



II/XXIV Sympozjum DIAGNOSTYKA URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH I INSTALACJI PRZEMYSŁOWYCH

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 – odbyło się w Hotelu Diament w Ustroniu.

Patronat Honorowy nad Sympozjum sprawowały: Towarzystwo Gospodarcze Polskie Elektryczne, 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 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 Trzeczzyńska – 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 skiero-



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



Od lewej: Roman Krok (Politechnika Śląska), Jerzy Trzeczzyński (Pro Novum sp. z o.o.), Herbert Gabryś



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



Waldemar Szulc, TGPE



Mariusz Saratowicz, OZW SEP

wali 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:

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

Agenda debaty obejmowała następujące zagadnienia:

1. Na jak długo należy zaplanować eksploatację bloków węglowych w Polsce żeby zapewnić bezpieczną transformację naszej energetyki?
2. Jaką rolę do odegrania w okresie transformacji polskiej energetyki powinny spełniać bloki klasy 200MW?
3. Wg jakich kryteriów bloki węglowe powinny być wycofywane z eksploatacji?
4. Jaki w tym czasie może być tryb ich pracy, w tym status po wyłączeniu z eksploatacji?



Michał Cegielski, TAURON Wytwarzanie SA

5. W jaki sposób najbardziej racjonalnie (od 2025 roku) można spełnić kryterium 550 g CO₂/KWh na blokach węglowych?
6. Czy zastępowanie węgla biomasą oraz paliwami alternatywnymi jest realistyczne z punktu widzenia: dostępności paliwa, kosztów modernizacji i eksploatacji, elastyczności źródeł wytwarzania?
7. 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 mikś 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 pełni 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



II/XXIV Sympozjum DIAGNOSTYKA URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH I INSTALACJI PRZEMYSŁOWYCH

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.



Jerzy Rażny, Veolia Energia Poznań SA



Remigiusz Kruszel, Enea Elektrownia Potaniec SA

na bezpieczne przedłużenie eksploatacji ale także poprawę elastyczności. Powinny spełniać większą rolę niż im dotąd przypisano 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+ stworzyłyby 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 elek-

rownie oraz przedstawiciele odpowiednich agend rządowych. Mamy nadzieję, że za rok, podczas kolejnego Sympozjum Pro Novum poinformujemy zarówno o postępach w 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.



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

Marcin Hatłas
Wojciech Murzynowski
Jerzy Trzeszczyński

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

Streszczenie

Elementy krytyczne urządzeń energetycznych, takie jak: walczaki, komory, zawory i kadłuby turbin, jak również instalacje rurociągowy, 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. W celu zapewnienia bezpieczeństwa pracy elementów krytycznych urządzeń energetycznych oraz instalacji rurociągowych wykonuje się okresowe badania mające na celu ocenę ich aktualnego stanu technicznego. 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 termosozoku.

Słowa kluczowe: diagnostyka, cyfrowe bliźniaki, bezpieczeństwo, energetyka

Wstęp

Elementy krytyczne urządzeń energetycznych, takie jak: walczaki, komory, zawory i kadłuby turbin, jak również instalacje rurociągowy, 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. W celu zapewnienia bezpieczeństwa pracy elementów krytycznych urządzeń energetycznych oraz instalacji rurociągowych wykonuje się okresowe badania mające na celu ocenę ich aktualnego stanu technicznego. Badania uzupełniają 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 przedstawianie historii eksploatacji, jak również prognozowanie trwałości na podstawie liczby 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].

Diagnostyka urządzeń i instalacji energetycznych jest skomplikowanym procesem, którego poprawne wykonanie wymaga specjalistycznej wiedzy w zakresie konstrukcji, technologii oraz ciepłno-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 dokładności 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,



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

korozji oraz termoszoku (rys. 1). O ile mechanizmy erozyjno-korozyjne mogą być tylko identyfikowane (np. za pomocą analizy warunków pracy), to stopień wyczerpania trwałości elementów na skutek zmęczenia czy pęcznienia można z powodzeniem określać na podstawie analizy ich rzeczywistych warunków pracy.

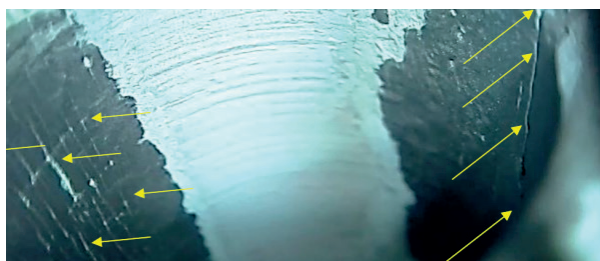
Za pomocą symulacji komputerowej (MES) możliwe jest wyznaczenie stanów naprężenia i przemieszczeń w urządzeniach energetycznych i instalacjach rurociągowych w trakcie ich pracy oraz w czasie uruchomień i odstawień. Wyniki symulacji pozwalają na określenie miejsc najbardziej wyczerpanych oraz na oszacowanie 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 odwzorowuje 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 anali-

zę 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 wykorzystano w Metodzie Pro Novum do poprawy elastyczności oraz wydłużenia eksploatacji bloków klasy 200 MW [4 – 10].

Modelowanie komputerowe elementów krytycznych

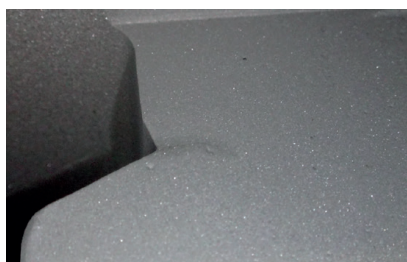
Pierwszym etapem modelowania komputerowego elementu krytycznego jest utworzenie jego modelu geometrycznego CAD. Model ten tworzony jest na podstawie dokumentacji technicznej oraz pomiarów wykonywanych na obiekcie rzeczywistym w trakcie remontów lub badań diagnostycznych. Aby zapewnić odpowiednią jakość 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.



Pękanie zmęczeniowe



Korozja naprężeniowa



Pękanie zmęczeniowe



Erozja

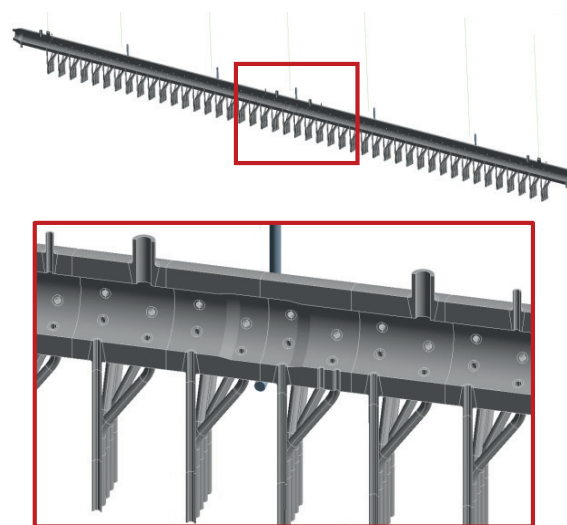


Pęknięcia termoszkokowe

Rys. 1. Przykłady uszkodzeń elementów krytycznych



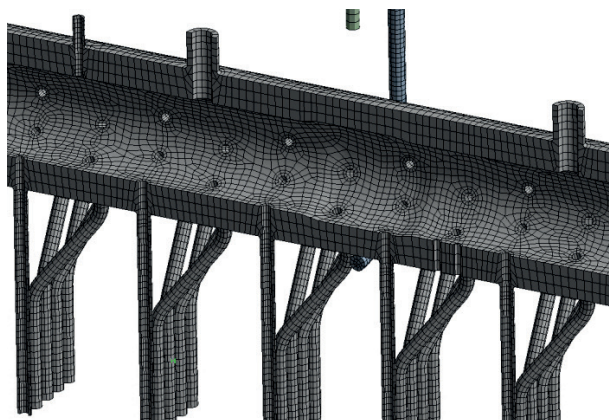
Geometria rzeczywistego obiektu



Model geometryczny

Rys. 2. Model geometryczny komory przegrzewacza pary

Komputerowy model geometrii urządzenia umożliwia zastosowanie różnych metod numerycznych, w tym takich jak metoda elementów skończonych (MES) do symulacji stanów wyężenia materiału elementu. Na potrzeby MES przygotowujemy 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

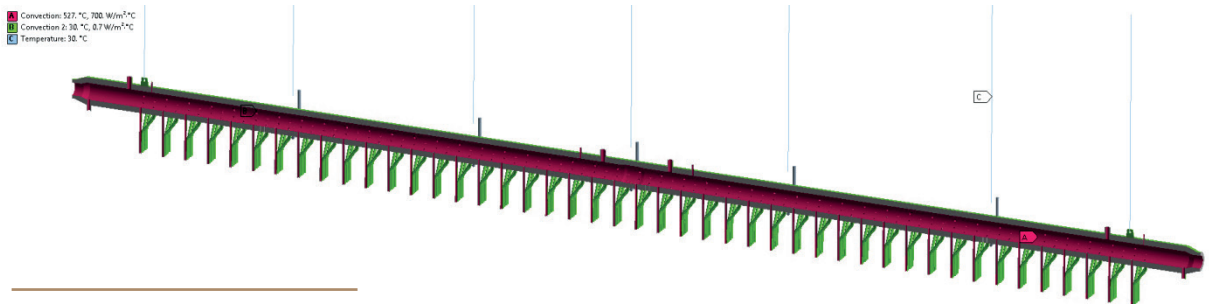
Dane materiałowe zasilające model numeryczny powinny być określone na podstawie badań materiałowych wykonanych na obiekcie rzeczywistym, gdyż mogą się zmieniać wraz z eksploatacją elementu. W przypadku braku dostępu do takich badań należy korzystać z norm opisujących właściwości danego materiału i ze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

Znajomość charakteru pracy elementu umożliwia 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 obciążeń 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.

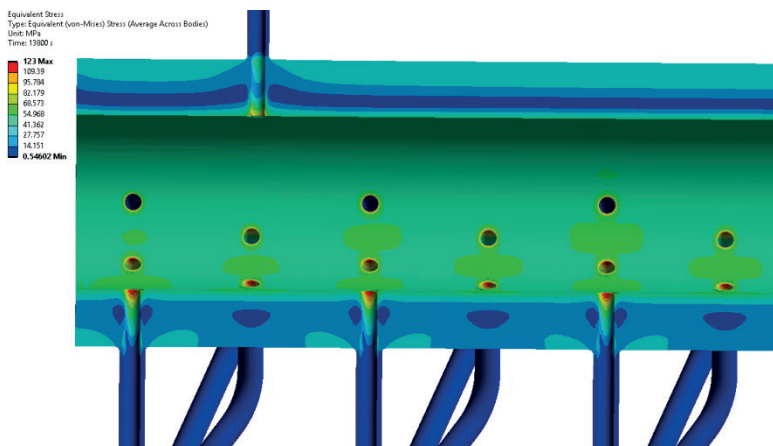
Wynikami symulacji urządzeń energetycznych (rys. 5) są ich stany termiczne w czasie eksploatacji, które wraz z obciążeniami mechanicznymi przekładają się na stan przemieszczeń i naprężeń. W celu walidacji modelu numerycznego otrzymywane przebiegi tem-



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



Rys. 4. Przykład zadania warunków brzegowych



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

peratury metalu oraz przemieszczeń należy porównywać z sygnałami z odpowiednich czujników zamontowanych na obiekcie rzeczywistym.

Matematyczna redukcja modelu opiera się na odpowiedniej modyfikacji macierzy opisujących model MES, sprowadzając go do uproszczonego układu równań

$$\rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & C \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u} \\ \dot{T} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_u & K_{uT} \\ 0 & K_T \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ T \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F \\ q \end{Bmatrix}$$

~4 mln stopni swobody

Czas obliczeń ~ 15 min

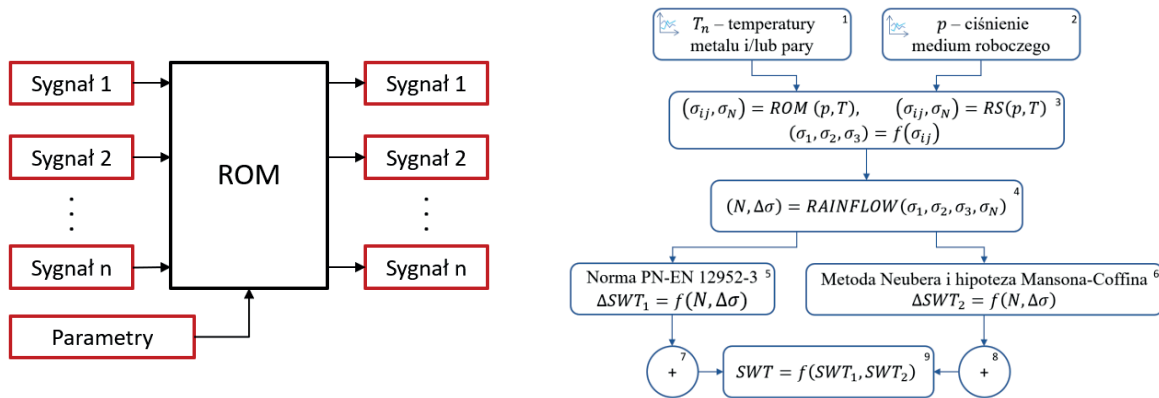


$$E\dot{x} = Ax + Bu \quad y = Cx$$

~200 stopni swobody



Rys. 6. Proces przygotowania cyfrowego bliźniaka elementu krytycznego



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

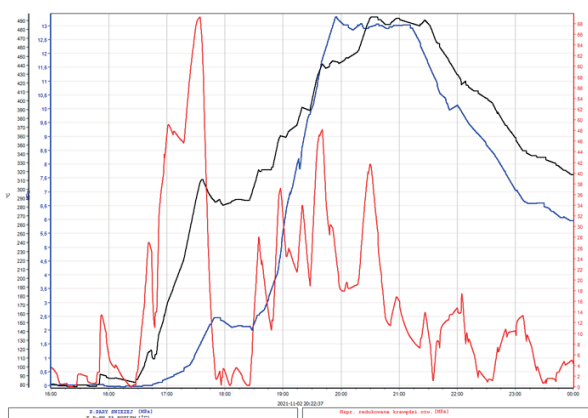
nań stanu (rys. 6). Układ ten pozwala na uzyskiwanie bardzo precyzyjnych wyników z określonych wstępnie lokalizacji modelu numerycznego. Do celu redukcji wykorzystywane jest narzędzie Model Order Reduction inside ANSYS firmy CADFEM.

Zastosowanie cyfrowych bliźniaków – trwałość elementów krytycznych

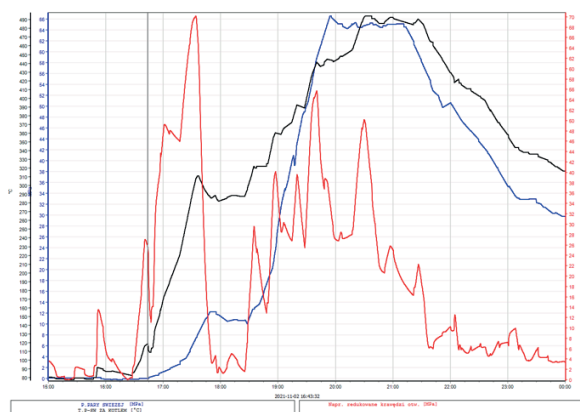
Bliźniaki urządzeń energetycznych (ROM z ang. Reduced Order Model) implementuje się w odpowiednio do tego przygotowanym systemie/środowisku informatycznym Pro Novum, które umożliwia analizę stanu wyężeniowego elementów na podstawie rzeczywistych warunków pracy udostępnianych z systemu pomiarowego elektrowni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



Analiza w czasie rzeczywistym

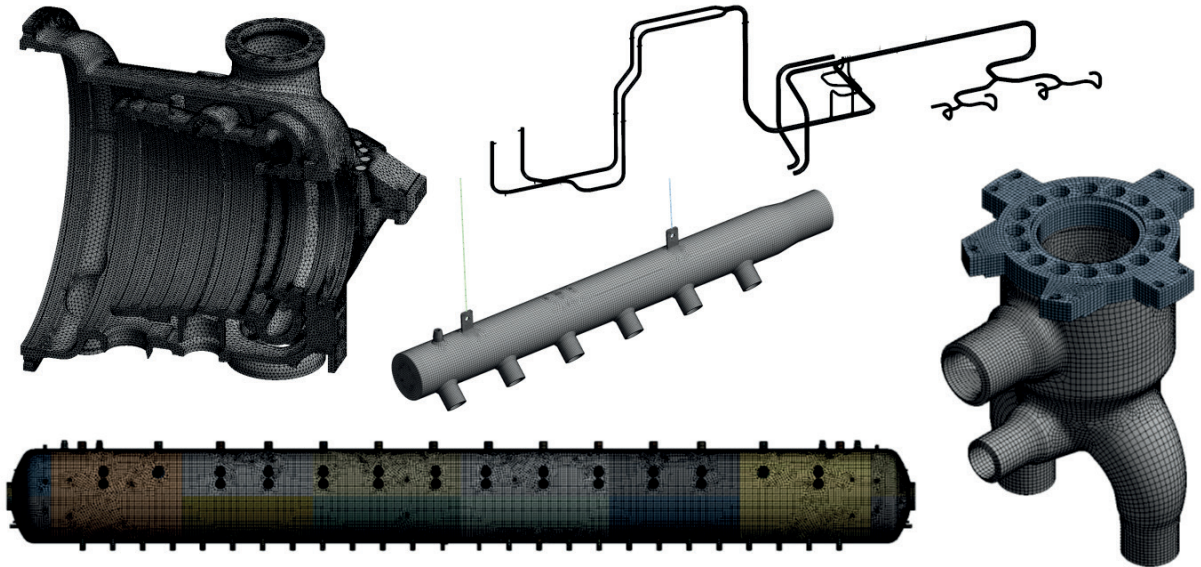


Analiza dla symulowanych parametrów pracy

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



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



Rys. 9. Przykłady analizowanych elementów krytycznych i instalacji

Bliźniaki cyfrowe jako źródło wiedzy

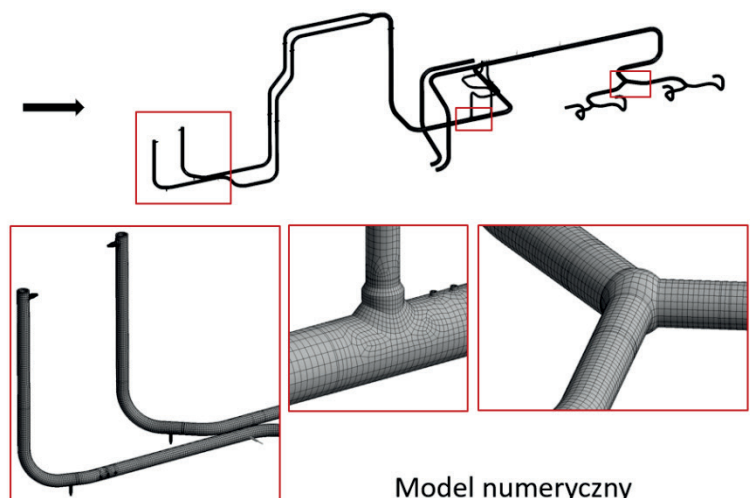
Ważną cechą cyfrowych bliźniaków, oprócz bieżącej analizy naprężeniowej i trwałościowej, jest także możliwość symulowania innych/zmiennych warunków pracy (rys. 8). W przypadku planowanej zmiany reżimu pracy urządzeń i instalacji, w szybki i bezpieczny sposób za pomocą cyfrowych bliźniaków możliwe jest sprawdzenie, czy planowane zmiany mają istotny wpływ na wyężenie i zmianę prognozowanej trwałości elementów. Symulacje takie umożliwiają także

wprowadzenie odpowiednich korekt w procedurach diagnostycznych, np. z uwagi na identyfikację nowych potencjalnych stref uszkodzeń.

Wymienione możliwości bliźniaków cyfrowych zostały zastosowane do wspierania procesu diagnostycznego głównych rurociągów parowych (GRP) bloku pracującego z parametrami nadkrytycznymi. Bliźniak GRP, powstały na podstawie modelu matematycznego obiektu rzeczywistego (rys. 10), został zainstalowany jako element aplikacji do zdalnego nadzoru GRP (rys. 11), umożliwiając zastosowa-

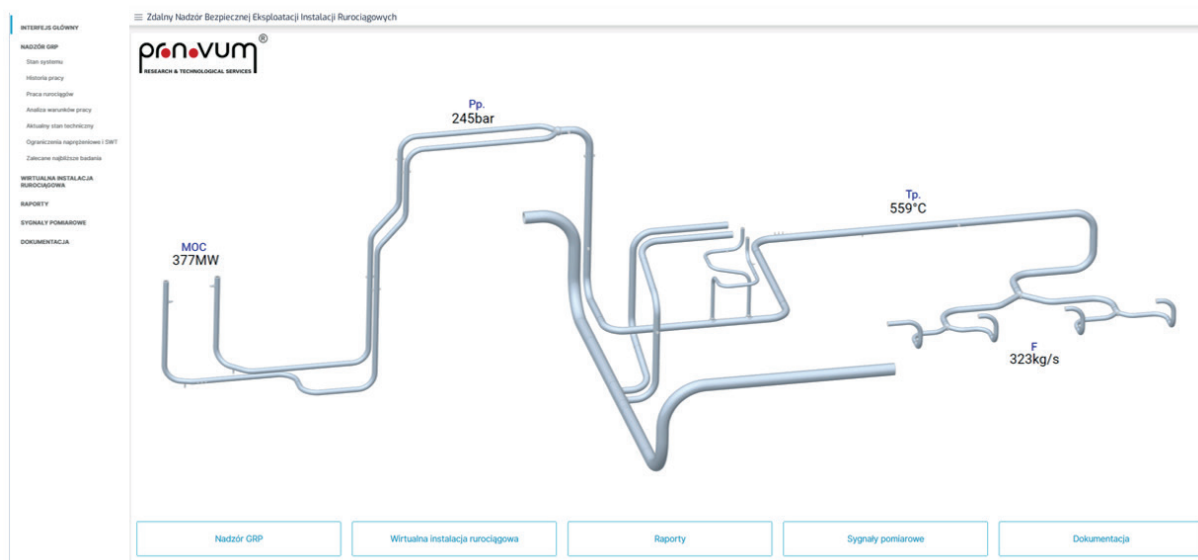


Obiekt rzeczywisty



Model numeryczny

Rys. 10. Modelowanie numeryczne rurociągu



Rys. 11. Interfejs aplikacji do nadzoru GRP

nie eksperckich algorytmów diagnostycznych pracujących w czasie rzeczywistym. Algorytmy te służą np. do nadzorowania możliwości wystąpienia przeciwspadów, przekroczeń naprężeń dopuszczalnych oraz do analizy zmiany trwałości poszczególnych elementów instalacji. Dane te mogą być również wynikami symulacji bliźniaka, prowadzonych 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 oraz zapewniając zdalny dostęp, stworzono warunki do sprawowania zdalnej diagnostyki GRP w sposób ograniczający prace i koszty w zakresie utrzymania stanu technicznego obiektu z zachowaniem jego bezpieczeństwa.

Podsumowanie

Przedstawiona metoda umożliwi wykorzystanie analizy warunków pracy, symulacji komputerowej oraz koncepcji modeli zredukowanych do zdalnej analizy bezpieczeństwa eksploatacji elementów krytycznych. Umożliwi wykrywanie nieprawidłowości, ocenę stanu technicznego i weryfikację prognozy trwałości w czasie rzeczywistym, jak również symulowanie zmian trwałości podczas przyszłej eksploatacji. Dokładność metody jest za-

pewniona przez wykorzystanie rzeczywistych parametrów procesowych otrzymanych z instalacji pomiarowych elektrowni i 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), kądłubów 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 wykorzystano w Metodzie Pro Novum do poprawy elastyczności oraz wydłużenia eksploatacji bloków klasy 200 MW [4–10].



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

LITERATURA

- [1] Trzeszczyński J. 2021. „Diagnostyka dziś i jutro”. *Energetyka* 12: 121–127.
- [2] Trzeszczyński J. 2021. „Dokąd zmierza diagnostyka?”. *Energetyka* 12: 803–808.
- [3] Trzeszczyński J., W. Murzynowski, S. Białek. 2011. „Monitorowanie stanu technicznego urządzeń ciepłomechanicznych bloków energetycznych przy wykorzystaniu platformy informatycznej LM System PRO+®”. *Dozór Techniczny* 5: 74–79.
- [4] Trzeszczyński J., E. Trzeszczyńska. 2010. „Diagnostic as a source of knowledge and strategy for units of coal flexible fired power plants”. *VGB PowerTech* 9: 9–18.
- [5] Trzeszczyński J., R. Stanek, S. Rajca, K. Staszalek, A. Sobczyszyn. 2017. „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., M. Hatłas, W. Murzynowski. 2022. „Digitalizacja środowiska diagnostycznego jako proces wspierający bezpieczeństwo i dyspozycyjność bloków energetycznych oraz możliwość poprawy ich elastyczności w niskonakładowy sposób”. *Nowa Energia* 2(83).
- [7] Trzeszczyński J., M. Hatłas, W. Murzynowski. 2022. „Wykorzystanie parametrycznych bliźniaków cyfrowych do analizy trwałości kadłubów turbiny podczas uruchomień”. *Energetyka* 3: 27–32.
- [8] Trzeszczyński J. 2021. „Wirtualne Środowisko Diagnostyczne”. *Energetyka* 6, Biuletyn Pro Novum 1/2021.
- [9] Kusibab M., M. Hatłas, W. Murzynowski. 2022. „Architektura cyfrowego środowiska diagnostycznego wspierającego wdrożenie Metody Pro Novum na blokach klasy 200 MW”. *Energetyka* 6, Biuletyn Pro Novum 2/2022.
- [10] Trzeszczyński J. 2022. „Poprawa elastyczności bloków klasy 200 MW poprzez wykorzystanie możliwości i rezerw po stronie sterowania oraz zapasów trwałości”. *Energetyka* 6, Biuletyn Pro Novum 2/2022.

MFA 10.0 – analizator wielu gazów

Nowy analizator MFA – an 10.0 firmy WITT może wyznaczać skład 15 różnych mieszanin gazowych — i to z niezwykłą dokładnością i szybkością. Urządzenie nadaje się idealnie do prac serwisowych na obiektach, a także w układach do ciągłej analizy gazów.

MFA 10.0 analizuje mieszaniny dwugazowe, składające się z argonu, helu, dwutlenku węgla, metanu, tlenu, azotu i wodoru. Odczyt można uzyskać w ciągu kilku sekund dzięki technice pomiaru bazującej na przewodności cieplnej. Zaletą tej technologii jest niezwykle długa trwałość użytkowa celki pomiarowej.

Analizator jest bardzo prosty w obsłudze. Do pracy z nim służy wyświetlacz dotykowy o przekątnej 7”, zaś dostęp do interfejsu jest chroniony hasłem. Umożliwia intuicyjny wybór kombinacji gazów w mieszaninach, a także ustawianie wartości granicznych alarmów. Przekroczenie zadanych wartości granicznych sygnalizowane jest alarmem świetlnym i/lub dźwiękowym, który następnie może (zależnie od wprowadzonych ustawień) wymagać potwierdzenia. Wszystkie pomiary można przeglądać, a także eksportować, dzięki funkcji historii pomiarów.

Cechy szczególnie przydatne dla użytkowników: W przeciwieństwie do konkurencyjnych urządzeń



tego typu, MFA 10.0 nie wymaga ponownej kalibracji po zmianie kombinacji gazów w analizowanych mieszaninach. Upraszcza to obsługę i skraca cenny czas potrzebny na pracę.

Dzięki niewielkim wymiarom, niewielkiemu ciężarowi i wbudowanemu uchwytowi na solidnej obudowie ze stali nierdzewnej, analizator MFA 10.0 jest urządzeniem poręcznym i łatwo go przenosić. Może również pracować stacjonarnie w celu ciągłego nadzoru mieszanin gazów. Sygnały z urządzenia można wyprowadzić gniazdem Ethernet RJ45, wyjściem analogowym, a także trzema stykami bezpotencjałowymi. Ciśnienie wlotowe może mieścić się w granicach od 1,5 do 10 barów, zaś zakres temperatury wynosi od -5°C do 50°C. Urządzenie wymaga zasilania napięciem 230 V.

Źródło: Witt