należy zadbać o możliwie najdokład-

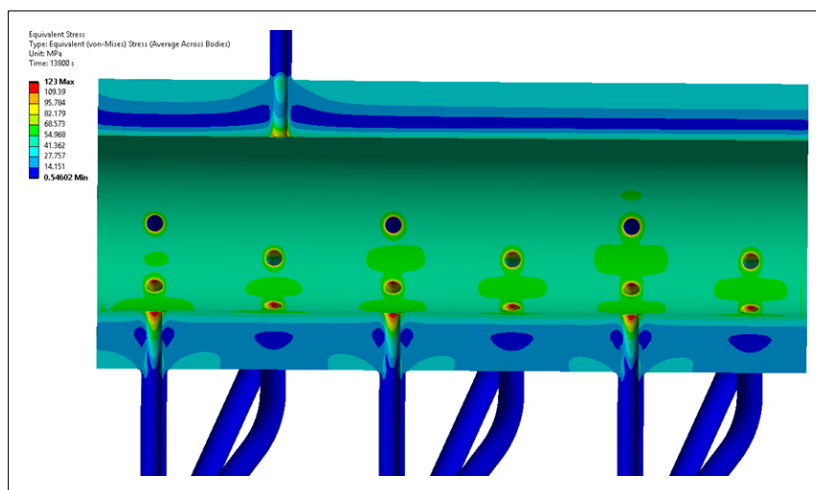


Rys. 4. Przykład zadania warunków brzegowych

niejsze 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.

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



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

przyjmować wartości prowadzące do najbardziej konserwatywnego podejścia do symulacji.

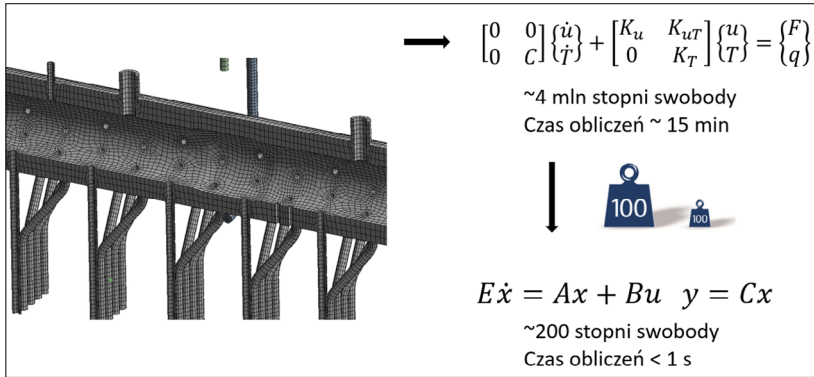
Znając charakter pracy elementu możliwe jest zadanie odpowiednich obciążeń i warunków brzegowych na model numeryczny i wykonanie symulacji komputerowej. W przypadku analizy elementów energetycznych najistotniejsze jest uwzględnienie obciążeń o charakterze termicznym oraz mechanicznym. Oddziaływania termiczne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

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

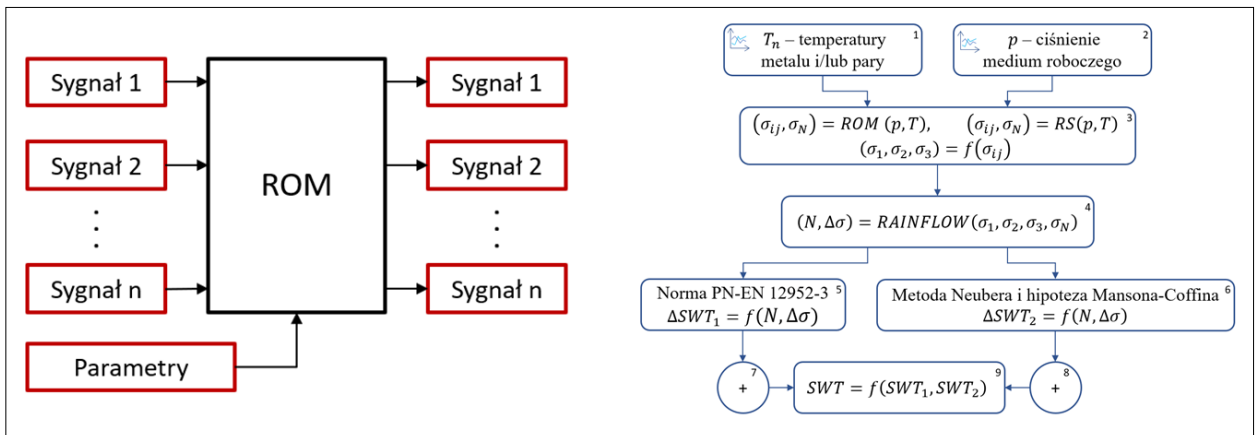
Model numeryczny po jego walidacji może posłużyć do utworzenia modelu zredukowanego urządzenia - parametrycznego bliźniaka cyfrowego.



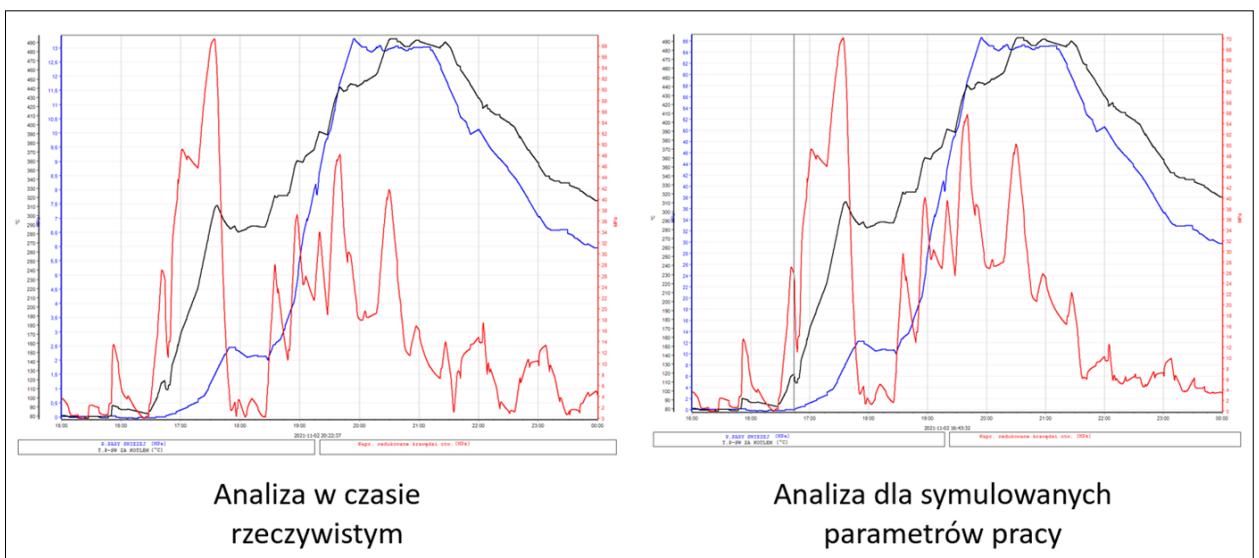
Rys. 6. Proces przygotowania cyfrowego bliźniaka elementu krytycznego

czeń. Zredukowany model numeryczny pozwala na prowadzenie obliczeń w czasie rzeczywistym, umożliwiając ciągłe monitorowanie naprężeń wynikających z aktualnego stanu obciążenia elementu.

Matematyczna redukcja modelu opiera się na odpowiedniej modyfikacji macierzy opisujących model MES sprowadzając go do uroszczonego układu równań stanu (rys. 6). Układ ten pozwala na uzyskiwanie bardzo wysokiej jakości wyników z określonych wstępnie lokalizacji modelu numerycznego. Do celu



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

trycznego bliźniaka cyfrowego, który pozwala na znaczne zmniejszenie rozmiaru modelu numerycznego (zmniejszenie

liczby stopni swobody - niewiadomych modelu), co przekłada się na znaczny wzrost prędkości wykonywanych obli-

redukcji wykorzystywane jest narzędzie Model Order Reduction inside ANSYS firmy CADFEM.

Zastosowanie cyfrowych bliźniaków - trwałość elementów krytycznych

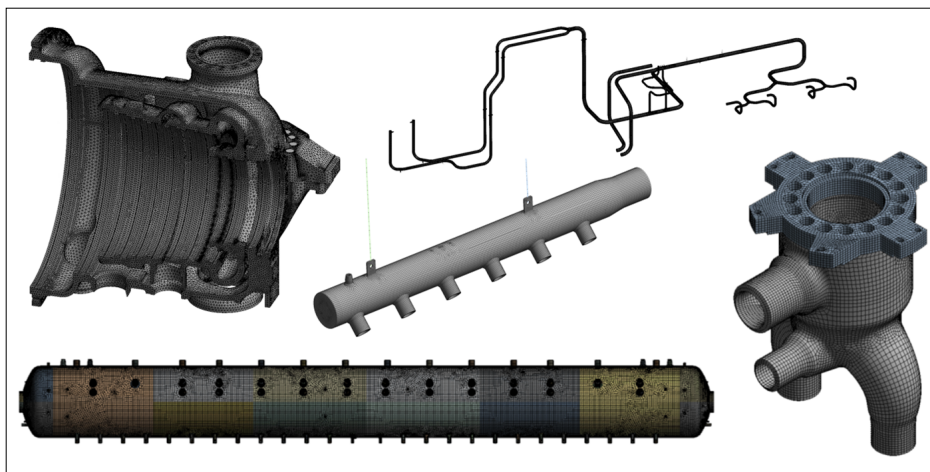
Bliźniaki urządzeń energetycznych (ROM z ang. *Reduced Order Model*) implementuje się w odpowiednio do tego przygotowanym Systemie / środowisku informatycznym Pro Novum, które umożliwia analizę stanu wyężeniowego elementów na podstawie rzeczywistych warunków pracy udostępnianych z systemu pomiarowego 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 opisanej procedury diagnostyka 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].

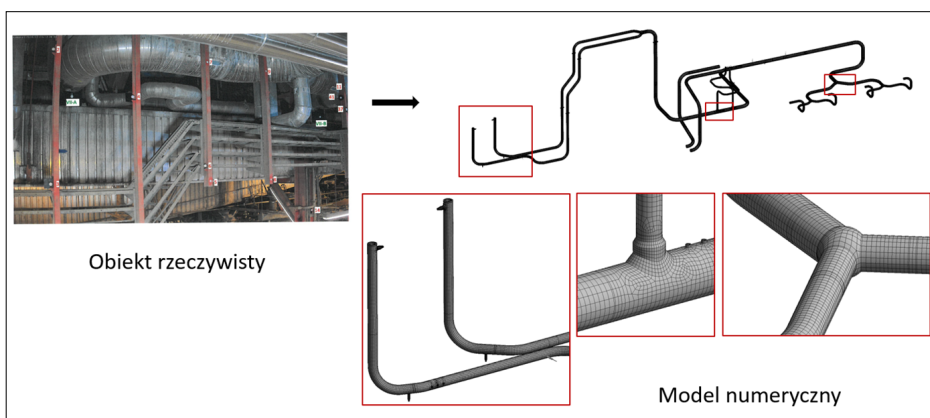
Bliźniaki cyfrowe jako źródło wiedzy

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 wyężnienie 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



Rys. 9. Przykłady analizowanych elementów krytycznych i instalacji



Rys. 10. Modelowanie numeryczne rurociągu

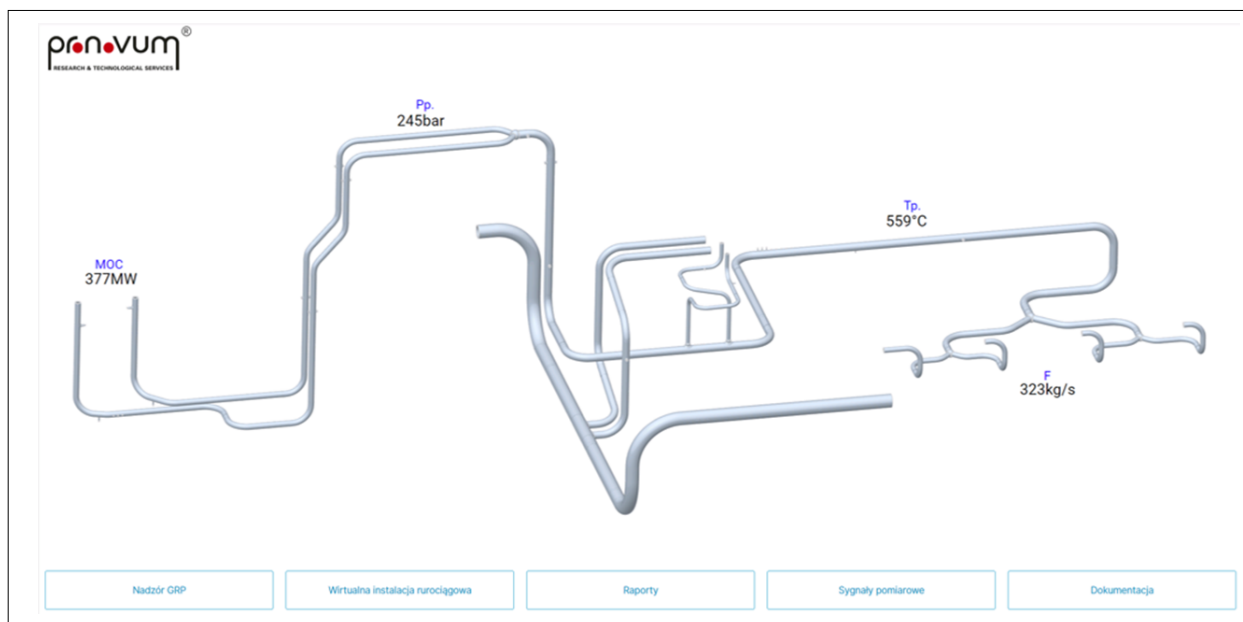
zastosowane do wspierania procesu diagnostycznego głównych rurociągów parowych (GRP) bloku pracującego na parametry nadkrytyczne. Bliźniak GRP, powstały na podstawie modelu matematycznego obiektu rzeczywistego (rys. 10), został zainstalowany jako element aplikacji do zdalnego nadzoru GRP (rys. 11), umożliwiając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

atacji (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



Rys. 11. Interfejs aplikacji do nadzoru GRP

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 ana-

lizę 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* 2/2021 (800).
- [2] Trzeszczyński J.: Dokąd zmierza diagnostyka? *Energetyka* 12/2021, *Biuletyn Pro Novum* 2/2021.
- [3] Trzeszczyński J., Murzynowski W., Białek S.: Monitorowanie stanu technicznego urządzeń ciepło-mechanicznych bloków energetycznych przy wykorzystaniu platformy informacyjnej 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] J.Trzeszczyński, M. Hattas, W. Murzynowski: Digitalizacja środowiska diagnostycznego jako proces wspierający bezpieczeństwo i dyspozycyjność bloków energetycznych oraz możliwość poprawy ich elastyczności w niskonakładowy sposób. „Nowa Energia” nr 2(83)/2022.
- [7] Trzeszczyński J., Hattas M., Murzynowski W. - Wykorzystanie parametrycznych bliźniaków cyfrowych do analizy trwałości kadłubów turbiny podczas uruchomień - *Energetyka*, 3/2022, *Biuletyn Pro Novum* 1/2022.
- [8] Trzeszczyński J., Wirtualne Środowisko Diagnostyczne. *Energetyka* 6/2021, *Biuletyn Pro Novum* 1/2021.
- [9] Kusibab M., Hattas M., Murzynowski W.: Architektura cyfrowego środowiska diagnostycznego wspierającego wdrożenie Metody Pro Novum na blokach klasy 200 MW. *Energetyka* 6/2022, *Biuletyn Pro Novum* nr 2/2022.
- [10] Trzeszczyński J.: Poprawa elastyczności bloków klasy 200 MW poprzez wykorzystanie możliwości i rezerw po stronie sterowania oraz zapasów trwałości. *Energetyka* 6/2022, *Biuletyn Pro Novum* nr 2/2022.