

DIAGNOSTYKA URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH I INSTALACJI PRZEMYSŁOWYCH

Pro Novum



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).

Prozeszłorocznej edycji zdalnej, sympozjum powróciło do formuły całkowicie stacjonarnej – odbyło się w Hotelu Diament w Ustroniu. Patronat Honorowy nad wydarzeniem sprawowały: Towarzystwo Gospodarcze Polskie Elektrownie, Izba Gospodarcza Energetyki i Ochrony Środowiska oraz Business Centre Club. Z kolei patronami merytorycznymi zostali: ENEA Elektrownia Połaniec SA, PGE Górnictwo i Energetyka Konwencjonalna SA, TAURON Wytwarzanie SA i Veolia Energia Poznań SA. Strate-

gicznym Partnerem Technologicznym Sympozjum został ORLEN Serwis SA.

24 referaty w 7 sesjach

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

Podczas dwóch dni 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.

Debata techniczna

Część merytoryczną sympozjum rozpoczęła debata techniczna pt. Przyszłość energetyki konwencjonalnej, którą poprowadził Waldemar Szulc (TGPE), a w której udział wzięli: Herbert Leopold Gabryś, Michał Cegielski (TAURON Wytwarzanie SA), prof.

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





EWA TRZESZCZYŃSKA
Pro Novum sp. z o.o.



WALDEMAR SZULC
TGPE



JERZY RAŻNY
Veolia Energia Poznań SA

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 L. 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,
3. Jerzy Trzeszczyński – Pro Novum sp. z o.o.: BLOKI 2022+ ZAŁOŻENIA DO STRATEGII KONTYNUOWANIA EKSPLOATACJI BLOKÓW KLASY 200 MW.

Agenda debaty obejmowała 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 energetyki powinny spełniać bloki klasy 200 MW?
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?
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?

Bloki węglowe a transformacja energetyki

Uczestnicy debaty oraz licznych dyskusji byli zgodni co do tego, że nie sposób wyobrazić sobie



Fot. Michał Łuczak

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, gdzie generacja energii z węgla nie jest tak istotna. Szczególną rolę powinno się powierzyć energetyce bazującej na węglu kamiennym, której – w przeciwieństwie do energetyki wykorzystującej węgiel brunatny – nie grozi wyczerpanie własnych zasobów w dającej się prze-

SYMPOZJUM PRO NOVUM po raz kolejny pokazało, że w branży energetycznej istnieje potrzeba wszechstronnej dyskusji na tematy techniczne i wymiany doświadczeń



REMIGIUSZ KRUZEL
Enea Elektrownia Połaniec SA



MICHAŁ CEGIELSKI
TAURON Wytwarzanie SA



MARIUSZ SARATOWICZ
OZW SEP

widzieć przyszłości. Znaczącą rolę w okresie transformacji mogą odegrać bloki klasy 200 MW, których stan techniczny pozwala nie tylko na bezpieczne przedłużenie ich eksploatacji, ale także poprawę elastyczności. Tu konieczne są większe nakłady na ich modernizację oraz kompetencje zwłaszcza w zakresie utrzymania stanu technicznego, co pozwoli na pełnienie regulacyjnej roli w systemie elektroenergetycznym.

Związki techniczne i przykłady realizacji

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 wysokiej jakości diagnostyki, remontów i modernizacji.

Przedstawiono także założenia projektu BLOKI 2022+, który wykorzystując najlepszą wiedzę i doświadczenia z eksploatacji bloków klasy 200 MW oraz rozwiązania opracowane na potrzeby Programu Bloki 200+ stworzyły warunki do zapewnienia naszego bezpieczeństwa energetycznego w okresie najbliższych 15 lat. Koncepcja projektu jest konsultowana przed Sympozjum. Była także dyskutowana w jego trakcie. Jednym z rezultatów konsultacji była modyfikacja jego nazwy na BLOKI 2025+®. Zakładamy, że ma szansę na powodzenia, 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 w procedowaniu projektu BLOKI 2025+®, jak również o sukcesach związanych z komercjalizacją metody Pro Novum w zakresie 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.

JERZY TRZESZCZYŃSKI
Pro Novum
sp. z o.o.



NADZÓR DIAGNOSTYCZNY RUROCIĄGÓW PAROWYCH W TRYBIE ZDALNYM

w celu optymalizacji zakresów, terminów i kosztów badań

Marcin Kijowski, Radosław Stanek, Mateusz Nowak
Pro Novum Sp. z o.o.

W ostatnim czasie coraz większą popularność zyskuje podejście pozwalające na racjonalny konsensus pomiędzy kosztami badań a akceptowalnym poziomem minimalizacji ryzyk. Chodzi o zdalny nadzór diagnostyczny, integrujący klasyczną diagnostykę i pomiary oraz bieżącą analizę historii i warunków pracy.

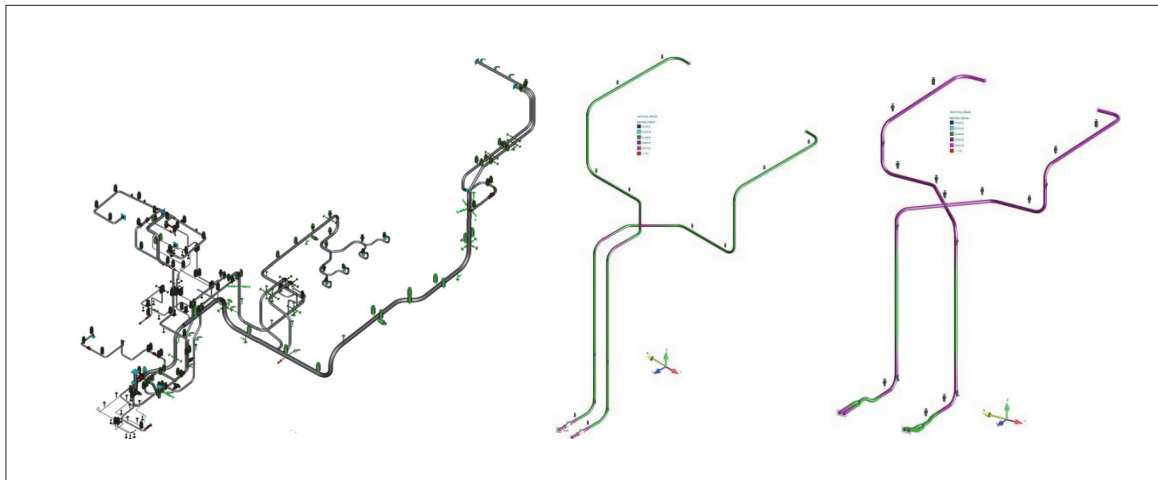
Zapewnienie bezpieczeństwa instalacji rurociągowych pracujących w warunkach pełzania przy akceptowalnych kosztach należy rozpatrywać odrębnie dla rurociągowych długo eksploatowanych oraz nowych lub względnie nowych, używanych często przy wysokich, nadkrytycznych parametrach, wykonanych ze stali oraz wg technologii, co do których posiadamy mniej praktycznych doświadczeń. W artykule zaprezentowano podejście, które zdobywa w ostatnim czasie coraz większą popularność, zapewniając racjonalny konsensus pomiędzy kosztami badań a akceptowalnym poziomem minimalizacji ryzyk. Takim podejściem jest zdalny nadzór diagnostyczny, integrujący klasyczną diagnostykę i pomiary oraz bieżącą analizę historii i warunków pracy. W tym trybie można zarówno weryfikować prognozę

trwałości, ale także aktualizować ocenę stanu technicznego wykorzystując modelowanie z użyciem AutoPipe, lub – w wersji najbardziej zaawansowanej – stosując cyfrowe bliźniaki elementów krytycznych czy całych instalacji. W tej ostatniej, zaawansowanej wersji można wykonywać usługę w trybie LTSA zarówno dla instalacji nowych, jak i długo eksploatowanych, a także wielokrotnie modernizowanych w celu przedłużenia eksploatacji lub/i zmiany jej warunków.

Diagnostyka jako źródło wiedzy o stanie technicznym rurociągowych parowych

Przestrzenne układy rurociągowych parowych w energetyce można podzielić na klasyczne, jakie występują na blokach 100-360 MW, a także 500 MW,

RYS. 1
Obliczenia wykonywane za pomocą oprogramowania AutoPIPE



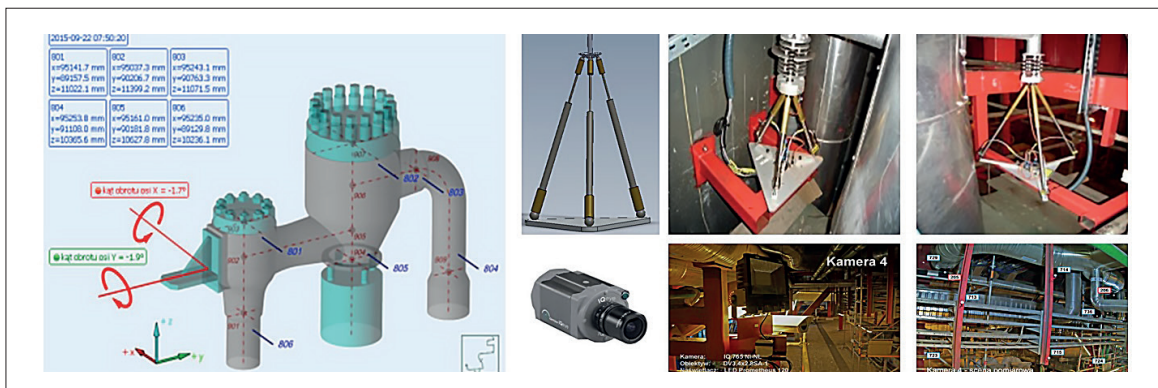
projektowane ze swobodną kompensacją, najczęściej w układach symetrycznych lub quasi-symetrycznych kotła z turbiną, układy kolektorowe oraz nowoczesne, często na parametry nadkrytyczne, układy blokowe. W czasie projektowania tych ostatnich przyjmowano zupełnie inne założenia konstrukcyjne dotyczące typów oraz konstrukcji zamocowań, długości odcinków kompensacyjnych, materiałów w celu minimalizacji masy rurociągów oraz dostosowania tych rurociągu do innych parametrów pracy.

Rurociągi parowe podzielić można na takie, które projektowane były do pracy powyżej temperatury granicznej, np. rurociągi pary świeżej i wtórnie przegrzanej, oraz rurociągi pracujące poniżej tej temperatury, np. rurociągi pary do wtórnego przegrzewu czy część rurociągów komunikacyjnych kotła. Praktyka pokazuje jednak, że na niektórych instalacjach spotkać można odcinki rurociągów niepracujące przy zakładanych parametrach czynnika lub pracujące przy nich okresowo. Czasowe albo całkowite obniżenie parametrów pracy (najczęściej temperatury i przepływu) w teorii nie powinno mieć negatywnego wpływu na trwałość tych urządzeń. Doświadczenia awaryjne pokazują jednak, że na takich instalacjach występują specyficzne procesy niszczenia.

Obliczenia kompensacyjne w czasie projektowania rurociągów wykonuje się dla parametrów obliczeniowych dla rurociągów pracujących powyżej temperatury granicznej; jako wartości dopuszczalne przyjmuje się wartości wytrzymałości czasowej w danej temperaturze, a dla rurociągów pracujących poniżej temperatury granicznej – granicę plastyczności przy określonej temperaturze pracy. Obliczenia kompensacyjne wykonywane np. za pomocą oprogramowania Bentley AutoPIPE dają nam ogólną wiedzę o wielkości naprężeń i przemieszczeniach występujących w instalacji przy założeniu, że dane elementy spełniać będą minimum wymagań zaimplementowanych norm i specyfikacji – rys. 1.

Takie uproszczenia oraz doświadczenie inżynierskie są wystarczające na etapie projektowania danego układu rurociągów. Używanie tego typu narzędzi do planowania diagnostyki i do jej weryfikacji może być i najczęściej jest obciążone błędem. Jego źródło to nieuwzględnianie w obliczeniach rzeczywistej geometrii poszczególnych elementów oraz rzeczywistej charakterystyki zamocowań. Na szczęście jest sposób na weryfikację wyników obliczeń kompensacyjnych na podstawie rzeczywistych przemieszczeń cieplnych rurociągów. Weryfikacja taka nie prowadzi jednak do uzyskania prawidłowych wyników z obliczeń konstrukcyjnych wykonywanych w niededykowanym do

RYS. 2
Dedykowane układy kontrolno-rejestrujące oraz ich wizualizacje



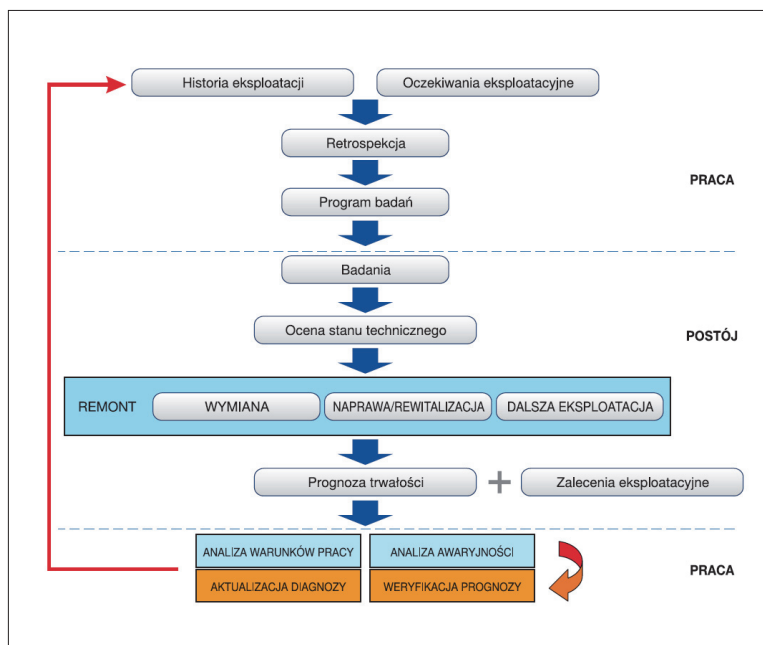
diagnostyki rurociągów oprogramowaniu, a jedynie do upewnienia się, czy i jak bardzo model obliczeniowy różni się od obiektu rzeczywistego. Niemal zawsze da się obliczeniowe przemieszczenia zbliżyć do przemieszczeń rzeczywistych, stosując różne praktyki, takie jak np. blokady w określonych osiach, zmiana współczynników tarcia czy mas poszczególnych elementów. Należy pamiętać, że po takich czynnościach określony rozkład naprężeń na modelu staje się jeszcze mniej pewny niż przed ich zastosowaniem – ponieważ tego rodzaju wymuszanie przemieszczeń nie występuje w obiekcie rzeczywistym.

Z naszych obserwacji i próśb klientów dotyczących optymalizacji badań diagnostycznych w celu minimalizacji ich kosztów wynika, że powinna ona odbywać się na podstawie analizy obliczeń konstrukcyjnych w oprogramowaniu Bentley AutoPIPE lub podobnym spełniającym te same kryteria. Jednak ze względu na opisywane wcześniej argumenty podejście takie nie zawsze jest właściwe, tym bardziej, gdy inwentaryzacja trasy rurociągu odbywała się kilka lat wstecz, a użytkownik nie posiada wystarczającej bazy pomiarów rzeczywistych parametrów pracy (np. temperatury czynnika i metalu oraz przemieszczeń) w newralgicznych miejscach – rys 2.

Diagnostyka + model geometryczny

W czasie budowy nowych rurociągów, podczas montażu poszczególnych elementów, zaleca się wykonywanie ich (możliwie dokładnych) modeli geometrycznych oraz odpowiednie dokumentowanie świadectw odbioru wraz z wynikami badań i pomiarów. W trakcie eksploatacji rurociągów już istniejących, zgodnie z Wytycznymi Pro Novum [4] oraz Urzędu Dozoru Technicznego [5], musi w pewnym momencie dojść do wykonania ich kompleksowej diagnostyki. Zalecamy, aby tego rodzaju diagnostykę, stosunkowo niewielkim kosztem, rozszerzyć o wykonanie jak najdokładniejszego modelu geometrycznego rurociągu (oraz jego elementów) oraz przeprowadzić badania niszczące w reprezentatywnych miejscach w celu sporządzenia modelu obliczeniowego rurociągu, który będzie odpowiadał rzeczywistemu rurociągowi w możliwie jak największym stopniu. Model obliczeniowy odzwierciedlający rzeczywisty obiekt oraz rzeczywiste warunki pracy stworzy, bezpośrednio specjaliście i/lub opracowanym przez niego algorytmom, możliwość do znacznego ograniczenia zakresu badań, co da się łatwo udowodnić. Model taki, obciążony w trybie off-line rzeczywistymi parametrami pracy, pozwala na identyfikację procesów niszczenia, a zatem na dobór odpowiednich metod badawczych. Takie podejście to pierwszy krok do stworzenia cyfrowego bliźniaka rzeczywistej instalacji rurociągowej.

W celu zaspokajania nowych potrzeb klientów, w kolejnych wersjach Platformy Informatycznej LM System PRO+® wykorzystujemy zaawansowane tech-



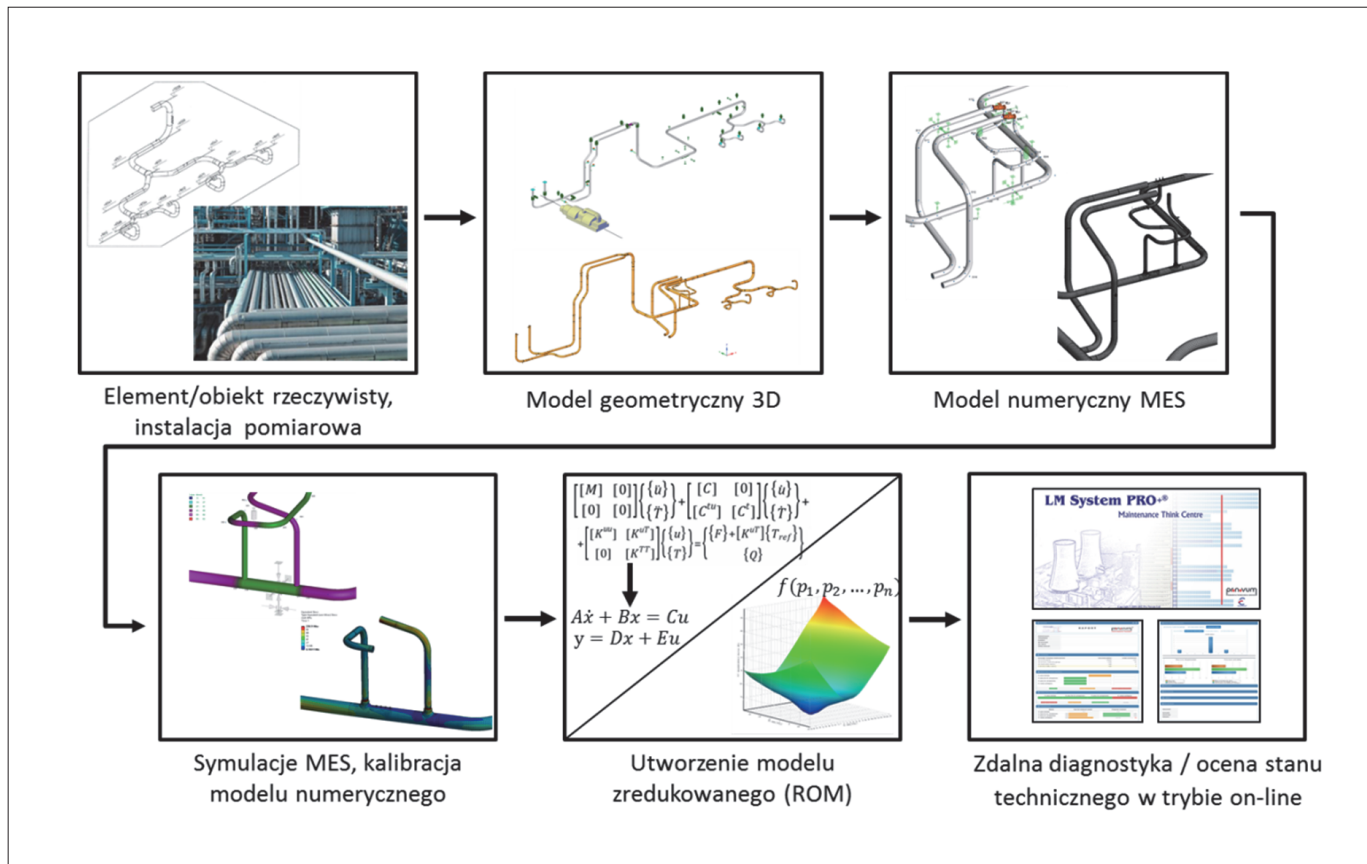
RYŚ. 3
Diagnostyka jako proces zintegrowany z procesem eksploatacji urządzeń

nologie informatyczne, które poszerzają możliwości analityczne systemu.

Diagnostyka zdalna

Istotą zdalnej diagnostyki rurociągów, zrealizowanej na wielu obiektach energetycznych, jest traktowanie diagnostyki jako procesu zintegrowanego z eksploatacją urządzenia, rys. 3. Integrację obydwu procesów zrealizowano z pomocą zestawu algorytmów, zweryfikowanych w wielu testach poprzedzających zaimplementowanie systemu i oddanie go do użytkowania. W efekcie, liczne informacje przetwarzają się automatycznie w wiedzę diagnostyczną w formie bieżącej oceny stanu technicznego oraz prognozy trwałości.

Zsynchronizowanie wymienionych procesów przeprowadzono w sposób pozwalający na wykrycie i przeanalizowanie w trybie on line każdego istotnego dla potencjalnego ubytku trwałości „zdarzenia eksploatacyjnego”. W przypadku zdalnej oceny stanu technicznego rurociągów analizowanie cieplno-mechanicznych warunków pracy było niewystarczające do stworzenia pełnego obrazu stanu technicznego/rozwiązania problemu eksploatacyjnego. Bardzo istotnym elementem wpływającym na stan techniczny rurociągów parowych, który uwzględniliśmy rozwijając system, jest (oprócz stanu metalu jego elementów i pracy jego zamocowań) analiza przemieszczeń cieplnych. Udało nam się stworzyć narzędzie, które umożliwia zdalne monitorowanie rzeczywistych przemieszczeń cieplnych i ich analizę. Początkowo rozwiązanie to bazowało na fotogrametrii, jednak po kilku latach doświadczeń – tam, gdzie jest to konieczne – stosowane są układy hybrydowe składające się dodatkowo z systemu wykorzystującego czujniki przemieszczeń liniowych.



RYS. 4
Proces realizacji cyfrowego bliźniaka wykorzystany w zdalnej diagnostyce

GŁÓWNE FUNKCJONALNOŚCI SYSTEMU ZDALNEJ DIAGNOSTYKI RUROCIĄGÓW PAROWYCH

- Monitorowanie istotnych – z punktu widzenia trwałości (żywności) elementów krytycznych – parametrów pracy.
- Monitorowanie zachowania się całej konstrukcji, w tym także stanu zamocowań rurociągów.
- Rejestracja czasu pracy rurociągów, również pracy „pod ciśnieniem – bez przepływu” odgałęzień rurociągów głównych.
- Identyfikacja stanów pracy bloku.
- Wykrywanie stanów awaryjnych np. w postaci tzw. uderzeń hydraulicznych.
- Rejestracja zdarzeń awaryjnych.
- Ocena wpływu pracy regulacyjnej na stan techniczny elementów rurociągu.
- Ocena aktualnego stanu technicznego rurociągów.
- Monitorowanie online stanu naprężeń.
- Bieżąca aktualizacja Stopnia Wyczerpania Trwałości.
- Rozwiązywanie indywidualnych problemów, np. poprawności regulacji zamocowań itp.
- Automatyczne dokumentowanie historii eksploatacji.
- Okresowe raportowanie o stanie technicznym, w tym o problemach wymagających interwencji specjalistów utrzymania majątku produkcyjnego.

Diagnostyka zaawansowana – nowoczesne technologie informatyczne

Koncepcja Zdalnego Nadzoru Diagnostycznego Rurociągów polega na integracji klasycznej, zaawansowanej wiedzy nt. eksploatacji i diagnozowania parowych instalacji rurociągowych oraz współczesnych technologii modelowania numerycznego konstrukcji i procesów wymiany ciepła, generowania naprężeń, przemieszczeń i utraty trwałości [1-3].

Wykorzystujemy technologię Digital Twins do modelowania wybranych elementów rurociągów oraz zaawansowane metody analityczne do analizy warunków pracy, identyfikowania procesów degradacji własności i wyczerpania trwałości – rys. 4. Wybrane metody AI, zwłaszcza Deep Mining i Machine Learning, wykorzystuje się do optymalizacji metodyki oceny stanu technicznego, z uwzględnieniem specyfiki pracy poszczególnych odcinków rurociągów, jak również do kreowania maszynowych kompetencji w miarę czasu eksploatacji instalacji oraz nadzorowania coraz większej ich liczby.

Powstały system w formie zdalnego nadzoru można elastycznie konfigurować. Wyposażony jest w zestaw nowych, zaawansowanych funkcji, bardziej ergonomiczny interfejs użytkownika oraz zoptymalizowane algorytmy przetwarzania danych.

W ramce przedstawiono główne funkcjonalności systemu zdalnej diagnostyki rurociągów parowych (rys. 5).

RYS. 5
 Przykładowy
 interfejs
 programu do
 zdalnego nadzoru
 rurociągów
 parowych


Opisany System Zdalnego Nadzoru Diagnostycznego Rurociągów Parowych może być stosowany zarówno dla nowo oddanych, jak i długo eksploatowanych rurociągów. Pozwala integrować informacje diagnostyczne, remontowe i eksploatacyjne w wiedzę w formie bieżącej oceny stanu technicznego oraz prognozy trwałości.

Głównymi korzyściami z wdrożenia zdalnego nadzoru diagnostycznego są:

- Znaczące ograniczenie obsługi nad nadzorem stanu technicznego rurociągów.
- Automatyczne generowanie raportów okresowych ze wsparciem eksperckim Pro Novum.
- Spełnienie przepisów Urzędu Dozoru Technicznego [5,6].
- Spełnienie wymagań: „Wytucznych przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW” Pro Novum [4].
- Niskie koszty nadzoru diagnostycznego przy zachowaniu najwyższych standardów technicznych.

- Optymalizacja czynności remontowych w sposób adekwatny do stanu technicznego monitorowanych rurociągów.

Literatura

- [1] Brunné W., Trzeszczyński J., Haliński J.: „Zdalna diagnostyka głównych rurociągów parowych bloków energetycznych”. Dozór Techniczny, Nr 6/2011.
- [2] Trzeszczyński J., Hatłas M., Murzynowski W.: „Digitalizacja środowiska diagnostycznego jako proces wspierający bezpieczeństwo dyspozycyjność bloków energetycznych oraz możliwość poprawy ich elastyczności w niskonakładowy sposób”. Nowa Energia, Nr 2/2022
- [3] Trzeszczyński J., Murzynowski W., Białek S.: Monitorowanie stanu technicznego urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków energetycznych przy wykorzystaniu platformy informatycznej LM System PRO+®. Dozór Techniczny Nr 5/2011.
- [4] PN/20.2900/2013: „Wytuczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200MW. Część I - Założenia ogólne. Część II - Diagnostyka elementów krytycznych kotła oraz głównych rurociągów parowych i wodnych. Część III - Diagnostyka rur powierzchni ogrzewalnych kotłów”. Pro Novum, 2013.
- [5] Wytuczne Urzędu Dozoru Technicznego Nr.2/UC/2019/1
- [6] Wytuczne Urzędu Dozoru Technicznego Nr.3/UC/2022/1