

Dr inż. Jerzy Trzeszczyński,

Prezes Zarządu / Dyrektor, Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „PRO NOVUM” Sp. z o.o.

Diagnostyka towarzysząca transformacji energetyki

For to End Yet Again

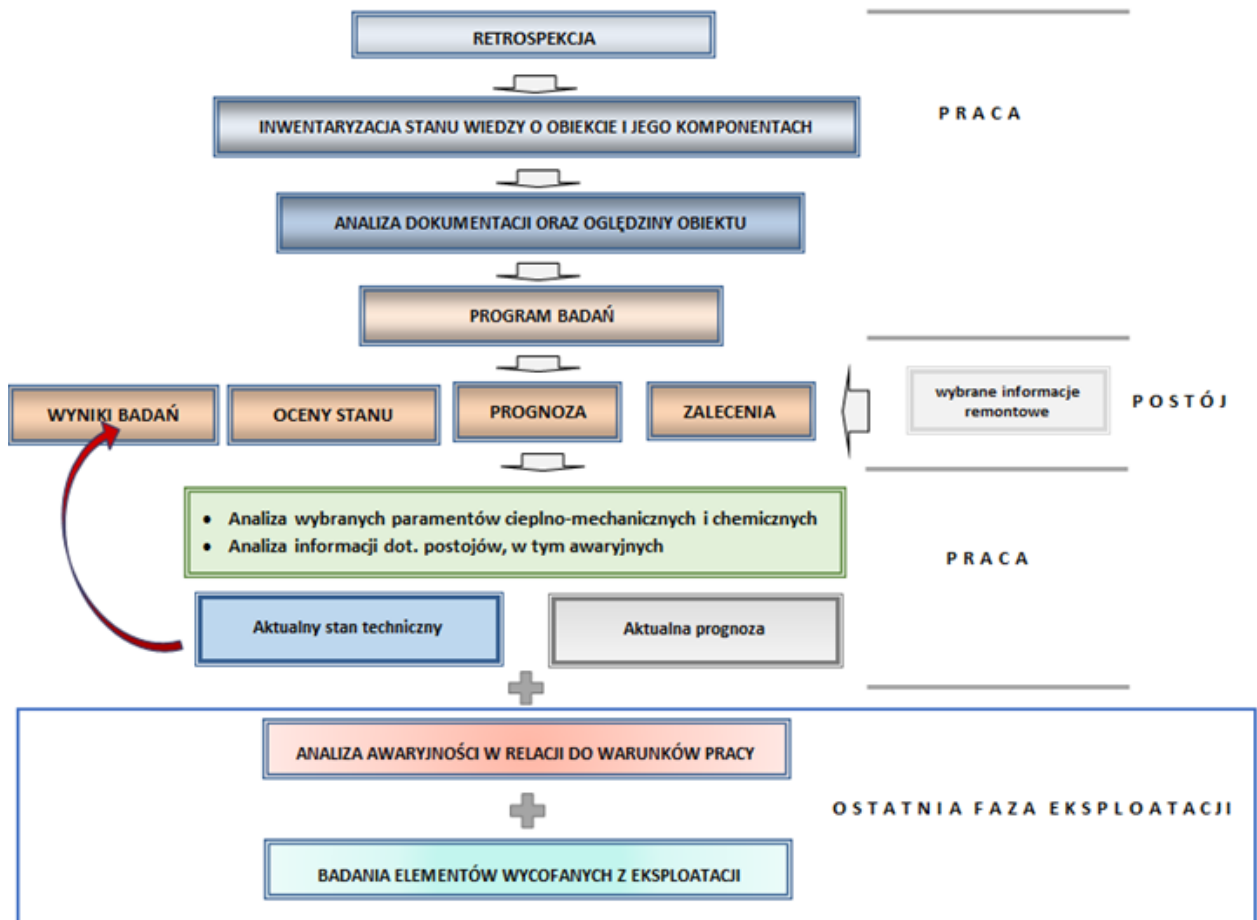
Diagnostyka urządzeń energetycznych z wielu względów podlega ewolucji podobnej do tej jakiej one same podlegają. Jej metodyka w największym stopniu związana jest z parametrami pracy głównych urządzeń energetycznych, a te z kolei decydują o ich konstrukcji, zastosowanych materiałach oraz technologiach wykonania. Oznacza to, że nie tylko w ramach bloku energetycznego, ale także urządzenia należy liczyć się z różnymi metodami badań i oceny stanu technicznego w celu zidentyfikowania możliwych nieprawidłowości oraz uszkodzeń. Metodykę badań należy dostosować także do czasu eksploatacji urządzenia, bowiem w pierwszym okresie jego pracy należy liczyć się z uszkodzeniami wywołanymi przez wady projektowe i montażowe, natomiast w późniejszych jej fazach mogą pojawiać się uszkodzenia i nieprawidłowości związane z modernizacjami oraz wyczerpaniem trwałości na skutek czasu i warunków eksploatacji.

Diagnostyka jaką znamy i którą posługujemy się do czasów obecnych to dziedzina utrzymania stanu technicznego urządzeń energetycznych, która w ostatnich dwóch dekadach ubiegłego stulecia osiągnęła poziom, spełniający również obecne wymagania. Wtedy także zaczęto ją opisywać w formie obowiązujących powszechnie standardów [3-6], chociaż pierwsze próby w tym zakresie były podejmowane znacznie wcześniej [1, 2]. Powstanie standardów/instrukcji diagnostycznych w ostatniej dekadzie poprzedniego stule-

cia poprzedzone zostało ponad 20-letnim okresem zdobywania wiedzy i doświadczeń, które były na bieżąco „relacjonowane” w Energetyce [7-12]. Od 1990 r. Pro Novum publikuje swoje prace dot. diagnostyki w Biuletynach Pro Novum, na łamach Energetyki, których dotąd ukazało się 67. Ostatnie jego wydanie miało miejsce, w grudniu 2020 r. Ukazało się wraz z relacją z XXII Sympozjum Pro Novum, którego przewodnim tematem była diagnostyka, jako źródło wiedzy dla strategii eksploatacji [36].

■ Diagnostyka wczoraj

Diagnostyka to część utrzymania stanu technicznego urządzeń, która jest ściśle powiązana z ich konstrukcją i warunkami pracy. W Polsce jej spisowana historia rozpoczyna się w latach 50. poprzedniego wieku wraz z powstawaniem kolejnych elektrowni i bloków energetycznych [1, 2, 7]. Przyspieszenia doznaje w latach 60. wraz z budową bloków o mocy 120 MW. Pełnego rozwoju doświadcza w latach 70. i 80.



Rys. 1. Schemat systemu diagnostycznego powiązanego z eksploatacją

wraz z oddaniem do eksploatacji ponad pięćdziesięciu bloków klasy 200 MW oraz 16-tu bloków klasy 360 MW. Bloki, niezależnie od mocy, budowane były na węgiel kamienny i brunatny. Jeszcze obecnie ok. 70% energii w Polsce pochodzi ze spalania tych paliw.

Diagnostyka urządzeń cieplno-mechanicznych elektrowni, która została opracowana i opisana ok. 30 lat temu zachowała swoją aktualność głównie dlatego, że tworzyli ją specjaliści związani bezpośrednio z utrzymaniem stanu technicznego i eksploatacją urządzeń, a wiedzę swoją pogłębiali rozwiązując konkretne problemy eksploatacyjne, w tym zwłaszcza awaryjne. 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 cieplno-mechanicznych ponad czas „projektowy”. Najpierw powyżej 100 tys. godzin, następnie powyżej 200 tys. godzin [9, 14, 15].

Zdalna diagnostyka, którą Pro Novum rozpoczęło wdrażać od 2004 r. na blokach o mocy od 100 MW do 360 MW (a także na blokach nadkrytycznych) zainspirowała do opracowania „Wytucznych przedłużania eksploatacji bloków klasy 200 MW do 350 tys. godzin” [16-19]. Niektórzy nasze prognozy trwałości traktowali z niedowierzaniem, co było o tyle niezrozumiałe, że zostały oparte na wynikach wykonanych, w szerokim zakresie, badań niszczących elemen-

tów grubościennych z bloku, który został wyłączony z eksploatacji po przekroczeniu 250 tys. godzin pracy [20]. W międzyczasie wyłączono z eksploatacji bloki, które przepracowały ponad 310 tys. godzin. Zaprzestanie eksploatacji niektórych bloków klasy 100-200 MW nigdy nie było związane z wyczerpaniem rzeczywistej trwałości ich krytycznych/grubościennych elementów.

Trwałość wielu ważnych komponentów bloków, zwłaszcza w energetyce zawodowej - od wielu lat - nie jest limitowana przez czas eksploatacji (w kolejnych latach doświadczają go coraz mniej), lecz przez ich regulacyjny tryb pracy, w rytm generacji z OZE. O ich miejscu na rynku energii czy mocy decyduje stopień spełnienia limitów emisyjnych oraz względny ekonomiczny.

Schemat najbardziej efektywnego systemu diagnostycznego przedstawiono na rys. 1. Jego istotę stanowi:

- potraktowanie diagnostyki jako procesu odpowiednio zintegrowanego z eksploatacją,
- ustalanie terminów i zakresów badań na podstawie retrospekcji oraz analizy warunków pracy.

Konsekwentne jego stosowanie oznacza, że to nie plan remontów decyduje o terminie i zakresie badań, ale termin i zakres koniecznych badań wyznacza termin i zakres remontu. Jeśli nie ma potrzeby wykonania badań to tym bardziej nie ma potrzeby wykonywania remontu. Stąd tylko krok do wykonywania diagnostyki w zdalnym trybie (rys. 2) wspierającej każdą z zaawansowanych strategii remontowych: CBM, RCM, RBM. Jej część analityczna i software'owa forma systematycznie są rozwijane.

■ Energetyka dziś i jutro

Energetyka polska ma ponad 100 lat. Swoje największe sukcesy święciła w czasach, które zakończyła ustrojowa transformacja. Zapoczątkowała ją, w latach 50. poprzedniego stulecia, budowa nowych elektrowni i kolejnych bloków energetycznych. Poziom, który jeszcze obecnie można uznać za wystarczający dla autonomicznego zapewnienia bezpiecznej eksploatacji, oczekiwanej dyspozycyjności i potrzeb osiągnięta w ubiegłym stuleciu. Problemy, z którymi się borykała pozostały aktualne do czasów obecnych. Okres związany z jej prywatyzacją nie przełożył się na trwałe efekty. Dla Pro Novum był jednak inspiracją do cyfrowej transformacji systemów diagnostycznych i ich ewolucji w kierunku dostosowania ich do potrzeb pracy regulacyjnej, a nawet do poprawy elastyczności bloków klasy 200 MW [21-26, 30].

Elektrownie podlegają ewolucji „od zawsze” w rytm pojawiających się rozwiązań konstrukcyjnych zwłaszcza polepszających sprawność oraz zmniejszających ekologiczną uciążliwość. Prawie 60 lat temu państwa, nawet tak jak Pol-

ska obdarzone przez naturę w łatwo dostępne paliwo, zaczęły dywersyfikować wytwarzanie energii budując elektrownie atomowe. Energetyka polska nie dołączyła do tych przemian. Planuje to zrobić po upływie 50 lat (!). Rozpoczęto jednak dywersyfikację generacji energii elektrycznej i ciepłej z bloków gazowo-paryowych. W tym samym czasie początek bierze Energiewende, strategia energetyczna naszego zachodniego sąsiada, a od ok. 20 lat także, w znacznym stopniu, Unii Europejskiej. Można powiedzieć, że jesteśmy spóźnieni o ok. 50 lat. Systemu elektroenergetycznego kraju tak dużego jak Polska i tak jak ona położonego nie da się przebudować w istotnie krótszym czasie, bez akceptowalnych gospodarczo i społecznie kosztów.

Energetyka wymaga stabilnej (ponad podziałami politycznymi) polityki i prawa wspierającego własnych dostawców technologii, energii oraz otoczenia energetycznego w zakresie projektowania, dostaw urządzeń i ich technicznego utrzymania. Nasze biura projektowe i dostawcy urządzeń, także zaawansowanych systemów sterowania i automatyki zaczęli odstawać od europejskiej i światowej czołówki jeszcze w latach 80. i 90. ubiegłego stulecia. Przestaliśmy budować bloki energetyczne w kraju i za granicą, zaczęliśmy stopniowo korzystać z zagranicznych dostawców, także w zakresie modernizacji. W ostatnim czasie powiększamy import energii elektrycznej, gazu, a nawet węgla kamiennego.

Brak dobrej dla polskiej energetyki strategii zaczyna być zauważalny od momentu transformacji ustrojowej. Branża o bardzo dużej autonomii w zakresie projektowania, wykonawstwa pełnego wyposażenia elektrowni, montażu, modernizacji i utrzymania technicznego, znalazła się na rynku rządzącym się zupełnie innymi niż dotąd prawami. Nie zauważono tego, częściowo zbagatelizowano. W konsekwencji tego Polska od prawie 30 lat, w różnym stopniu świadomie, realizuje politykę energetyczną UE inspirowaną, w największym stop-

niu, strategią energetyczną naszego zachodniego sąsiada. Z eksportera energii stała się trzecim największym w Europie jej importerem. O szansach na racjonalną transformację energetyczną świadczą poziom debaty od wielu lat. Różni publicyści, „eksperci”, przedstawiciele organizacji pozarządowych i różnych think tanków niemal codziennie odliczają spadek generacji energii z węgla, promując jednocześnie wiatraki, fotowoltaikę, atom, wodór, etc. Mniej medialna, ale bardziej skuteczna jest promocja gazu ziemnego, jako paliwa „przejściowego” na najbliższe ok. 25 lat. Dywersyfikacja źródeł tego paliwa zastąpiła dyskusję nt. suwerenności energetycznej oraz konsekwencji gospodarczych i kosztów społecznych. Więcej mówi się i pisze nt. suwerenności cyfrowej. W jednym i drugim przypadku zapewne z podobnym skutkiem. W dyskusji nt. polskiej polityki energetycznej pojawiają się także wątki „humorystyczne”, np. takie żeby do czasu wdrożenia w Polsce bezemisyjnej energetyki wyłączyć generację energii z węgla i zastąpić ją ... „zieloną energią” z importu.

Tego rodzaju dyskusji towarzyszy nadzieja, że bezemisyjna, także niskoemisyjna energia będzie tańsza, trzeba „tylko” zainwestować ok. 2 biliony złotych, korzystając jednak z mechanizmów tzw. sprawiedliwej transformacji. W debacie nt. przyszłości polskiej energetyki prawie nie ma miejsca na refleksję o jej zapleczu, tj. o firmach remontowych i diagnostycznych, biurach projektowych, instytutach branżowych, wydziałach energetycznych wyższych uczelni technicznych, etc.

To, że będą najpewniej stanowili „polski content” dla zagranicznych firm budujących i eksploatujących w Polsce nowe obiekty energetyczne staje się coraz bardziej naturalne. Niektórzy wieszczą armagedon. Bardziej prawdopodobna będzie jednak stopniowa transformacja polskiego sektora w kierunku rezygnacji ze źródeł wytwarzania opartych na spalaniu węgla i dalszego wzrostu importu. Tempo i skutki takiej transformacji będą uzależnione od wielu czynników, w tym

od redukcji kompetencji technicznych w zakresie eksploatacji i utrzymania stanu technicznego krytycznej infrastruktury elektrowni.

Racjonalną dyskusję wokół transformacji energetycznej utrudniają media oraz coraz bardziej agresywna polityka. Wszyscy, którzy swoje poglądy kształtują na podstawie przekazów większości europejskich mediów, sądzą, że niskoemisyjna polityka energetyczna to najważniejszy, a nawet jedyny w świecie „megatrend”. Takie wrażenie mogą odnieść, gdy czytają o „Europie w ogniu zielonej rewolucji” oraz gdy dowiadują się o europejskich sukcesach generacji z OZE, zwłaszcza odstawianiu z eksploatacji kolejnych elektrowni konwencjonalnych, a także atomowych. Nie wiedzą, lub trudno im pojąć sens informacji z poza zachodnich, zwłaszcza europejskich, w tym znacznej części polskich mediów np. że:

- skala rozbudowy chińskich mocy węglowych podważa efekty wygaszania mocy węglowych w EU - w 2020 r. wyłączono w świecie 17 GW energii generowanej ze spalania węgla, podczas gdy w Chinach przybyło ich niemal 30 GW. W zeszłym roku wydano pozytywne decyzje w sprawie budowy prawie 37 GW nowych mocy na węglu, a łącznie w planach jest w tej chwili 247 GW (!); podobną strategię posiadają Indie, a także Japonia. 180 krajów z najmniejszą emisją emituje do atmosfery tyle zanieczyszczeń co same Chiny,
- uzyskanie finansowania dla projektów węglowych w Europie graniczy z cudem, podczas gdy w tym czasie największe fundusze inwestycyjne w Japonii oraz Stanach Zjednoczonych (Vanguard i BlackRock), zainwestowały w energię węglową ok. 250 mld dolarów.

Czy musimy przejmować się megatrendem ze Wschodu? Trudno powiedzieć. Może jednak warto go brać pod uwagę, gdy się czyta, że w ubiegłym roku PKB największej gospodarki świata

skurczyło się o 2.3%, natomiast drugiej wzrosło o tę samą wartość co sprawia, że Chiny mają szansę wcześniej o kilka lat niż przewidywano wyprzedzić USA w wyścigu o miano największej gospodarki świata. Przed zalewem Europy tanimi towarami (bo obiektywnie energia ze spalania węgla jest ciągle najtańsza), ma nas bronić podatek od śladu węglowego w importowanych produktach. Co najmniej równie prawdopodobne będą wojny celne oraz przeniesienie źródeł emisji (także produkcji i miejsc pracy) poza obszar UE. Miejmy nadzieję, że nasza Europa sprosta także tym wyzwaniom.

Podobno aż 77% Polek i Polaków uważa, że zmiana klimatu już teraz wpływa na ich codzienne życie. Są coraz bardziej przekonani, że energia może być jednocześnie „zielona” i tania. Kwota wsparcia w Polsce dla generacji energii elektrycznej z farm wiatrowych na poziomie ok. 320 zł/MWh (ponad 70 EUR) została uznana przez potencjalnych inwestorów za zdecydowanie zaniżoną. Średni dla świata koszt energii wyprodukowanej przez wiatraki w 2019 r. wyniósł 56 EUR/1MWh. Może to oznaczać, że aktualnie mamy najdroższe (hurtowe) ceny energii, bo powstaje w elektrowniach węglowych. W przyszłości możemy mieć najwyższe ceny energii, bo pochodzić będzie ona z naszego OZE, tylko o mniejszej sprawności i innych wyższych kosztach niż z OZE konkurencji.

Bardziej spostrzegawczy i nieortodoksyjnie myślący dawno zauważyli, że rzeczywistym źródłem emisji CO₂ nie jest spalanie paliw kopalnych, tylko nasza cywilizacja. Miliardy ludzi na świecie chcą żyć tak jak obywatele zachodniej cywilizacji dobrobytu. Zniszczeniu się ich marzeń sprzyja obecna forma kapitalizmu, systemu opartego na konsumpcji. Jego twarde reguły można okresowo niwelować. Wcześniej czy później prowadzi to jednak do kryzysu ekonomicznego z możliwością jeszcze groźniejszych następstw. Możliwe, że koszty (gigantyczne) epidemii uprawniają ten scenariusz. W „okresie przejściowym”

spalanie gazu ma zastąpić spalanie węgla. Ostatnie badania wskazują na większy, niż dawniej uważano, udział metanu w zmianach klimatu. Choć gaz ten krócej niż CO₂ utrzymuje się w atmosferze, w pierwszych 20 latach jego wpływ na zmiany klimatu jest ponad 80-krotnie silniejszy niż dwutlenku węgla. W dwóch ostatnich latach na skutek samego odpowietrzania tylko rosyjskich gazociągów do atmosfery trafił metan będący odpowiednikiem 3 mln ton CO₂.

Produkcja samochodów elektrycznych może być szansą na nowy, duży biznes. Czy jednak przyczyni się do ratowania klimatu, czy może tylko zmieni się źródło i lokalizacja zagrożeń?

Czy przed transformacją energetyczną należy się bronić? W żadnym przypadku! Trzeba ją „tylko” realizować racjonalnie!

■ Diagnostyka dziś

W obecnie wykonywanej diagnostyce urządzeń ciepło-mechanicznych elektrowni dominują metody o charakterze uniwersalnym, stosowane i sprawdzane od wielu lat. Względnie nowe, ultradźwiękowe techniki badań jak np. Phased Array, czy ToFD poszerzyły możliwości badań ultradźwiękowych. Technika prądów wirowych znalazła szerokie zastosowanie w badaniach wkładów rurowych wymienników ciepła oraz otworów centralnych wirników, a mikroskopia scanningowa SEM wraz z przystawkami EDS do mikroanalizy składników struktury materiałów istotnie powiększyły możliwości badań metalograficznych. Wiele nowych badań, np. Small Punch Test wykazało bardzo ograniczoną przydatność, podobnie jak szereg tzw. badań innowacyjnych, których twórcy ciągle poszukują dla nich praktycznej przydatności. Nadal największe znaczenie posiada planowanie badań i interpretacja ich wyników, bowiem badania to tylko część diagnostyki (rys. 1). W zakresie oceny stanu technicznego oraz prognozowania trwałości, zwłaszcza w zakresie jej przedłużania, największą przydatność posia-



Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń mechanicznych bloków 200 MW Pro Novum/TGPE. 2013.



Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń mechanicznych bloków 100 - 360 MW Pro Novum/TGPE. 2016.



Wytyczne Urzędu Dozoru Technicznego



Instrukcja przedłużania czasu pracy powyżej 200 000 godzin instalacji rurociągowych podlegających Urzędowi Dozoru Technicznego

Rys. 2. Diagnostyka wspierająca bezpieczną eksploatację urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków energetycznych klasy 100-360 MW w perspektywie ok. 350.000 godz. [17-19]

dają „Wytyczne przedłużania eksploatacji...” wskazujące zwłaszcza na sposób interpretacji wyników badań, w tym badań niszczących [17-20] - rys. 2.

Zaimplementowanie „Wytycznych przedłużania eksploatacji...” na Platformie Informatycznej LM System PRO+® umożliwiło, prawie 15 lat temu, zaferowanie zdalnej diagnostyki [21-23] w formie serwisów diagnostycznych LM Serwis PRO+® (rys. 3). Serwisy te w formule LTDS inspirowane były strategiami remontowymi Wydziałów Inżynierii EdF oraz Vattenfall Heat Poland. Strategie remontowe, szczególnie CBM, RCM i RBM skłaniają do możliwie ścisłego powiązania nakładów remontowych z aktualnym i dającym się przewidzieć stanem technicznym urządzeń. Podejście to zwłaszcza obecnie zostało w znacznym stopniu zaniechane [26].

Aprobaty nie znalazły nawet systemy automatycznego zapisu historii i warunków eksploatacji dla potrzeb diagnostyki, co jest nieodzowne zwłaszcza od kiedy bloki energetyczne eksploatowane są

w trybie regulacyjnym, a zmiana pokoleniowa wśród specjalistów elektrowni sprawia, że wiedzy zgromadzonej przez nich „w głowach i biurkach” nie da się w koniecznym stopniu przekazać następcom.

Pewnym optymizmem napawa wzrost znaczenia serwisów o charakterze interwencyjnym umożliwiającym, po zaimplementowaniu algorytmów mechaniki pęknięcia [27, 39] warunkową pracę uszkodzonych elementów do czasu ich wymiany lub zakończenia eksploatacji urządzenia.

Diagnostyka wykonywana na odpowiednio wysokim poziomie może i powinna być źródłem wiedzy dla strategii eksploatacji [28, 31-35], co ma szczególne znaczenie zwłaszcza dla urządzeń w końcowej fazie pracy. Na razie nic tego nie zapowiada:

- Diagnostyka utraciła w znacznym stopniu swoją autonomię, staje się częścią remontów. Ułatwia to może organizację przetargów, ogranicza jednak korzyści użytkownika,

w zakresie wiedzy zwłaszcza dot. profilaktyki.

- Wymiana wiedzy i doświadczeń ulega dalszej redukcji, trudności jakie wywołała pandemia proces ten jeszcze bardziej akcelerują. Algorytmy realizujące *Machine & Transfer Learning* mogą w tym względzie pomóc nie tylko w skali elektrowni, ale także użytkowników jednej klasy urządzeń [28].
- Niska ranga działań będących źródłem najbardziej użytecznej wiedzy:
 - badań niszczących elementów/urządzeń wycofanych z eksploatacji,
 - zdalnej diagnostyki, nawet w czasach epidemii (!),
 - korzystania z cyfrowych technologii w zakresie analizy warunków pracy, a zwłaszcza naprężeń, także w trybie on-line - nadal korzysta się z metod i kryteriów konstruktorskich z przed prawie 50 lat.
- Obniżenie jakości utrzymania tech-



Rys. 3. Zdalna diagnostyka w formie wieloletniego serwisu LM Serwis PRO+® zapewniająca automatyczną aktualizację oceny stanu technicznego i prognozy trwałości, zrealizowana na Platformie LM System PRO+®

nicznego zwłaszcza głównych urządzeń ciepłno-mechanicznych.

■ Problemy rzeczywiste i „teoretyczne”

Wszystkie istotne problemy dotyczące bezpieczeństwa i dyspozycyjności bloków klasy 200 MW, zwłaszcza ich oryginalnych urządzeń, węzłów konstrukcyjnych i elementów są od dawna znane [3-20]. Znane są także sposoby ich niskonakładowego rozwiązywania. Uzupełnienia wymaga wiedza dotycząca możliwych negatywnych skutków pracy regulacyjnej, zwłaszcza w intensywnej jej wersji. Problemy rzeczywiste znane są od dawna. Istnieje także wiedza i doświadczenie pozwalające na ich rozwiązywanie. Problemy „teoretyczne” pojawiają się co jakiś czas, w miarę jak na rynku pojawiają się nowi specjaliści o małym doświadczeniu remontowym i diagnostycznym, „innovacyjne” metody badania, pomiarów i analizy wyników, niedostatecznie zweryfikowane w praktyce narzędzia, np. AI, które potencjalnie mogą przynieść konkretne korzyści. Od czasu do czasu identyfikowane są „problemy” mające swoje źródło w nowych (innovacyjnych) technikach badawczo-pomiarowych oraz prawnej nadinterpretacji. Nowe techniki pomiarowe wymagają wielu lat doświadczeń i nie zwalniają od logicznego myślenia. Za przykład może posłużyć identyfikacja

stopnia wyczerpania trwałości elementu, która w rzeczywistości prosta (rys. 4), może przybrać formy skomplikowanych procedur, mogących generować nie tylko teoretyczne problemy, ale także zbędne koszty.

Wyniki badań, zwłaszcza publikowane, nie wskazują m. in. na potrzebę rewitalizacji płaszczy wałczaków (jeśli przez rewitalizację rozumieć regenerację struktury), ani na korzyści z tzw. niskotemperaturowej rewitalizacji elementów stalowych turbin.

Co najmniej kontrowersyjna wydaje się potrzeba wymiany spoin, które nie spełniają aktualnych wymagań jakościowych, a którym nie towarzyszą uszkodzenia o charakterze eksploatacyjnym. Wynika to z prostej analizy. Wymieniając dużą liczbę spoin na rurociągach pra-

cujących w warunkach pełzania można stworzyć większy problem niż ten, który wcześniej zidentyfikowano. Nie zawsze bierze się pod uwagę fakt, że pełzanie to proces bardzo długotrwały, na większości eksploatowanych elementów nieujawniony w niebezpiecznej formie nawet po przepracowaniu 250 tys. godzin (jeśli eksploatacji nie towarzyszyły znaczące błędy eksploatacyjne, modernizacyjne i remontowe).

■ Bezpieczeństwo i dyspozycyjność w ostatniej fazie eksploatacji

Urządzenia w końcowej fazie eksploatacji nie mogą być mniej bezpieczne niż wcześniej. Akceptowana dyspozycyj-



Rys. 4. Postępowanie związane z identyfikacją różnych objawów wyczerpania trwałości elementu.
*) praca bez ograniczeń w okresie do następnego badania i oceny stanu technicznego

ność urządzeń długo eksploatowanych nie może być dużo mniejsza niż nowych. Limitowane są natomiast, często bardzo agresywnie, nakłady na utrzymanie. W związku z powyższym Pro Novum opracowało i wdrożyło metodykę warunkowej pracy uszkodzonych elementów, których naprawa lub wymiana nie jest możliwa lub ekonomicznie akceptowalna [27, 37, 39].

Istotą podejścia Pro Novum jest założenie, że:

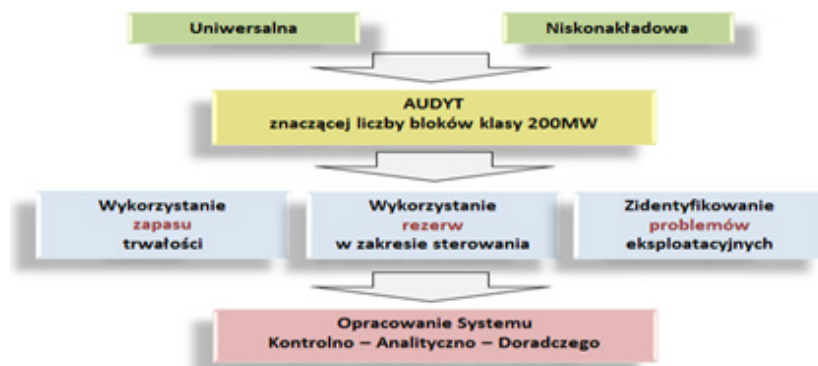
- bezpieczny zapas trwałości może być rozpatrywany także dla elementu uszkodzonego, posiadającego pęknięcie o charakterze zmęczeniowym, jeśli zgodnie z metodyką i kryteriami mechaniki pęknięcia rozmiary pęknięć są akceptowalne, a w materiale nie zidentyfikowano fizycznych uszkodzeń pęczaniowych oraz niedopuszczalnych deformacji,
- warunki pracy i rozmiary pęknięcia będą odpowiednio obliczeniowo monitorowane,
- okresowo będą wykonywane badania NDT w zakresie umożliwiającym weryfikację rozmiarów pęknięć, jeśli zaistnieje taka potrzeba.

W sposób jw. monitorowany jest stan techniczny wirnika generatora oraz ciśnieniowych elementów kotłów (komór przegrzewaczy pary i schładzaczy).

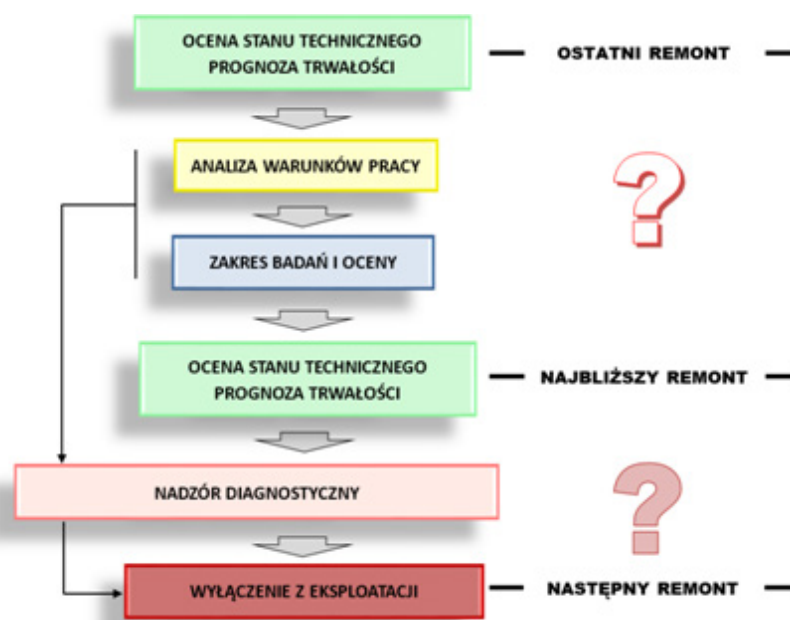
Warunkowa praca uszkodzonych elementów znana jest tak długo, jak istnieje energetyka. Metoda Pro Novum, poprzez analityczne podejście do problemu, istotnie poprawia bezpieczeństwo takiego działania oraz redukuje koszty utrzymania, zwłaszcza wtedy, gdy uszkodzony element nie może być naprawiony ze względów technicznych i/lub ekonomicznych.

■ Diagnostyka jutro

Diagnostyka, podobnie jak dotąd, ma do odegrania znaczącą rolę także w przyszłości. W najbliższym czasie może przyczynić się do niskonakładowej poprawy elastyczności długo eksplo-



Rys. 5. Ogólny schemat Metody Pro Novum pozwalającej na poprawę elastyczności bloków klasy 200 MW z wykorzystaniem wiedzy z diagnostyki, modelowania i symulacji oraz testów

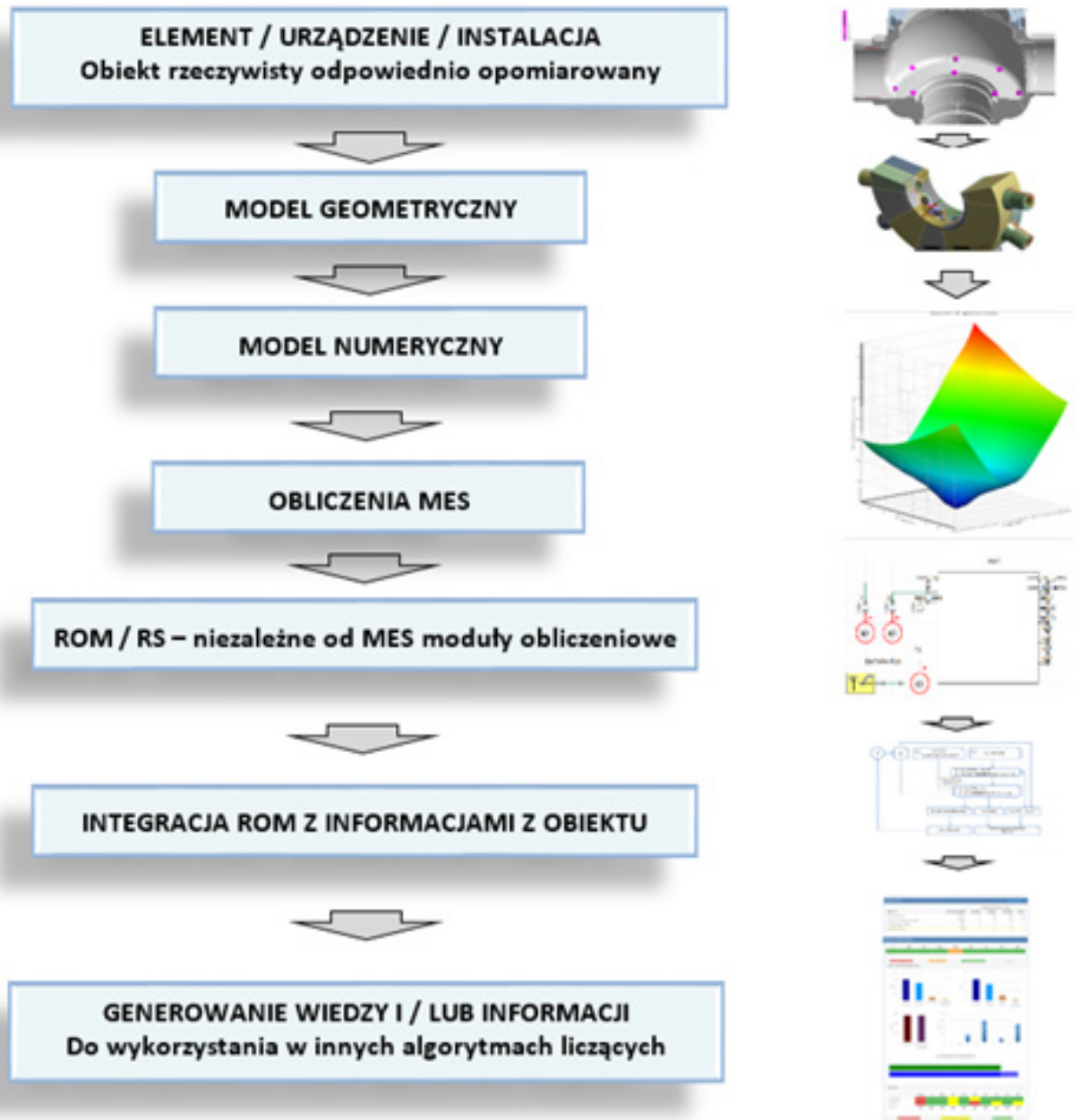


Rys. 6. Diagnostyka wspierająca bezpieczeństwo i dyspozycyjność w końcowym okresie eksploatacji bloków energetycznych, urządzeń i instalacji, w warunkach ograniczonej możliwości planowania remontów o charakterze prewencyjnym

atowanych bloków węglowych, których obecność na rynkach energii i mocy zależna będzie w znaczącym stopniu od tego, czy sprostają wymaganiom Operatora w zakresie pracy regulacyjnej przy akceptowalnych standardach bezpieczeństwa, dyspozycyjności i kosztach utrzymania. Wyniki dotychczasowych prac wskazują, że jest to technicznie możliwe i ekonomicznie atrakcyjne - rys. 5 [30, 38].

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. Diagnostyka zdalna z zaim-



Rys. 7. Diagnostyka dostosowana do nowych i krótko eksploatowanych bloków, urządzeń i instalacji energetycznych

plementowanymi algorytmami cyfrowej analizy naprężeń i mechaniki pęknięcia wykonywana w trybie on-line może zapewnić tego rodzaju utrzymanie stanu technicznego urządzeń (rys. 6). Ta klasa bloków/urządzeń/instalacji będzie dysponowała względnie niskimi budżetami utrzymaniowymi (również na diagnostykę). Im mniejsze środki na utrzymanie tym lepiej powinny zostać wydane. Nie-

pełność terminu i zakresu bieżącego i przyszłego remontu nie powinna być wspierana wyłącznie intuicją i doświadczeniem, zwłaszcza gdy to ostatnie może być coraz bardziej ograniczone.

Budowie nowych źródeł wytwarzania energii, w znaczącej liczbie, powinien towarzyszyć swego rodzaju offset technologiczny zwłaszcza w zakresie utrzymania technicznego, w tym dia-

gnostyki. To jest możliwe, jeśli zakupy dotyczyć będą dostawy większej liczby bloków, a nie jak dotąd pojedynczych jednostek. Utrzymanie stanu technicznego to znacząca część kosztów eksploatacji urządzenia. Dla jego dostawcy to ważna część biznesu, zwłaszcza gdy wspiera eksploatację wieloletnim serwisem LTSA. Zapewnieniu swoistej równowagi interesów użytkownik sam

lub z pomocą niezależnych od dostawcy firm powinien zapewnić sobie serwis diagnostyczny uzupełniany przez analizę awaryjności oraz wybrane informacje remontowe. W takich przypadkach należy rekomendować system wykorzystujący bliźniaki cyfrowe nie tylko wybranych elementów, ale także części lub całych instalacji i urządzeń. Taki system może generować zaawansowaną wiedzę, dającą się wykorzystać nie tylko do nadzoru nad bezpieczeństwem i dyspozycyjnością, ale także dla oceny korzyści z modernizacji, czy zmiany warunków eksploatacji i strategii utrzymania technicznego.

Na rys. 7 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 [35, 38] pozwalają mieć uzasadnioną nadzieję, że w perspektywie 2-3 najbliższych lat będziemy mogli zaoferować dojrzałe rozwiązania o charakterze aplikacyjnym na nowych i niedługo eksploatowanych konwencjonalnych blokach energetycznych.

■ Podsumowanie - próba prognozy

Transformacja energetyki to naturalny proces, dokonuje się od kiedy ona istnieje. Przyspieszyła zwłaszcza w Europie z wielu powodów, które trzeba uznać za obiektywnie racjonalne. Nie dla wszystkich jednak łatwe do zrealizowania ze względów ekonomicznych, technologicznych i społecznych. Także w Polsce od wielu lat próbujemy sprostać presji jaka temu towarzyszy. Jej kierunek jest powszechnie znany. Trwa dyskusja nt. sposobów i tempa osiągnięcia celu. Wiadomo, że koszty finansowe i społeczne będą bardzo duże.

Czy stać nas będzie na racjonalne decyzje i konsekwentne działanie w okresie najbliższych 20-30 lat? Czy formułując strategię na ten okres uda nam się zaplanować racjonalne działania na najbliższą dekadę i rozpocząć ich realizację w ciągu najbliższych 2-3 lat?

Energetyka polska znalazła się w wyjątkowo niekomfortowym położeniu. Z pośród kolejnych „strategii” w największym stopniu realizowana jest strategia UE. Z nią z kolei związane są dwa problemy: nie wiadomo czy uda się ją zrealizować oraz nie sposób ocenić jej skutków ekonomicznych i społecznych dla Polski. Obecnie można nawet oczekiwać, że odejście od generacji z węgla może nastąpić szybciej na skutek naszych problemów wewnętrznych niż polityki UE.

Postępująca utrata kompetencji w obszarze utrzymania stanu technicznego urządzeń może okazać się większą barierą niż utrata ich trwałości. Problemy z dysponowaniem własnym paliwem mogą przyspieszyć generację ze źródeł „mniej emisyjnych” oraz zwiększyć import. Obydwa te procesy są ze sobą powiązane.

Należy pamiętać także, że Zielony Ład to nie jedyny megatrend w energetyce światowej. Jest jeszcze Gospodarczy Pragmatyzm, preferowany przez największe państwa azjatyckie. Stanowi on wyzwanie nie tylko ekonomiczne. Uwzględniając wielkość emisji największych azjatyckich energetyk w okresie co najmniej do 2040 r. można przyjąć, że możliwe łagodzenie zmian klimatycznych, główny motyw transformacji energetyki europejskiej, może utracić swój sens.

Wiedza z diagnostyki, zwłaszcza tej w zaawansowanej postaci może okazać się ważna dla tempa i jakości transformacji. Majątek produkcyjny nie powinien być po prostu likwidowany, przynajmniej do momentu, gdy nowy nie tylko powstanie, ale także udowodni swoją przydatność.

Zapewnienie bezpieczeństwa eksploatacji to najważniejszy, ale nie jedy-

ny cel diagnostyki. Od diagnostyki można oczekiwać dużo więcej. Od dawna wspiera zarówno przedłużanie eksploatacji, jak również dostarcza wiedzy dla jej strategii, zwłaszcza dla coraz bardziej regulacyjnie pracujących bloków węglowych. To bardzo ważny atut współczesnej diagnostyki, wymaga jednak jej wykonywania na odpowiednio wysokim poziomie.

Diagnostyka przeszła podobną ewolucję jak polska energetyka. Czeka ją także podobna transformacja jak całego sektora elektroenergetycznego. Za sprawą rozwoju OZE i większego importu energii, będzie jej mniej. Za sprawą innego niż dotąd trybu pracy elektrowni będzie wymagała adekwatnych sposobów pozyskiwania i przetwarzania informacji. Będzie w znacznym stopniu zdalna. Będzie wymagała prostszych badań i pomiarów i bardziej zaawansowanych niż dotąd metod zdobywania wiedzy i doświadczenia. Te z kolei będą w mniejszym niż dotąd stopniu w domenie użytkownika, w większym natomiast po stronie dostawcy urządzeń i wyspecjalizowanych firm eksperckich. Na nowych blokach nadkrytycznych oraz gazowo-parowych będzie wykonywana wg innych niż dotąd standardów, będzie zmuszona konkurować z serwisami diagnostycznymi dostawców urządzeń i technologii oraz zdobywać nową wiedzę, którą nikt nie będzie skłonny się dzielić.

Ważniejsze znaczenie niż nowe techniki badania i pomiarów będzie miało nowe podejście do przetwarzania informacji - nie tylko wyników badań - w wiedzę. Zaawansowane technologie analityczne i metody AI sprawią, że wiedzę będą zdobywać w większym stopniu algorytmy niż ludzie. W większym niż dotąd stopniu będzie źródłem strategii eksploatacji i utrzymania technicznego. Miejmy nadzieję, że nie tylko dla dostawców nowych technologii i urządzeń.

Na taką przyszłość diagnostyki przygotowujemy się od wielu lat. □

Literatura

- [1] Wytyczne kontroli rurociągów i rur przegrzewaczowych pracujących w wysokich temperaturach. Departament Techniki Min. Energetyki. 1957.
- [2] Krzywda St., Dobosiewicz J. - Instrukcja pomiaru pełzania rurociągów parowych. ZEOPd 1960.
- [3] Instrukcja oceny stanu oraz kwalifikowania do wymiany komór, kolektorów, rurociągów kotłowych i głównych rurociągów parowych pracujących w warunkach pełzania, MGIE, Warszawa 1986.
- [4] System Diagnostyki Materiałowej Podstawowych Elementów Urządzeń Energetycznych, Instytut Energetyki, Warszawa 1996.
- [5] J. Dobosiewicz, Badania diagnostyczne urządzeń ciepłno-mechanicznych w energetyce. Część I. Zagadnienia ogólne. Turbiny i generatory, Biuro Gamma, Warszawa 1998.
- [6] Dobosiewicz J.: Badania diagnostyczne urządzeń ciepłno-mechanicznych w energetyce. Część II. Kotle i rurociągi, Biuro Gamma, Warszawa 1999.
- [7] Dobosiewicz J.: Kontrola rurociągów wysokiego ciśnienia. Energetyka 10/1959.
- [8] Dobosiewicz J. Prohaska N: Niezawodność połączeń spawanych rurociągów parowych. Energetyka 1976 nr 3.
- [9] Dobosiewicz J.: Przydatność elementów kotłów po przekroczeniu obliczeniowego czasu pracy. Energetyka 1983 nr 8.
- [10] Dobosiewicz J., Wojczyk K.: Dopuszczalne ugięcia komór w energetycznych kotłach parowych. Energetyka 1987 nr 7.
- [11] Dobosiewicz J., Zbrońska-Szczęchura E.: Uszkodzenia komór przegrzewaczy kotłów parowych. Energetyka 1993, nr 3.
- [12] Brunne W. Wytyczne nadzoru stanu technicznego głównych rurociągów elektrowni, „Biuletyn Pro Novum” nr 2/1996.
- [13] Brunne W., Zamocowania rurociągów wysokoprężnych i wysokotemperaturowych po długotrwałej eksploatacji, „Dozór Techniczny” 2007.
- [14] Grzesiczek E., Trzeczcyński J., Rajca S.: Możliwości wydłużania czasu eksploatacji elementów części przepływowych turbin parowych. Energetyka, Grudzień 12/2003 (594).
- [15] Trzeczcyński J.: Eksploatacja urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni po przekroczeniu trwałości projektowej - Rekomendacje i doświadczenia Pro Novum. „Nowa Energia” 1/2014.
- [16] Trzeczcyński J.: System diagnostyczny zapewniający bezpieczną pracę bloków 200 MW po przekroczeniu 300 tys. godz. eksploatacji [w:] „Dozór Techniczny” 2/2012.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] PN/045.3360/2016: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100-360 MW, Pro Novum, Katowice 2016.
- [20] Sprawozdanie Pro Novum 049.3096/2014: Badania wybranych elementów krytycznych bloków 200 MW po długotrwałej eksploatacji dla określenia możliwości przedłużania ich eksploatacji do 350 000 godzin. Katowice 2014. Niepublikowane.
- [21] Trzeczcyński J.: Remote Diagnostic Systems for Assessment of Thermo-Mechanical Equipment of Power Plants. Proceedings of 2nd ECCO Creep Conference, 21-23 April 2009, Zurich.
- [22] J. Trzeczcyński, W. Murzynowski, S. Białek, Monitorowanie stanu technicznego urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków energetycznych przy wykorzystaniu platformy informatycznej LM System PRO+® „Dozór Techniczny” 5/2011.
- [23] Trzeczcyński J.: Concept and Present State of Implementation of LM System PRO® - the System Supporting Supporting Maintenance of Thermo-Mechanical Power Equipment, 3rd ETC Generation and Technology Workshop „Life Time Management of Pressurized Equipment”, Dublin 2007.
- [24] Trzeczcyński J., Stanek R., Szyja R., Staszalek 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.
- [25] Trzeczcyński J., Stanek R., Rajca S., Staszalek K., Sobczyszyn A.: Diagnostics of Long Time Operated Power Units Planned for Flexible Operation. VGB Workshop „Materials and Quality Assurance”. 18-19 May 2017 in Maria Enzersdorf/Austria.
- [26] Trzeczcyński J., Murzynowski W., Stanek R., Merdalski W.: Zdalna diagnostyka - niewykorzystana szansa na niskonakładowe zapewnienie bezpieczeństwa. „Energetyka” 2020, nr.6. Biuletyn Pro Novum 1/2020.
- [27] BS 7910 - 2013+A1:2015: Guide to methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures.
- [28] Stanek R., Trzeczcyński J., Dąbrowski M., Diagnostyka jednego typu urządzeń w skali KSE z wykorzystaniem portalu internetowego integrującego informacje eksploatacyjne. Biuletyn Pro Novum 2/2017 [w:] „Energetyka” 12/2017.
- [29] Flexibility Toolbox. Compilation of Measures for the Flexible Operation of Coal-Fired Power Plants. VGB PowerTech. VGB-B-033.
- [30] Program Bloki 200+. Innowacyjna technologia Pro Novum zmiany reżimu pracy bloków energetycznych klasy 200 MWe. 2019. W trakcie realizacji. Materiały niepublikowane.
- [31] 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”, 19-20 February 2019, Potsdam/ Germany.
- [32] Trzeczcyński J., Trzeczcyńska E.: Diagnostic as a source of knowledge and strategy for units of coal flexible fired power plants. VGB PowerTech 9/2020.
- [33] Trzeczcyński J.: Bloki klasy 200 MW dziś i jutro. Biuletyn Pro Novum 1/2020. Energetyka czerwiec 2020.
- [34] Trzeczcyński J.: Diagnostyka źródłem wiedzy i strategii eksploatacji. Energetyka, grudzień 2020. Biuletyn Pro Novum 2/2020.
- [35] OPTI_AI_UNIT - Komputerowy system nadzoru nad bezpieczeństwem eksploatacji instalacji rurociągowych pracujących w warunkach pełzania. Pro Novum. Katowice 2020/2021. Materiały niepublikowane.
- [36] XXII Sympozjum Informatyczno-Szkoleniowe - Diagnostyka i Remonty Urządzeń Energetycznych - Diagnostyka źródłem wiedzy dla strategii eksploatacji. Katowice, Courtyard by Marriott Katowice City Center, 8-9 października 2020 r.
- [37] Murzynowski W.: Wykorzystanie zdalnej diagnostyki i mechaniki pękania do zapewnienia bezpieczeństwa i dyspozycyjności w końcowej fazie eksploatacji elementów i urządzeń energetycznych. VII Konferencja Techniczna „Utrzymanie Ruchu - diagnostyka, remonty, modernizacje” - 17-18.03.2021.
- [38] Trzeczcyński J.: Diagnostyka dziś i jutro. VII Konferencja Techniczna „Utrzymanie Ruchu - diagnostyka, remonty, modernizacje” 17-18.03.2021.
- [39] Trzeczcyński J., Trzeczcyńska E.: Conditional Operation of Boiler Components Working Under Creep Conditions Until Replacement. HIDA-8' 3 days 20-22 April 2021 On-line International Conference.