

Szanowni Państwo,

Mija kolejny rok, który nie przybliżył nas do dającego się zrozumieć scenariusza transformacji polskiej energetyki. W mediach kontynuowany był szum informacyjny na ten temat, może jeszcze większy niż w poprzednich latach. Kolejny, tegoroczny COP26 w Glasgow pokazał, że wszyscy najwięksi emitenci CO₂ nie mają zamiaru składać wiążących ich deklaracji. Taką postawę trudno zrozumieć, zwłaszcza u tych, którzy przez ostatnie kilkadziesiąt lat wyemitowali go tyle, że jak twierdzą niektórzy uczeni i eksperci, w prawie każdym zakątku naszej Ziemi widać skutki globalnego ocieplenia. Prasa, zwłaszcza europejska, w tym polska odnotowała jednak to spotkanie jako kolejny sukces. Tylko nieliczni zwrócili, trochę przekornie uwagę, że część klimatycznych aktywistów przybyła do Glasgow ponad 100 prywatnymi, chyba jeszcze nadal wysokoemisyjnymi, samolotami. Szkoda, że tak ważnym dla przyszłości naszej planety zmianom towarzyszy retoryka pełna hipokryzji i bezrefleksyjnego humanizmu.

Kolejne przeciwności zdają się wyłączać mobilizować twórców europejskiej polityki energetycznej do jeszcze bardziej ambitnych deklaracji i politycznej oraz ekonomicznej presji, która w formie Fit for 55 ma na celu ograniczenie emisji gazów cieplarnianych o 55% do 2030 r. Wprawdzie w roku, który mija ilość generacji z węgla, nie tylko w Polsce – wzrosła, szybko jednak skomentowano ten fakt jako przejściowy ewenement, w żadnym przypadku jako początek nowego trendu ani nawet powód do głębszej refleksji. Terminy odejścia od węgla zostały w deklaracjach kolejny raz skrócone. Jeszcze nie wiadomo czy energetyka jądrowa zostanie uznana za zieloną, a gaz jako paliwo „przejściowe” będzie mógł być wspierany ze środków unijnych. Niektórzy zwolennicy „rewolucji” klimatycznej ze zdziwieniem zauważają, że energia w przyszłości może być droższa niż dotąd. Można ich jednak uspokoić, że przy odpowiednio wysokiej cenie energii i dalszej redukcji generacji tzw. brudnej energii, także energia zielona okaże się „tania”, zwłaszcza dla tych, którzy skorzystają z dopłaty do rachunków.

Rośnie natomiast nadzieja na wykorzystanie zielonego wodoru. Problem stanowi jednak jego cena. Autobusy na to paliwo należą do najdroższych na rynku, ale dzięki... 90-procentowym dotacjom ich zakup „opłaca się” samorządom. W polskiej energetyce wszystkie możliwości transformacji nadal przed nami. Nie tylko wiatraki, fotowoltaika i wodór. Także duże i małe reaktory jądrowe. Z tych pierwszych prąd może popłynąć „już” w 2033 roku, z tych drugich parę lat wcześniej, aktualnie znajdują się podobno na etapie „zaawansowanych” pilotaży. Na szczęście od... 2028 roku na Morzu Bałtyckim mają rozpocząć wytwarzanie, na wielką skalę, morskie farmy wiatrowe. Z nadwyżek energii ma być wytwarzany zielony wodór, który m.in. może posłużyć do produkcji zielonej stali, pod warunkiem otrzymania przez jej producenta rządowego dofinansowania.

Zanim to się wszystko wydarzy, wzrośnie zapotrzebowanie na energię elektryczną, a po likwidacji bloków klasy 120 MW mają zostać „stopniowo” wycofywane z eksploatacji bloki klasy 200 MW, co zresztą już się dzieje. Czy nie warto przemyśleć tego procesu z „klimatycznego” punktu widzenia? Jeśli podobno z wyprodukowaniem i korzystaniem z jednego smartfona związany jest ślad węglowy ok. 1,5 tony CO₂, to jaki ślad węglowy związany jest z budową i eksploatacją nowego bloku gazowego, w okresie „przejściowym”? Czy wyłączenie za 10-15 lat, a może szybciej (za przyczyną np. Fit for 80) bloków klasy 200 MW nie mogłoby być dla klimatu bardziej przyjazne? A co, gdy niskoemisyjne źródła energii powstaną później, a za parę lat będziemy masowo mogli jeździć samochodami elektrycznymi i gospodarka jeszcze bardziej niż dotąd „odbije” po pandemii? Czy wtedy będziemy mogli liczyć tylko na import? Czy będzie to wyłącznie zielona energia?

Nasze kolejne, XXIII/I Sympozjum pokazało, nie po raz pierwszy, że nie tylko z polityką energetyczną EU mamy problem. Technologia cyfrowe w obszarze diagnostyki – zamiast integrować dotychczasową wiedzę i doświadczenie i w formie zdalnej diagnostyki wspierać na blokach długo eksploatowanych bezpieczeństwo i dyspozycyjność przy akceptowalnych (coraz niższych) środkach, a na blokach nowych stanowić źródło zdobywania nowych kompetencji – nadal wypierane są w pierwszym przypadku przez kosztowne, w szerokim zakresie badania, które nie dostarczają nowej, istotnej wiedzy, a na blokach nowych badania w pierwszym rzędzie aktualizują informacje dla zdalnych systemów diagnostycznych dostawców kontynuujących swój biznes w formule LTSA.

Zachęcamy do lektury artykułów naszego nowego Biuletynu, które mogą stanowić nie tylko źródło wiedzy na temat współczesnej diagnostyki i korzyści, jakich dostarcza lub może ona dostarczać. Można je także potraktować jako sposób wyrażenia naszego optymizmu. Ciągłe mamy nadzieję, że wyczerpanie kompetencji nie nastąpi szybciej niż wyczerpanie trwałości nie tylko długo eksploatowanych urządzeń i że nie braknie nam i Wam Czytelnicy naszego Biuletynu entuzjazmu co najmniej w nadchodzącym 2022 roku.

Jerzy Trzecznyński & Jerzy Dobosiewicz

Dokąd zmierza diagnostyka?

Where is the diagnostics going to?

Diagnostyka urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni przeobraża się głównie pod wpływem zmian w strategiach remontowych, w szczególności jako rezultat ograniczania nakładów na utrzymanie stanu technicznego. Coraz mniej typowy, stopniowo coraz bardziej regulacyjny tryb pracy nie jest w koniecznym stopniu uwzględniany w aktualnie wykonywanej diagnostyce. Możliwości, jakie stwarzają współczesne technologie analityczne, cyfrowe i informatyczne wykorzystywane są w bardzo ograniczonym stopniu, głównie na nowych blokach, urządzeniach i instalacjach w trybie LTSA.

Słowa kluczowe: diagnostyka, urządzenia ciepłno-mechaniczne elektrowni, strategie remontowe

Diagnostics of thermo-mechanical power equipment is changing mainly as a result of changes in overhaul strategies, in particular as a result of limiting expenditures on maintaining the technical condition. The increasingly less typical, gradually more and more flexible mode of operation is not necessarily taken into account in the current diagnostics. The possibilities offered by modern analytical, digital and IT technologies are used to a very limited extent, mainly on new power units, pieces of equipment and installations in the LTSA mode.

Keywords: diagnostics, the thermo-mechanical power equipment, overhaul strategies

Uwagi wstępne

Diagnostyka to ważna część utrzymania stanu technicznego urządzeń, ściśle powiązana z ich konstrukcją, technologią wykonania, a zwłaszcza z warunkami i parametrami pracy. Podlega ciągłej ewolucji w tempie zbliżonym do transformacji elektroenergetyki, a także pod wpływem zmian warunków eksploatacji i strategii remontowych. W ostatnim czasie diagnostyka klasyczna wypierana jest przez diagnostykę wykonywaną w trybie zdalnym dzięki szybkiemu rozwojowi metod analitycznych, modelowania konstrukcji i procesów oraz możliwości ich symulacji, a także rosnącej dostępności względnie tanich, łatwych w obsłudze aplikacji informatycznych.

W obszarze urządzeń długo eksploatowanych obserwuje się raczej regres diagnostyki, na co składa się wiele czynników. Redukcja nakładów na utrzymanie stanu technicznego jest jednym z nich. Dochodzi brak realistycznej strategii ich dalszej eksploatacji, erozja kompetencji technicznych, niedostateczne korzystanie z bogatej wiedzy i doświadczeń specjalistów jeszcze aktywnych zawodowo. Podstawowym zagrożeniem dla bezpieczeństwa i dyspozycyjności nie jest wyczerpanie trwałości, lecz utrata kompetencji, która ten proces może przyspieszać. Towarzyszy mu proces pogarszania jakości prac remontowych co sprawia, że pojawiają się uzasadnione obawy o sens remontów bardziej technicznie skomplikowanych urządzeń, jak np. turbozespoły, zwłaszcza gdy chodzi o planowe remonty prewencyjne. W przypadku remontów awaryjnych (planowo-awaryjnych!) alternatywą dla remontu może być tylko wyłączenie urządzenia z eksploatacji.

Diagnostyka jako system zdobywania wiedzy dla strategii eksploatacji

Odpowiednio wykonywana diagnostyka zapewnia nie tylko bezpieczeństwo. Może, a nawet powinna być źródłem wiedzy na potrzeby strategii eksploatacji, utrzymania technicznego oraz modernizacji w racjonalnym zakresie, np. części NP turbin

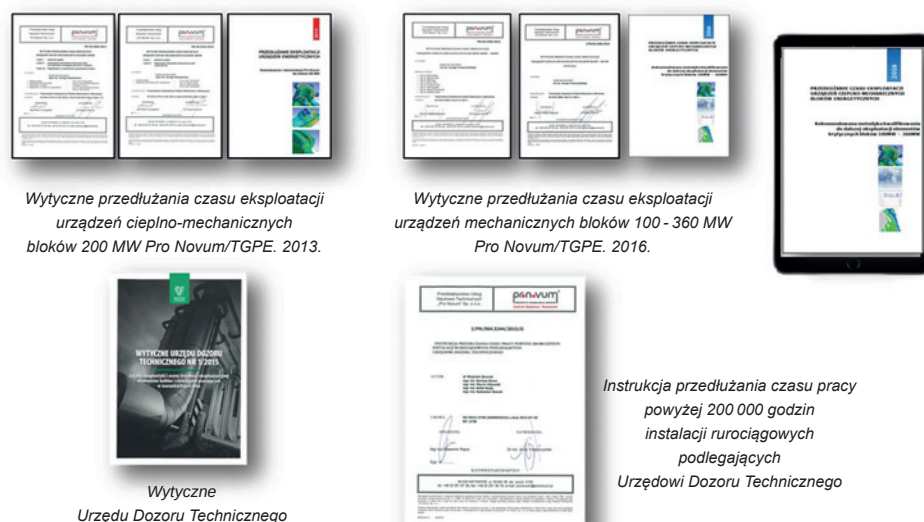
i systemów sterowania. Takie możliwości osiągnęła diagnostyka, zwłaszcza bloków klasy 200 MW, ok. 30 lat temu. Od tego czasu wielu z nas uzyskało pewność, że praktycznie wszystkie elementy krytyczne urządzeń ciepłno-mechanicznych mogą przepracować bezawaryjnie ok. 350 tys. godzin, bez potrzeby ich wymiany, pod warunkiem wykonywania okresowo diagnostyki i remontów w odpowiednim zakresie oraz rewitalizacji materiału stalowych elementów turbin.

Diagnostykę o takich możliwościach stworzyli specjaliści związani bezpośrednio z utrzymaniem stanu technicznego i eksploatacją urządzeń, którzy swoją wiedzę zdobyli i pogłębiali rozwiązując konkretne problemy eksploatacyjne, w tym zwłaszcza awaryjne [1,2]. W tym trybie uzyskiwali najbardziej istotną wiedzę o konstrukcji urządzeń, w tym o nieoptymalnych rozwiązaniach konstrukcyjnych i błędach wykonania. Dzięki takiej, praktycznej wiedzy o urządzeniach diagnostyka stosunkowo łatwo uporała się z wyzwaniem przedłużania eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych ponad czas „projektowy”, najpierw powyżej 100 tys. godzin, następnie powyżej 200 tys. godzin [1-4]. Zdalna diagnostyka, którą *Pro Novum* rozpoczęło wdrażać od 2004 roku (rys. 2) na blokach o mocy od 100 MW do 360 MW (a także na blokach na parametry nadkrytyczne) zainspirowała do opracowania „Wytycznych przedłużania eksploatacji bloków klasy 200 MW do 350 tys. godzin” [5-7] (rys. 1).

„Wytyczne przedłużania eksploatacji...” odnoszą się zarówno do kotłów i rurociągów parowych jak również do turbin, generatorów oraz rurociągów wody zasilającej. Uwzględniają także regulacyjny tryb pracy bloków energetycznych, co ma miejsce od wielu lat. Trwałość wielu ważnych komponentów bloków, zwłaszcza w energetyce zawodowej – od tego czasu – nie jest limitowana przez czas eksploatacji (w kolejnych latach doświadczają go coraz mniej), lecz przez ich regulacyjny tryb pracy, w rytm generacji z OZE.

Największe korzyści zapewniają takie współczesne systemy diagnostyczne, w których:

- terminy i zakresy remontów określa się na podstawie retrospekcji oraz analizy warunków pracy w okresie od ostatniej oceny stanu technicznego,



Rys. 1. Diagnostyka wspierająca bezpieczną eksploatację urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków energetycznych klasy 100 MW – 360 MW w perspektywie ok. 350 000 godzin [5-7]



Rys. 2. Zdalna diagnostyka w formie wieloletniego serwisu LM Serwis PRO+®, zapewniająca automatyczną aktualizację oceny stanu technicznego i prognozy trwałości, zrealizowana na Platformie LM System PRO+®

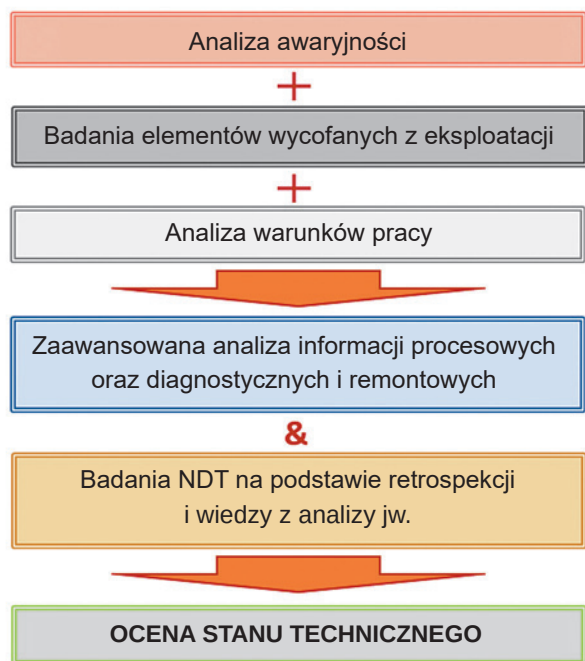
- badania i pomiary służą do opracowania oceny stanu technicznego wraz z prognozą trwałości i zaleceniami remontowymi oraz eksploatacyjnymi,
- oceny stanu technicznego powinny uwzględniać zakres remontu i zastosowane technologie napraw, regeneracji oraz rewitalizacji,
- prognozy trwałości powinny uwzględniać przewidywany tryb pracy bloku, zwłaszcza gdy pracuje on w trybie *flexible operation*, a nawet *cycle load* [10].

Potraktowanie systemu diagnostycznego jako procesu zintegrowanego z procesem eksploatacji jest niezbędnym warunkiem wdrożenia diagnostyki wykonywanej w trybie zdalnym [8, 9, 12]. Diagnostyka zdalna w wersji najprostszej może aktualizować ocenę stanu technicznego i weryfikować prognozę trwałości na podstawie bieżącej analizy historii i warunków pracy. W wersji bardziej zaawansowanej może w znacznym stopniu zastąpić diagnostykę klasyczną, traktując badania jako tuningowanie cyfrowego bliźniaka elementu, urządzenia/instalacji [21]. To najlepsze podejście do diagnostyki zarówno na urzą-

dzeniach długo eksploatowanych z ograniczonymi budżetami na utrzymanie stanu technicznego, jak również na nowych blokach dla budowania kompetencji technicznych przydatnych zarówno w okresie gwarancyjnym, serwisu LTSA, jak również (zwłaszcza) po jego zakończeniu [19].

Każdy system diagnostyczny, także zdalny, powinien mieć zaimplementowane procedury i algorytmy, które odnoszą się do aktualnej wiedzy i na bieżąco identyfikowanych problemów. Dotyczy to zwłaszcza diagnostyki urządzeń starszych, które nie tylko pracują w trybie *life extension*, ale także w trybie utrzymaniowym, charakterystycznym dla końcowej fazy eksploatacji (rys. 3).

Największą wartością zdalnych systemów diagnostycznych jest wiedza i doświadczenie gromadzone w całym okresie życia urządzeń. Wiedzę i doświadczenie dla bloków klasy 200 MW można uznać za kompletną. Jednym z jej przykładów jest prosty i logiczny sposób identyfikacji różnych objawów wyczerpania trwałości elementu (rys. 4), z którym w prosty sposób można zintegrować procedury badań NDT oraz obliczeń.



Rys. 3. Schemat klasycznego procesu diagnostycznego w formie dostosowanej do zaimplementowania w zdalnej wersji diagnostyki

Największym problem korzystania z dotychczasowej wiedzy i doświadczeń osiągniętych dotąd w polskiej energetyce jest jej rozproszenie i brak integracji nie tylko w grupach energetycznych, ale nawet w poszczególnych elektrowniach. Częste zmiany organizacyjne oraz pokoleniowe znacznie pogłębiły ten problem. Wiedza korporacyjna największą rangę posiadała w grupach *EdF Polska* i *Vattenfall Heat Poland*. Inżynierie tych grup dysponowały systemami rejestracji informacji i wiedzy oraz bieżącymi serwisami diagnostycznymi [8]. Po zakończeniu obecności zagranicznych inwestorów w polskiej elektroenergetyce zrezygnowano z tych systemów. Chyba nie zastąpiono ich innymi, przynajmniej równorzędnymi.

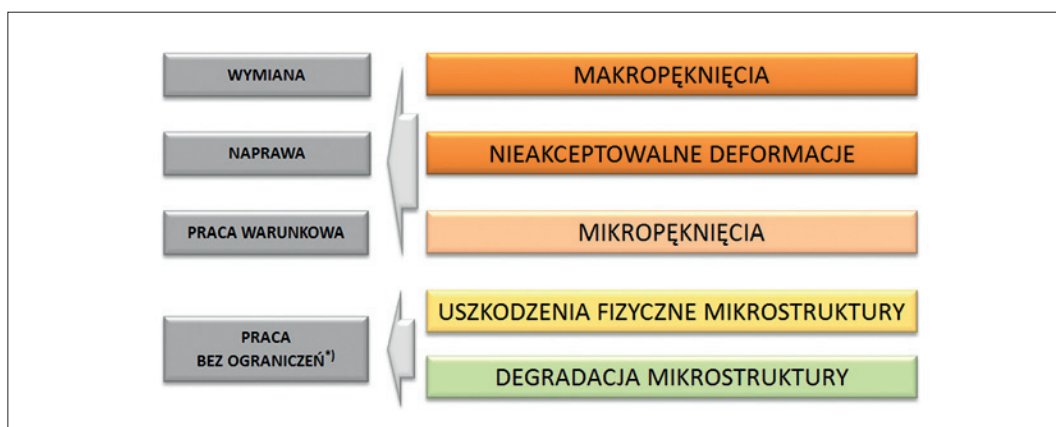
Aby diagnostyka mogła być źródłem wiedzy dla strategii eksploatacji i utrzymania technicznego powinna spełnić następujące warunki:

- należy ją traktować jako proces zintegrowany odpowiednio z procesem eksploatacji – postój to także faza eksploatacji wpływająca na degradację techniczną wielu elementów urządzeń,
- należy ją wykonywać w większym niż dotąd stopniu w trybie zdalnym, który stwarza warunki do podwyższenia jakości, obniżenia kosztów oraz wykorzystania zaawansowanych metod analitycznych,
- znacznie wyższy status niż dotąd powinna mieć analiza awaryjności, zwłaszcza skojarzona z analizą warunków pracy,
- elementy wycofywane z eksploatacji powinny być przedmiotem badań,
- należy zapewnić transfer informacji, wiedzy i doświadczeń z wielu obiektów tej samej klasy wspierając go wybranymi metodami AI [11],
- ostatnia faza eksploatacji urządzenia/elementu oznaczać może brak możliwości lub/i ekonomicznego sensu naprawy/wymiany uszkodzonego elementu – wykorzystanie metod mechaniki pęknięcia może zapewnić ich warunkową, bezpieczną eksploatację,
- zapas trwałości elementu należy określać nie tylko na podstawie obliczeń SWT i analizy stanu struktury, ale także opierając się na kryteriach mechaniki pęknięcia oraz wynikach badań elementów wycofanych z eksploatacji, analizie awaryjności i historii napraw, regeneracji oraz rewitalizacji elementów.

Diagnostyka wyposażona w więcej niż dotąd funkcji nie musi być bardziej pracochłonna i droższa niż dotąd stosowana. Odpowiednio zorganizowana i zaimplementowana może być bezobsługowa, zwłaszcza w obszarze raportowania aktualnej wiedzy i wytycznych do strategii eksploatacji.

Diagnostyka jutro – próba prognozy

Energetyce polskiej brakuje realistycznej strategii od wielu lat. Diagnostyka wykonywana na odpowiednio wysokim poziomie może i powinna być źródłem wiedzy, która zapewni bezpieczeństwo i dyspozycyjność urządzeń, wprawdzie znajdujących się w końcowej fazie pracy, ale pod pewnymi względami wspierającymi



Rys. 4. Postępowanie związane z identyfikacją różnych objawów wyczerpania trwałości elementu

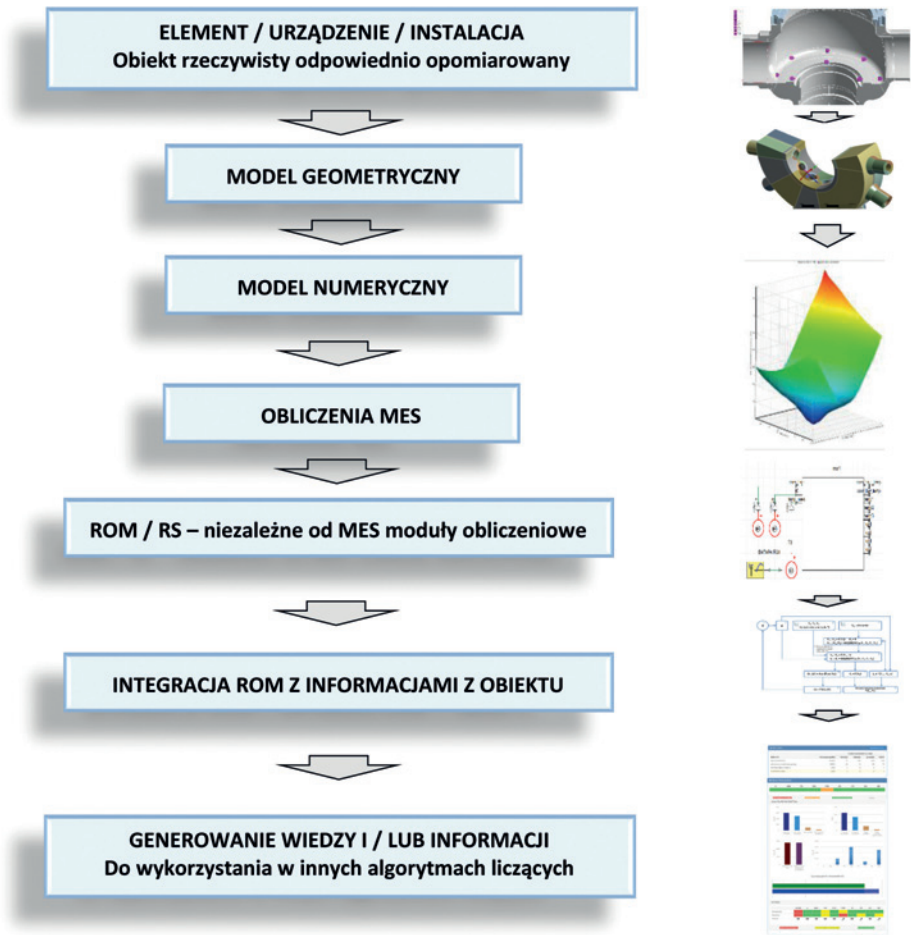
*) praca bez ograniczeń w okresie do następnego badania i oceny stanu technicznego

bezpieczeństwo naszego systemu elektroenergetycznego nie gorzej niż nowe jednostki wytwórcze, których.... brakuje. Diagnostyka niestety swoje najlepsze czasy ma już jednak za sobą. Na razie nic nie zapowiada, żeby to się mogło zmienić:

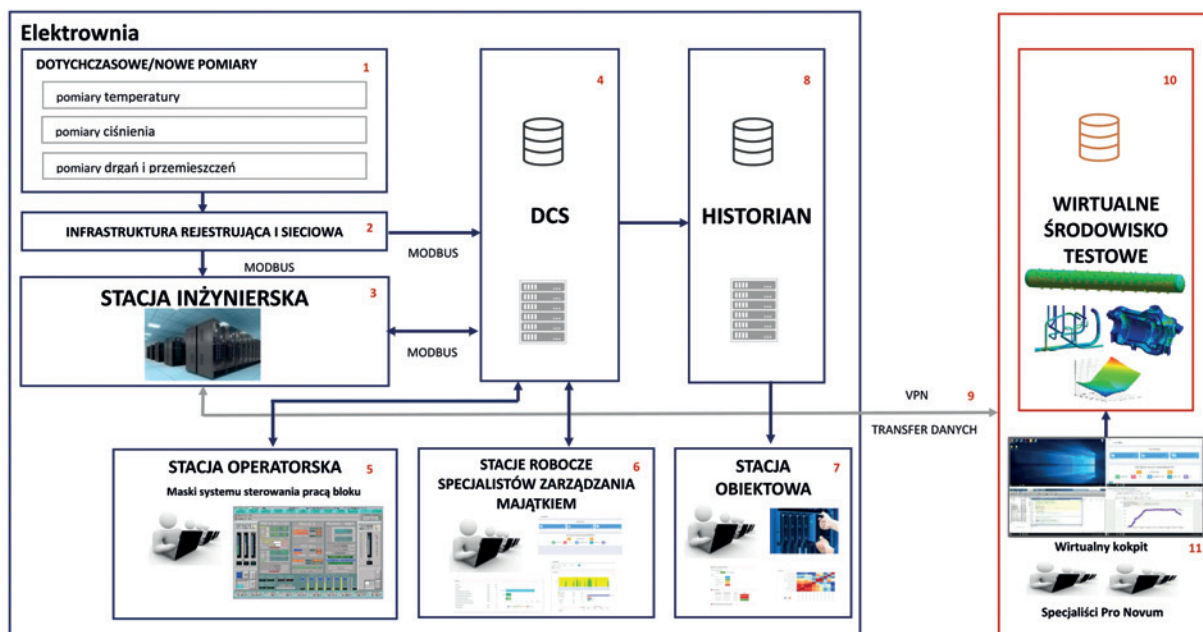
- Diagnostyka utraciła w znacznym stopniu swoją autonomię, staje się częścią remontów. Ułatwia to może organizację przetargów, ogranicza jednak korzyści użytkownika, w zakresie wiedzy, zwłaszcza dotyczącej profilaktyki.
- Wymiana wiedzy i doświadczeń ulega dalszej redukcji. Trudności, jakie wywołała pandemia proces ten jeszcze bardziej akcelera. Algorytmy realizujące *Machine & Transfer Learning* mogą w tym względzie pomóc nie tylko w skali elektrowni, ale także w skali użytkowników jednej klasy urządzeń [11].
- Niska jest ranga działań będących źródłem najbardziej użytecznej wiedzy:
 - badań niszczących elementów/urządzeń wycofanych z eksploatacji,
 - w śladowym zakresie korzystanie ze zdalnej diagnostyki, nawet w czasach pandemii (!),
 - bardzo ograniczone korzystanie z możliwości, jakie stwarzają cyfrowe technologie w zakresie analizy warunków pracy, a zwłaszcza naprężeń, także w trybie on-line, nadal korzysta się z metod i kryteriów konstruktorów sprzed prawie 50 lat.

Obiecującym kierunkiem rozwoju diagnostyki jest cyfryzacja wszystkich procesów jej towarzyszących, obiektów będących przedmiotem diagnostyki [17-21] oraz komunikacji pomiędzy obiektem rzeczywistym i diagnostycznym środowiskiem testowym (rys. 6). To technologia uniwersalna, dająca ewidentne korzyści na blokach starszych [13], jak również na nowych. W pierwszym przypadku obniża znacznie koszty przy zachowaniu wysokiej jakości wiedzy, w drugim przypadku może być najlepszym wsparciem uzyskania kompetencji technicznych na nowych blokach energetycznych stwarzając szanse na partnerskie, równorzędne relacje pomiędzy użytkownikiem a dostawcą, jeśli.... zawarta umowa LTSA nie wyklucza takiego działania.

Na rysunku 5 przedstawiono schemat systemu nadzoru eksploatacji elementu/urządzenia, który w formie cyfrowej pozwala odwzorować wszystkie podstawowe procesy towarzyszące eksploatacji, w tym także symulować zachowania i zdarzenia oraz ich konsekwencje bez potrzeby wykonywania uciążliwych (często niemożliwych) i kosztownych prac obiektowych. Dotychczasowe rezultaty tego rodzaju prac [16] pozwalają mieć uzasadnioną nadzieję, że jeszcze w bieżącym roku będzie można oferować dojrzałe rozwiązania o charakterze aplikacyjnym na nowych i niedługo eksploatowanych konwencjonalnych blokach energetycznych, a także na jednostkach starszych, eksploatowanych w trybie zbliżonym do *flexible operation*.



Rys. 5. Proces towarzyszący implementacji zdalnej diagnostyki w kompleksowo zdigitalizowanym środowisku diagnostycznym (patrz: kontynuacja na rysunku 6)



Rys. 6. Architektura systemu zdalnej komunikacji pomiędzy obiektem rzeczywistym a Diagnostycznym Środowiskiem Testowym

Diagnostyczne Środowisko Testowe (DST) to bezpieczna, monitorowana, informatyczna infrastruktura składająca się z odpowiedniego sprzętu i oprogramowania. Użytkownikami DST są specjaliści *Pro Novum* oraz wydziałów zarządzania majątkiem elektrowni. W najbardziej zaawansowanych projektach, skoncentrowanych zwłaszcza na bezpieczeństwie, informacje generowane przez algorytmy predykcyjne mogą być wizualizowane na maskach operatorskich. Do DST przesyłane są dane i informacje procesowe w celu:

- zapewnienia bezpieczeństwa danych oraz prowadzenia prac nad rozwojem aplikacji informatycznych;
- modelowania, symulacji, kalibracji, testowania i walidacji rozwiązań z zakresu eksploatacji, diagnostyki i serwisu;
- przygotowania nowych/zmodyfikowanych algorytmów sterowania i ich testowania przed zaimplementowaniem w DCS;
- testowania funkcjonalności aplikacji informatycznych przed ich zaimplementowaniem na Stacji Operatorskiej.

Podsumowanie – uwagi końcowe

Diagnostyka w energetyce ewoluuje w dwóch różnych kierunkach:

- wykonywanej w trybie zdalnym, zwłaszcza na nowo budowanych jednostkach oraz
- zredukowanej wersji klasycznej, z zauważalnym regresem jakości.

Na blokach starszych nawet pandemia i możliwość racjonalnej redukcji nakładów na utrzymanie stanu technicznego nie skłoniła ich użytkowników do wdrożenia zdalnej diagnostyki. Tam gdzie wcześniej ją wdrożono, odstąpiono od jej kontynuowania. To rezultat zróżnicowanego stopnia świadomości znaczenia

wiedzy u dostawców urządzeń i ich użytkowników. Użytkownicy w znacznym stopniu oddali inicjatywę w zakresie kreowania wiedzy firmom remontowym oraz wykonującym wieloletnie serwisy w trybie LTSA. Prewencyjny charakter badań (i remontów) odchodzi do lamusa. Sprawia to wrażenie jakby w mniejszym stopniu niż kiedyś zdawano sobie sprawę z tego, że urządzenia niezależnie od tego, jak długo będą jeszcze pracować powinny być w tym czasie bezpieczne i dyspozycyjne.

Najwyższą świadomość na temat wartości wiedzy wykazują dostawcy nowych urządzeń. Z jednej strony bronią swojego know-how w zakresie konstrukcji i technologii, z drugiej – wiedzę o aktualnym stanie technicznym urządzenia potrafią biznesowo wykorzystać. Pierwszym zależy na trybie LTSA w okresie ok. 12 lat od oddania urządzeń do eksploatacji, drugim powinno zależeć na maksymalnym zakresie technicznego offsetu. Dostawcy w coraz większym stopniu chronią know-how oraz zabezpieczają się przed ryzykiem, zwłaszcza w pierwszym okresie eksploatacji, gdy ujawnienie błędów konstrukcyjnych i montażowych oraz ich często kosztowne skutki są najbardziej prawdopodobne. Inwestorowi powinno zależeć na tym, aby być równorzędnym, w zakresie kompetencji technicznych, partnerem dostawcy.

Współczesne urządzenia projektowane są w formie modułowej, w możliwie najmniejszym zakresie remontowalne, a nawet diagnozowalne. Odkąd nauczono się projektować urządzenia na określoną trwałość, projektuje się je na trwałość możliwie najkrótszą. Dąży się do tego, żeby zdalna diagnostyka dostawcy zapewniała nie tylko bezpieczeństwo urządzeń i dyspozycyjność zgodnie z zapisami umowy w okresie gwarancji i serwisu pogwarancyjnego, ale także w zakresie weryfikacji poprawności i optymalizacji poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych, zwłaszcza prototypowych. To racjonalna strategia w punkcie widzenia interesu dostawców urządzeń.

Dążenie do partnerstwa w zakresie utrzymania stanu technicznego jest zwłaszcza w interesie inwestora/użytkownika. Dotyczy to w szczególności diagnostyki, o czym należy pamiętać przed zawarciem kontraktu. Najlepiej planować zakup większej liczby tej samej klasy sprawdzonych w eksploatacji urządzeń. Wtedy i offset technologiczny i rozwój kompetencji technicznych po stronie użytkowników jest procesem łatwiejszym i szybszym.

Należy dążyć do tego, aby nasz polski „content” nie kończył się na wybudowaniu nowych jednostek wytwórczych. Partnerstwo w obszarze eksploatacji i utrzymania stanu technicznego przedstawia największą wartość, jeśli o bezpieczeństwie myślimy nie tylko werbalnie, a potencjał intelektualny polskich inżynierów chcielibyśmy nie tylko zachować, ale także rozwijać.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Dobosiewicz J., *Badania diagnostyczne urządzeń ciepłno-mechanicznych w energetyce. Część I. Zagadnienia ogólne. Turbiny i generatory*, Biuro Gamma, Warszawa 1998.
- [2] Dobosiewicz J., *Badania diagnostyczne urządzeń ciepłno-mechanicznych w energetyce. Część II. Kotły i rurociągi*, Biuro Gamma, Warszawa 1999.
- [3] Brunné W., *Wytyczne nadzoru stanu technicznego głównych rurociągów elektrowni*, „Energetyka” 1996, nr 12, *Biuletyn Pro Novum* nr 2/1996.
- [4] Trzeczcyński J., *Eksploatacja urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni po przekroczeniu trwałości projektowej – Rekomendacje i doświadczenia Pro Novum*, „Nowa Energia” 2014, nr 1.
- [5] PN/20.2900/2013: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW. 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*, Katowice, luty 2013.
- [6] PN/30.2910/2013: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW. Część I. Założenia ogólne. Część II. Diagnostyka elementów krytycznych turbin i generatorów, *Pro Novum*, Katowice, luty 2013.
- [7] PN/045.3360/2016: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100-360 MW, *Pro Novum*, Katowice 2016.
- [8] Trzeczcyński J., *Concept and Present State of Implementation of LM System PRO® – the System Supporting Maintenance of Thermo-Mechanical Power Equipment*, 3rd ETC Generation and Technology Workshop „Life Time Management of Pressurized Equipment”, Dublin 2007.
- [9] Trzeczcyński J., *Remote Diagnostic Systems for Assessment of Thermo-Mechanical Equipment of Power Plants*. Proceedings of 2nd ECCC Creep Conference, Zurich, 21-23 April 2009.
- [10] Trzeczcyński J., Stanek R., Szyja R., Staszatek K., *Cyclic operation of modernized power units of 200 MW and 360 MW*. ETD Conference – Flexible Operation & Preservation of Power Plants. London, 23-24 November 2015.
- [11] Stanek R., Trzeczcyński J., Dąbrowski M., *Diagnostyka jednego typu urządzeń w skali KSE z wykorzystaniem portalu internetowego integrującego informacje eksploatacyjne*. „Energetyka” 2017, nr 12, *Biuletyn Pro Novum* 2/2017.
- [12] Trzeczcyński J., Murzynowski W., Stanek R., Mordalski W., *Zdalna diagnostyka – niewykorzystana szansa na niskonakładowe zapewnienie bezpieczeństwa*. „Energetyka” 2020, nr 6, *Biuletyn Pro Novum* 1/2020.
- [13] Trzeczcyński J., *Bloki klasy 200 MW dziś i jutro*. „Energetyka” 2020, nr 6, *Biuletyn Pro Novum* 1/2020.
- [14] Trzeczcyński J., *Diagnostyka źródłem wiedzy i strategii eksploatacji*. „Energetyka” 2020, *Biuletyn Pro Novum* 2/2020.
- [15] Trzeczcyński J., Trzeczcyńska E., *Diagnostic as a source of knowledge and strategy for units of coal flexible fired power plants*. VGB Conference „Maintenance in Power Plants 2019”. Potsdam/Germany, 19-20 February 2019.
- [16] OPT_AI_UNIT – Komputerowy system nadzoru nad bezpieczeństwem eksploatacji instalacji rurociągowych pracujących w warunkach pełzania. *Pro Novum*. Katowice 2020/2021. Materiały niepublikowane.
- [17] Qian Zhu, *Digital transformation of the coal sector*. „VGB Power-Tech” 2021, No 7.
- [18] Richter M., Oeljeklaus G., Gerner K., *Dynamic simulation of flexibility measures for coal-fired power plants*. „VGB PowerTech” 2020, No 4.
- [19] *Diagnostyka dziś i jutro*. „Energetyka” 2021 (800), nr 2.
- [20] Trzeczcyński J., *Wirtualne Środowisko Diagnostyczne*. „Energetyka” 2021, nr 9, *Biuletyn Pro Novum* 1/2021.
- [21] Stanek R., Trzeczcyński J., *Prognozowanie trwałości urządzeń energetycznych w trybie zdalnym z wykorzystaniem aplikacji Prognoza PRO®*. „Energetyka” 2021, nr 12, *Biuletyn Pro Novum* 2/2021.

Prognozowanie trwałości urządzeń energetycznych w trybie zdalnym z wykorzystaniem aplikacji Prognōza PRO®

Forecasting the lifetime of power equipment in a remote mode

Opisano funkcjonalność oraz korzyści, jakie można osiągnąć korzystając z aplikacji informatycznej towarzyszącej każdej kompleksowo wykonywanej przez Pro Novum diagnostyce, tj. takiej, gdy badaniom towarzyszą ocena stanu technicznego oraz prognoza trwałości. Aplikacja pozwala na akcelerację korzyści, jaką daje taka diagnostyka, tj. na weryfikację prognozy trwałości w trybie on-line, a w wersjach bardziej rozbudowanych także na aktualizację oceny stanu technicznego oraz zapewnienie bezpieczeństwa eksploatacji elementów dopuszczonych warunkowo do dalszej eksploatacji.

Słowa kluczowe: ocena stanu technicznego urządzeń energetycznych, prognoza trwałości, aplikacja informatyczna Pro Novum

There was described the functionality and benefits that can be achieved using the IT application accompanying the diagnostics comprehensively performed by Pro Novum, i.e. when the tests are accompanied by assessment of technical condition and lifetime forecast. The application allows you to accelerate the benefits of such diagnostics, i.e. to verify the lifetime forecast in the on-line mode, and in more extensive versions also to update the technical condition assessment and to ensure the operational safety of elements conditionally approved for further operation.

Keywords: technical condition assessment of power equipment, lifetime forecast, IT application Pro Novum

Wstęp

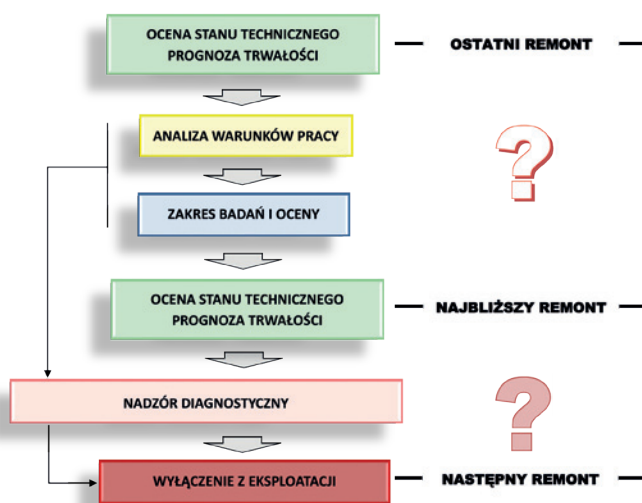
Bloki konwencjonalne, zwłaszcza węglowe, eksploatowane są w coraz mniej dla siebie typowych warunkach, w rosnącym stopniu stabilizując pracę systemu elektroenergetycznego. Także utrzymanie ich stanu technicznego w coraz większym stopniu odbiega od przyjętych standardów eksploatacji, a także od przyjętych założeń na etapie projektowania. Planowanie terminów i zakresów remontów stało się znacznie trudniejsze niż w przeszłości, co nie oznacza, że zapewnienie bezpieczeństwa oraz dyspozycyjności utraciło swój najwyższy priorytet.

Pro Novum na podstawie kilkunastoletnich doświadczeń z wdrażaniem zdalnej diagnostyki udostępnia swoim Klientom aplikację informatyczną Prognōza PRO®.

Umożliwia ona zarówno przygotowanie optymalnego zakresu badań/remontu, na podstawie retrospekcji i analizy warunków pracy w okresie od ostatniego remontu, jak również bieżącą weryfikację prognozy trwałości oraz nadzór nad problemami zidentyfikowanymi podczas remontu, łącznie z nadzorem diagnostycznym nad bezpieczeństwem podczas warunkowej eksploatacji elementów, którym nie udało się przywrócić pełnej użyteczności.

W perspektywie najbliższych 5-15 lat odpowiednio wykonywana diagnostyka powinna umożliwiać utrzymanie bezpieczeństwa i dyspozycyjności bloków energetycznych, urządzeń i instalacji w końcowej fazie ich eksploatacji. Wyczerpanie rzeczywistej trwałości nie powinno nastąpić tak długo, jak spełnione są wymagania prawne i ekonomiczne. Odpowiednio wykonywana diagnostyka może pomóc zastąpić tzw. strategię „awaryjno-planową” przez strategię CBM (Condition Base Maintenance), a następnie przez bardziej zaawansowane technicznie strategie RCM i RBM.

Diagnostyka zdalna z zaimplementowanymi algorytmami cyfrowej analizy naprężeń i mechaniki pęknięcia wykonywana w trybie on-line może zapewnić tego rodzaju utrzymanie stanu technicznego urządzeń (rys. 1). Ta klasa bloków/urządzeń/instalacji dysponuje obecnie w coraz większym stopniu „optymalizowanymi” (czytaj: coraz niższymi) budżetami utrzymaniowymi (również na diagnostykę). Im mniejsze środki na utrzymanie, tym lepiej powinny zostać wydane. Niepewność terminu i zakresu bieżącego i przyszłego remontu nie powinna być wspierana wyłącznie intuicją i doświadczeniem, zwłaszcza gdy to ostatnie może być coraz bardziej ograniczone.



Rys. 1. Diagnostyka wspierająca bezpieczeństwo i dyspozycyjność w końcowym okresie eksploatacji bloków energetycznych, urządzeń i instalacji, w warunkach ograniczonej możliwości planowania remontów o charakterze prewencyjnym

Planowanie terminów i zakresów remontów stało się znacznie trudniejsze niż w przeszłości, co nie oznacza, że zapewnienie bezpieczeństwa oraz dyspozycyjności utraciło swój najwyższy priorytet. Obserwując zachodzące zmiany organizacyjne w energetyce, zainspirowane nimi *Pro Novum* około 2004 roku – jako pierwsza firma diagnostyczna w Polsce – dostrzegła potrzebę opracowania systemu w postaci platformy informatycznej, który mógłby wspierać specjalistów w elektrowniach w zakresie: utrzymania stanu technicznego urządzeń ciepłno-mechanicznych i systemowo zorganizowanej (zestandaryzowanej) diagnostyki [1-5]. Trudno wyobrazić sobie dzisiaj działanie, którego nie wspiera lub nie może wspierać informatyka.

Pro Novum na podstawie kilkunastoletnich doświadczeń z wdrażania zdalnej diagnostyki udostępnia swoim Klientom aplikację informatyczną **Progniza PRO®**, która na podstawie:

- retrospekcji,
- analizy historii i warunków pracy od ostatniego remontu,

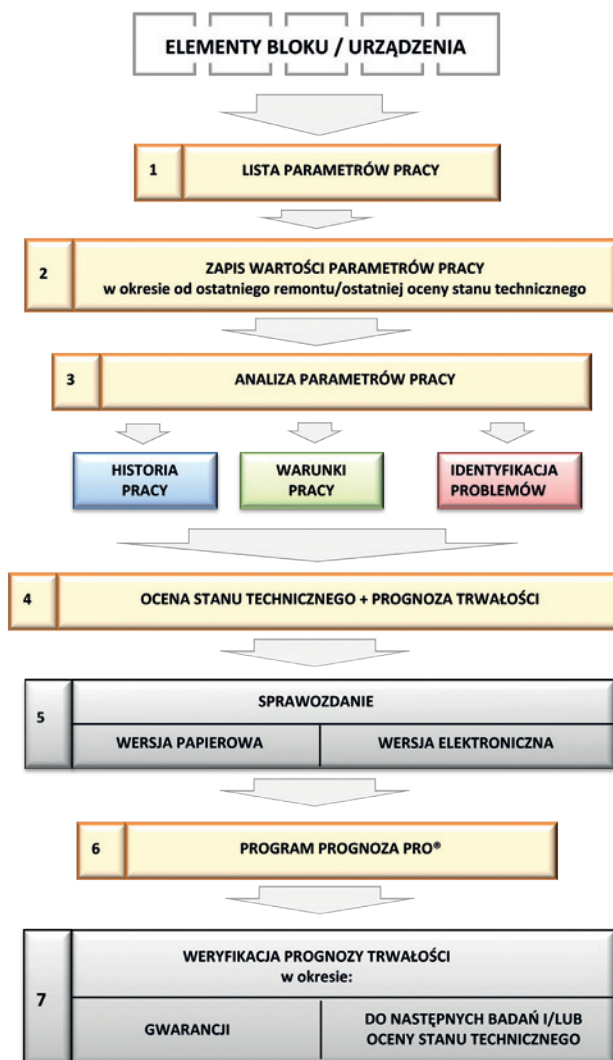
umożliwia:

- identyfikację problemów eksploatacyjnych,
 - doprecyzowanie zakresu badań diagnostycznych,
- a po opracowaniu oceny stanu technicznego i określeniu prognozy trwałości pozwala:
- weryfikować na bieżąco prognozę trwałości,
 - monitorować zidentyfikowane podczas remontu problemy, w tym nadzorować bezpieczeństwo podczas warunkowej eksploatacji elementów, którym nie udało się przywrócić pełnej użyteczności.

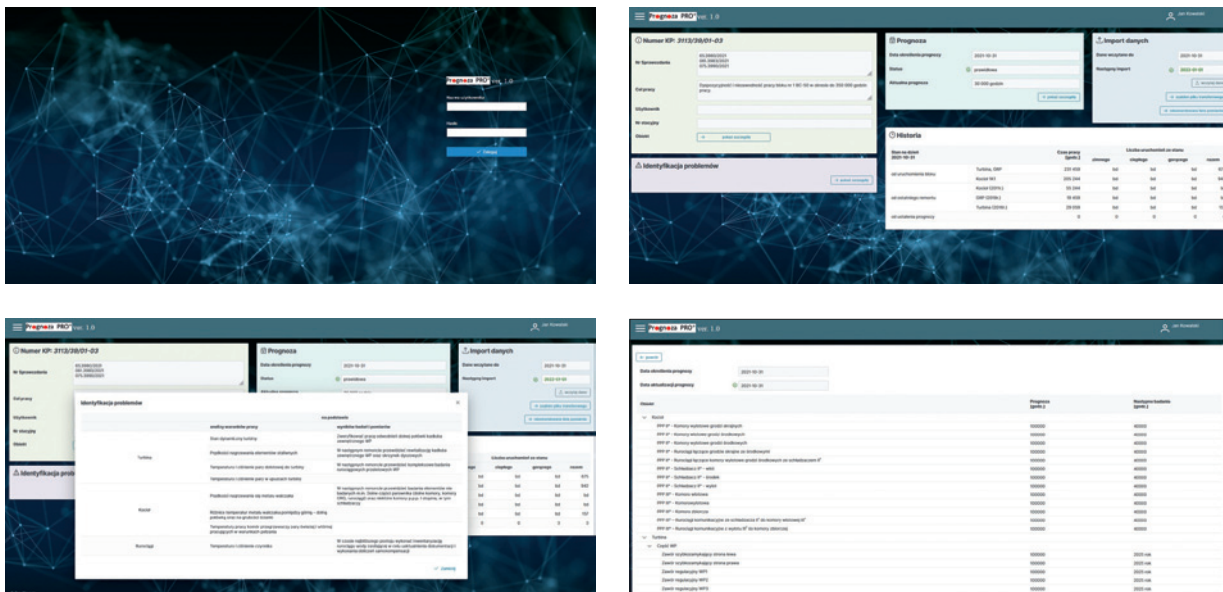
Naszym Klientom zaczęliśmy oferować zdalną diagnostykę jako uzupełnienie klasycznie wykonywanych ocen stanu technicznego (rys. 2).

W zależności od postawionego zadania aplikacja może obejmować pojedyncze elementy urządzeń, np. walczak, lub cały blok energetyczny.

Dodatkowym atutem aplikacji jest możliwość różnej konfiguracji wdrożeń, co stwarza liczne korzyści i otwiera nowe formy współpracy z klientem (rys. 3).



Rys. 2. Schemat procesu przygotowania aplikacji **Progniza PRO®** towarzyszącej sprawozdaniom dotyczącym oceny stanu technicznego i prognozy trwałości



Rys. 3. Przykładowy interfejs aplikacji Użytkownika

- Wersja 1.0 prezentuje aktualną prognozę trwałości komponentów bloku zgodnie z opracowaniami *Pro Novum* zawierającymi prognozę trwałości oraz warunkami, w których obowiązuje.
- Wersja 2.0 prezentuje aktualny stan techniczny komponentów bloku i prognozę trwałości na podstawie ostatnich badań oraz bieżących obliczeń SWT zgodnie z obowiązującymi normami (urządzenia podlegające UDT) i/lub „Wytycznymi *Pro Novum* dotyczącymi przedłużania eksploatacji...” [3].
- Wersja 2.1 posiada funkcjonalność identyczną jak wersja 2.0, dodatkowo monitoruje bezpieczeństwo tych komponentów bloku/urządzenia:
 - które zostały warunkowo dopuszczone do eksploatacji (zwłaszcza według kryteriów mechaniki pęknięcia),
 - których trwałość została wyczerpana.

Aplikacja nie wymaga instalacji w środowisku IT Elektrowni, jest udostępniana z serwerów *Pro Novum*.

W celu weryfikacji prognozy trwałości elementów krytycznych/grubościennych, podlegających ocenie stanu technicznego aplikację należy okresowo (np. co 3-6 miesięcy) zasilać wybranymi sygnałami pomiarowymi w odpowiednio przygotowanym formacie pliku. Raporty powstają w trybie bezobsługowym.

Podsumowanie

Niepewność terminu i zakresu kolejnego remontu nie powinna ograniczać dyspozycyjności, a zwłaszcza zagrażać bezpieczeństwu eksploatacji bloku/urządzenia/installacji. Nasza praca w ciągu ubiegłych kilkunastu lat pozwoliła na opracowanie w pełni funkcjonalnego autorskiego, inżynierskiego oprogramowania, którego filarem jest diagnostyka.

Aplikacja w trybie on-line monitorując odpowiednio warunki pracy urządzenia zapewnia jego bezpieczną eksploatację przy akceptowalnych kosztach jego utrzymania technicznego, uzupełniając kompetencje techniczne specjalistów zarządzania majątkiem produkcyjnym Klienta. Wiedza z aplikacji stanowi silne narzędzie wspierające coraz mniejszą liczbę inżynierów zajmujących się utrzymaniem stanu technicznego swoich urządzeń produkcyjnych, dodatkowo w warunkach ciągłej transformacji energetyki.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Trzeczyski 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.
- [2] Trzeczyski i inni, *Zdalna diagnostyka – niewykorzystana szansa na niskonakładowe zapewnienie bezpieczeństwa i dyspozycyjności urządzeń energetycznych*. „Energetyka” 2020, nr 6, Biuletyn Pro Novum 1/2020.
- [3] PN/45.2360/2016: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100 MW ÷ 360 MW. Wydanie I. Katowice 2013.
- [4] Trzeczyski J., *Diagnostyka dziś i jutro*. „Energetyka” 2021, nr 8.
- [5] Stanek R., Trzeczyski J., *Prognozowanie trwałości urządzeń energetycznych w trybie zdalnym przy wykorzystaniu aplikacji Prognoza PRO®*, I/XXIII Sympozjum „Diagnostyka urządzeń energetycznych i instalacji przemysłowych. Diagnostyka wobec aktualnych wyzwań energetyki”. Katowice, 4-5 listopada 2021.

Remonty turbin wspierane przez zaawansowaną diagnostykę

Turbine overhauls supported by advanced diagnostics

Remonty i diagnostyka turbozespołów wymagają szczególnie wysokich kompetencji. Wieloletnia współpraca firmy remontowej i diagnostycznej ma więc duże znaczenie dla użytkowników turbin, którzy zwłaszcza kosztowne remonty kapitalne chcą wykonywać możliwie rzadko, ale z jak najlepszym skutkiem. Długoletnie partnerstwo ZRE Katowice i Pro Novum, nie tylko na polskim rynku energetycznym, spotyka się z wysoką oceną zwłaszcza wtedy, gdy remonty mają charakter interwencyjny, gdy ich zakresu nie można do końca zaplanować, a naprawy wymagają zaawansowanych technologii remontowych oraz diagnostycznych, łącznie ze zdalnym nadzorem diagnostycznym nie tylko w okresie gwarancyjnym, ale także międzyremontowym.

Słowa kluczowe: remonty turbin, diagnostyka turbozespołów, zdalny nadzór diagnostyczny

Overhauls and diagnostics of turbine sets require particularly high competences. The long-term cooperation of a repair and diagnostic company is therefore of great importance for turbine users who want to perform costly overhauls as rarely as possible, but with the best possible results. The long-term partnership of ZRE Katowice and Pro Novum is highly rated not only in the Polish power sector, especially when overhauls are interventional, when their scope cannot be fully planned and overhaul requires advanced repair and diagnostic technologies, including remote diagnostic supervision, not only in warranty period, but also between overhauls.

Keywords: turbine overhauls, diagnostics of turbine sets, remote diagnostic supervision

Wstęp

Zakłady Remontowe Katowice SA

ZRE Katowice SA to firma obecna, nie tylko na polskim rynku energetycznym, od 1955 roku. Możliwości produkcyjne i usługowe stopniowo powiększa, co sprawia, że aktualna oferta jest bardzo szeroka i obejmuje:

- montaż nowych urządzeń elektrowni
 - turbin parowych i gazowych,
 - kotłów i instalacji ochrony środowiska,
- remonty i modernizacje, praktycznie wszystkich urządzeń elektrowni, w tym także automatyki,
- wielkogabarytowe obróbki mechaniczne,
- dostawę i montaż konstrukcji stalowych, nie tylko dla potrzeb energetyki,
- prefabrykację rurociągów,
- projektowanie,
- usługi diagnostyczne.

Współpraca firmy remontowej i firmy diagnostycznej

Zakłady Remontowe Energetyki SA prawie od początku swojego istnienia, tj. od prawie 65 lat, w pewnym sensie, współpracują z Pro Novum. W pierwszym okresie, przed powstaniem Pro Novum w 1987 roku, była to współpraca z przedstawicielami najstarszego pokolenia specjalistów tej Firmy. Od 35 lat, tj. od powstania Pro Novum, obydwie Firmy kontynuują współpracę, zwłaszcza w zakresie remontów i diagnostyki turbin. Współpraca ta zaowocowała dotąd nie tylko wieloma wspólnie zrealizowa-

nymi projektami, zwłaszcza w obszarze turbin, ale także powołaniem do życia wiele lat temu wspólnej Firmy TurboLab, specjalizującej się w diagnostyce elementów układów przepływowych turbin. Największym obszarem współpracy jest diagnostyka turbin, która obejmuje:

- a) badania diagnostyczne wraz z analizą ich wyników w celu przedstawiania zaleceń remontowych,
- b) współudział w wybranych procesach remontowych,
- c) ocenę stanu technicznego urządzeń wraz z prognozami trwałości i zaleceniami eksploatacyjnymi.

Ta część działalności Pro Novum stanowi, od czasu założenia Firmy, główny obszar jej dokonań oraz kompetencji [1-3]. 35-letnia współpraca obydwu Firm zaowocowała wspólnie wdrożonymi technologiami, zwłaszcza w zakresie przedłużania trwałości głównych elementów turbin, takich jak:

- a) rewitalizacja stalowych elementów turbin parowych; proces rewitalizacji stalowych elementów turbin został opracowany przez firmy Pro Novum i ZRE Katowice blisko 25 lat temu; połączenie wiedzy i doświadczeń firmy diagnostycznej i remontowej i dbałość o wysoką jakość procesu sprawia, że nadal zachowała swoją atrakcyjność, zapewnia bowiem przywrócenie początkowej geometrii oraz przedłużenie trwałości zrewitalizowanych elementów stalowych praktycznie do końca ich resursu; dotychczas wspólnie zrewitalizowano ponad 250 stalowych elementów praktycznie wszystkich typów turbin;
- b) kompleksowe remonty tarcz kierowniczych konstrukcji spawanej;
- c) kompleksowe remonty tarcz żeliwnych;
- d) niestandardowe naprawy poawaryjne.

Remonty zrealizowane w 2020 roku jako przykład współpracy firmy remontowej i diagnostycznej

Analiza zakresu remontu, jego realizacja i ewentualne uzupełnienia

Inwestor, opracowując SIWZ określa w nim zwłaszcza etapy realizacji i zakres koniecznych do wykonania badań diagnostycznych. Zakres badań diagnostycznych towarzyszący remontowi jest zwykle rezultatem kompromisu pomiędzy potrzebami wynikającymi z dobrej praktyki inżynierskiej a budżetem. Z formalnego punktu widzenia bardzo ważne jest zrealizowanie zaplanowanego przez Inwestora zakresu badań. Zdarza się jednak nierzadko tak, że określony na etapie składania oferty zakres badań wymaga uzupełnienia. Powodów tego może być kilka, z których najważniejsze wymieniono poniżej:

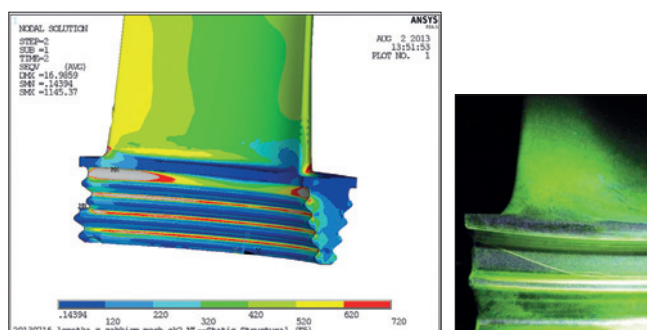
- Analiza stanu dotychczasowego/retrospekcja, analiza zakresu i metod napraw wykonywanych w przeszłości. Zakłada się, że technologie napraw opracowane przez firmy remontowe gwarantują oczekiwaną trwałość oraz że zostały opracowane i wykonane zgodnie ze sztuką inżynierską. Zdarza się jednak, że trwałość napraw jest zachowana wyłącznie w okresie od remontu do remontu, a zakres koniecznych do wykonania prac, które są skutkiem zastosowanej w przeszłości metody naprawy, bywa często bardzo duży – przykładem takiego problemu są naprawy wykonywane elektrodami o składzie chemicznym zdecydowanie odbiegającym od składu chemicznego materiału naprawianego elementu (rys. 1), które na ogół skutkują pęknięciami o znacznych rozmiarach.



Rys. 1. Pęknięcie w SWC spoiny naprawczej

- Analiza wyników obliczeń wytrzymałościowych – dotyczy to np. wrębów i stopek łopatek ostatniego stopnia wirników NP turbin 200 MW (rys. 2).
- Analiza warunków pracy, która może wskazywać na potrzebę uzupełnienia zakresu badań:
 - analiza warunków pracy turbosespołu (*parametry chemiczne*)
 - zasolenie turbiny,
 - osady w układzie przepływowym – m.in. Cu, Fe; na rysunku 3 przedstawiono osady zalegające w układzie przepływowym;

- analiza warunków pracy turbosespołu (*parametry cieplno-mechaniczne*)
 - analiza różnic temperatur metalu pomiędzy górną a dolną połówką kadłuba,
 - analiza różnic temperatur metalu na grubości ścianki kadłuba;na rysunku 4 przedstawiono pęknięcia o charakterze termoszkowym;
- analiza warunków pracy turbosespołu (*parametry specjalne*)
 - wydłużenia względne i bezwzględne,
 - przesuw osiowy
 - mimośrodowość wału;na rysunku 5 przedstawiono przytarcia układu przepływowego.



Rys. 2. Rozkład naprężeń w stopce łopatki /
pęknięcie w stopce łopatki



Rys. 3. Osady w układzie przepływowym



Rys. 4. Pęknięcia termoszkowe



Rys. 5. Przytarcia w układzie przepływowym



Rys. 6. Wyniki badań endoskopowych wykonanych w ramach nadzoru diagnostycznego



Rys. 7. Pęknięcia na krawędziach otworu pod kołek łopatki zamkowej

- Wnioski płynące z nadzoru diagnostycznego – np. z badań endoskopowych układu przepływowego (rys. 6).
- Ujawnienie nieprawidłowości, których rozpoznanie wymaga szerszego zakresu badań; na rysunku 7 przedstawiano pęknięcia inicjowane na krawędzi otworu pod kołki łopatek zamkowych.

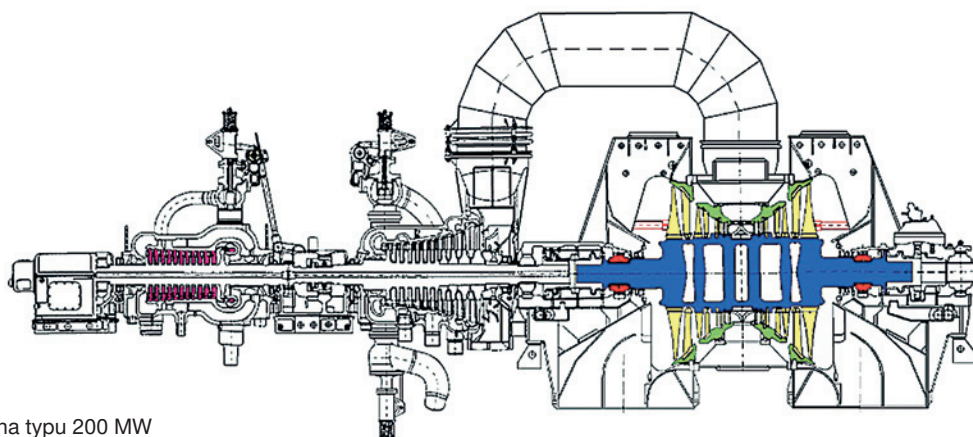
Klasyczny remont turbiny typu 200 MW

W 2020 roku *Pro Novum* na zlecenie *ZRE Katowice SA* realizowało pracę mającą na celu wykonanie badań oraz oceny żywotności wybranych elementów turbiny typu 200 MW (rys. 8).

Prognoza trwałości i warunki dalszej eksploatacji zostały sformułowane na podstawie:

- analizy wyników badań diagnostycznych nieniszczących i niszczących,
- analizy geometrii i ich stopnia deformacji,
- określenia stopnia degradacji materiału i wyczerpania trwałości elementów turbiny,
- analizy wyników obliczeń wytrzymałościowych,
- analizy warunków pracy,
- analizy zakresu remontu oraz stosowanych technologii naprawy/regeneracji,
- oceny stanu technicznego elementów turbiny.

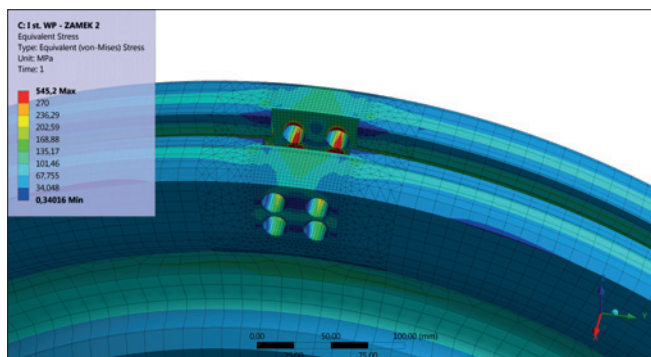
Remont przebiegał w sposób typowy dla osiągnięcia celów postawionych przez Inwestora. Oprócz standardowych czynności remontowych wykonana została odbudowa przez napawanie tarcz wirnikowych stopnia regulacyjnego wirnika WP oraz pierwszego stopnia wirnika SP.



Rys. 8. Turbina typu 200 MW

Przyczyną wykonania takiej naprawy było:

- w przypadku stopnia regulacyjnego wirnika WP – zmiana geometrii otworów pod kołki łopatek zamkowych (brak współosiowości, powiększenie średnicy, różna średnica po stronie wlotowej i wylotowej); taka zmiana geometrii pociągnęła za sobą znaczący wzrost naprężeń w tym węźle (rys. 9),
- w przypadku pierwszego stopnia wirnika SP – promieniowe pęknięcie przebiegające od tworzącej otworu pod nity w kierunku obrzeża (rys. 10),



Rys. 9. Rozkład naprężeń zredukowanych w zamku 2 z powiększoną średnicą otworów



Rys. 10. Pierwszy stopień wirnika SP. Tarcza od strony wlotowej – wskazanie 3 mm

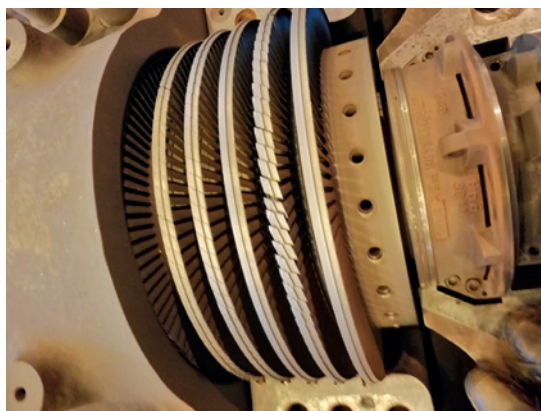
Poawaryjny remont turbiny typu 200 MW

Decyzję o otwarciu układu przepływowego najpierw SP, a następnie WP, Użytkownik podjął ze względu na pogorszony stan dynamiczny. W trakcie sukcesywnie demontowanych elementów części WP identyfikowano kolejne uszkodzone obszary (rys. 11-13).

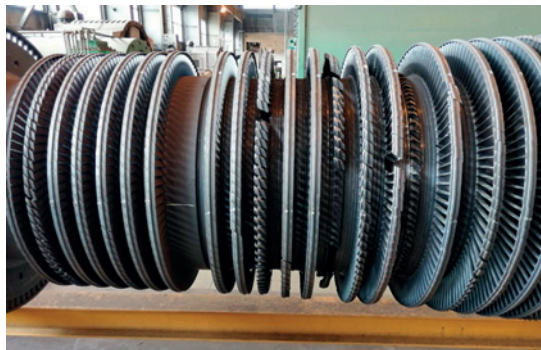
Po przeprowadzeniu badań wizualnych i sporządzeniu raportu identyfikującego stwierdzone uszkodzenia ustalono następujące wytyczne do remontu urządzenia:

- konieczność wykonania badań NDT 100% dostępnej powierzchni wirnika po rozłopatkowaniu pod kątem uszkodzeń w obszarze materiału rodzimego bębna wirnika w celu wykluczenia pęknięć, szczególnie w obszarze wrębów;
- konieczność wykonania pomiarów ołopatkowania stacjonarnego na obiekcie z pomocą trackera laserowego Leica w celu uzyskania danych w zakresie ich rozmieszczenia posiowego i wymiarów promieniowych;
- konieczność wykonania kontroli geometrii wirnika WP w celu wykluczenia nadmiernej krzywizny;

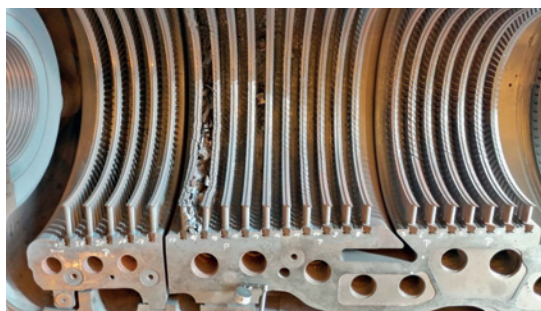
- konieczność wykonania badań NDT 100% powierzchni zewnętrznej i wewnętrznej korpusu wewnętrznego;
- konieczność wykonania kontroli geometrii korpusu wewnętrznego oraz obejmy WP pod kątem możliwych deformacji;
- opracowanie szczegółowego planu działań kontrolno-pomiarowych mających na celu zgromadzenie jak największej ilości danych pozwalających na odtworzenie pierwotnej geometrii elementów układu przepływowego;
- wykonanie nowego ołopatkowania na bazie skanu uszkodzonych łopatek uzupełnionych o pomiary i analizy wymiarowe z uwzględnieniem nadadków na powierzchniach współpracujących na dopasowanie;
- konieczność wykonania przed montażem końcowym wstępnej przymiarki nowego ołopatkowania stacjonarnego i rotacyjnego w warunkach rzeczywistych w celu ustalenia i korekty docelowych luzów w układzie przepływowym.



Rys. 11. Uszkodzone łopatki wirnika WP – stopień 17



Rys. 12. Ubytki w ołopatkowaniu wirnika WP

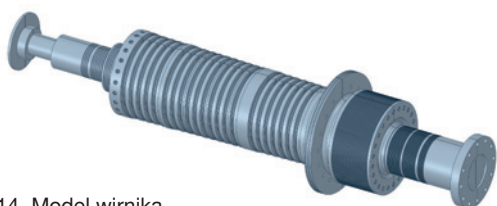


Rys. 13. Ubytki w ołopatkowaniu kadłuba WP

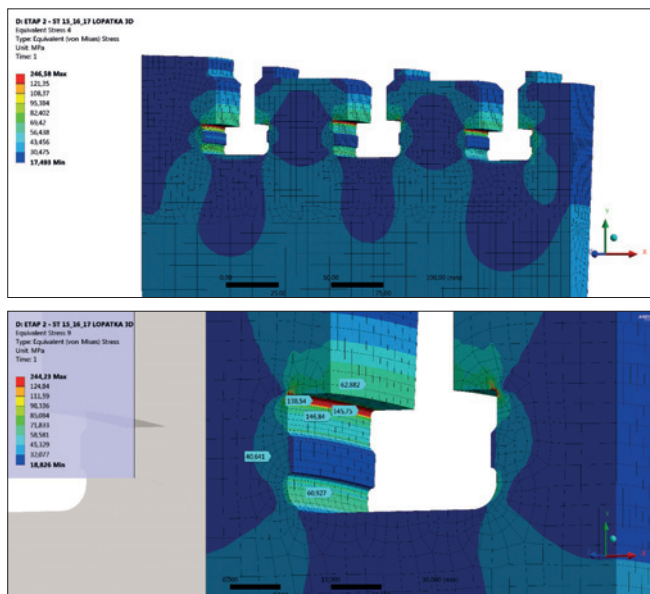
Ponieważ wręby wirnika stopni A10 i A16 miały uszkodzenia (zagniecenia) powstałe w wyniku oddzielenia się piór łopatek od ich stopek, konieczna była legalizacja uszkodzonych powierzchni. Przed podjęciem decyzji o legalizacji *Pro Novum* wykonało obliczenia wytrzymałościowe dla ustalenia, czy i w jaki sposób wymagana korekta geometrii wrębów stopni A10 i A16 wpłynie na poziom naprężeń w tych stopniach.

Po odwzorowaniu istniejącej geometrii wrębów opracowano model układu wirującego i na podstawie obliczeń wytrzymałościowych metodą elementów skończonych (MES) przeprowadzone zostały symulacje w celu uzyskania wiedzy co do wpływu legalizacji na zakres zmiany wytrzymałości w obszarze wrębów (rys. 14-15).

Po uzyskaniu pozytywnej opinii o braku istotnego wpływu wartości planowanej obróbki legalizacyjnej na wytrzymałość układu, wręby poddano minimalnej legalizacji w celu umożliwienia prawidłowego spasowania nowych, powiększonych stopek łopatek.



Rys. 14. Model wirnika



Rys. 15. Analiza naprężeń przy obciążeniu masą łopatek – 3300 obr./min – etap 2 wrębu A16



Rys. 16. Wirnik po remoncie

Nadzór diagnostyczny w okresie gwarancyjnym oraz do kolejnego remontu

Dla firmy remontowej z tak dużym doświadczeniem jak *ZRE Katowice SA* nie są wyzwaniem problemy techniczne spotykane w trakcie realizacji remontów. Wyzwanie stanowią mogą oczekiwania Inwestora co do długości udzielanych gwarancji oraz prognozy trwałości. Wychodząc naprzeciw tym oczekiwaniom oraz mając na uwadze własny interes w realizowanych wspólnie z *Pro Novum* projektach, zamierzamy proponować naszym klientom uruchomienie w okresie gwarancji aplikacji **Prognōza PRO®**.

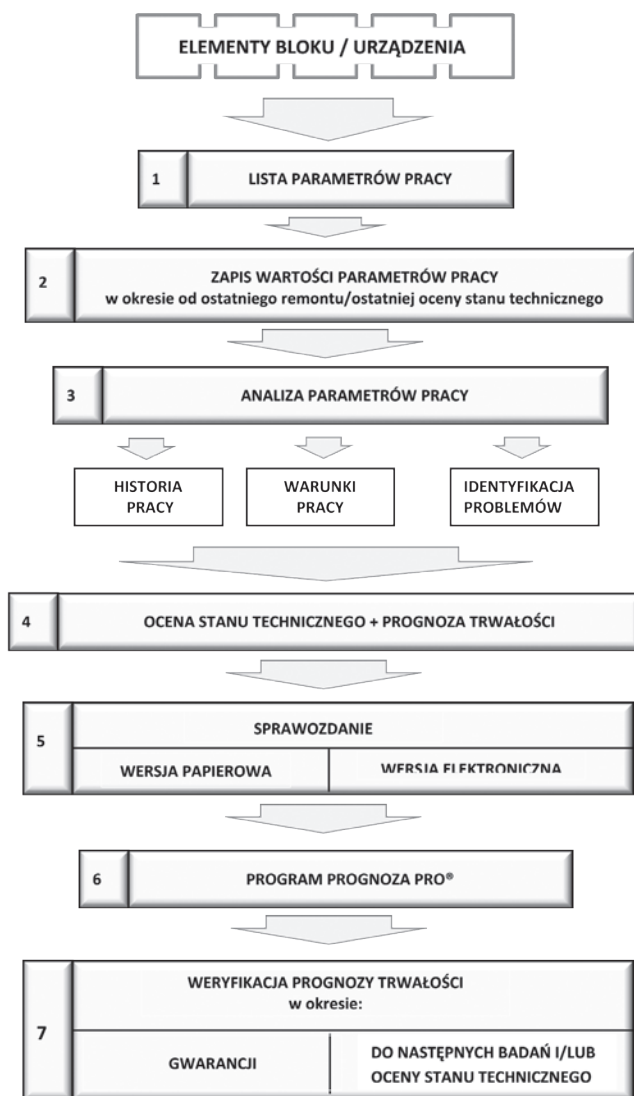
Aplikacja ta umożliwia, w trybie zdalnym, weryfikację prognozy trwałości elementów będących przedmiotem oceny stanu technicznego. Sposób przygotowania aplikacji i jej ogólną specyfikację przedstawiono na rysunku 17.

Aplikacja nie wymaga instalacji w środowisku IT Elektrowni, jest udostępniana z serwerów *Pro Novum*. W celu weryfikacji prognozy trwałości elementów krytycznych/grubościennych podlegających ocenie stanu technicznego aplikację **Prognōza PRO®** należy okresowo (np. co 3-6 miesięcy) zasilać wybranymi sygnałami pomiarowymi w odpowiednio przygotowanym formacie pliku. Raporty będą powstawać w trybie bezobsługowym.

Aplikacja **Prognōza PRO®** została szerzej opisana w artykule [4] niniejszego *Biuletynu Pro Novum*.

Podsumowanie

1. Coraz częściej słyszymy głosy, że turbiny typu 200 MW (czy też o mocach mniejszych) nie wymagają zaawansowanych technicznie remontów, może nawet do końca ich resursu.
2. Z takim poglądem można by się zgodzić tylko wówczas, gdy dalsza praca turbiny nie będzie dłuższa niż 5 lat. Co nie oznacza, że taka turbina nie wymaga remontów średnich czy nadzoru.
3. Możliwe, że osoby głoszące takie teorie nie znają z autopsji skutków awarii turbin.
4. Możliwe, że niechęć do planowania i wykonywania remontów turbin wynika z zauważalnego spadku jakości tych remontów. Bywa, że po remoncie turbina jest w gorszym stanie technicznym niż przed jego wykonaniem. Dlatego tak ważne jest, aby remont swoich urządzeń Inwestorzy powierzali firmom doświadczonym, z kompletnym zapleczem technologicznym i dużym potencjałem – z całą pewnością *ZRE Katowice SA* spełnia takie wymogi.
5. W naszej opinii tylko remont wykonany na podstawie dobrych praktyk inżynierskich wspieranych przez zaawansowaną diagnostykę gwarantuje inwestorowi dobry stan techniczny urządzenia.
6. Diagnostyka, w kontekście remontu turbiny, ma znaczenie:
 - a) przed remontem – ostatnia ocena i analiza historii i warunków pracy w okresie między remontami (oraz zdalna diagnostyka, jeśli taka została wdrożona);
 - b) podczas remontu, w celu weryfikacji koniecznych do wykonania napraw, rewitalizacji, regeneracji, wymian oraz modernizacji;



Rys. 17. Sposób przygotowania i ogólna specyfikacja aplikacji **Progniza PRO®**

- c) po remoncie – wpływ warunków uruchomienia (zwłaszcza gdy było ich więcej niż jeden oraz zidentyfikowano nieprawidłowości) na stan techniczny niektórych węzłów konstrukcyjnych;
- d) w okresie gwarancyjnym, a najlepiej do kolejnego remontu, w formie nadzoru diagnostycznego, zwłaszcza gdy:
 - turbozespół jest/będzie eksploatowany w trybie regulacyjnym,
 - terminu i zakresu kolejnego remontu nie można, z odpowiednim wyprzedzeniem, dokładnie zaplanować [4].

PIŚMIENNICTWO

- [1] Grzesiczek E., Trzeczyski J., Rajca S., *Możliwości wydłużania czasu eksploatacji elementów części przepływowych turbin parowych*. „Energetyka” 2003, nr 12.

- [2] PN/30.2910/2013: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW. Część I. Założenia ogólne. Część II. Diagnostyka elementów krytycznych turbin i generatorów. *Pro Novum*. Katowice, luty 2013.
- [3] PN/045.3360/2016: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100-360 MW. *Pro Novum*. Katowice 2016.
- [4] Stanek R., Trzeczyski J., *Prognozowanie trwałości urządzeń energetycznych w trybie zdalnym z wykorzystaniem aplikacji Progniza PRO®*. „Energetyka” 2021, nr 12, *Biuletyn Pro Novum* 2/2021.

Weryfikacja bezpieczeństwa warunkowo eksploatowanych elementów kotłów parowych na podstawie badań niszczących, po ich demontażu

Safety verification of conditionally operated elements of steam boilers on the basis of destructive tests after their disassembly

Uszkodzenie elementu ciśnieniowego nie zawsze musi oznaczać jego dyskwalifikację z eksploatacji. W pierwszej kolejności rozważana jest zazwyczaj naprawa lub wymiana, jednak jeśli z jakiegoś powodu te działania są niemożliwe, to pozostaje opcja warunkowej, ograniczonej czasowo eksploatacji takiego elementu. Tego rodzaju eksploatacja realizowana jest z wykorzystaniem dedykowanych narzędzi inżynierskich, odpowiednich dla konkretnego przypadku metod obliczeniowych oraz systemu nadzoru diagnostycznego wspieranego przez informatyczną aplikację. Przedstawiono wyniki badań nieniszczących, które doprowadziły do zakwalifikowania jednej z komór przegrzewacza pary do warunkowej eksploatacji oraz wyniki badań niszczących, po demontażu uszkodzonego elementu, wykonanych w celu weryfikacji przyjętych założeń oraz zdobycia dodatkowej wiedzy do rozwiązywania podobnych problemów w przyszłości.

Słowa kluczowe: weryfikacja bezpieczeństwa warunkowo eksploatowanych elementów kotłów parowych, badania niszczące po demontażu uszkodzonego elementu

Damage of a boiler pressure element does not necessarily mean an immediate disqualification from exploitation. At first, repair or replacement is usually considered but if for economical or technical reasons these actions are hard to obtain, there is an alternative solution of a conditional, time-limited operation of such element. This exploitation is based on dedicated engineering tools, calculations and diagnostic supervision system supported by IT application. The article presents the results of non-destructive tests, which qualified superheater header for conditional operation, and the results of destructive tests performed after disassembly of the damaged element.

Keywords: safety verification of conditionally operated elements of steam boilers, destructive tests, after disassembly of the damaged element

Wstęp

Uszkodzenia elementów grubościennych wykryte w trakcie badań to zawsze problem dla użytkownika kotła. Skala tego problemu uzależniona jest od charakteru uszkodzenia – w przypadku niewielkich wskazań po badaniach magnetyczno-proszkowych (np. na spoinach króćców pomiędzy węzownicami przegrzewacza a komorą) zazwyczaj wystarczy prosta naprawa przez szlifowanie, tylko w niektórych przypadkach wymagająca dodatkowego spawania. Jeśli mamy do czynienia z poważniejszymi uszkodzeniami, konieczna może być wymiana fragmentu elementu – np. w przypadku uszkodzenia środkowej części schładzacza (rura z owierceniem pod króciec wtrysku) można stosunkowo łatwo ją wymienić pod warunkiem, że użytkownik ma dostęp do zamiennika.

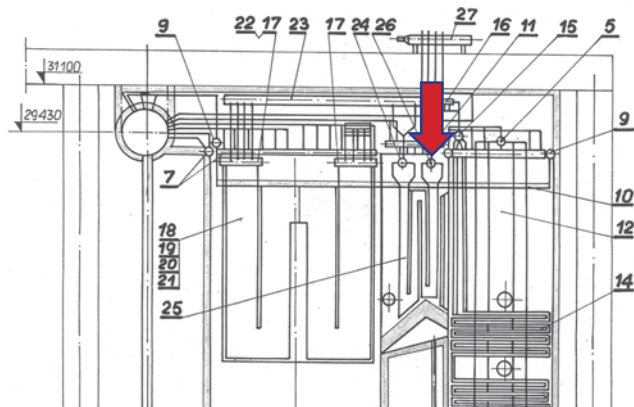
Jednak w sytuacji, w której uszkodzenia są nienaprawialne (zazwyczaj są to uszkodzenia na powierzchniach wewnętrznych komór przegrzewacza pary), a wymiana ze względów technicznych lub ekonomicznych nie wchodzi w grę, istnieje możliwość warunkowego dopuszczenia uszkodzonego elementu do eksploatacji [2]. Dopuszczenie to opiera się na analizie możliwości bezpiecznej pracy (pod ciśnieniem oraz w wysokiej temperaturze)

elementu z pęknięciami, a następnie na analizie ewentualnego wpływu warunków pracy na propagację wykrytych pęknięć. Ostatnim etapem po okresie warunkowej eksploatacji (czyli po okresie, kiedy to użytkownik był w stanie przygotować się do wymiany elementu) powinna być weryfikacja stanu technicznego elementu oraz założeń przyjętych do obliczeń na podstawie badań niszczących.

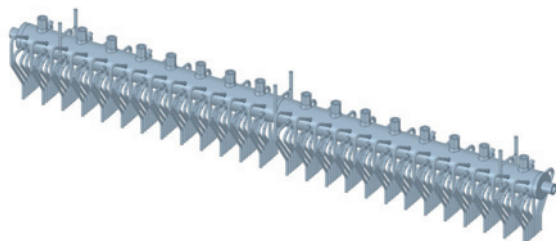
W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań uszkodzonej komory przegrzewacza pary III° pracującej w warunkach pełzania, po ok. 6000 godzinach eksploatacji, w trybie nadzoru diagnostycznego.

Przedmiot badań

Przedmiotem badań oraz warunkowego dopuszczenia do eksploatacji jest komora wylotowa przegrzewacza pary III° (ø273 x 64 mm, stal 10H2M), która zabudowana jest w międzystropiu kotła BFB-110 (zmodernizowany kocioł OP-140), nad międzyciągiem. Komora przed dopuszczeniem do warunkowej eksploatacji przearcowała ok. 200 000 godzin. Na rysunku 1 przedstawiono przekrój kotła oraz lokalizację komory, a na rysunku 2 jej model.



Rys. 1. Lokalizacja komory w międzystropiu kotła



Rys. 2. Model komory przegrzewacza pary III*

Badania nieniszczące i ocena stanu technicznego

W 2020 r. w podczas remontu kotła komora wylotowa PPPIII* podlegała diagnostyce obejmującej m.in. szeroki zakres badań dostosowany do warunków pracy elementu (tab. 1).

Tabela 1

Metoda	Zakres podstawowych badań nieniszczących wykonanych w 2020 r.
MT	100% złączy spawanych, króćców i mostków
UTT	pomiar co 1 metr w czterech osiach
VTE	100% powierzchni wewnętrznej, obszarów mostków, krawędzi otworów i spoin
DL	pomiary średnic komory (owalizacja)
REP	Repliki matrycowe: – 2 repliki na każdym segmencie płaszcza elementu, – na każdym złączy spawanym łączącym segmenty
TWAR	Pomiar twardości na płaszczy

Przeprowadzone w pierwszej kolejności badania endoskopowe wykazały liczne (ok. 30) pęknięcia na krawędziach i tworzących otworów pod węzownice oraz rurociągi komunikacyjne (rys. 3). Pęknięcia zorientowane były przede wszystkim obwodowo, a tylko pojedyncze wzdłuż głównej osi komory. W związku z wykrytymi nieprawidłowościami należało wykonać dodatkowy zakres badań (tab. 2), które pozwoliłyby określić geometrię wykrytych nieprawidłowości. Ze względu na ciasno zabudowane króćce pod węzownice, geometrię komory oraz odległość do stropu kotła, nie w każdym przypadku możliwe było wykonanie badań ultradźwiękowych. W związku z tym dla części pęknięć konieczne było zastosowanie metody endoskopowej stereo, która w wizualny sposób pozwala oszacować długości pęknięć na tworzących otworów i mostkach międzyotworowych.

Tabela 2

Metoda	Zakres dodatkowych badań nieniszczących wykonanych w 2020 r.
UT-H	pomiar geometrii wykrytych pęknięć
VTE-Stereo	pomiar geometrii wykrytych pęknięć

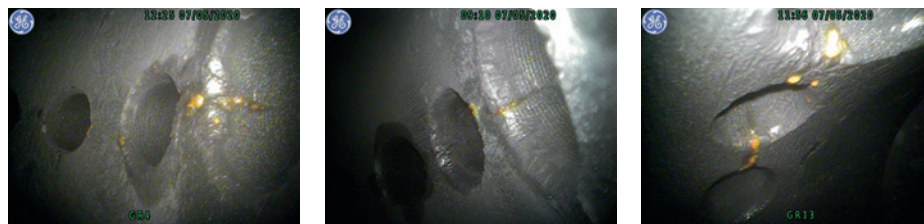
Wykryte uszkodzenia na powierzchni wewnętrznej komory wylotowej PPPIII* były nienaprawialne i mimo pozytywnych wyników pozostałych badań komora nie mogła być na dotychczasowych zasadach i w takim stanie dopuszczona do dalszej pracy.

Warunkowe dopuszczenie do eksploatacji

Ze względu na wspomnianą wyżej nienaprawialność uszkodzeń oraz brak możliwości wymiany komory, *Pro Novum* na podstawie swoich doświadczeń [2] zaproponowało klientowi dopuszczenie do eksploatacji pod warunkiem spełnienia następujących założeń:

- ocena stanu technicznego z uwzględnieniem mechaniki pękania wykaże taką możliwość,
- dalsza praca przebiegać będzie pod nadzorem diagnostycznym.

Klient w porozumieniu z UDT zdecydował się na takie rozwiązanie, które miało mu pozwolić uruchomić kocioł po remoncie i uniknąć nieplanowanego, długotrwałego przestoju. Dla komory przeprowadzone zostały obliczenia na podstawie brytyjskiej normy BS 7910 – 2013+A1:2015: *Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures*, która pozwala ocenić bezpieczeństwo pracy elementu z pęknięciami. Dodatkowo na potrzeby obliczeń oraz nadzoru diagnostycznego



Rys. 3. Pęknięcia na krawędziach i tworzących otworów

zabudowane zostały na komorze dodatkowe pomiary temperatury metalu, dzięki którym możliwe było analizowanie w trybie on-line warunków pracy i ich wpływu na ewentualną propagację wybranych pęknięć.

Klient zaplanował wymianę komory po ok. 6000 godzin eksploatacji, tj. w następnym planowanym poście remontowym, który miał miejsce w połowie 2021 r.

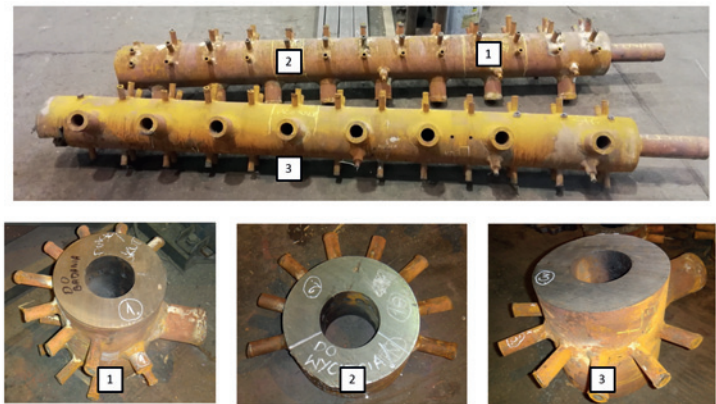
Badania nieniszczące i niszczące po demontażu komory

Ostatnim etapem, który ma miejsce po demontażu warunkowo eksploatowanego elementu powinna być weryfikacja jego stanu technicznego oraz założeń obliczeniowych poprzez badania niszczące. Zdemontowana w terminie planowanym przez użytkownika komora (rys. 4) została pocięta zgodnie z zaleceniami *Pro Novum* na fragmenty, które poddane zostały dalszym badaniom. Wybrane fragmenty zawierały w sobie najbardziej interesujące nas pęknięcia, które analizowane były w ramach nadzoru diagnostycznego (rys. 5 – czerwoną strzałką zaznaczono pęknięcie poddane analizie w dalszej części artykułu).

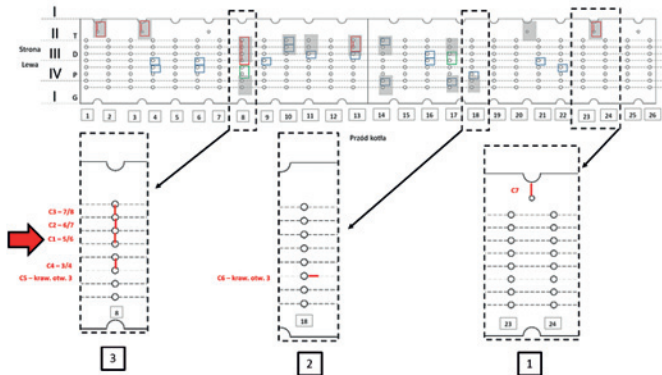
Na wyciętych fragmentach komory wykonano badania nieniszczące oraz niszczące w zakresie przedstawionym w tabeli 3. W tabeli uwzględniono wycinki, które podlegały poszczególnym badaniom oraz wybrane pęknięcia/mostki.

Wnioski z przeprowadzonych badań przedstawiono poniżej.

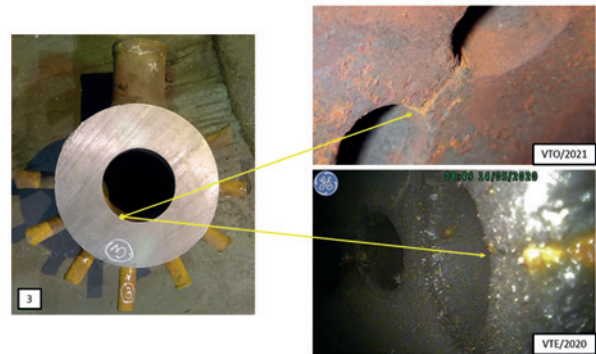
- A. Oględziny wizualne nieuzbrojonym okiem potwierdziły wyniki badań endoskopowych przeprowadzonych w trakcie remontu w 2020 r. Na rysunku 6 przedstawiono wybrane do analizy pęknięcie C1 z wycinka nr 3. Obraz z badań przeprowadzonych w warunkach warsztatowych w 2021 r. zestawiono z obrazem z endoskopu z 2020 r.
- B. Badania ultradźwiękowe przeprowadzone na elemencie w warunkach warsztatowych wykazały, że wybrane pęknięcie C1 ma głębokość 4,4 mm. W 2020 r. w trakcie badań na obiekcie, na elemencie zabudowanym w międzystropiu kotła badania ultradźwiękowe pęknięcia C1 wykazały głębokość 3,5 mm.



Rys. 4. Zdemontowana komora oraz przekroje wybrane do badań niszczących



Rys. 5. Schemat komory z zaznaczonymi przekrojami wybranymi do badań niszczących (czerwoną strzałką zaznaczono pęknięcie poddane analizie w dalszej części artykułu)

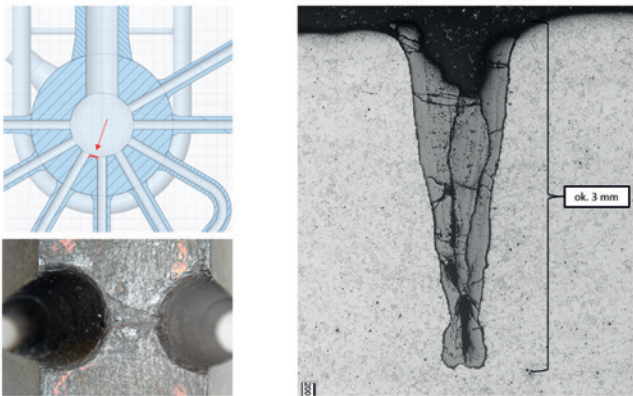


Rys. 6. Pęknięcie/mostek C1 z wycinka nr 3 – porównanie wyników oględzin endoskopowych wykonanych w 2021 r. z wynikami oględzin okiem nieuzbrojonym wykonanymi po wycięciu

Tabela 3

Metoda	Zakres badań niszczących wykonanych w 2021 r.	Wycinek	Pęknięcie
VTO	ogłędziny dostępnej powierzchni wewnętrznej komory	1 - 3	wszystkie
REP/MET	badania metalograficzne w miejscach wykrytych pęknięć, badania metalograficzne na grubości ścianki	3 2	C1 -
TWAR	pomiar twardości w wybranych miejscach	2	-
UT	pomiar geometrii wybranych pęknięć	1 - 3	wszystkie
Statyczna próba rozciągania	badanie w temperaturze pokojowej na próbce poprzecznej i wzdłużnej	2	
Statyczna próba rozciągania	badanie w temperaturze pracy (założona przez konstruktora 555°C) na próbce poprzecznej i wzdłużnej	2	-
Udarność	badanie na próbkach poprzecznych i wzdłużnych, określenie temperatury przejścia w stan kruchy (próbki poprzeczne)	2	-

- C. Badania metalograficzne wykonane na grubości ścianki wycinka nr 2 wykazały mikrostrukturę ferrytyczno-bainityczną z obszarami bainitycznymi częściowo zdegradowanymi oraz wydzielenia węglkowe wewnątrz ziaren ferrytu tworzące łańcuszki po granicach. Stopień wyczerpania trwałości określony na podstawie mikrostruktury wynosi 0,4, klasa struktury 2. Wyniki te są zbieżne z wynikami nieniszczących badań metalograficznych przeprowadzonych na elemencie metodą replik matrycowych w 2020 r.
- D. W ramach badań metalograficznych wykonano również zgład zawierający pęknięcie C1 z wycinka nr 3 w celu określenia jego charakteru oraz geometrii. Na rysunku 7 przedstawiono lokalizację pęknięcia, jego zdjęcie oraz obraz mikrostruktury i samego pęknięcia.
- E. Pomiary twardości wykonane na grubości ścianki wycinka nr 2 wykazały twardości w zakresie 123-133 HV5, które są nieznacznie niższe od wartości uzyskanych w trakcie badań nieniszczących wykonanych na powierzchni zewnętrznej komory w 2020 r.
- F. Statyczna próba rozciągania w temperaturze pokojowej i 555°C wykazała wartości granicy plastyczności niższe niż zalecane przez normę PN-75/H-84024 dla stali 10H2M (ze względu na czas pracy komory, tj. ponad 200 000 godzin do porównania wybrano wartości ze starej normy). Szczegółowe wyniki przedstawiono w tabeli 4.
- G. W próbie udarności wyznaczono temperaturę przejścia w stan kruchy, która wyniosła ok. 20°C. Praca łamania dla próbek poprzecznych i wzdłużnych była równa lub nieznacznie niższa niż zalecana przez normę.



Rys. 7. Pęknięcie C1 na mostku – zestawienie lokalizacji pęknięcia, zdjęcia oraz mikrostruktury wraz z pęknięciem

Tabela 4

Próbka	Granica plastyczności Re/Rp _{0,2} , MPa	Wytrzymałość na rozciąganie Rm, MPa	Wydłużenie A, %
Poprzeczna (20°C)	189	443	34,5
Wzdłużna (20°C)	190	448	34,7
Wg normy PN-75/H-84024	265	440-590	18 (poprzeczna) 20 (wzdłużna)
Poprzeczna (555°C)	120	---	---
Wzdłużna (555°C)	120	---	---
Wg normy PN-75/H-84024	175 (wartość ekstrapolowana)	---	---

Porównanie wyników badań z wynikami obliczeń

Jednym z celów nadzoru diagnostycznego było sprawdzenie, czy warunki eksploatacji wpłynęły na wzrost analizowanych pęknięć, a jeśli tak, to w jakim zakresie. Podstawą do określenia ewentualnego przyrostu były pomiary głębokości wykonane w 2020 r. w trakcie badań na obiekcie oraz warunki pracy. W tabeli 5 przedstawiono zestawienie dla pęknięcia C1 porównujące wyniki pomiarów głębokości pęknięcia wykonane w trakcie badań na obiekcie i po demontażu komory z wynikami obliczeń przeprowadzonych w ramach nadzoru diagnostycznego.

Tabela 5

Pęknięcie	Głębokość pęknięcia określona w 2020 r. (na obiekcie) Metoda UT	Przyrost głębokości pęknięcia w trakcie eksploatacji określony metodami obliczeniowymi	Głębokość pęknięcia określona w 2021 r. (po demontażu) Metoda UT	Głębokość pęknięcia określona w 2021 r. (po demontażu) Metoda REP
C1	~3,5 mm	brak znaczącego przyrostu	~4,4 mm	3,0 mm

Podsumowanie i wnioski

Wykonanie badań niszczących wycofanego elementu pozwoliło na weryfikację modelu obliczeniowego i potwierdzenie słuszności założeń i metod wykorzystanych przy jego tworzeniu. Wymiary pęknięcia C1 zmierzone ultradźwiękowo na obiekcie i po wycięciu różniły się w pomijalnym stopniu (0,9 mm), co wynika z charakterystyki metody pomiarowej, jej dokładności oraz geometrii samego elementu. Taki błąd pomiarowy jest akceptowalny i spodziewany dla tej metody. Można więc przyjąć, że brak przyrostu rozmiarów pęknięcia określono w ramach nadzoru diagnostycznego został potwierdzony.

Właściwości wytrzymałościowe materiału komory po ponad 200 000 godzinach eksploatacji w warunkach pełzania tylko częściowo spełniają kryteria zalecane przez normy. Granica plastyczności w temperaturze pokojowej i podwyższonej mieści się znacznie poniżej wartości normatywnych. Temperatura przejścia materiału w stan kruchy wynosi ok. 20°C. Ze względu na brak danych atestowych nie można jednoznacznie stwierdzić, jaki wpływ na stan materiału miały warunki eksploatacji.

Nadzór diagnostyczny pozwolił w bezpieczny sposób eksploatować popękaną komorę przez ok. 6000 godzin. Dzięki temu Użytkownik miał czas, aby przygotować się do kosztownej i skomplikowanej ze względów logistycznych wymiany komory, a co najważniejsze, uruchomić kocioł po remoncie w 2020 r. Przedstawiona metoda została zaakceptowana przez Urząd Dozoru Technicznego i stanowiła podstawę do warunkowego dopuszczenia komory do eksploatacji aż do czasu jej wymiany w 2021 r.

PIŚMIENNICTWO

[1] Staszek K., Sobczyszyn A., Brunné K., *Uszkodzenia wybranych elementów ciśnieniowych pracujących w warunkach pełzania*. „Energetyka” 2021, nr 12.

[2] Trzeczyski J., Murzynowski W., Stanek R., *Nadzór diagnostyczny elementów grubościennych kotła K-5 w Elektrowni Dolna Odra w okresie ich warunkowej eksploatacji – zastosowana metodyka i doświadczenia po dwuletniej eksploatacji*. „Energetyka” 2020, nr 12, *Biuletyn Pro Novum* nr 2/2020.

Diagnostyka instalacji rurociągowych z wykorzystaniem modelowania na podstawie dokumentacji oraz badań, pomiarów i inwentaryzacji obiektów rzeczywistych

Diagnostics of pipeline installations using modeling based on documentation as well as testing, measurements and inventory of real objects

Określenie rzeczywistych naprężeń w elementach podczas pracy głównych rurociągów parowych za pomocą pomiarów jest technicznie trudne i ekonomicznie nieuzasadnione. Obecnie w tym celu wykorzystywane są metody elementów skończonych (MES). Modele obliczeniowe opracowuje się na podstawie dokumentacji projektowej i/lub modernizacyjnej oraz inwentaryzacji trasy rurociągów. Modele takie mogą być obciążone szeregiem uproszczeń, np. mogą nie uwzględniać rzeczywistej sztywności układu czy rzeczywistych współczynników tarcia w zamocowaniach. Tego rodzaju uproszczenia korygowane są przez zastosowanie odpowiednich współczynników bezpieczeństwa, co jest wystarczające w perspektywie pracy rurociągów do 200 000 godzin. Ich bezpieczna eksploatacja ponad czas projektowy wymaga zidentyfikowania zapasów trwałości na podstawie analizy historii i warunków pracy oraz rzeczywistej geometrii poszczególnych elementów.

Słowa kluczowe: instalacje rurociągowie, diagnostyka, metody elementów skończonych (MES), współczynniki bezpieczeństwa

Determining the actual stresses in the elements during the operation of the main steam pipelines by measurements is technically difficult and economically unjustified. Currently, finite element methods (FEM) are used for this purpose. Calculation models are developed on the basis of the design and/or modernization documentation as well as the pipeline route inventory. Such models may be burdened with a number of simplifications, e.g. they may not take into account the actual stiffness of the system or the actual coefficients of friction in the foldings. Such simplifications are corrected by applying appropriate safety factors, which is sufficient for the operation of pipelines up to 200,000 hours. Their safe operation beyond the design period requires the identification of the remaining life on the basis of an analysis of the history and working conditions as well as the actual geometry of individual elements.

Keywords: pipeline installations, diagnostics, finite element methods (FEM), safety factors

Wstęp

Wyznaczanie rozkładu naprężeń, dla potrzeb diagnostyki, w poszczególnych elementach rurociągu obecnie realizowane może być z użyciem oprogramowania dedykowanego do projektowania rurociągów, jak np. Bentley AutoPIPE oraz/lub zaawansowanych pakietów MES, czyli oprogramowania takiego jak np. ANSYS. W oprogramowaniu dedykowanym projektowaniu rurociągów zawarte są narzędzia znacznie przyspieszające proces przeprowadzania symulacji. Pozwalają na dostęp do katalogów z elementami i możliwość ich automatycznego doboru oraz zaimplementowanie dedykowanych ścieżek symulacji – termika, wytrzymałość, wibracje, oddziaływanie gruntu, pływy itd.

Na etapie projektowania rurociągu jest to najlepsze narzędzie, bo można szybko wprowadzać zmiany geometryczne i inne modyfikacje oraz sprawdzać różne warianty rozwiązań. Natomiast w diagnostyce, gdzie na ogół zmiany pod względem konstrukcyjnym rurociągów są niewielkie lub nie występują wcale, a pojawia się potrzeba modelowania lokalnych zjawisk, jak deformacje, pęknięcia, wady montażowe itp. wtedy oprogramowanie to staje się nieprzydatne.

Możliwości programu AutoPIPE

Możliwości wykorzystania w diagnostyce oprogramowania AutoPIPE są bardzo ograniczone, a jego zastosowanie ogranicza się do sprawdzenia czy przemieszczenia rzeczywiste pokrywają się z przemieszczeniami obliczeniowymi. Jeśli pokrywają się, to znany jest rozkład naprężeń. Natomiast jeśli przemieszczenia obliczeniowe nie pokrywają się z rzeczywistymi i wynika to ze stanu zamocowań oraz przemieszczeń cieplnych urządzeń, które łączą, to można dociekać, dlaczego tak się dzieje i po odpowiedniej analizie wyznaczyć rzeczywiste naprężenia. Problemy pojawiają się, gdy sztywność układu rurociągu jest inna niż założona lub gdy nie są znane ciężary rzeczywiste poszczególnych elementów. Wtedy przemieszczenia cieplne nie będą się pokrywały i naprężeń nie można wyznaczyć. Nie można nawet oszacować czy są one wyższe czy niższe od obliczeniowych.

Analiza dokumentacji dla potrzeb modelu obliczeniowego

Modele obliczeniowe powstają na podstawie wiedzy zawartej w dokumentacji oraz jej walidacji wykonanej na obiekcie.

W dokumentacji (jeśli jest kompletna) znajduje się zawsze opis techniczny rurociągu, obliczenia wytrzymałościowe, lista rysunków oraz zestawienie elementów zainstalowanych na obiekcie i oczywiście rysunki. Niestety w rzeczywistości na starszych obiektach dokumentacja

bardzo często jest niekompletna lub nieaktualna. Najczęściej brakującymi danymi są aktualne informacje o materiale izolacyjnym, sztywności poszczególnych części urządzeń, które rurociąg łączy oraz o przeprowadzonych wymianach na rurociągach np. armatury, zamocowań czy elementów kształtowych.

Weryfikację dokumentacji prowadzi się zawsze na obiekcie. Bez tego obliczenia konstrukcyjne w celach diagnostycznych są pozbawione sensu. Podczas inwentaryzacji sprawdza się zgodność trasy rurociągu z dokumentacją, identyfikuje się elementy zainstalowane na rurociągach, określa się rodzaj i typ zamocowań, sprawdza ich stan oraz określa się ich siły reakcji.

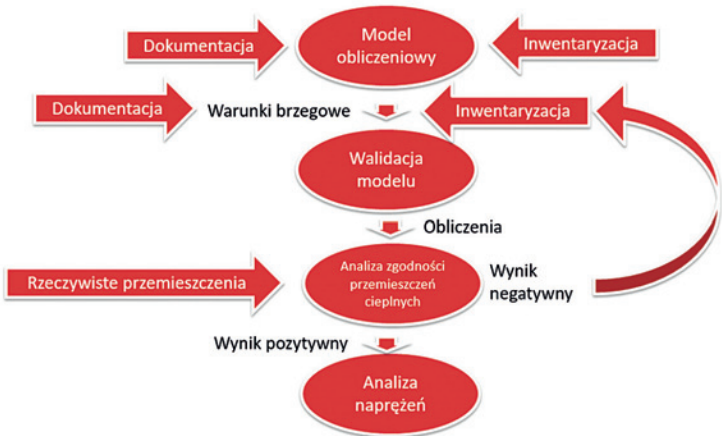
Inwentaryzacja obiektu dla potrzeb modelu obliczeniowego

Aby stworzyć model obliczeniowy potrzeba więc danych z dokumentacji oraz ich weryfikacji na rzeczywistym obiekcie (algorytm wykonywania takich obliczeń przedstawiono na rys. 1). Warunki brzegowe w takim modelu najczęściej pochodzą z dostępnej dokumentacji, ale w związku z wyżej wymienionymi brakami często muszą pochodzić również z doświadczenia wykonującego obliczenia. Jeśli po obciążeniu modelu, jego sprawdzeniu oraz wykonaniu obliczeń, analiza zgodności przemieszczeń obliczeniowych z rzeczywistymi jest pozytywna (rys. 2) można przyjąć, że wyznaczone jednocześnie z przemieszczeniami obliczeniowymi naprężenia są w dobrej zgodności z naprężeniami rzeczywistymi (rys. 3). Jeśli tak nie jest, należy wrócić na obiekt oraz ponownie analizę dokumentacji w celu zidentyfikowania problemów, które należy uwzględnić w obliczeniach i powtórzyć je dla uzyskania zgodności.

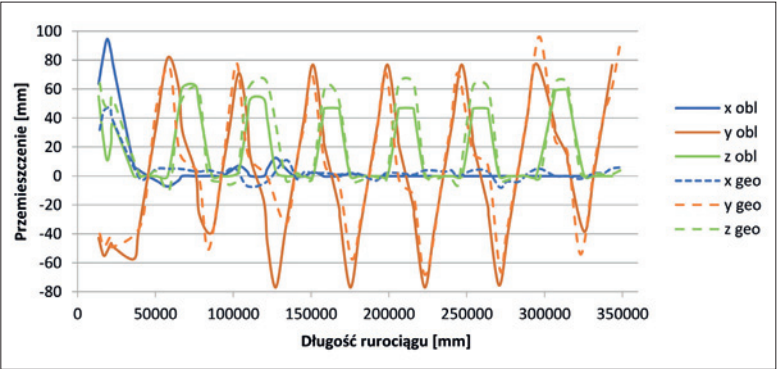
Należy pamiętać, że pomiary rzeczywiste obarczone są błędem, który w wielu przypadkach, dla niektórych osi, wynosi około 3 mm oraz że mierzone są nie przemieszczenia, ale położenie rurociągów, więc błąd z dwóch pomiarów może się nakładać.

Przy wylocie z kotła, gdy komora wylotowa związana jest z konstrukcją, występują przemieszczenia przeważnie niższe niż 3 mm, czyli takie same jak błąd pomiarowy. Inną sprawą jest to, że pomiary przemieszczeń wykonywane są z wykorzystaniem pręta o długości 250-350 mm, przyspawanym do rurociągu, a więc przeważnie ok. pół metra od jego osi. Tymczasem przemieszczenia obliczeniowe wyznaczone są dla punktów znajdujących się w osi rury. Powoduje to, że naprężenia rzeczywiste reprezentują też rotację rurociągów, która nie jest uwzględniana na wykresach przemieszczeń cieplnych. Rozmieszczenie prętów pomiarowych wymaga dużego doświadczenia obliczeniowego i diagnostycznego, a nie tylko umiejętności wykonywania pomiarów geodezyjnych.

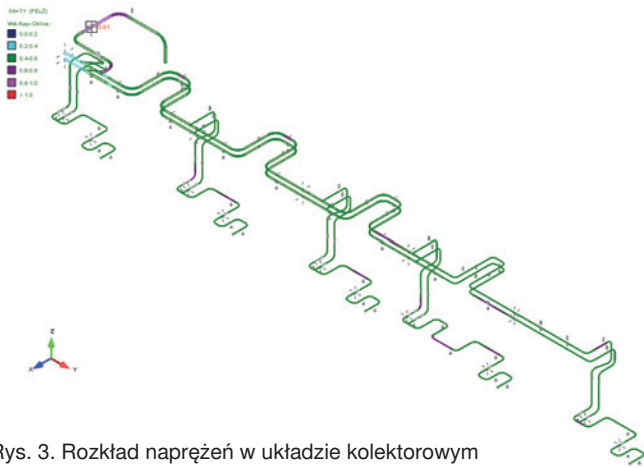
Na starszych i dłuższych rurociągach, np. kolektorach parowych posiadających dłuższe odcinki proste i w większości podparte zamocowaniami ślizgowymi, bardzo często wbrew pozorom występują różnice w przemieszczeniach cieplnych, wynikające np. z nieprostoliniowości odcinków pochodzących z przestawień na spoinach czy minimalnych ugięć rurociągów. Dla rurociągów o skomplikowanej geometrii dochodzi problem niemierzalnej sztywności całego układu, której nie da się uwzględnić w programach obliczeniowych, takich jak AutoPIPE. Trzeba dodać, że każde wymuszenie określonych przemieszczeń cieplnych w sposób sztuczny, niewystępujących na rzeczywistym obiekcie, a jedynie powodujących zgodność przemieszczeń cieplnych obliczeniowych z przemieszczeniami rzeczywistymi – to działanie prowadzące do jeszcze większej niepewności w wyznaczaniu naprężeń.



Rys. 1. Algorytm obliczeń konstrukcyjnych na potrzeby diagnostyczne



Rys. 2. Zestawienie przemieszczeń cieplnych rzeczywistych i obliczeniowych dla rzeczywistego układu kolektorowego



Rys. 3. Rozkład naprężeń w układzie kolektorowym

Wytyczne Urzędu Dozoru Technicznego określają maksymalną histerezę przemieszczeń obliczeniowych i rzeczywistych na poziomie 10%. Z uwagi na wyżej wymienione okoliczności dotyczące błędów pomiarowych oraz niedoskonałości obliczeń wykonanych z użyciem AutoPIPE przy ocenie stanu rurociągu należy brać także pod uwagę histerezę reakcji zamocowań i powtarzalność w czasie kolejnych wyników pomiarów. Wymagana dokładność histerezy przemieszczeń może też błędnie wskazywać na to, że jej główną przyczyną jest niewłaściwa praca układu zamocowań, nie uwzględniając w koniecznym stopniu różnic w sztywności rurociągu i modelu.

Warunek 10% nie powinien mieć wpływu na decyzje o dopuszczeniu do dalszej eksploatacji długo eksploatowanych rurociągów, jeśli są spełnione następujące warunki:

- stan zamocowań jest prawidłowy,
- zostały określone rzeczywiste reakcje zamocowań i są one uwzględnione w obliczeniach,
- na trasie rurociągu nie występują żadne blokady przemieszczeń nieujęte w obliczeniach,
- histereza rzeczywistych przemieszczeń cieplnych wykonywanych od dłuższego czasu jest powtarzalna,
- podczas badań nie stwierdzono nadmiernego stopnia wyczerpanie trwałości materiału rurociągu ani żadnych nieprawidłowości pochodzenia zmęczeniowego,
- w czasie długotrwałej eksploatacji nie identyfikowano żadnych problemów (np. awarii) związanych z wpływem urządzeń, które łączy rurociąg na jego pracę i odwrotnie.

Brak zgodności wartości przemieszczeń cieplnych (nie mylić z ich kierunkiem) powoduje, że wyniki obliczeń naprężeń tracą swoją wiarygodność wprost proporcjonalnie do różnic wartości przemieszczeń. Nie jest to jednak tożsame ze stwierdzeniem, że naprężenia są wyższe od obliczeniowych. Powinno się oczywiście optymalizować model obliczeniowy pod kątem elementu rzeczywistego aż do momentu, gdy jest to możliwe i praktycznie uzasadnione.

Efektem obliczeń jest rozkład naprężeń, który uznaje się za zgodny z rzeczywistym, gdy przemieszczenia są w dobrej zgodności. Na podstawie analizy przy pomocy programu typu AutoPIPE który jest dedykowany dla projektantów oraz konstruktorów i o czym powszechnie wiadomo, nie uwzględnia się sztywności armatury oraz kształtek. Do otrzymanych wyników nie można więc podchodzić bezkrytycznie.

W tej sytuacji rodzi się pytanie, jak często zalecać wykonywanie obliczeń konstrukcyjnych. Jeśli regularnie wykonujemy przeglądy zamocowań zgodnie z Wytycznymi *Pro Novum* [1, 2] i Wytycznymi UDT [3] i wiemy, że w stanie zamocowań nic się nie zmienia, że ich położenie w stanie zimnym i gorącym jest powtarzalne. Dodatkowo, gdy mamy wiedzę, że nic na rurociągu nie było wymieniane, że nie zmienialiśmy parametrów pracy rurociągu i urządzeń, które łączy – to wykonywanie w każdym postoju remontowym obliczeń konstrukcyjnych wykorzystujących identyczne parametry pracy mija się z celem. Nie pozwala na uzyskanie nowej, istotnej wiedzy o inżynierskim charakterze. Dotyczy to zarówno modelu wykonanego w AutoPIPE czy bardziej dokładnego modelu solidowego w programie ANSYS. Zasilanie tych modeli ciągle tymi samymi parametrami pracy prowadzi wyłącznie do powtarzania wyników, znanych od dawna.

Co innego, gdy wykonamy bardzo dokładny model obliczeniowy z wykorzystaniem oprogramowania MES i będziemy go zasilali rzeczywistymi danymi, takimi jak parametry pracy, przemieszczenia cieplne kotła, turbiny czy innych instalacji, co stwarza możliwość rejestracji i analizowania historii i warunków pracy w trybie on-line. Zabudowanie na rzeczywistym rurociągu układu pomiarowego przemieszczeń cieplnych pozwala na natychmiastową reakcję na wszystkie nieprawidłowości występujące w układzie zamocowań czy wynikające z błędów eksploatacji.

Odpowiednio dobrane opomiarowanie rurociągu dla analizy rozkładów temperatur w ścianie rurociągu, parametrów czynnika dla analizy wykonywanej w czasie rzeczywistym wskażą nam miejsca wymagające oględzin w przyszłym remoncie pod kątem możliwości występowania zjawisk towarzyszących procesom niszczenia. Można się spodziewać, że będą to miejsca inne niż wyznaczone na podstawie, nazwijmy to, klasycznych obliczeń konstrukcyjnych.

Podsumowanie

Obliczenia konstrukcyjne w ujęciu klasycznym wykonywać można z użyciem dedykowanego oprogramowania, przy pomocy którego nie zawsze jesteśmy w stanie wyeliminować wpływ uproszczeń wynikających z niepełnej wiedzy o rurociągu lub braku możliwości jej implementacji w oprogramowaniu. Brak możliwości implementacji niektórych danych dotyczących geometrii można wyeliminować poprzez zastąpienie dedykowanego oprogramowania mechanicznymi pakietami MES (takimi jak ANSYS), które jednak wydłużają obliczenia i nie do końca zapobiegają możliwości popełnienia różnorodnych proceduralnych błędów. Obliczenia konstrukcyjne w diagnostyce są wieloetapowe, często wymagają więcej niż dwóch wizyt na obiekcie. Wyniki tych obliczeń są obarczone błędem polegającym na konieczności wymuszenia pewnych zjawisk wynikających z niepełnego odwzorowania analizowanego obliczeniowo obiektu.

Nową jakością dla obliczeń konstrukcyjnych może, a nawet powinno być wykorzystanie bliźniaka cyfrowego rurociągu, zasilanego on-line danymi z rzeczywistego obiektu. Pozwala to uwzględnić rzeczywiste warunki pracy, rzeczywistą geometrię i stwarza warunki dla walidacji tych danych na podstawie rzeczywistego stanu trasy rurociągu. Koszt wdrożenia takiego systemu jest wyższy niż pojedynczych obliczeń konstrukcyjnych, ale jest jednorazowy.

PIŚMIENNICTWO

- [1] PN/20.2900/2013. Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW. *Pro Novum*. Katowice, luty 2013.
- [2] PN/45.3360/2016. Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100 MW – 360 MW. *Pro Novum*. Katowice, luty 2016.
- [3] Wytyczne Urzędu Dozoru Technicznego Nr 2/2018.

I/XXIII Sympozjum DIAGNOSTYKA URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH I INSTALACJI PRZEMYSŁOWYCH – Diagnostyka wobec aktualnych wyzwań energetyki

W dniach **4-5 listopada 2021 r.** odbyło się – zorganizowane przez Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o. – I/XXIII Sympozjum DIAGNOSTYKA URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH I INSTALACJI PRZEMYSŁOWYCH, którego tematem przewodnim w tym roku była **Diagnostyka wobec aktualnych wyzwań energetyki**.

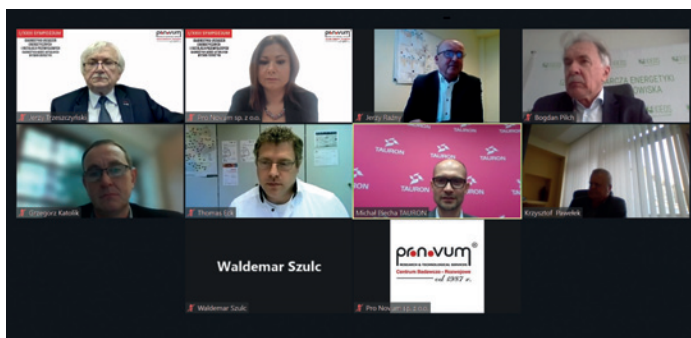
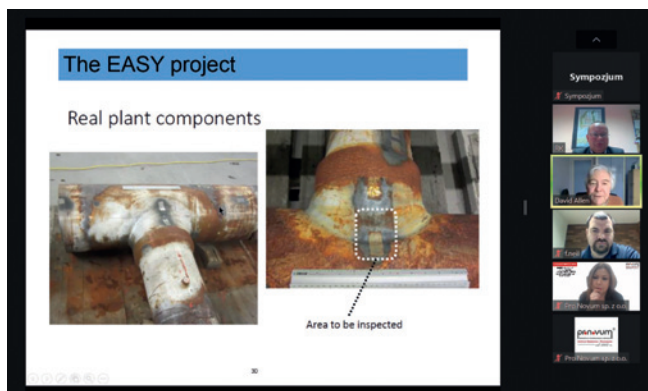
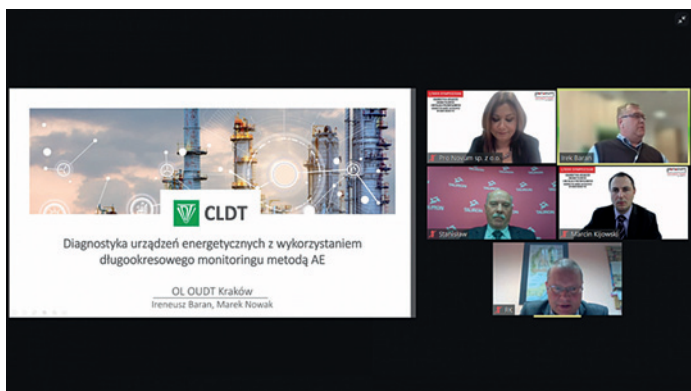
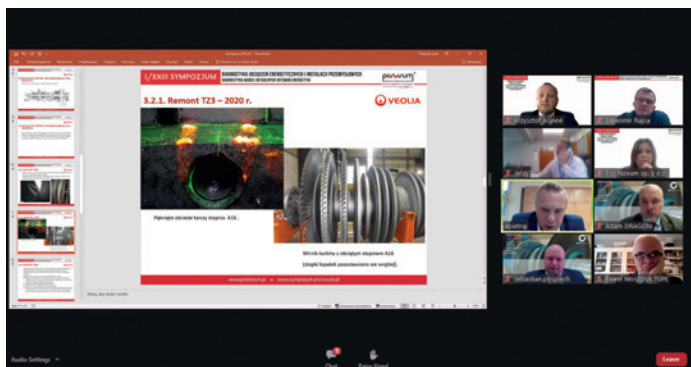
Sympozjum po raz pierwszy odbywało się w formie zdalnej. Mimo zmienionej formuły wydarzenie zgromadziło imponujące grono firm i instytucji wspierających je prestiżowo i merytorycznie.

Patronat Honorowy nad Sympozjum sprawowali Urząd Dozoru Technicznego, Towarzystwo Gospodarcze Polskie Elektryczne oraz Izba Gospodarcza Energetyki i Ochrony Środowiska. Z kolei patronami merytorycznymi wydarzenia zostali: *vge* (*VGB Power Tech* e.V., Niemcy), *TAURON Wytwarzanie SA*, *Veolia Energia Poznań SA* i *ENEA Elektrownia Połaniec SA*. W tym roku wyodrębniona została także kategoria Partnerów Technologicznych Sympozjum, wśród których znaleźli się: *NetInfo Sp. z o.o.*, *ZRE Katowice SA*, *Reliability Solutions Sp. z o.o.*, *ETD Ltd* (Wielka Brytania) i *Ecol Sp. z o.o.*

Wszystkie najważniejsze czasopisma branżowe objęły Sympozjum patronatem merytorycznym, a były to: *Dozór Techniczny*, *Energetyka*, *Nowa Energia* oraz portal *Cire.pl*.

Otwarcia Sympozjum dokonała Ewa Trzeczcyńska – Prokurent i Zastępca Dyrektora ds. Administracyjnych w *Pro Novum sp. z o.o.*, która przedstawiła tematykę, cele i program tegorocznej edycji, wspomniała także zmarłego w listopadzie 2020 r. pana Franciszka Pchełkę, który od początku był dobrym duchem Sympozjów. Następnie głos zabierali członkowie Komitetu Honorowego i przedstawiciele partnerów i patronów Sympozjum.





sieli zmierzyć ich użytkownicy. Zasygnalizowano problemy, które będą musiały uwzględniać w utrzymaniu bezpieczeństwa i dyspozycyjności bloków węglowych firmy remontowej i diagnostycznej. Drugim wątkiem w dyskusji były nowe bloki – węglowe i gazowo-parowe – oraz nowe instalacje przemysłowe w kontekście polityki zakupowej i jej wpływu na możliwość korzystania z technologicznego offsetu jako alternatywy dla nie w pełni korzystnych umów typu LTSA.

Symposium *Pro Novum* po raz kolejny pokazało, że w branży energetycznej istnieje potrzeba wszechstronnej dyskusji na tematy techniczne i wymiany doświadczeń. Zdalna formuła nie tylko w tym nie przeszkodziła, a nawet pomogła umożliwiając wystąpienia z Niemiec, Wielkiej Brytanii i USA.

Podczas dwóch dni Symposium odbyło się 6 sesji, w ramach których wygłoszonych zostało 19 referatów, w tym 3 w języku angielskim. Moderatorami sesji byli prof. dr hab. inż. Rafał Kobyłecki z Politechniki Częstochowskiej oraz Krzysztof Brunné – Prokurent i Zastępca Dyrektora ds. Technicznych, *Pro Novum sp. z o.o.*

Zwieńczeniem Symposium był panel dyskusyjny dotyczący aktualnych wyzwań i perspektyw energetyki z akcentem położonym na bloki węglowe (zarówno nowe, jak i długo eksploatowane), poprowadzony przez Waldemara Szulca, dyrektora Towarzystwa Gospodarczego Polskie Elektrownie. W dyskusji głos zabrali przedstawiciele elektrowni: Remigiusz Kruzel – dyrektor Pionu Strategii i Zarządzania Projektami w *ENEA Elektrownia Połaniec SA*, Michał Piecha – dyrektor Departamentu Inżynierii i Remontów w *TAURON Wytwarzanie SA*, Jerzy Rażny – dyrektor ds. zarządzania majątkiem w *Veolia Energia Poznań SA* oraz firmy diagnostycznej (Jerzy Trzeszczyński – Prezes Zarządu *Pro Novum sp. z o.o.*) jak i remontowej (Sebastian Pośpiech – Dyrektor Zakładu Turbin *ZRE Katowice SA*).

Podczas dyskusji poruszone zostały kwestie dotyczące miejsca i roli bloków węglowych na rynku energetycznym, kryteriów ich wyłączenia oraz wyzwań technicznych, z jakimi będą się mu-



Elektrownie konwencjonalne, w tym zwłaszcza węglowe, mają do odegrania ważną rolę w okresie transformacji sektora elektroenergetycznego w Polsce. Przez dłuższy czas pozostaną podstawą naszego bezpieczeństwa energetycznego. Stopniowo zastępowane przez OZE oraz alternatywną generację z nowych, stabilnych źródeł będą eksploatowane w coraz trudniejszych, nietypowych dla siebie warunkach pracy. Wiedza z zaawansowanej diagnostyki klasycznej oraz zdalnej okaże się niezbędna dla zapewnienia bezpieczeństwa

i dyspozycyjności przy coraz bardziej regulacyjnym trybie ich pracy. Diagnostyka integrująca w harmonijny sposób klasyczną wiedzę i doświadczenie, a także współczesne, zaawansowane technologie informatyczne i cyfrowe oraz Sztuczną Inteligencję może okazać się najlepszym źródłem wiedzy dla strategii eksploatacji urządzeń w końcowym okresie ich pracy, jak również dla zdobycia niezbędnych kompetencji do eksploatacji i utrzymania stanu technicznego nowych urządzeń i instalacji.

Spis wygłoszonych referatów

SESJA I

1. Jerzy Trzeszczyński – *Pro Novum sp. z o.o.*,
Sławomir Biątek – *Netinfo sp. z o.o.*
DIAGNOSTYKA WSPIERANA PRZEZ WIRTUALNE ŚRODOWISKO TESTOWE
2. Thomas Eck – *VGB Power Tech e.V.* (Niemcy)
DIGITALISATION IN THE POWER SECTOR – EXAMPLES OF VGBE PROJECTS

SESJA II

1. Marcin Hattas, Wojciech Murzynowski – *Pro Novum sp. z o.o.*
WYKORZYSTANIE PARAMETRYCZNYCH BLIŹNIAKÓW CYFROWYCH DO ANALIZY TRWAŁOŚCI KADŁUBÓW TURBINY PODCZAS URUCHOMIEŃ
2. Radosław Stanek, Jerzy Trzeszczyński – *Pro Novum sp. z o.o.*
PROGNOZOWANIE TRWAŁOŚCI URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH W TRYBIE ZDALNYM Z WYKORZYSTANIEM APLIKACJI PROGNOZA PRO®
3. Kamil Staszalek, Adrian Sobczyszyn, Krzysztof Brunné, Cezary Kolan – *Pro Novum sp. z o.o.*
WERYFIKACJA BEZPIECZEŃSTWA WARUNKOWO EKSPLOATOWANYCH ELEMENTÓW KOTŁÓW PAROWYCH NA PODSTAWIE BADAŃ NISZCZĄCYCH PO ICH DEMONTAŻU
4. Rafał Kobylecki, Robert Zarzycki – Politechnika Częstochowska
MOŻLIWOŚCI MODELOWANIA NUMERYCZNEGO DLA POPRAWY KONTROLI EKSPLOATACJI URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH – WYBRANE PRZYPADKI

SESJA III

1. David J Allen – *European Technology Development Ltd* (Wielka Brytania),
John W Wilson, Tony Peyton – University of Manchester,
Ahmed Shibli – *European Technology Development Ltd*,
Yasushi Hasegawa – *Nippon Steel Technology (NST)*
DEVELOPMENT OF ELECTROMAGNETIC (EM) SENSOR TECHNOLOGY FOR CREEP DAMAGE DETECTION IN HIGH TEMPERATURE PLANT
2. Frank Neil – *Testex Inc.* (USA)
IMPROVING BOILER RELIABILITY WITH THE TESTEX TRITON NDT INSPECTION SYSTEM

SESJA IV

1. Ireneusz Baran, Marek Nowak – Urząd Dozoru Technicznego, Centralne Laboratorium Dozoru Technicznego, Dział Badań Laboratoryjnych w Krakowie
DIAGNOSTYKA URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH Z WYKORZYSTANIEM DŁUGOOKRESOWEGO MONITORINGU METODĄ AE
2. Stanisław Noworyta – *TAURON Wytwarzanie S.A.*
NOWE METODY DIAGNOSTYCZNE STOSOWANE DO WYKRYWANIA USZKODZEŃ URZĄDZEŃ PRODUKCYJNYCH W TAURON WYTWARZANIE S.A.
3. Marcin Kijowski, Bartosz Borcz, Mateusz Nowak – *Pro Novum sp. z o.o.*
DIAGNOSTYKA INSTALACJI RUROCIĄGOWYCH Z WYKORZYSTANIEM MODELOWANIA NA PODSTAWIE DOKUMENTACJI ORAZ BADAŃ, POMIARÓW I INWENTARYZACJI OBIEKTÓW RZECZYWISTYCH

SESJA V

1. Jerzy Król – *ENEA Elektrownia Połaniec S.A.*
REMONTY I MODERNIZACJE W ENEA ELEKTROWNIA POŁANIEC S.A.
2. Adam Dragon, Sebastian Pośpiech – *ZRE Katowice S.A.*,
Sławomir Rajca – *Pro Novum sp. z o.o.*
REMONTY TURBIN WSPIERANE PRZEZ ZAAWANSOWANĄ DIAGNOSTYKĘ
3. Jacek Pietrasiak – *Veolia Energia Polska S.A.*,
Sławomir Rajca – *Pro Novum sp. z o.o.*
KONDYCJA TECHNICZNA TURBOZESPOŁÓW VEOLIA ENERGIA ŁÓDŹ OPARTA NA DIAGNOSTYCE
4. Paweł Woszczyk – Towarzystwo Gospodarcze Polskie Elek-
rownie
CZY NOWE TECHNOLOGIE CCS MOGĄ BYĆ LEKARSTWEM DLA ENERGETYKI WĘGLOWEJ I GAZOWEJ?

SESJA VI

1. Michał Górka, Roman Michał Wojciechowski – *Veolia Ener-
gia Poznań S.A.*
Kamil Staszatek, Adrian Sobczyszyn, Marcin Kijowski, Bar-
tosz Borcz, Mateusz Nowak, Radosław Stanek, Krzysztof
Brunné – *Pro Novum sp. z o.o.*
**PRZEDŁUŻENIE CZASU EKSPLOATACJI CZĘŚCI CI-
ŚNIENIOWEJ BLOKU CIEPŁOWNICZEGO – NAJWAŻ-
NIEJSZE ZAGADNIENIA I ICH REALIZACJA**
2. Wojciech Majka, Kazimierz Majka – *ECOL sp. o.o.*
**INTEGRACJA AKTUALNIE DOSTĘPNYCH TECHNIK
DIAGNOSTYKI I WIEDZY O SMAROWANYCH KOMPO-
NENTACH MASZYN W ŚWIELE WYMAGAŃ STANDAR-
DU ICML 55.1 WYDANEGO PRZEZ INTERNATIONAL
COUNCIL OF MACHINERY LUBRICATION (55.1 LU-
BRICATED ASSETS MANAGEMENT). DOŚWIADCZE-
NIA ECOL SP. Z O.O. Z WDROŻEŃ NA PRZESTRZENI
30 LAT PROWADZENIA SERWISU SMAROWNICZEGO
W ENERGETYCE**

3. Mateusz Kusibab, Marcin Hattas – *Pro Novum sp. z o.o.*
**MODELOWANIE ZJAWISK W UKŁADZIE PRZEPŁYWO-
WYM TURBINY TOWARZYSZĄCYCH PRACY BLOKU
PRZY OBNIŻONYM MINIMUM TECHNICZNYM**
4. Dariusz Broda, Andrzej Kałuża – *Reliability Solutions sp. z o.o.*
**UCZENIE MASZYNOWE W KONSERWACJI PREDYK-
CYJNEJ I OPTYMALIZACJI**

PANEL DYSKUSYJNY

1. **Moderator: Waldemar Szulc (Towarzystwo Gospodar-
cze Polskie Elekrownie)**
2. **Zaproszeni goście:**
 - a) Remigiusz Kruzel – *Enea Elektrownia Połaniec S.A.*
 - b) Michał Piecha – *TAURON Wytwarzanie S.A.*
 - c) Sebastian Pośpiech – *ZRE Katowice S.A.*
 - d) Jerzy Rażny – *Veolia Energia Poznań S.A.*
 - e) Jerzy Trzeszczyński – *Pro Novum sp. z o.o.*
3. **Zagadnienia do dyskusji:**
 - 3.1. Dla bloków węglowych, nie tylko w Polsce, będzie jesz-
cze przez wiele lat miejsce na rynku energetycznym:
 - a) według jakich kryteriów bloki te będą wyłączane
z eksploatacji?
 - b) z jakimi wyzwaniem technicznymi będą zmuszeni
zmierzyć się ich użytkownicy?
 - c) przed jakimi problemami mogą stanąć firmy dia-
gnostyczne i remontowe?
 - 3.2. Od pewnego czasu oddaje się do użytku nowe bloki
węglowe i gazowo-parowe często w pojedynczych wer-
sjach oraz inne nowe instalacje energetyczne od róż-
nych dostawców. Nie słychać żeby ich dostawcy byli
skłaniani do technologicznego offsetu. Podpisywane są
natomiast wieloletnie umowy LTSA:
 - a) czy można wyobrazić sobie powstanie polskich
kompetencji w zakresie utrzymania technicznego
nowych urządzeń i instalacji?
 - b) czy można wyobrazić sobie pracę tych urządzeń, gdy
dostawcy znikną z rynku lub zaproponują nieakcep-
towane ekonomicznie strategie ich eksploatacji?



Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych "Pro Novum" Sp. z o.o.
ul. Wróbli 38, 40-534 Katowice
pronovum@pronovum.pl, www.pronovum.pl