

Biuletyn

nr 2/2018

Zespół redakcyjny: mgr inż. Jerzy Dobosiewicz,
dr inż. Jerzy Trzecznyński



POLSKA
NAGRODA
JAKOŚCI
XXII edycja 2016
LAUREAT
w kategorii:
średnia organizacja
naukowo-techniczna

nr LB-003/09

pronovum[®]
RESEARCH & TECHNOLOGICAL SERVICES
Centrum Badawczo – Rozwojowe

Szanowni Państwo,

Dokonując, nieco przewrotnie, przeglądu wydarzeń, które miały miejsce w ostatnim okresie w Stolicy Śląska, można stwierdzić, że dwa z nich: Konferencja COP24 i XX Sympozjum Pro Novum, miały dla wielu z nas szczególne znaczenie. Wśród wielu sprzecznych, a nawet wykluczających się opinii na temat zmian klimatycznych najbardziej zapamiętaliśmy opinię, że winę za nadmierne emisje CO₂ ponosi nasza, zachodnia cywilizacja, coraz bardziej atrakcyjna dla reszty świata. Współczesny homo sapiens potrzebuje 60-razy więcej energii niż jego przodek. Tymczasem nasza energochłonność i liczba takich samych istot jak my, ciągle rośnie. Czy gotowi jesteśmy zaproponować Światu inny styl życia i nowe pomysły na naszą przyszłość? Wszystkie inne podejmowane działania to zaledwie ćwierćrodki dla zahamowania degradacji przyrody i klimatu. Po dwóch latach spadków, globalny popyt na węgiel znów rośnie. W 2017 r. wzrósł o 1%, do 7,585 mld ton, w bieżącym roku ponownie się zwiększy. W Polsce wdychamy przede wszystkim dym z pieców domowych spalających „paliwo”, którego nie można nazwać węglem oraz spaliny z samochodów, których liczba rośnie w ponad milionowym tempie na rok. Większość z nich to samochody wycofane z eksploatacji przez bardziej proekologicznych niż my, naszych sąsiadów.

Skutki proekologicznej transformacji energetyki europejskiej widoczne są od wielu lat w energetyce polskiej. Łatwo zauważyć, że to wielkie wyzwanie nawet dla ekonomicznie i technologicznie najsilniejszych oraz dobrze zorganizowanych. Jeśli transformacja odniesie sukces, w pierwszym okresie mogą „zyskać” także zwykli konsumenci. W dłuższej perspektywie, realne korzyści odniosą dostawcy technologii, energii oraz zarządzający systemem elektroenergetycznym.

Dwudzieste, jubileuszowe Sympozjum Pro Novum pokazało, że my oraz nasi zachodni sąsiedzi, sądząc na podstawie sesji przygotowanej przez VGB PowerTech, jesteśmy coraz lepiej przygotowani, aby elektrownie opalane węglem – w perspektywie, jaka wynika z realistycznie sformułowanych, narodowych potrzeb – mogły sprostać wyzwaniom, jakie przed systemami elektroenergetycznymi stawia przyrost odnawialnej, niestabilnej energii. Sporo czasu poświęciliśmy blokom klasy 200 MW, które generują ok. połowę potrzebnej nam energii oraz które przez swoją liczbę, konstrukcję oraz dobry stan techniczny są ważnym elementem naszego bezpieczeństwa energetycznego. Wprawdzie najstarsze z nich prawie 20 lat temu przekroczyły 200 tys. godzin pracy, ale ich stan techniczny jest nadal na tyle dobry, aby bezpiecznie mogły przepracować... tak długo, jak będą potrzebne w KSE oraz tak długo, jak zadbamy o kompetencje techniczne oraz... jak długo obronimy je przed kolejnymi regulacjami i pomysłami, które generują nieuzasadnione obawy oraz niepotrzebne koszty.

Korzystajmy z istniejącej, rozległej wiedzy oraz bogatych inżynierskich doświadczeń tych, którzy je nadal posiadają. Nie wymyślajmy ponownie koła, nie usiłujmy zwłaszcza robić jego kwadratury. Nie lękajmy się.

Zachęcamy do lektury artykułów napisanych na podstawie wygłoszonych referatów oraz relacji z XX Sympozjum Pro Novum.

Jerzy Trzecznyński & Jerzy Dobosiewicz

Diagnostyka zapewniająca bezpieczeństwo i wysoką dyspozycyjność bloków klasy 200 MW

Diagnostics base to approach safe operation and high availability of power units 200 MW class

Rozwojowi według kryterium wzrostu PKB towarzyszy ustawiczny wzrost zapotrzebowania na energię. Poprawa energetycznej efektywności jedynie zmniejsza jego skalę. W zaspokajaniu energetycznych potrzeb największy udział ma nadal spalanie paliw kopalnych, w tym zwłaszcza węgla. Wprawdzie, jak często słyszymy i czytamy, energia OZE jest coraz tańsza, to jednak z jakiś powodów najwięksi światowi jej konsumenci i producenci wybierają jej „droższą” wersję. Nic nie wskazuje na to, żeby w dającej się przewidzieć przyszłości sytuacja ta mogła ulec radykalnej zmianie. Dotyczy to także polskiego systemu elektroenergetycznego.

System ten powinien, w pierwszej kolejności, sprostać wyzwaniom regulacyjnym zarówno w sektorze wytwarzania jak i przesyłu. Obydwie części infrastruktury elektroenergetycznej pochodzą z odległej przeszłości. Nowe jednostki wytwórcze, zbudowane dotąd i będące w trakcie budowy, o bardzo dużej mocy oraz indywidualnych rozwiązaniach technicznych mogą w większym stopniu wymagać regulacyjnego wsparcia i zabezpieczenia niż same, coraz bardziej wymagającą regulację, realizować. Efektywność ekonomiczna tak eksploatowanych dużych źródeł to odrębny problem.

Ponieważ kolejne, nowe bloki opalane węglem (oprócz obecnie budowanych) mogą już nie powstać ta część infrastruktury polskiej energetyki powinna być produkcyjnie sprawna przez ok. 20 lat, przynajmniej do czasu rozpoczęcia wdrażania długookresowej polityki, może strategii dla energetyki. Racjonalną alternatywę dla bloków klasy 200 MW aktualnie trudno sobie wyobrazić.

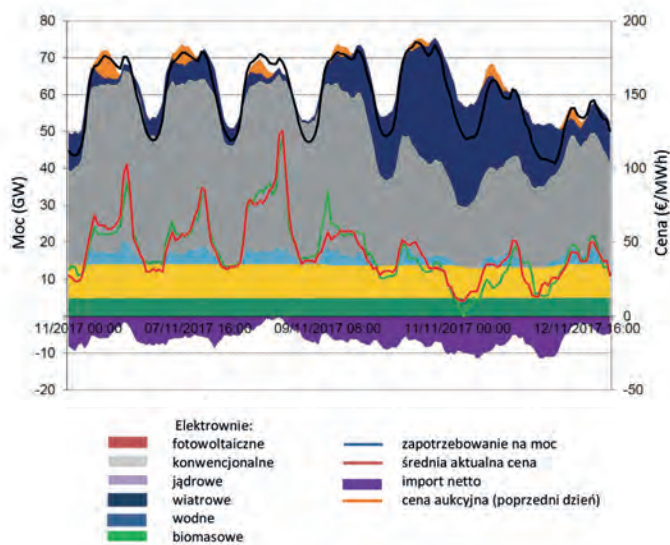
Bloki klasy 200 MW nadal potrzebne

Z powodów opisanych powyżej – zwłaszcza uwzględniając ich udział w mocy jednostek o statusie JWCD, który wynosi ok. 40%, ich liczbę (44 jednostki), a także obecny, dobry stan techniczny i posiadanie know-how w zakresie przedłużania ich eksploatacji – bloki klasy 200 MW nie mają realistycznej alternatywy. Problemem nie jest to czy je nadal eksploatować, ale jak to robić, aby były bezpieczne i ekonomicznie akceptowalne.

Nasze przewidywania o długookresowej przydatności bloków klasy 200 MW sformułowaliśmy jeszcze przed ostatnią fazą ich modernizacji, tj. w 2010 roku [1,2]. Uznaliśmy, że najważniejsze

wyzwania dotyczą dbałości o ich stan techniczny, kompetencji specjalistów utrzymania majątku oraz wymiany inżynierskich doświadczeń. W tym celu, z pomocą specjalistów wszystkich użytkowników bloków 200 MW, opracowaliśmy w 2013 roku wytyczne przedłużania eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych [3, 4] a w 2016 r. ich wersję dla bloków 100 MW – 360 MW z uwzględnieniem pracy regulacyjnej [5] i zagadnień chemii energetycznej.

Wśród wymagań stawianych blokom energetycznym: prawnych, ekonomicznych i technicznych, te ostatnie są najważniejsze. Stan techniczny urządzeń energetycznych decyduje bowiem o ich bezpieczeństwie i dyspozycyjności. Ma to znaczenie zarówno dla bloków wiążących swoją przyszłość z Rynkiem Mocy jak i dla pozostałych, także tych eksploatowanych w derogacjach, w końcowej fazie swojego rezerwu. W tym celu opracowaliśmy i wdrożyliśmy system diagnostyczny, który integruje prognozowanie trwałości i predykcję awarii, wykorzystując w odpowiedni sposób informacje o warunkach eksploatacji ponad 30-tu bloków klasy 200 MW.



Rys. 1. Warunki chwilowego zaspokajania potrzeb na energię elektryczną na przykładzie sytuacji w niemieckim systemie elektroenergetycznym, w 45. tygodniu 2017 roku.

Źródło: Modern Power System, styczeń 2018

Ważny dla przyszłości bloków 200 MW będzie sposób ich wykorzystania do poprawy elastyczności i bezpieczeństwa KSE, w tym przystosowanie ich do jeszcze bardziej regulacyjnego trybu eksploatacji. Tego wyzwania nie da się uniknąć w przyszłości. Rysunek 1 ilustruje skalę wyzwań w zakresie elastycznej reakcji dla Operatora i dostawców energii.

Jak długo mogą bezpiecznie pracować bloki klasy 200 MW?

Konstrukcja, doświadczenia eksploatacyjne i aktualny stan techniczny bloków klasy 200 MW sprawiają, że mogą one pracować tak długo, jak długo będzie to ekonomicznie opłacalne i prawnie dopuszczalne. Z technicznego punktu widzenia sens ich dalszej eksploatacji limituje trwałość elementów krytycznych głównych urządzeń ciepłno-mechanicznych. Wyniki badań elementów wycofanych z eksploatacji po przepracowaniu ok. 250 000 godz. wskazują [6], że mogą przepracować co najmniej 350 000 godz., co oznacza, że najstarsze z nich mają jeszcze perspektywę ok. 15 lat pracy (zakładając ok. 4000 godz./rok), przy zapewnieniu odpowiednich kompetencji technicznych oraz jakości maintenance'u [7-10] dostosowanego do ich bieżącego stanu technicznego oraz warunków eksploatacji.

Podstawowe cechy i niektóre konsekwencje elastycznej pracy bloków energetycznych

Według przedstawionych dotąd oczekiwań Operatora elastyczna praca bloku oznacza spełnienie poniżej wymienionych wymagań:

- krótszy niż dotąd czas uruchamiania, także ze stanu zimnego (do pięciu godzin),
 - zwiększona do 4% mocy znamionowej/min prędkość naboru mocy,
 - obniżone minimum techniczne do ok. 40% mocy znamionowej,
 - zwiększona do ok. 200 liczba uruchomień/rok.
- Zakłada się, że bloki odpowiednio przystosowane do pracy jw.:
- pracować będą ok. 1500 - 4000 godz./rok,
 - pozostaną w KSE do ok. 2035 roku.

Jednocześnie powinny zostać dostosowane do wymagań BAT Conclusions oraz posiadać odpowiednio wysoką dyspozycyjność zapewniającą sukces na Rynku Mocy.

Bardziej elastyczna praca bloków ma swoje konsekwencje [7, 8], z których większości nie da się uniknąć, można starać się je jednak istotnie ograniczyć. Praca elastyczna ma swoją cenę, zależną od głębokości regulacji oraz trybu pracy bloku (liczby i czasu postojów). Najważniejsze składniki tych kosztów to:

- zwiększona utrata trwałości (zwłaszcza jako rezultat większej liczby uruchomień oraz pracy przy obniżonym minimum technicznym),
- krótszy czas pracy (większa liczba postojów) oraz niższa niż znamionowa moc średnia bloku,
- generacja przy niższej sprawności,
- wzrost kosztów uruchomień,
- możliwość niedotrzymania limitów emisji,
- pogorszenie jakości popiołu, żużla i gipsu,
- utrzymywanie rezerwy wirującej na większym poziomie.

Zwiększona utrata trwałości będzie implikować kolejne zagrożenia i koszty:

- a) obniżenie dyspozycyjności,
- b) wzrost liczby i zakresów oraz kosztów remontów,
- c) potrzebę dalszych modernizacji.

W obszarze chemii energetycznej można oczekiwać wymienionych poniżej problemów [8].

- Brak możliwości utrzymania stabilnych parametrów fizykochemicznych w układzie kondensacji i wody zasilającej, zwłaszcza w układach, gdzie całość korekcji prowadzona jest przez te dwa układy, a układy dozujące nie są zaprojektowane do nadążania za zmieniającym się strumieniem czynnika.
- Przyrost ilości osadów na powierzchniach ogrzewalnych może być przyczyną zwiększania się liczby uszkodzeń korozyjnych.
- Zmiany prędkości przepływu (turbulencja) w układzie wody zasilającej przy dodatkowych zmianach w obszarze wyżej wymienionych parametrów mogą być z kolei przyczyną zintensyfikowania zjawisk związanych z FAC (Flow Accelerated Corrosion).
- Układy wodno-parowe, w których stosowany jest stały alkalizator wody kotłowej będą bardziej elastyczne, jednakże pojawi się problem unosu mechanicznego fosforanów (i innych zanieczyszczeń) do pary w momencie przyrostu mocy na turbinie i spadku ciśnienia w kotle, w czasie którego woda w walczaku szybko odparowuje przedostając się do traktu parowego i dalej do turbiny. Efekt zjawiska podobny jak dla zanieczyszczeń z układu zasilającego.
- Regulacyjność to również odstawienia urządzeń do rezerwy i cały szereg zjawisk związanych z korozją postojową (korozja, niedotrzymywanie parametrów przy ponownym uruchomieniu, transport zanieczyszczeń w trakcie uruchamiania).

Stan techniczny urządzeń zależy od historii i warunków ich eksploatacji oraz od zakresów i poziomu technicznego planowanych remontów, które zależą z kolei od jakości diagnostyki. Identyfikowanie uszkodzeń związanych z pracą regulacyjną wymaga specjalnie dostosowanej do tego diagnostyki oraz personelu o odpowiednich kompetencjach.

Dotąd zidentyfikowane uszkodzenia, związane w znacznym stopniu z pracą regulacyjną, są konsekwencją:

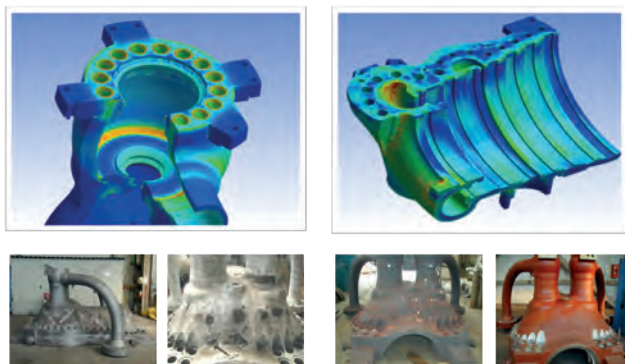
- zrywania cyrkulacji w kotle – praca rur powierzchni ogrzewalnych w warunkach sprzyjających ich przegrzaniu,
- niedogrzenia wody zasilającej w momencie zwiększania mocy bloku – wzrost różnicy temperatur między wodą kotłową w walczaku/temperaturą ścianki walczaka a wody zasilającej – pęknięcia w strefie wodnej walczaka,
- wzrostu amplitudy i częstotliwości różnic temperatur pomiędzy czynnikiem a metalem jako rezultatu szybszych uruchomień ze stanu gorącego bloku,
- szlakowania rur ekranowych jako rezultatu pracy kotła z licznymi uruchomieniami i obniżonym minimum technicznym,
- intensyfikacji erozji łopatek ostatnich stopni NP jako rezultatu pracy turbiny z obniżoną mocą,
- korozji postojowej elementów układu przepływowego turbiny jako skutku niedostatecznego zabezpieczenia antykorozyjnego.

Elektrownie/grupy energetyczne oraz niektóre firmy dysponujące odpowiednim potencjałem technicznym, zwłaszcza w zakresie modernizacji i utrzymania stanu technicznego urządzeń energetycznych rozpoczęły parę lat temu prace nad niskokosztowymi sposobami zwiększenia elastyczności bloków klasy 200 MW i 360 MW. Wykonano także sporo testów przemysłowych, które wskazują, że takie podejście jest realistyczne.

Przedłużanie eksploatacji bloków klasy 200 MW ponad trwałość projektową

Z technicznego punktu widzenia bezpieczne przedłużanie czasu eksploatacji urządzeń pracujących ponad trwałość projektową jest możliwe, jeśli uwzględnia się w odpowiedni sposób następujące zagadnienia:

- określenie zapasu indywidualnej trwałości elementu w perspektywie oczekiwanej eksploatacji bloku (na podstawie badań NDT i DT przyjęto ok. 350 000 godzin) [3, 4],
- bieżące weryfikowanie stopnia redukcji zapasu trwałości, uwzględniając zwłaszcza analizę awaryjności oraz rzeczywiste warunki eksploatacji,
- technologie przedłużające trwałość poprzez:
 - regenerację, tj. naprawę uszkodzeń połączoną z przywróceniem pierwotnej geometrii oraz poprawę własności w obszarach narażonych na lokalne uszkodzenia/erozję,
 - rewitalizację – proces polegający na przywróceniu początkowych własności materiału na drodze obróbki cieplnej usuwającej skutki degradacji mikrostruktury (rys. 2) [11],
- działania mające na celu usunięcie naprężeń dodatkowych zwłaszcza na głównych rurociągach parowych poprzez korektę ich trasy oraz modernizację/regulację zamocowań [9].



Rys. 2. Rewitalizacja stalowych elementów turbin – dotychczasowe doświadczenia wskazują, że może ona wydłużyć trwałość co najmniej o 150 000 godzin

Źródło: opracowanie własne

Uwzględniając fakt, że problem ten dotyczy ponad 40-tu bloków klasy 200 MW oraz 16 bloków klasy 360 MW *Pro Novum*, przy współpracy ze specjalistami wszystkich elektrowni wyposażonych w obydwa rodzaje bloków, opracowało metodykę przedłużania czasu ich eksploatacji w postaci „Wytycznych..” [3-5] (rys. 5). Ważną częścią tego działania było wykonanie badań elementów krytycznych bloków 200 MW (wirników WP i SP,

kadłubów i komór zaworowych turbin oraz kolan rurociągów pary świeżej i wtórnie przegrzanej) wycofanych z eksploatacji po przekroczeniu 250 000 godzin pracy [6].

Założenia przyjęte w metodyce opisanej w „Wytycznych przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW” [3-5]

1. Po przekroczeniu trwałości projektowej element może pracować wykorzystując swoją trwałość indywidualną.

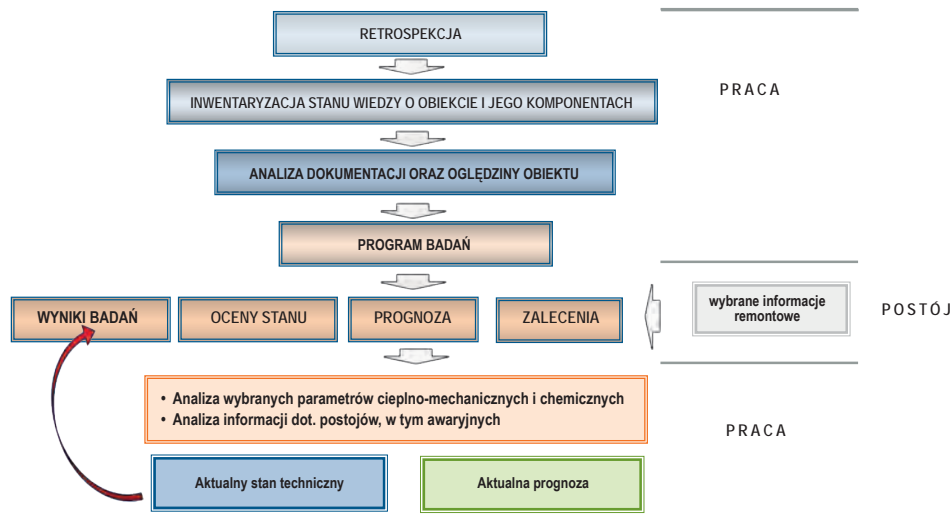
Uwagi:

- poprawnie wykonane naprawy/regeneracje, a zwłaszcza rewitalizacje mogą przywrócić „pierwotną trwałość projektową”, a działania usuwające naprężenia dodatkowe, np. na rurociągach, mogą zatrzymać lub znacznie ograniczyć postęp SWT;
 - SWT, którego obrazem są fizyczne uszkodzenia, np. pustki pęzaniowe, wyklucza eksploatację elementu w czasie do ok. 20 tys. godzin pracy, zwłaszcza dlatego, że materiału w tym stanie degradacji struktury i własności nie da się ani rewitalizować, ani naprawić przez spawanie.
2. Zapas trwałości indywidualnej określa się uwzględniając indywidualne cechy elementu:
 - geometrię,
 - własności materiału,
 - warunki pracy.
 3. Zapas trwałości konfrontuje się z oczekiwanym czasem i warunkami pracy.
 4. Bieżący ubytek trwałości kontrolowany jest poprzez:
 - okresowe badania,
 - monitorowanie warunków pracy,
 - analizę awaryjności.

Zakres diagnostyki określa się indywidualnie na podstawie retrospekcji. Sama diagnostyka zaś to proces ściśle powiązany z eksploatacją urządzenia (rys. 3). Zakres naprawy, sposób wydłużenia żywotności (np. poprzez rewitalizację) określa się na podstawie oceny stanu technicznego. W okresie przedłużonej eksploatacji nad urządzeniem sprawuje się nadzór diagnostyczny, najlepiej w zdalny sposób, którego celem jest aktualizowanie diagnozy, weryfikowanie prognozy trwałości oraz formułowanie odpowiednich, adekwatnych do potrzeb, zaleceń profilaktycznych.

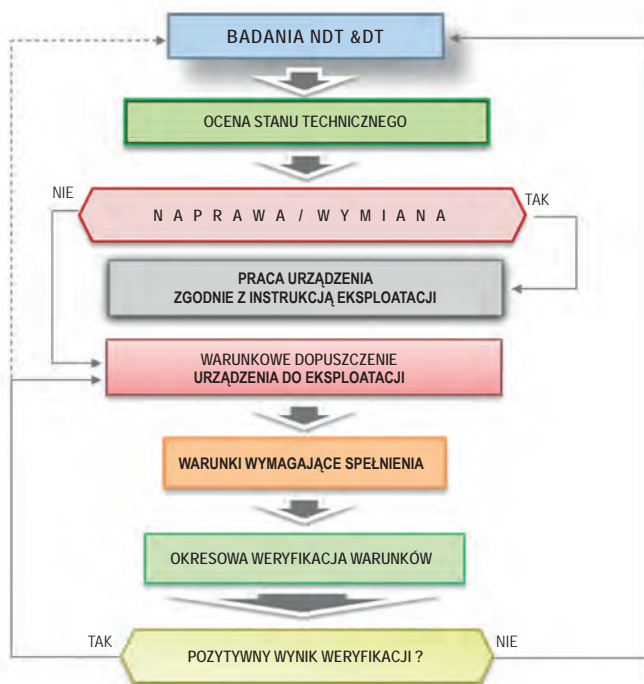
Istotnymi elementami metodyki *Pro Novum* są badania materiałowe, w tym:

- 1) badania specjalne niszczące – umożliwiające określenie wybranych własności wytrzymałościowych poprzez pobranie odpowiednich wycinków z miejsc najbardziej wyczerpanych; ubytek materiału po wycinku nie powinien wymagać naprawy poprzez spawanie;
- 2) badania specjalne nieniszczące – pozwalające na pośrednie określenie stanu (własności) metalu na podstawie badań metalograficznych z zastosowaniem odpowiedniej preparatyki;
- 3) badania reprezentatywnych elementów wycofanych z eksploatacji, których wyniki służą m.in. do:
 - weryfikacji diagnoz i prognoz,
 - korekcji prawdopodobieństwa uszkodzenia,
 - interpretacji wyników badań podstawowych i specjalnych, w tym na mikroprobkach.



Rys. 3. Metodyka *Pro Novum* – diagnostyka jako proces zintegrowany z eksploatacją urządzenia. Źródło: opracowanie własne

Ostatnie doświadczenia wskazują, że system diagnostyczny powinien być wyposażony w moduł zapewniający bezpieczną eksploatację w okresie pracy warunkowej (rys. 4), tj. wtedy gdy naprawa lub wymiana elementu(ów) jest niemożliwa lub niecelowa, np. w ostatniej fazie rezerwy bloku/urządzenia.



Rys. 4. Schemat procesu warunkowej eksploatacji elementu
Źródło: opracowanie własne

LM System PRO+® – system diagnostyczny do nadzoru bloków eksploatowanych w trybie regulacyjnym

Metodyka *Pro Novum* wymaga rejestracji i przetwarzania dużej ilości informacji, także udostępnianych w trybie on-line, dlatego zaimplementowano ją na platformie informatycznej

LM System PRO+®. LM System PRO+® jest rozwijany od 2004 roku [12-20], (rys. 6). Platforma informatyczna składa się z pakietów funkcjonalnych i modułów, zbudowana została w taki sposób, by wspierać zarządzanie wiedzą o stanie technicznych urządzeń przed i w czasie ich modernizacji, a także w okresie wydłużonej eksploatacji. Obecnie oferowana jest najbardziej zaawansowana wersja 3.0. Podjęto prace nad wersją 4.0, m.in. wyposażoną w algorytmy zaawansowanej analityki data mining oraz maszynowego uczenia.

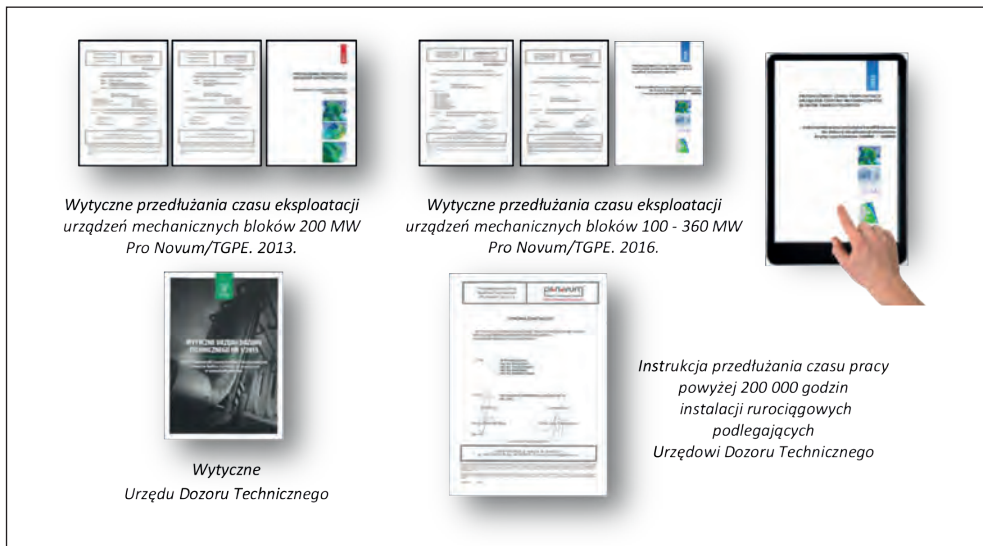
System w aktualnej wersji pozwala monitorować większość negatywnych zjawisk pracy regulacyjnej, jeśli chodzi o ich wpływ na trwałość elementów i węzłów konstrukcyjnych bloków, m.in. umożliwia automatyczną, bieżącą analizę:

- warunków pracy w zakresie parametrów:
 - cieplno-mechanicznych,
 - chemicznych,
- warunków uruchamiania i odstawiania bloków,
- powiązania wpływu czynników cieplno-mechanicznych oraz chemicznych,
- statystyk awaryjności.

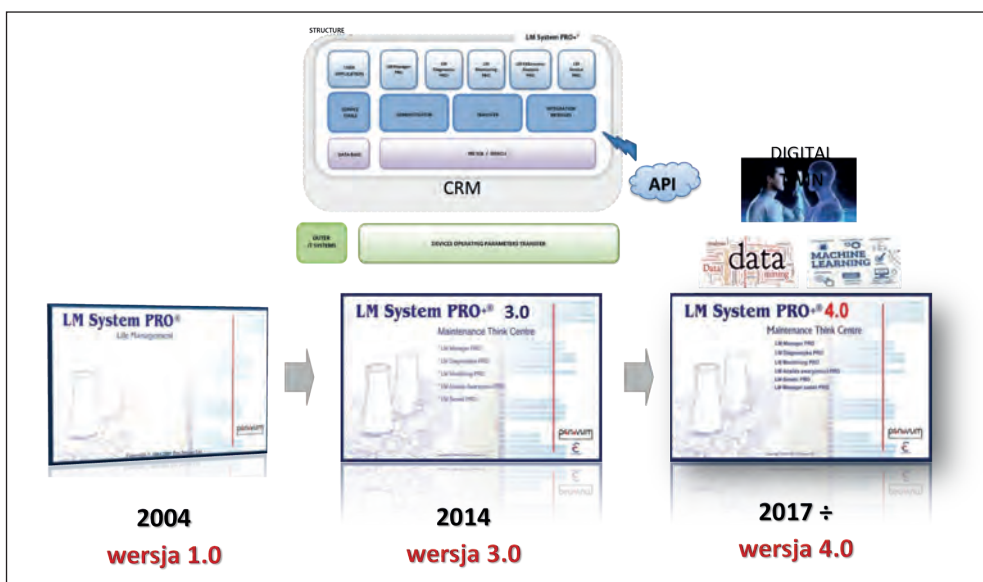
Program wyznacza wskaźnik charakteryzujący pracę regulacyjną, uwzględniając:

- liczbę, rodzaj i prędkość uruchomień,
- liczbę, rodzaj i czas trwania postojów,
- liczbę podjazdów i zjazdów mocy,
- prędkość naboru mocy,
- czas pracy bloku z mocą większą od znamionowej,
- czas pracy bloku z mocą mniejszą od minimum technicznego,
- zmiany wartości wybranych parametrów cieplno-mechanicznych i chemicznych synchronicznie do zmian mocy (rys. 8).

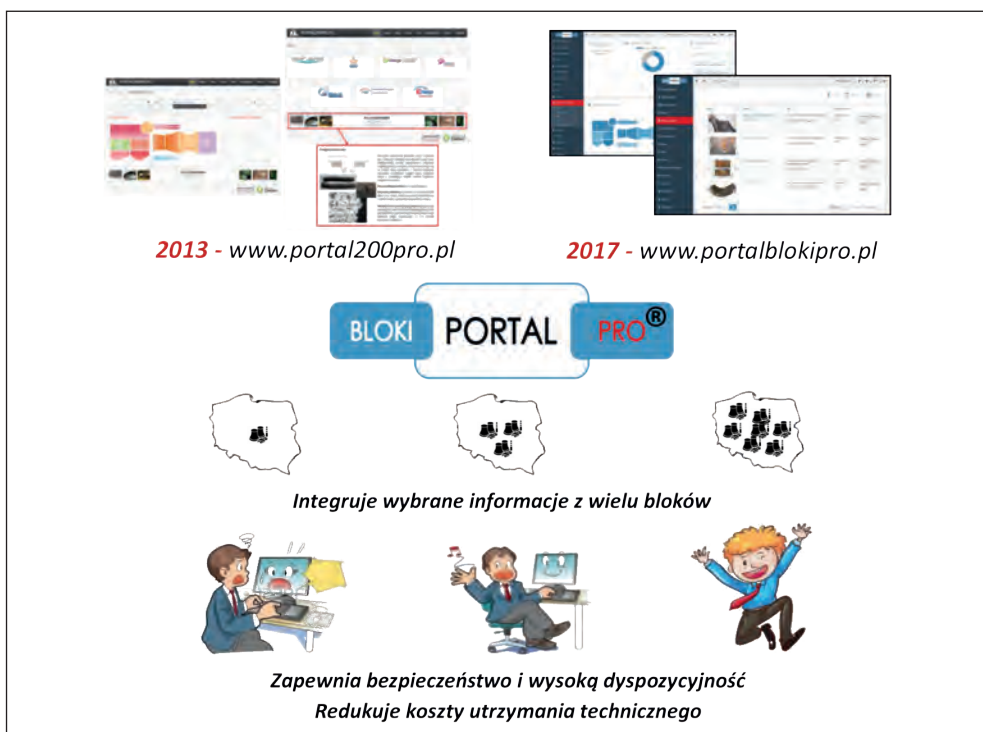
Wartość wskaźnika jw. może być przydatna do optymalizowania zależności pomiędzy głębokością regulacji, dyspozycyjnością bloku, kosztów maintenance'u oraz ceną energii/wielkością produkcji. To przydatna wiedza zarówno dla producenta energii jak i operatora KSE, dysponenta bloków o statusie JWCD.



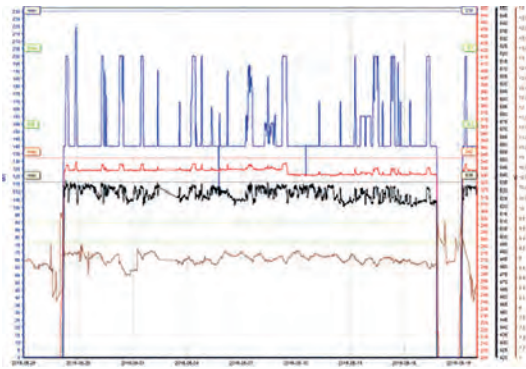
Rys. 5.
Historia powstawania „Wytycznych Pro Novum” oraz przykład ich integracji z „Wytycznymi UDT” [3-5]
Źródło: opracowanie własne



Rys. 6.
Historia rozwoju Platformy Informatycznej LM System PRO+®
Źródło: opracowanie własne



Rys. 7.
Ewolucja systemu diagnostycznego, od „Wytycznych przedłużania eksploatacji..” do Portalu Bloki PRO+® [20]
Źródło: opracowanie własne



Rys. 8. Przykład monitorowania warunków pracy bloku w celu wyznaczenia indexu intensywności pracy regulacyjnej.

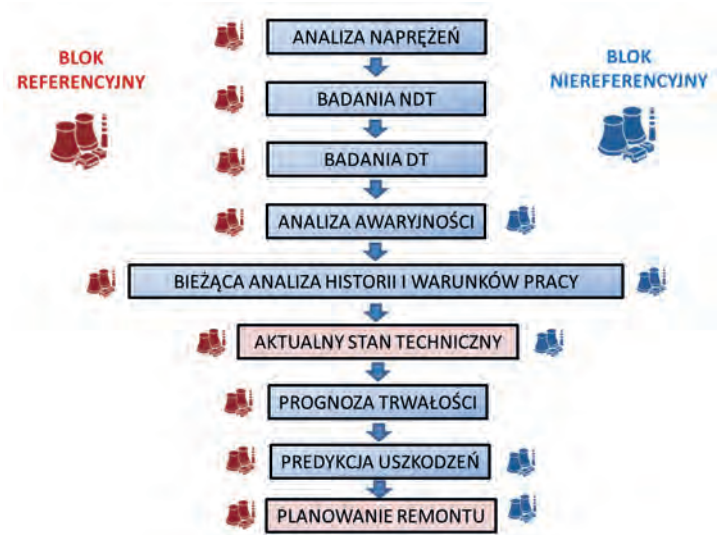
Źródło: opracowanie własne

LM System PRO+® w wersji 4.0 wykorzystywać będzie koncepcję bloków referencyjnych oraz digital twin, co pozwoli odpowiednio:

- uwzględnić różnice konstrukcyjne oraz posiadany zakres wiedzy o stanie technicznym bloków w skali elektrowni, grupy elektrowni i KSE (rys. 9 -10),
- określać rozkłady temperatur oraz naprężeń/odkształceń/przemieszczeń, w tym ich wartości dopuszczalne w trybie on-line oraz na podstawie symulacji.

Technologie jw. skojarzone z możliwościami portalu Portal Bloki PRO® [20] zapewnią wysoki poziom aktualnej wiedzy o stanie technicznym wszystkich bloków przy zoptimalizowanych kosztach.

Na rysunku 13 przedstawiono schematycznie kompletny system diagnostyczny dla bloków 200 MW, zwłaszcza dla tych z nich, które będą eksploatowane w trybie głębokiej regulacji z uwzględnieniem bezpiecznego przedłużenia eksploatacji elementów krytycznych (grubościenne) bez ich wymiany.

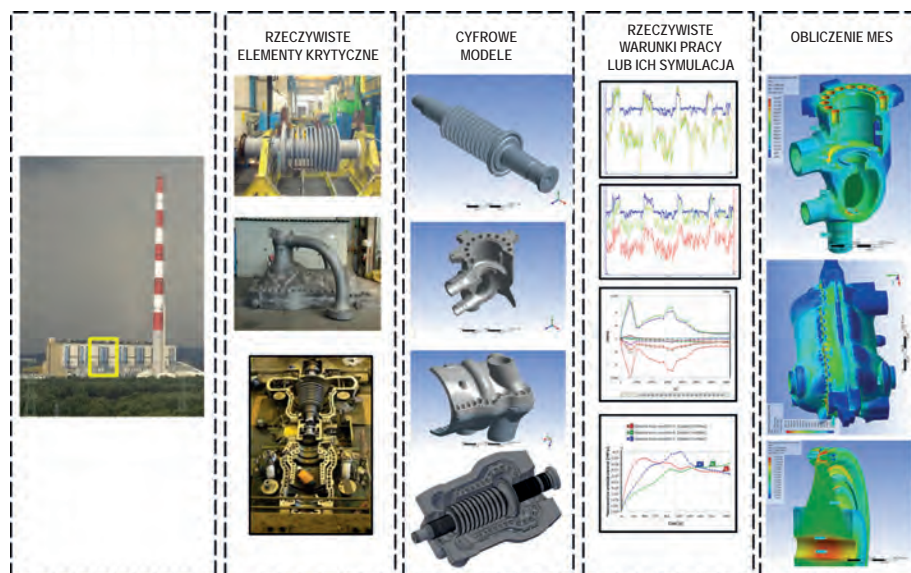


Rys. 9. Korzyści związane z koncepcją bloku referencyjnego – kreowanie wiedzy wysokiej jakości przy znaczącej redukcji kosztów na utrzymanie stanu technicznego

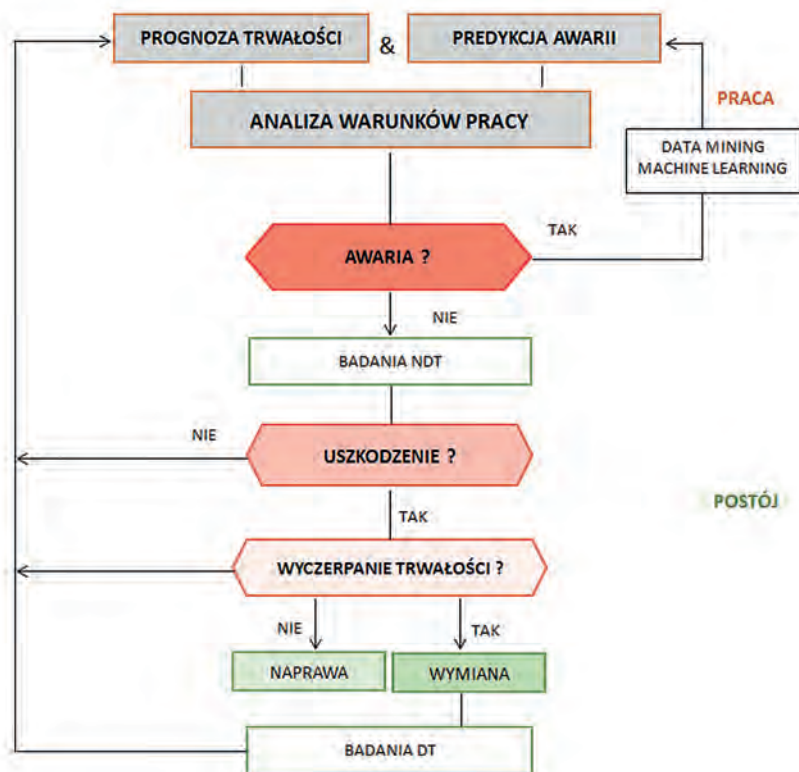
Źródło: opracowanie własne

Platforma informatyczna LM System PRO+® według standardów opisanych w „Wytycznych przedłużania eksploatacji...” integruje wyniki badań, ocen stanu technicznego i prognoz trwałości oraz informacje na temat historii i warunków eksploatacji. Za pośrednictwem portalu internetowego integruje wszystkich użytkowników bloków 200 MW generując automatycznie okresowe raporty, zawierające zwłaszcza wyniki analizy awaryjności w zależności od historii oraz od warunków eksploatacji.

System generuje wysokiej jakości bazy informacji i wiedzy pozwalając na integrację podejścia lifetime opartego na prognozach trwałości (żywności) z podejściem predykcyjnym pozwalającym na przewidywanie awarii, zwłaszcza w obszarze elementów wpływających na niezawodność, np. elementów powierzchni ogrzewalnych oraz urządzeń pomocniczych (rys. 11-12).

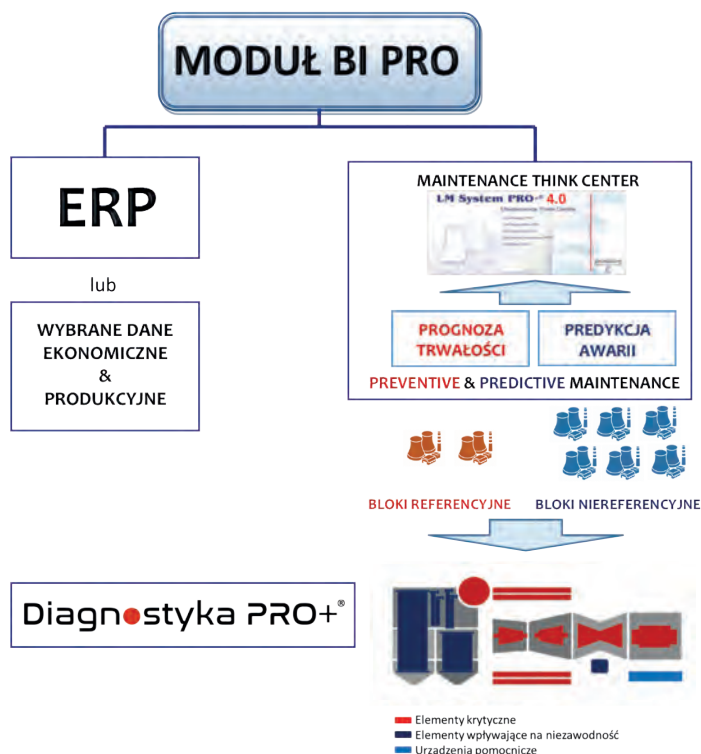


Rys. 10. Technologia Digital Twins numerycznego modelowania geometrii elementów i procesów. Źródło: opracowanie własne



Rys. 11. Integracja prognozowania trwałości i predykcji uszkodzeń uwzględniająca odpowiednie podejście do analizy awarii, okresowych badań NDT oraz badań niszczących elementów wycofanych z eksploatacji

Źródło: opracowanie własne

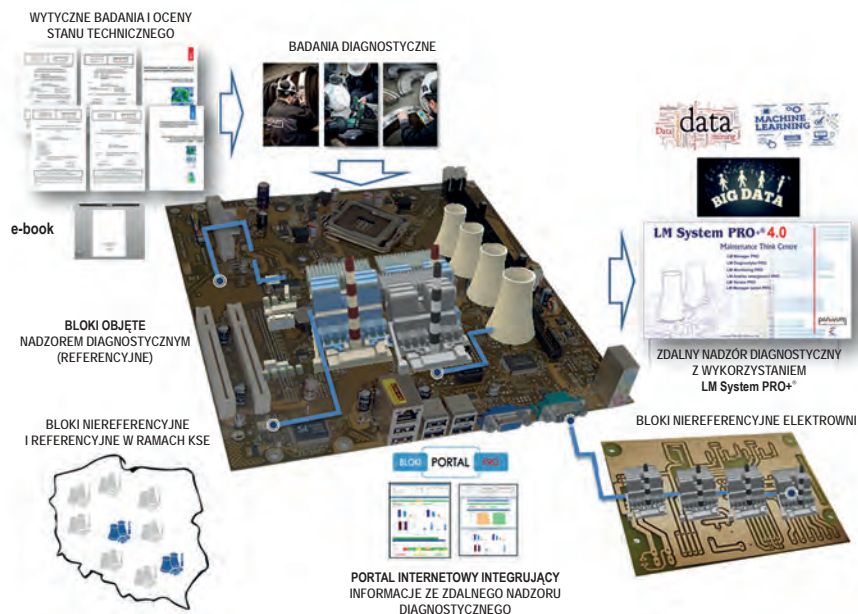


Rys. 12. Usytuowanie w infrastrukturze IT elektrowni systemu integrującego nadzór diagnostyczny bloków referencyjnych i pozostałych, integrującego prognozowanie trwałości elementów krytycznych oraz predykcję awarii elementów wpływających na niezawodność i urządzeń pomocniczych

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

- Wyniki badań elementów krytycznych, wycofanych z eksploatacji po przepracowaniu ok. 250 tys. godzin, oraz wyniki badań diagnostycznych elementów, których czas pracy zbliża się do 300 tys. godzin wskazują, że indywidualny zapas ich trwałości jest wystarczający do przepracowania co najmniej 350 tys. godzin bez wymiany. Niektóre elementy, zwłaszcza stalowe elementy turbin, mogą wymagać rewitalizacji, jeśli dotąd nie została wykonana w ogóle lub w sposób zapewniający wymaganą trwałość. Kompleksowego przeglądu i oceny stanu technicznego wymagać będą instalacje rurociągowo parowe oraz wody zasilającej, zwłaszcza pod kątem prawidłowości ich trasy oraz stanu zamocowań.
- Elastyczny tryb pracy, w szczególności zwiększenie prędkości i liczby uruchomień oraz naboru mocy, wymaga wdrożenia odpowiedniego systemu diagnostycznego, który umożliwi w sposób zdalny monitorowanie bieżącego stanu technicznego, a zwłaszcza indywidualnego zapasu trwałości elementów krytycznych oraz przewidywanie czasu do awarii elementów wpływających na niezawodność, w tym elementów powierzchni ogrzewalnych kotła oraz urządzeń pomocniczych.
- Należy mieć na uwadze, że:
 - skutki elastycznej pracy bloków oraz związanych z tym modernizacji ujawniać się będą w dłuższym czasie, tylko ewidentne błędy konstrukcyjne, technologiczne i montażowe ujawnią się względnie szybko,
 - teoretyczne obliczenia wyczerpania trwałości będą miały tylko szacunkowy, przybliżony charakter,
 - odpowiednio wykonywane badania diagnostyczne, a zwłaszcza towarzyszące analizie awaryjności oraz w skali większej liczby bloków (najlepiej w skali KSE), będą źródłem najbardziej użytecznych informacji.
- W niniejszym artykule opisano kompletny system diagnostyczny, który oparty na standardach badania i oceny stanu technicznego sprawdzonych w różnym stopniu podczas badań ponad 30-tu bloków 200 MW został zaimplementowany na kilkunastu blokach w formie platformy informatycznej LM System PRO+®. Zakłada się, że informacje dotyczące bezpieczeństwa i dyspozycyjności w relacji do warunków pracy zostaną



Rys. 13. Platforma informatyczna LM System PRO+® integrująca „Wytyczne przedłużania eksploatacji..” wyniki badań, informacje na temat historii i warunków eksploatacji bloków wraz z portalem internetowym integrującym użytkowników bloków 200 MW i generującym okresowe raporty.

Źródło: opracowanie własne

zintegrowane przy pomocy Portalu Bloki PRO®, co pozwoli na budowanie wspólnej wiedzy i doświadczenia użytkowników 34 bloków.

- Zaplanowano modernizację platformy informatycznej LM System PRO+® w celu wyposażenia jej w pakiet funkcjonalny Diagnostyka PRO+ zawierający m.in. moduły zaawansowanej analityki wykorzystującej metody data mining i machine learning oraz digital twins, co stworzy warunki do uzyskania korzyści, na jakie pozwala koncepcja bloków referencyjnych.
- Połączenie możliwości LM System PRO+® ver. 4.0 oraz Portalu Bloki PRO® stworzyło warunki do integracji podejścia wykorzystującego prognozowanie trwałości z predykcją awarii w taki sposób, że prognozowanie trwałości będzie wspierać diagnostykę elementów krytycznych (grubościenych), zwłaszcza na blokach referencyjnych, natomiast predykcja awarii będzie służyć głównie do przewidywania nieplanowanych postojów spowodowanych przez uszkodzenia elementów wpływających na niezawodność (zwłaszcza elementów powierzchni ogrzewalnych) oraz urządzeń pomocniczych.
- Połączenie diagnostyki integrującej prognozowanie trwałości oraz predykcję awarii z wykorzystaniem bloków referencyjnych to podejście zapewniające zachowanie najwyższych standardów diagnostyki przy niskich kosztach jej wykonywania. To korzyść w skali elektrowni, grupy elektrowni oraz KSE. Dla bloków klasy 200 MW oraz 100 MW - 360 MW to optymalne podejście zapewniające bezpieczne, z wysoką dyspozycyjnością, wydłużenie czasu eksploatacji w warunkach pracy regulacyjnej.
- Istotne cechy diagnostyki zapewniającej bezpieczeństwo i wysoką dyspozycyjność w niskonakładowy sposób zilustrowano na rysunku 14.



Rys. 14.

Wnioski

1. Stan techniczny, wymagania prawne i ekonomiczne zdecydują o horyzoncie czasowym dalszej eksploatacji bloków o mocy 100 MW - 360 MW. Nadrzędne znaczenie ma jednak polityka energetyczna.
2. Obiektywnie najważniejszy jest stan techniczny urządzeń, decyduje bowiem o bezpieczeństwie oraz dyspozycyjności. Dla ich zapewnienia podstawowe znaczenie ma jakość utrzymania stanu technicznego. Nie da się jej uzyskać, w niskonakładowy sposób, bez dobrze wykonywanej diagnostyki.

3. Diagnostyka na ogół służy do oceny aktualnego stanu technicznego urządzenia lub wybranych jego elementów. Może jednak i powinna służyć do opracowania strategii jego eksploatacji, także w skali elektrowni, a nawet KSE.
4. Diagnostyka w skali bloków tej samej klasy posiada wiele zalet. „Od zawsze” próbowano ją realizować tworząc standardy oraz wymieniając pomiędzy sobą informacje, wiedzę i doświadczenia. Identycznie postąpiliśmy w *Pro Novum* wraz z wszystkimi użytkownikami bloków klasy 200 MW, gdy zauważyliśmy, że bloki te:
 - a) odgrywać będą ważną rolę w KSE do ok. 2030 roku, zwłaszcza dlatego, że brakuje dla nich w KSE racjonalnej alternatywy,
 - b) przez swoją liczbę, korzystne cechy konstrukcyjne i dobry stan techniczny mogą zarówno być źródłem energii (także cieplnej), jak również stabilizować krajowy system elektroenergetyczny.
5. Stworzyliśmy funkcjonujący w praktyce, niestety niezbyt powszechnie stosowany, kompletny system diagnostyczny, na który składają się:
 - a) standardy pozwalające na przedłużanie eksploatacji, bez potrzeby wymiany elementów krytycznych, grubościennych w perspektywie do 350 000 godz. eksploatacji,
 - b) systemy diagnostyczne w wersji softwarowej umożliwiające wykonywanie diagnostyki także w zdalny sposób,
 - c) dedykowane moduły do analizy pracy regulacyjnej z uwzględnieniem efektywności i ekonomii,
 - d) narzędzia informatyczne do integracji informacji, kreowania wiedzy i wymiany doświadczeń w skali elektrowni, grupy energetycznej oraz KSE,
 - e) systemy i narzędzia informatyczne jw. wyposażamy w zaawansowane metody analizy danych, także z wykorzystaniem sztucznej inteligencji.

System diagnostyczny wspiera pakiet technologii pozwalających w sposób niskonakładowy wydłużyć trwałość poprzez usuwanie dodatkowych naprężeń oraz regenerację struktury.
6. Nasze działania w obszarze diagnostyki i technologii posiadają wspólne cechy wywodzące się z bogatego doświadczenia i know-how polskiej energetyki oraz, dla nas oczywistej filozofii, że jeśli masz odpowiednią wiedzę i doświadczenie, to możesz oczekiwać efekt osiągnąć mniejszym nakładem pracy i kosztów od tych, którym wydaje się, że... ilość w prosty sposób przechodzi w jakość.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Trzeczcyński J., *Aktualny stan techniczny oraz możliwości dalszej eksploatacji konwencjonalnych źródeł wytwórczych*. Monografia II Kongresu Elektryki Polskiej, tom II, grudzień 2014 - wrzesień 2016.
- [2] Trzeczcyński J., *Doświadczenia i zamierzenia „Pro Novum” związane z przystosowaniem długo eksploatowanego majątku produkcyjnego elektrowni w Polsce do pracy w perspektywie do 2030 roku*, „Dozór Techniczny” 2016, nr 1.
- [3] 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, niepublikowane.
- [4] 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, niepublikowane.
- [5] PN/045.3360/2016: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100-360 MW. *Pro Novum*. Katowice 2016, niepublikowane.
- [6] 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.
- [7] Rajca S., Grzesiczek E., *Uszkodzenia turbozespołów powodowane pracą regulacyjną oraz długotrwałymi postojami*. „Energetyka” 2016, nr 12.
- [8] Gawron P., *Działania ograniczające wpływ pracy regulacyjnej oraz postojów na uszkodzenia korozyjne elementów obiegów wodno-parowych bloków energetycznych*. XVIII Sympozjum Informacyjno-Szkoleniowe *Pro Novum*. Diagnostyka i Remonty Urządzeń Ciepłno-Mechanicznych Elektrowni. Katowice, Hotel Qubus, 6-7 października 2016.
- [9] Brunne' W., *Usuwanie źródeł dodatkowych naprężeń w elementach krytycznych rurociągów poprzez zmiany konstrukcyjne*. „Energetyka” 2016, nr 6, Biuletyn *Pro Novum* Nr 1.
- [10] Grzesiczek E., Trzeczcyński J., Rajca S., *Możliwości wydłużania czasu eksploatacji elementów części przepływowych turbin parowych*. „Energetyka” 2003, nr 12.
- [11] Grzesiczek E., Rajca S., *Rewitalizacja stalowych elementów turbin parowych – technologia bez mankamentów*. „Energetyka” 2012, nr 12.
- [12] Trzeczcyński 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.
- [13] 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.
- [14] Trzeczcyński J.: *System diagnostyczny zapewniający bezpieczną pracę bloków 200 MW eksploatowanych po przekroczeniu 300 000 godzin*. *Dozór Techniczny* 2012, nr 2.
- [15] Murzynowski W., Trzeczcyński J.: *Dotychczasowe doświadczenia związane z wykonywaniem zdalnej diagnostyki oraz kierunku rozwoju platformy informatycznej LM System PRO+®*. Biuletyn *Pro Novum* 2/2017. *Energetyka* 12/2017.
- [16] Trzeczcyński J.: *Diagnostyka 4.0 wspierająca przedłużanie eksploatacji bloków 100 MW - 360 MW*. „Dozór Techniczny” 2017, nr 4.
- [17] 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.
- [18] Trzeczcyński J., Stanek R., Rajca S., Staszatek 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.
- [19] Trzeczcyński J., Sobczyszyn A., Staszatek K., Stanek R., Sławomir R.: *Diagnostyka długoeksploatowanych bloków energetycznych przeznaczonych do pracy regulacyjnej*. Biuletyn *Pro Novum* nr.1/2017. *Energetyka*. Czerwiec 2017.
- [20] 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. *Energetyka* 12/2017.

Portal Bloki PRO® – innowacyjne narzędzie do kreowania i zarządzania wiedzą o stanie technicznym bloków klasy 200 MW

Portal Bloki PRO® – innovative tool to create and manage knowledge on technical condition of power units class 200 MW

Znaczne podobieństwo konstrukcji, warunków eksploatacji oraz stanu technicznego bloków klasy 200 MW sprawia, że w *Pro Novum* opracowaliśmy narzędzie, które najlepiej spośród znanych na rynku systemów diagnostycznych nadaje się do zapewnienia niskonakładowego bezpieczeństwa i wysokiej dyspozycyjności tej najważniejszej w KSE, także w dającej się przewidzieć przyszłości, klasy bloków energetycznych. Portal Bloki PRO® firmy *Pro Novum* integruje wszystkich użytkowników bloków klasy 200 MW. Portal stanowi logiczną kontynuację projektu LM System PRO+® ver. 4.0, jest ciągle rozwijany, aktualnie powstaje jego ver. 2.0. W artykule zostaną przedstawione m.in. korzyści, jakie będzie można osiągnąć korzystając z jego obecnych i przyszłych możliwości.

Bez wymiany wiedzy i doświadczeń, w szczególności dotyczących przyczyn uszkodzeń i awarii, trudno wyobrazić sobie bezpieczną pracę i wysoką dyspozycyjność urządzeń przy możliwie niskich nakładach na ich utrzymanie. To główny powód udostępnienia portalu internetowego www.portalblokipro.pl użytkownikom bloków 200 MW, zwłaszcza specjalistom wydziałów zarządzania majątkiem elektrowni i centrów zarządzania majątkiem grup energetycznych.

W jakie możliwości wyposażyliśmy Portal?

Portal internetowy to, w pierwszym rzędzie, miejsce kreowania wiedzy, w skali wszystkich użytkowników bloków klasy 200 MW Krajowego Systemu Energetycznego, na temat aktualnego stanu technicznego urządzeń, głównie na podstawie analizy dyspozycyjności w relacji do warunków pracy. Portal to także miejsce wymiany doświadczeń, bez których trudno wyobrazić sobie bezpieczną, z dużą dyspozycyjnością, eksploatację długo eksploatowanych bloków energetycznych oraz serwis internetowy oferujący usługi dla zarejestrowanych Użytkowników, takie jak:

- zamieszczanie wiadomości,
- wewnętrzną komunikację,
- grupy dyskusyjne w formie forum oraz bloga,

- możliwość wprowadzania oraz przeglądania informacji, zwłaszcza w postaci odpowiednich zestawień i raportów.

Portale są na ogół swego rodzaju bramą do Internetu, tj. miejscem zapewniającym szybki dostęp do informacyjnych zasobów na określony temat. Portal Bloki PRO® nie różni się istotnie od tego rodzaju aplikacji. Zapewnia komfort przy korzystaniu z jego zasobów, zwłaszcza przez intuicyjną obsługę oraz przyjazny design.

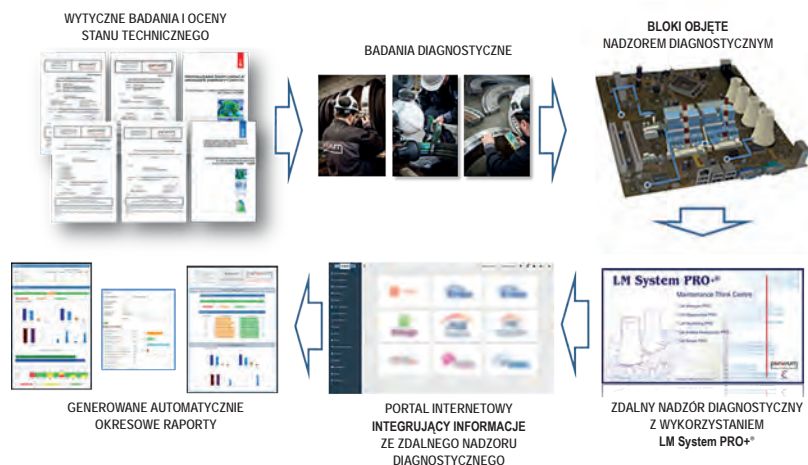
Aktualnie powstają portale zarówno o szerokim spektrum informacyjnym, jak również ich wersje dedykowane do zastosowań specjalistycznych, skierowanych do konkretnych grup odbiorców. Nasz Portal należy zdecydowanie do tej drugiej kategorii udostępniania swoich zasobów.

Portal Bloki PRO® to specjalizowane narzędzie dla wąskiego grona użytkowników o ściśle zdefiniowanych potrzebach. To swego rodzaju narzędzie diagnostyczne dla specjalistów utrzymania majątku oczekujących zaawansowanego wsparcia w zakresie bezpieczeństwa i dyspozycyjności urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW, zwłaszcza eksploatowanych w nietypowych warunkach.

Portal jako zaawansowane narzędzie diagnostyczne

Portal integruje diagnostykę postojową i eksploatacyjną w sposób pozwalający na bieżącą aktualizację oceny stanu technicznego urządzeń ciepłno-mechanicznych oraz weryfikację prognozy ich trwałości. Stanowi silne narzędzie wspierające, coraz mniejszą liczbę, inżynierów zajmujących się utrzymaniem stanu technicznego urządzeń produkcyjnych, dodatkowo w warunkach ciągłej transformacji energetyki.

Udostępnia użyteczną dla utrzymania technicznego bloków 200 MW wiedzę będącą rezultatem najbardziej zaawansowanej wersji diagnostyki [1]. Stanowi ważny, integrujący, komponent systemu diagnostycznego dla bloków klasy 100 MW i 200 MW (rys. 1).

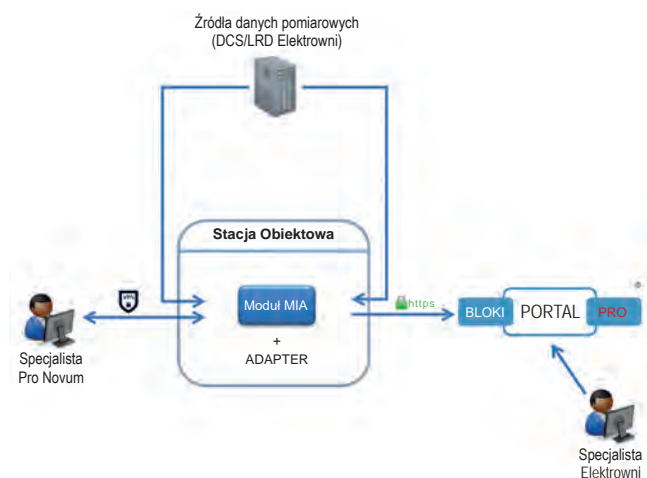


Rys. 1. Kompletny system diagnostyczny dla bloków 200 MW z wykorzystaniem Portalu internetowego

Moduł Integracyjno-Analityczny (MIA) – krok w rozwoju Portalu

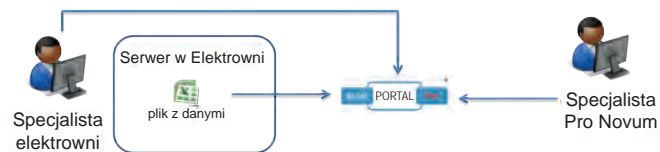
Nasze roczne doświadczenia w działaniu Portalu oraz aktualne trendy skłoniły nas do kolejnego etapu jego rozwoju, czyli automatyzacji i eliminacji ręcznej obsługi. W związku z tym zastosowano rozwiązanie polegające na zainstalowaniu w środowisku IT Elektrowni modułu MIA, który komunikuje się za pomocą Adaptera z systemami DCS/LRD Elektrowni, a następnie po ich przeanalizowaniu wysyła część danych na Portal. Środowisko do zainstalowania Modułu MIA oraz Adaptera stanowi Stacja Obiektowa. Może ona przybrać formę serwera fizycznego lub wirtualnego. Należy zwrócić szczególną uwagę, że Moduł MIA ma za zadanie jedynie zautomatyzować dotychczas wykonywane czynności, w celu zminimalizowania pracy ręcznej i zwiększenia komfortu Użytkowników – bez obniżenia dotychczasowego poziomu bezpieczeństwa danych.

Pilotażowe wdrożenie Modułu MIA wykonano dla *ENERGA Elektrownie Ostrołęka S.A.*, gdzie dodatkowo zintegrowano Moduł MIA z LM System PRO+, co finalnie całkowicie wyeliminowało konieczność pracy ręcznej po stronie Użytkownika.

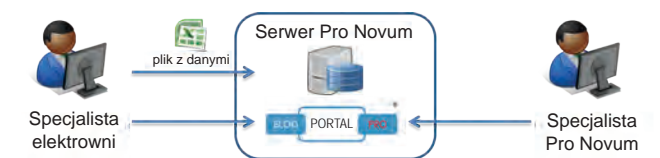


Rys. 2. Schemat umiejscowienia Modułu MIA w środowisku IT Elektrowni wraz z logiką połączeń

Alternatywnie (do instalacji modułu MIA w środowisku IT Elektrowni) dopuszcza się możliwość transferu źródłowych danych pomiarowych do modułu MIA, zainstalowanego w środowisku IT Pro Novum w trybie off-line.



Rys. 3. Przekazywanie źródłowych danych pomiarowych do modułu MIA zainstalowanego na Portalu ze środowiska IT Elektrowni



Rys. 4. Przekazywanie źródłowych danych pomiarowych do modułu MIA zainstalowanego na Portalu w środowisku IT Pro Novum

Aktualna wersja Portalu Bloki PRO zapewnia pełne bezpieczeństwo w obszarze IT oraz uniemożliwia wykorzystanie wiedzy do zakłócania realizacji bieżącej strategii produkcyjnej/ /biznesowej elektrowni/grupy energetycznej

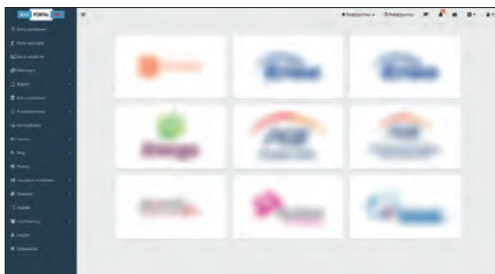
Bezpieczeństwo

Kluczową sprawą w dzisiejszym świecie informatyki jest bezpieczeństwo danych/informacji zamieszczanych w sieci. Zabezpieczenie infrastruktury sieciowej, serwerowej i systemowej było dla nas największym wyzwaniem, ale udało się w pełni osiągnąć zamierzony cel. Dostęp do Portalu odbywa się z wykorzystaniem protokołu HTTPS (SSL/TLS), który zapewnia szyfrowanie całej transmisji przekazywanej przez sieć Internet. Serwer Portalu posiada certyfikat klucza publicznego (SSL), który umożliwia przeglądarce internetowej stwierdzenie jego tożsamości.

Serwery, na których funkcjonuje oprogramowanie portalu, są zabezpieczone odpowiednim firewallem oraz dodatkowo rozwiązaniami klasy IDS (Intrusion Detection System) oraz IPS (Intrusion Prevention System), wspierającymi wykrywanie oraz blokowanie ataków, a tym samym minimalizującymi szanse przeprowadzenia udanego ataku. Ponadto infrastruktura sieciowa, serwerowa i systemowa jest stale monitorowana pod kątem bezpieczeństwa przez niezależną firmę, która jest odpowiedzialna za utrzymanie systemu bezpieczeństwa w stanie odpowiedniej aktualności i gotowości, a także za wykrywanie i blokowanie ataków w obszarach, w których nie wystarczą systemy IDS/IPS. Oprogramowanie dodatkowo chronione jest przez podsystem WAF (Web Application Firewall), który niezależnie od oprogramowania portalu potrafi zabezpieczyć aplikacje webowe przed atakami.

Portal internetowy www.portalblokipro.pl jako wymiana wiedzy i doświadczeń

Głównym celem powstania Portalu było stworzenie możliwości ciągłej wymiany informacji/wiedzy pomiędzy użytkownikami bloków klasy 200 MW, w szczególności tych, którzy planują ich eksploatację ponad 300 000 godzin. Skierowany jest do wszystkich Grup Energetycznych w Polsce posiadających elektrycznie wyposażone w bloki 200 MW (rys. 5).



Rys. 5. Grupy energetyczne zaangażowane w tworzenie zawartości Portalu

Informacje w Portalu można podzielić na dwie części:

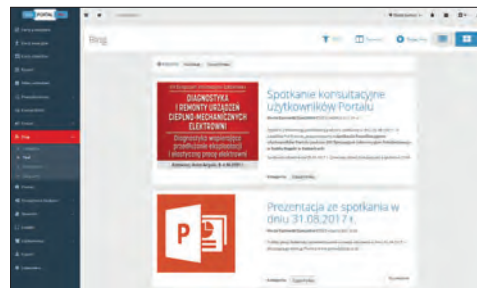
- część informacyjno-komunikacyjną,
- część specjalistyczną.

Część informacyjno-komunikacyjna portalu służy do wymiany poglądów, opinii, informacji itp. pomiędzy Użytkownikami. Mając kilka opcji do wyboru Użytkownik może w pełni wykorzystać wszystkie dostępne narzędzia/funkcje, takie jak:

- komunikator** – działa na zasadzie autonomicznej wewnętrznej poczty pomiędzy Użytkownikami portalu,
- forum** – organizuje grupy dyskusyjne w celu wymiany informacji i opinii pomiędzy Użytkownikami portalu; forum ma charakter wielotematyczny, pozwala na poruszanie wielu tematów podzielonych na kategorie, np. dotyczące wyników badań, ocen stanu technicznego, prognozowania trwałości, remontów itp.,
- blog** – miejsce publikowania artykułów/opracowań, do których można dołączać własne komentarze (rys. 6).

Część specjalistyczna służy do wymiany informacji na temat bieżących problemów eksploatacyjnych i/lub nieprawidłowości wykrywanych podczas postojów bloków/urządzeń. W tej

części Użytkownik wprowadza dane na temat nieprawidłowości jw. oraz przegląda je w formie ogólnej statystyki – dla wszystkich skonfigurowanych bloków – jako raport ogólny, jak i w bardziej szczegółowej – wyłącznie dla bloków zalogowanego Użytkownika – jako raport własny. W Portalu udostępniono dwa rodzaje interfejsów po nawigacji po obiekcie – interfejs symboliczno-hierarchiczny oraz interfejs bezpośredni – wyszukiwanie obiektu według nazwy.



Rys. 6. Blog – miejsce publikowania oraz komentowania artykułów/publikacji



Rys. 7. Interfejsy służące do nawigacji po obiekcie

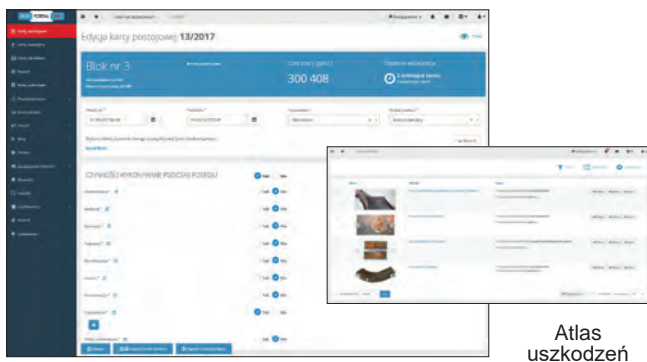
Dla każdego bloku 200 MW w Polsce zostały przygotowane modele, które zawierają ich elementy krytyczne, według kryteriów przedstawionych w „Wytocznych przedłużenia czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW” [2]. Dodatkowo na prośbę Użytkowników modele obiektów zostały rozszerzone o powierzchnie ogrzewalne kotłów oraz urządzenia pomocnicze bloku, kotła i turbozespołu.

Interfejs oddaje do dyspozycji Użytkownikowi kilka funkcji, w tym zwłaszcza wprowadzanie wybranych danych o historii pracy i stanie technicznym elementów krytycznych poszczególnych bloków. Interfejs integruje nawigację po obiekcie oraz po procesie eksploatacji bloku (praca „stacjonarna”, postój). Za pomocą interfejsu Użytkownik ma możliwość (rys. 7):

- wprowadzania danych początkowych, m.in. informacji składających się na historię eksploatacji,
- aktualizacji danych (np. raz kwartał) w zakresie:
 - historia eksploatacji, jw.
 - nieprawidłowości wykryte podczas badań (postojów),
- przeglądania danych jw.

Na podstawie wprowadzonych informacji i danych – w części specjalistycznej Portalu (raport) – udostępniana jest informacja oraz wiedza w formie statystycznej. W części ogólnej prezentowane są wybrane informacje pochodzące z wszystkich

bloków/urządzeń skonfigurowanych na Portalu jako aktywne. Istnieje również możliwość przedstawiania raportów dla wybranego obiektu. Użytkownik ma możliwość korzystania z raportów tylko dla wybranych, „własnych” bloków aktywnych na Portalu. Pozwala to m.in. na kreowanie wiedzy dla elementów/węzłów konstrukcyjnych o identycznej konstrukcji, co ma znaczenie w przypadku bloków w różny sposób zmodernizowanych.



Rys. 8. Wprowadzanie danych do Portalu



Rys. 9. Wybrane części jednego z systemowych raportów generowanych w trybie automatycznym

Podsumowanie

Portal internetowy **www.portalblokipro.pl** jest dedykowanym serwisem technicznym stworzonym na dające się przewidzieć potrzeby użytkowników bloków klasy 200 MW, zwłaszcza o statusie JWCD. Zakładamy, że wiedza kreowana przez Portal okaże się użyteczna do prognozowania trwałości (żywności), optymalizowania warunków eksploatacji i strategii remontowych oraz przeprowadzania modernizacji w celu zapewnienia bezpieczeństwa oraz przedłużania czasu eksploatacji przy zachowaniu wysokiej dyspozycyjności. Portal jest wyposażony w program ekspercki wspierający zwłaszcza ocenę stanu technicznego urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków z uwzględnieniem warunków ich pracy.

Korzyści z Portalu będą rosły w miarę czasu jego użytkowania. W celu zwiększenia jego funkcjonalności oraz podniesienia komfortu pracy zaplanowano jego rozwój w kierunku automatyzacji transferu szerszego spektrum danych oraz rozszerzenia możliwości analitycznych.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Trzeszczyński J., *Diagnostyka wspierająca elastyczną eksploatację bloków klasy 200 MW*. „Energetyka” 2017, nr 12.
- [2] PN/45.3360/2016. Zespół pod kierunkiem dra inż. Jerzego Trzeszczyńskiego „Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100 MW – 360 MW”, Katowice, czerwiec 2016.
- [3] PN/30.2910/2013. Zespół pod kierunkiem mgr inż. Jerzego Dobosiewicza „Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 200 MW”, Część I. Założenia ogólne. Część II. Diagnostyka elementów krytycznych turbin i generatorów, Katowice 2013.
- [4] 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, Katowice 2013.
- [5] Trzeszczyński J., Murzynowski W., *Diagnostyka on-line urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni*. IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Remonty i utrzymanie ruchu w energetyce”, Licheń, 28-29 listopada 2011.
- [6] Murzynowski W., *System zarządzania wiedzą o stanie technicznym urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni*. XII Sympozjum Naukowo-Techniczne Energetyka, Bełchatów, 6-8 września 2011.

Podejście do utrzymania majątku w ENERGA Elektrownie Ostrołęka SA metodą na sukces na Rynku Mocy

Approach to maintenance in ENERGA Elektrownie Ostrołęka SA as a method of success on the Power Market

Znaczenie bloku 200 MW dla Krajowego Systemu Elektroenergetycznego określa się poprzez jego dyspozycyjność. Dyspozycyjność bloku 200 MW w około 80% zależy od dyspozycyjności kotła. Pozostałe 20% dotyczy dyspozycyjności turbozespołu, układu wyprowadzenia mocy, urządzeń pomocniczych i pozablokowych, np. ochrony środowiska. Utrzymanie dyspozycyjności na oczekiwanym wysokim poziomie jest kluczowe zarówno dla wytwórcy jak i Operatora Systemu Przesyłowego, zwłaszcza w kontekście „obecności” na Rynku Mocy. Jednak Rynek Mocy to nie wszystko. Nie należy zapominać o lokalnych, równie ważnych uwarunkowaniach, takich jak:

- dostarczanie ciepła dla miasta Ostrołęka,
- konieczność przeprowadzania działań inwestycyjnych w związku dostosowaniem się do wymagań środowiskowych (Konkluzje BAT),
- przedłużenie eksploatacji bloków (praca do 350 000 godzin).

ENERGA Elektrownie Ostrołęka SA

ENERGA Elektrownie Ostrołęka SA jest największym wytwórcą energii elektrycznej i ciepłej w północno-wschodnim regionie Polski. Energię elektryczną produkujemy na potrzeby Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Natomiast energię ciepłą dostarczamy odbiorcom przemysłowym i komunalnym z terenu miasta Ostrołęki. W skład ENERGA Elektrownie Ostrołęka SA wchodzi:

- *Elektrownia Ostrołęka B* o łącznej mocy zainstalowanej 681 MW, wyposażoną w trzy bloki energetyczne klasy 200 MW (Blok 1 – 221 MW, Blok 2 – 230 MW, Blok 3 – 230 MW); paliwem podstawowym kotłów energetycznych jest węgiel kamienny, a paliwem pomocniczym olej opałowy; energia elektryczna wyprowadzana jest na napięciu 220 kV (Blok nr 1 i Blok nr 2) oraz 110 kV (Blok nr 3);

- *Elektrociepłownia Ostrołęka A*; instalacja trwale odstawiiona w wyniku realizacji inwestycji, której celem technologicznym i technicznym było przeniesienie produkcji energii ciepłej (na potrzeby grzewcze i przemysłowe miasta Ostrołęki) z *Elektrociepłowni Ostrołęka A* do *Elektrowni Ostrołęka B*; w 2014 r. wszystkie trzy bloki energetyczne elektrowni systemowej zostały „ucieplnione” i od tego momentu zaspokajają potrzeby ciepłe lokalnych odbiorców; od 2015 r. produkcja ciepła odbywa się wyłącznie w *Elektrowni B*.

Modernizacje realizowane w ostatnich latach wynikają z konieczności dostosowania emisji spalin do Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych (dyrektywa IED), a w dalszej kolejności do poziomów wynikających z aktualnej najlepszej dostępnej techniki (konkluzje BAT).

W latach 2015, 2016 i 2018 trzy kotły zostały już przystosowane do spełnienia wymogów emisyjnych wynikających z dyrektywy IED, a w dalszej perspektywie konkluzji BAT. Polegało to na gruntownej modernizacji elektrofiltrów oraz zabudowie katalitycznych instalacji redukcji tlenków azotu o wysokiej skuteczności. Taki sam zakres modernizacji został zrealizowany na kotle nr 1 na początku roku 2018. W dalszej kolejności planowana jest budowa drugiej Instalacji Odsiarczania Spalin, aby po zakończeniu uczestnictwa w PPK (Przejściowy Plan Krajowy), mogły pracować wszystkie 3 bloki elektrowni (wydajność aktualnie eksploatowanej IOS pozwala na odsiarczenie spalin maksymalnie z dwóch kotłów).

Przeprowadzone w 2015, 2016 i 2018 r. modernizacje Bloku nr 2 (m.in. wymiana części NP turbiny, modernizacja części WP i SP) oraz Bloku nr 1, 3 (modernizacja części WP i SP) znacząco poprawiły sprawność wytwarzania energii elektrycznej przez te bloki, umożliwiły podwyższenie ich mocy osiągalnej do 230 MW oraz poprawiły ich elastyczność, co jest niewątpliwym atutem w kontekście uczestnictwa na Rynku Mocy.

Rynek Mocy

Prace nad Ustawą trwały kilka lat. Projekt ten dotyczył wdrożenia tzw. Rynku Mocy, na którym towarem będzie moc dyspozycyjna netto, którą mogą oferować wytwórcy oraz sterowane odbiory energii (DSR), uzyskując wynagrodzenia za gotowość jej dostarczenia wraz z obowiązkiem jej dostarczenia w okresach napiętego bilansu mocy (tzw. okresach zagrożenia), czyli w sytuacjach, gdy zachodzi ryzyko, że mogą wystąpić problemy z zaspokojeniem szczytowego zapotrzebowania odbiorców na moc. Pierwsze czytanie Ustawy w dniu 26 października 2017 spowodowało jej odrzucenie do poprawek. Dopiero po poprawkach i trzecim czytaniu w dniu 6 grudnia 2017 Sejm przyjął Ustawę i została ona przekazana Prezydentowi i Marszałkowi Senatu. W dniu 28 grudnia 2017 (po poprawkach Senatu) Prezydent RP podpisał Ustawę o Rynku Mocy.

Nowe wyzwanie dla „dwusetek”

Zapisy w Ustawie stawiają (nie do końca jeszcze znane) nowe wymagania dla bloków klasy 200 MW. Oznacza to jedno – jednostki wytwórcze muszą być we wzorowej kondycji, a „półśrodki” w zakresie utrzymania majątku nie mogą mieć miejsca. Dlatego wiedza o stanie technicznym urządzeń powinna (musi!) być na pierwszym miejscu. Co więcej, bez bieżącej aktualizacji tej wiedzy zapewnienie wysokiej dyspozycyjności będzie niemożliwe, a zatem uczestnictwo na Rynku Mocy dające profity z tego tytułu będzie stało pod dużym znakiem zapytania.

Dyspozycyjność i konsekwencje jej niedotrzymania

Naturalną rzeczą jest, że poza gratyfikacją za „wykonanie obowiązku mocowego” ustawodawca przewiduje również kary za jej niewykonanie. Kary te wyznaczane będą odrębnie dla każdej jednostki uczestniczącej w Rynku Mocy. Art. 59 Ustawy stanowi: „wysokość kary oblicza się jako iloczyn wielkości niewykonanego obowiązku mocowego oraz jednostkowej stawki kary obliczonej w sposób określony w przepisach wydanych na podstawie art. 68” [1]. Czy można tych kar uniknąć? Odpowiedź jest prosta. Oczywiście że można, a odpowiedzią jest bezwzględnie dobra kondycja urządzeń wytwórczych (zarówno tych głównych jak i tych pomocniczych i/lub pozablokowych). Testem będzie nic innego, jak dyspozycyjność. Oczywiście to wymusza na Użytkowniku zupełnie nowe podejście do strategii utrzymania majątku.

Diagnostyka źródłem wiedzy o stanie technicznym urządzeń

Jednym ze źródeł wiedzy o stanie technicznym urządzeń ciepłno-mechanicznych jest diagnostyka wykonywana w odpowiedni sposób. Poprawna diagnoza wykorzystuje przede wszystkim planowe postoje, uwzględniając zarówno poeksploatacyjny jak i poremontowy stan techniczny urządzeń. Istotnym aspektem jest fakt, że badania należy interpretować w sposób

umożliwiający opracowanie diagnozy, prognozy oraz zaleceń remontowych i eksploatacyjnych. Ważnym uzupełnieniem diagnostyki wykonywanej podczas postojów jest odpowiednia analiza danych eksploatacyjnych, zwłaszcza dotyczących zakłóceń (awarii/uszkodzeń) oraz wybranych parametrów pracy zarówno ciepłno-mechanicznych, jak i chemicznych. Niestety, taki rodzaj analizy określa się zwykle kontrolą eksploatacji, rzecz w tym, że wiedza z tego obszaru bardzo rzadko jest integrowana z wiedzą pochodzącą z diagnostyki. Tylko łącząc ze sobą wiedzę z tych dwóch obszarów możemy mówić o racjonalnym podejmowaniu decyzji zarówno w kontekście kluczowych (strategicznych) decyzji jak i działań interwencyjnych.

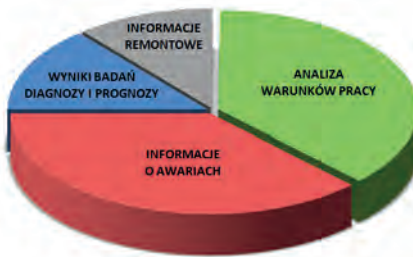
Diagnostyka to, jak wspomniano wcześniej, najważniejsze źródło wiedzy o stanie technicznym urządzeń. Jednak nie jedyne (rys. 1). Odpowiednie korzystanie z wszystkich ważnych dla oceny stanu technicznego informacji to warunek kreowania pełnej wiedzy o wysokiej jakości.



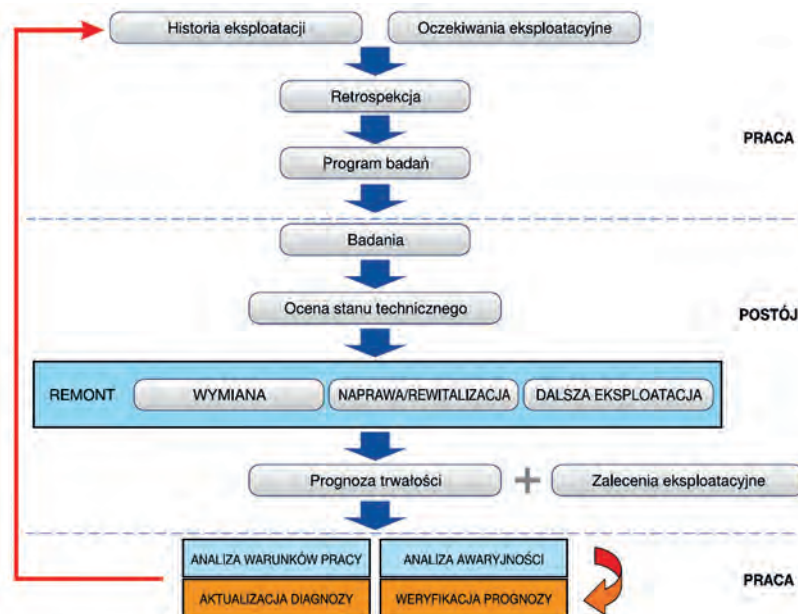
Rys. 1. Źródła informacji dla wiedzy o stanie technicznym urządzeń

Czy będzie miejsce na klasyczną diagnostykę?

W dobie ciągłych zmian na klasyczną diagnostykę nie będzie czasu i pieniędzy. Patrząc na horyzont czasu pracy bloków, tj. do 2035 r., w planach jest jeden, góra dwa remonty kapitalne. Czy w tych remontach będziemy mogli sobie pozwolić na rzetelnie wykonaną diagnostykę? Niestety nie. Przy obecnych standardach panujących w sektorze wytwarzania nacisk na redukcję kosztów związanych z utrzymaniem jest ogromny. Dzisiaj większość środków inwestycyjnych przeznaczanych jest na ochronę środowiska i nikt nie patrzy na urządzenia wytwórcze i w jakim one są stanie, dlatego udział klasycznej diagnostyki jako źródła wiedzy o stanie technicznym urządzenia diametralnie spada. Z powodu braku czasu i pieniędzy na klasyczną diagnostykę, zakres badań w remontach powinien być ukierunkowany na faktyczne problemy. Aby wiedzieć, gdzie ten „problem” występuje niezbędna jest rzetelna wiedza o awariach/uszkodzeniach oraz warunkach pracy tych elementów i ich faktycznym przełożeniu na aktualny stan techniczny. Otoczenie diagnostyki i jej proporcje w dzisiejszych czasach przedstawiają się zupełnie inaczej (rys. 2).



Rys. 2. Nowe proporcje składowych wiedzy o stanie technicznym urządzeń



Rys. 3. Diagnostyka jako proces zintegrowany z procesem eksploatacji urządzeń

Diagnostyka zaawansowana – informatyczne narzędzie wsparcia

Uwzględniając nowe warunki, podstawą do „klasycznej” diagnostyki urządzeń musi być wiedza pochodząca z informacji o jego awiach i naprawach (remontach) oraz warunkach pracy. Połączenie tych informacji w przydatną Użytkownikowi wiedzę nie może obejść się bez specjalistycznych, dedykowanych do tego zadania narzędzi informatycznych. Programy typu ERP (Enterprise Resource Planing) wdrażane w elektrowniach w bardzo małym stopniu dotykają zagadnień związanych z zarządzaniem majątkiem produkcyjnym z punktu widzenia techniki.

W związku z powyższymi przesłankami w 2012 roku wdrożono platformę informatyczną LM System PRO+®, której głównym celem było uporządkowanie posiadanej (często na biurkach Specjalistów) wiedzy o urządzeniach. Na przestrzeni tych lat wymagania dla systemu rosły. Wraz z nowymi potrzebami Specjalistów w Elektrowni stworzono dedykowane narzędzia, które były „szyte na miarę”, przez co idealnie wpasowały się do warunków panujących w Elektrowni oraz dały silne narzędzie wsparcia do podejmowania kluczowych decyzji w pespektywie długofalowej, jak tych interwencyjnych.

Systemowe podejście do utrzymania urządzeń na podstawie ich stanu technicznego powinno integrować diagnostykę postojową i eksploatacyjną w sposób pozwalający na bieżącą aktualizację oceny stanu technicznego oraz weryfikację prognozy (rys. 3).

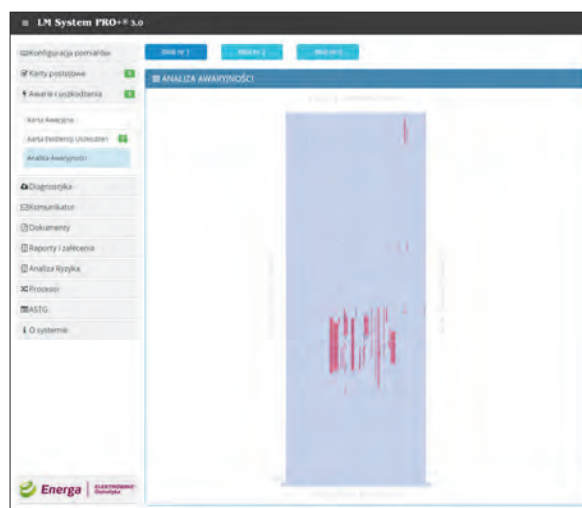
Remontować czy wymieniać?

Określenie racjonalnego budżetu i zakresu do planowanych działań wymaga odpowiedzi na podstawowe pytania: co badać? co remontować? co wymieniać? Odpowiedzią na te wszystkie pytania była wiedza o aktualnym stanie technicznym urządzeń.

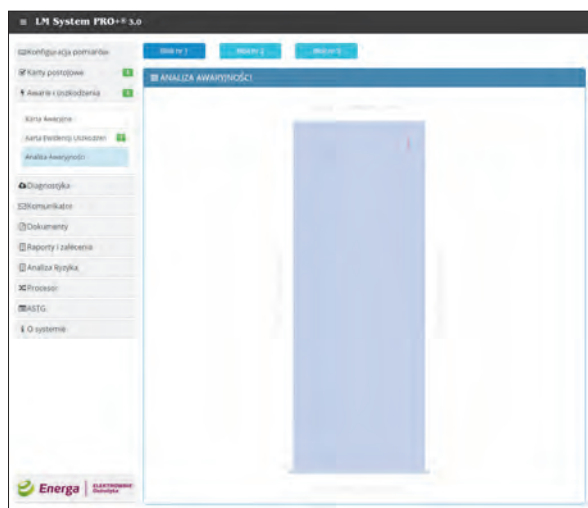
W całym procesie utrzymania majątku analiza zdarzeń awaryjnych wykonywana w odpowiedni sposób powinna być (jest) kopalnią wiedzy m.in. o problemach, które w znacznym

stopniu mogą determinować poprawną i bezpieczną pracę urządzeń przy zachowaniu wysokiej dyspozycyjności. Mając na uwadze oczekiwania rynku, w szczególności regulacyjny charakter pracy bloków, a co za tym idzie sprostanie wymaganiom Ustawy o Rynku Mocy analiza zdarzeń awaryjnych nabiera zdecydowanie większej (wręcz kluczowej) rangi. Tylko ekspertyzy poawaryjne o wysokiej jakości są w stanie dać bardzo cenną wiedzę o stanie technicznym urządzeń oraz stwarzają warunki do skutecznego przeciwdziałania kolejnym awariom.

Analiza awarii i uszkodzeń dla wszystkich powierzchni ogrzewalnych bloków dała odpowiedź na podstawowe pytanie: gdzie mamy problem i jak go usunąć? Na tej podstawie wytypowane zostały obszary, którymi trzeba było zająć się w pierwszej kolejności. Wiedza zgromadzona na przestrzeni lat pozwoliła zobrazować występujące problemy i odpowiednio zaplanować zakres wymian w planowanych w latach 2015-2018 remontach modernizacyjnych (rys. 4 i 5).

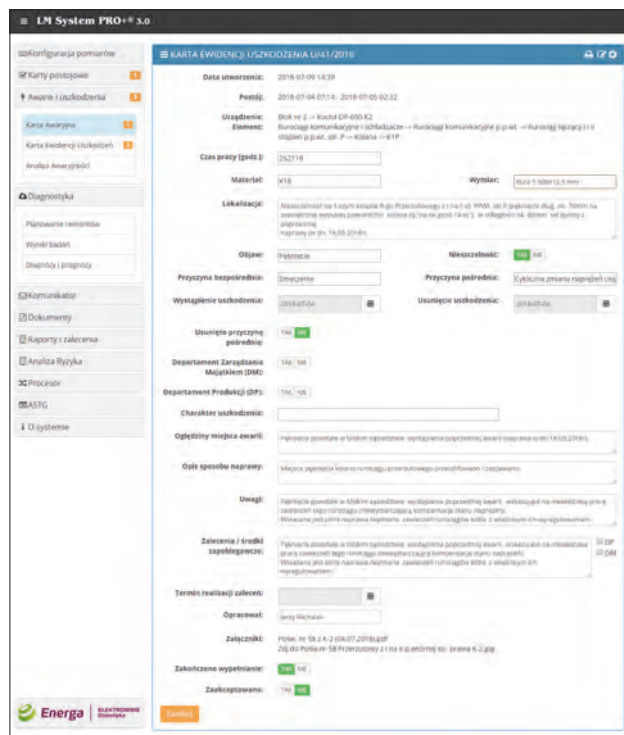


Rys. 4. Wytypowany zakres wymian ekranu przedniego na podstawie analizy awarii i uszkodzeń



Rys. 5. Znaczne ograniczenie awarii po wymianie w remoncie modernizacyjnym

Awaria i jej poprawna analiza daje niezbędną wiedzę również przy podejmowaniu działań interwencyjnych. Co więcej, to występujące (bądź nie) awarie świadczą o dobrze wykonanej klasycznej diagnostyce w „dużych” remontach. Przy ogromnej presji księgowych na cięcie kosztów remontowych, ograniczanie zakresu diagnostyki powinno opierać się na rzetelnej wiedzy o elemencie. Tylko w ten sposób możemy mówić o racjonalnej optymalizacji budżetu. Nie do końca przemyślane ograniczenie badań bezpośrednio przekłada się na awarie/uszkodzenia, a co za tym idzie na zapewnienie wysokiej dyspozycyjności. Potwierdzeniem powyższej tezy była awaria, która wystąpiła w maju i lipcu bieżącego roku na jednym z kolan rurociągu łączącego I i II stopień PPW.



Rys. 6. Karta awarii rurociągu łączącego I i II stopień PPW

Wyniki badań NDT (kolana: MT, UTT, PO oraz spoiny MT) rurociągów łączących I i II stopień PPW, przeprowadzonych w remoncie modernizacyjnym w 2015 roku, nie wykazały nieprawidłowości. Podczas remontu nie został jednak sprawdzony stan i poprawność działania zamocowań tych rurociągów. Życie pokazało, że w tym przypadku odstępianie od tych badań nie przyniosło oczekiwanych przez księgowych korzyści. Jak się okazało, niewłaściwa praca systemu zamocowań wprowadziła dodatkowe momenty gnące i skręcające w elementach rurociągów (w szczególności w kolanach), co przełożyło się na znaczny wzrost naprężeń o wartościach istotnych dla wytrzymałości konstrukcji, czego potwierdzeniem były awarie na jednym z kolan w bieżącym roku. Analiza tego przypadku dała wytyczne do podjęcia działań interwencyjnych w zakresie sprawdzenia stanu zamocowań rurociągu łączącego I i II stopień PPW oraz dokonania napraw i regulacji. Ekspertyzy awaryjne powinny zawierać (oprócz badań i określonych przyczyn) działania zapobiegawcze, które należy podjąć w celu usunięcia lub ograniczenia przyczyn wtórnych awarii. Poprawne ekspertyzy poawaryjne dają możliwość skutecznego przeciwdziałania kolejnym awariom. Tworzone na przestrzeni lat statystyki awaryjności dają silne wsparcie dla Specjalistów Departamentu Zarządzania Majątkiem nie tylko do walki z księgowymi o pieniądze, ale przede wszystkim pomagają zapewnić dobrą kondycję urządzeń, co bezpośrednio przekłada się na wzrost dyspozycyjności. Zapewniając wysoką dyspozycyjność można mówić o osiągnięciu sukcesu w nowych realiach, w szczególności obecności na Rynku Mocy, która przynosi profity z tego tytułu.

Zmiana pracy bloków, liczba uruchomień, parametry eksploatacyjne

W świetle poniższych danych (tab. 1) należy podkreślić wzrost liczby uruchomień bloków od roku 2017. Rok 2017 zaowocował ponad dwukrotnym wzrostem. Prognoza uruchomień na rok 2018 zapowiada się kolejnym przyrostem liczby uruchomień w stosunku do lat poprzednich, a to prawdopodobnie będzie skutkować zmianą stanu technicznego jednostek wytwórczych.

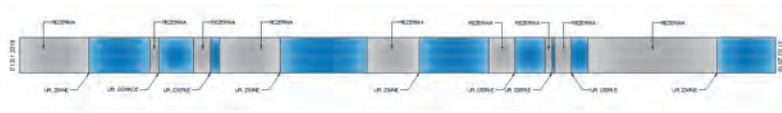
Tabela 1

Wybrane wskaźniki bloków 1-3 w ENERGA Elektrownie Ostrołęka SA

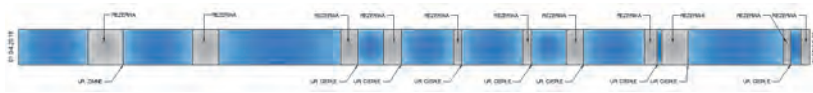
Rok	2015	2016	2017	Do czerwca 2018	
Dyspozycyjność czasowa	%	78,2	75,0	89,4	76,9
Awaryjność	%	5,8	6,6	7,4	5,3
Sprawność obiegu/ kotłów	%	41,9/92,4	42,9/92,6	42,3/92,6	42,1/92,2
Wskaźnik zużycia en. chemicznej na produkcję en. elektrycznej	gpu/kWh	314,3	310	313,7	314,3
Uruchomienia wszystkich jednostek	liczba	40	40	85	54

Graficzne przedstawienie pracy wybranego bloku w roku 2018 zobrazowano poniżej.

I KWARTAŁ 2018



II KWARTAŁ 2018



III KWARTAŁ 2018



Działania profilaktyczne

Kolejnym, niezwykle istotnym aspektem w kwestii utrzymania majątku są niewątpliwie działania profilaktyczne, które weryfikują i aktualizują stan techniczny urządzeń. Analiza aktualnych warunków pracy (ciepłno-mechanicznych i chemicznych) wraz z informacjami z ostatnich badań pozwala stwierdzić czy warunki pracy mają lub nie wpływ na dodatkową redukcją prognozowanego czasu dalszej eksploatacji. Praca elastyczna, która jest narzucona przez Rynek Mocy, może mieć negatywny wpływ na stan techniczny urządzeń. Ważne jest to, żeby takie oddziaływanie monitorować oraz w odpowiedni sposób analizować i interpretować (rys. 7).



Rys. 7. Systemowa analiza pracy regulacyjnej



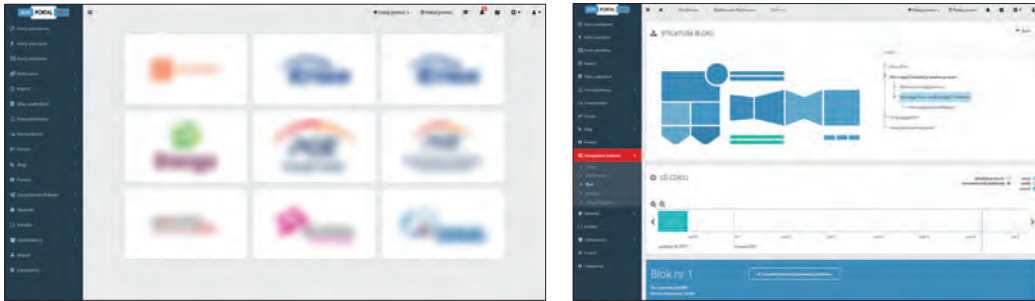
Rys. 8. Automatycznie generowany raport okresowy

Sprostanie oczekiwaniom dyktowanym przez Krajowy System Energetyczny (w tym Ustawy o Rynku Mocy) wymaga radykalnej zmiany podejścia do utrzymania majątku. Bez inżynierskich narzędzi wsparcia będzie to bardzo utrudnione – wręcz niemożliwe. Aktualizacja wiedzy o stanie technicznym jest niezbędnym działaniem. Wiedza ta jest aktualizowana w trybie *on-line*, a system okresowo generuje raport, w którym podawane są wyniki automatycznych analiz warunków pracy, zarówno ciepłno-mechanicznych jak i chemicznych. W następnym kroku wykryte zjawiska są komentowane w formie wniosków i zaleceń przez ekspertów *Pro Novum*.

Przekazywane raporty okresowe wraz z wnioskami i zaleceniami odnoszą się przede wszystkim do kwestii związanych z zapewnieniem bezpiecznej pracy urządzeń na podstawie aktualnego stanu technicznego, a co za tym idzie zapewnienia wysokiej dyspozycyjności bloków. Wnioski i zalecenia ekspertów *Pro Novum* wprowadzane są do realizacji w Elektrowni w obszarach Departamentu Zarządzania Majątkiem i Departamentu Produkcji.

Baza wiedzy w skali KSE – Portal www.portalblokipro.pl

Wymiana doświadczeń użytkowników urządzeń jednego typu lub do siebie podobnych to wiedza często ważniejsza niż same wyniki badań elementów, zwłaszcza tych, które już dawno przekroczyły swój czas projektowy. Statystyka awarii i uszkodzeń dla elementów pracujących poniżej temperatury granicznej to bardzo często jedyna możliwość ich prognozowania. Tak naprawdę awarie mówią o problemach rzeczywistych, a nie potencjalnych. Stworzony portal internetowy www.portalblokipro.pl,



Rys. 9. Portal internetowy www.portalblokopro.pl

służący m.in. do wymiany technicznych zagadnień związanych z bezpieczną eksploatacją bloków 200 MW, to bardzo ważne źródło wiedzy dla Specjalistów z Elektrowni. Dzięki Platformie Informatycznej LM System PRO+® korzystanie z Portalu jest praktycznie bezobsługowe, co w dzisiejszych czasach jest niewątpliwym atutem.

Podsumowanie

Prawidłowo prowadzona diagnostyka i profilaktyka bloków klasy 200 MW są źródłem wysokiej dyspozycyjności tych bloków. Połączona wiedza specjalistów od utrzymania majątku i ekspertów *Pro Novum* pozwoliła dobrze przygotować się do remontów modernizacyjnych w racjonalny sposób – opierając się na faktach, a nie na przesłankach. Dobre przygotowanie oparte na aktualnej wiedzy o stanie technicznym urządzeń pozwoliło zoptymalizować koszty tych remontów.

Zmienność pracy bloków 200 MW, wynikająca ze zwiększającego się udziału niestabilnych źródeł OZE, i utrzymanie deklarowanej dyspozycyjności, wynikającej z Rynku Mocy, narzuca dodatkowe wymagania dla diagnostyki. Ważne jest to, żeby umieć się dostosować do nowych warunków. Wysoką dyspozycyjność przy możliwie najmniejszych nakładach można osiągnąć tylko wtedy, gdy dysponuje się wiedzą o aktualnym stanie technicznym urządzeń oraz chce się i potrafi z niej korzystać.

PIŚMIENICTWO

- [1] Dziennik Ustaw Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa, dnia 3 stycznia 2018 r., Poz. 9, Ustawa z dnia 8 grudnia 2017 r. o Rynku Mocy.
- [2] Siedlecki S., *Diagnostyka i profilaktyka bloków 200 MW w ENERGA Elektrownie Ostrołęka SA – doświadczenia praktyczne*. Ryn, 16-18 maja 2018.
- [3] Siedlecki S., Merdalski W., *Doświadczenia ENERGA Elektrownie Ostrołęka SA z pracą regulacyjną zmodernizowanych bloków 200 MW*. „Energetyka” 2017, nr 12.
- [4] Siedlecki S., *Wykonany dotychczasowy zakres modernizacji oraz potrzeby do spełnienia warunków pracy bloków 200*

w EEO SA, jako element wspierający bilans mocy do roku 2040. Warszawa, marzec 2017.

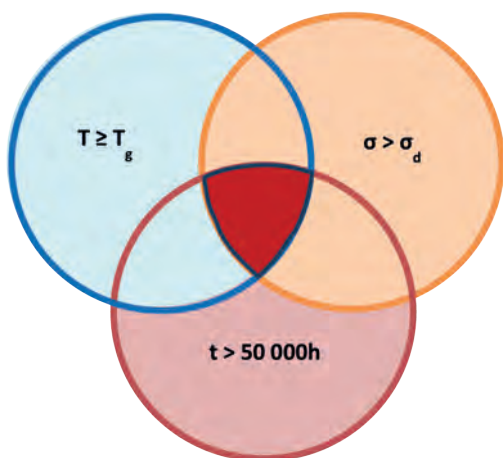
- [5] Trzeczcyński J., Murzynowski W., Stanek R., *10 lat doświadczeń oraz perspektywy rozwoju LM System PRO+® platformy informatycznej wspierającej utrzymanie stanu technicznego urządzeń energetycznych*. „Energetyka” 2014, nr 8.
- [6] Trzeczcyński J., Sobczyszyn A., Staszalek K., Stanek R., Rajca S., *Diagnostyka długo eksploatowanych bloków energetycznych przeznaczonych do pracy regulacyjnej*. „Energetyka” 2017, nr 6.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] PN/045.3360/2016: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100-360 MW. *Pro Novum*. Katowice 2016.
- [10] Trzeczcyński J., Biątek S., Murzynowski W., *Monitorowanie stanu technicznego urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków energetycznych przy wykorzystaniu platformy informatycznej LM System PRO+®, „Dozór Techniczny”* 2011, nr 5.
- [11] Siedlecki S., *Wykorzystanie LM System PRO+® do bieżącej oceny stanu technicznego bloku klasy 200 MW w Elektrowni Ostrołęka B*. Katowice, 6-7 października 2016.
- [12] Trzeczcyński J., Gawron P., Murzynowski W., *Wytyczne przedłużania eksploatacji zmodernizowanych bloków 100 MW – 360 MW*. „Energetyka” 2016, nr 12.

Pełzanie i zmęczenie a stan techniczny długo eksploatowanych powyżej temperatury granicznej głównych rurociągów parowych bloków klasy 200 MW

Impact of fatigue and creep phenomena on technical condition of main steam pipelines of power units class 200 MW operated over limit temperature for a long time

Procesy degradacyjne materiałów głównych rurociągów parowych bloków energetycznych związane ze zjawiskami pełzania i/lub zmęczenia, wbrew obiegowym opiniom, nie zachodzą w sposób ciągły w czasie ich eksploatacji. To, że materiał pracuje w tzw. warunkach pełzania oznacza tylko tyle, że pracuje powyżej temperatury granicznej tzn., że może tracić odporność na pełzanie, ale nie oznacza jeszcze, że ten proces degradacyjny zachodzi. Gdyby tak było, większość bloków energetycznych po 200 000 h pracy należałoby wyłączyć z użytkowania lub same by się odstawiły. Jak wiemy i co potwierdzają wnikliwe badania metaloznawcze dla większości materiałów rurociągów, dla których $\tau \geq 250\,000$ h nie stwierdzono występowania prostek pełzaniowych. Z definicji procesu pełzania wynika, że zachodzi on wtedy i tylko wtedy, gdy równocześnie są spełnione trzy warunki:

- praca powyżej temperatury granicznej,
- odpowiednio długi czas eksploatacji,
- naprężenie w czasie pracy wyższe od naprężeń dopuszczalnych.



Rys. 1. Warunek konieczny i wystarczający, gdy wystąpiły destrukcyjne efekty procesu pełzania

Z definicji zatem wynika, że degradacyjne procesy pełzania zachodzą wtedy, gdy iloczyn trzech powyższych zbiorów nie jest zbiorem pustym (rys. 1).

Dla długo eksploatowanych rurociągów praca w temperaturze wyższej od temperatury granicznej wynika z procesu technologicznego, podobnie czas i na te dwa warunki nie mamy wpływu, oba obiektywnie występują. Natomiast poziom naprężeń w bardzo dużym stopniu zależy „od nas”; czyli powinniśmy zapewnić:

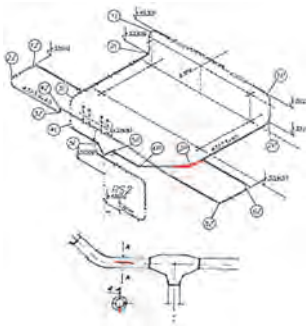
- dobry projekt,
- prawidłowy montaż,
- bezpieczną eksploatację,
- adekwatną do potrzeb diagnostykę pozwalającą na obniżenie naprężeń rzeczywistych poniżej poziomu naprężeń dopuszczalnych.

Podobnie rzecz się ma ze zmęczeniem, i to zarówno Wohlerowskim jak i w zakresie małej liczby cykli. Dla rurociągów spełniających cztery warunki „zależne od nas” destrukcyjne efekty procesów zmęczenia materiałów nie występują. Historia energetyki potwierdziła, że przeważająca część rurociągów nie ulega awariom spowodowanym przez procesy pełzania lub zmęczenia. Oczywiście, rzeczywistość nie jest tak różowa jak by się chciało i zdarzają się awarie rurociągów wywołane pełzaniem, ale tylko wówczas, gdy na którymś z wymienionych wcześniej etapów został popełniony błąd. Wybrane przykłady awarii rurociągów, które w czasie naszej 30-letniej działalności mieliśmy możliwość analizować, a które spowodowane były błędem ludzkim generującym nadmierne, dodatkowe naprężenia, a w konsekwencji procesy pełzania, omówimy w dalszej części artykułu.

W naszej dotychczasowej praktyce nie spotkaliśmy przypadków awarii rurociągu na skutek degradacji zmęczeniowej materiału. Podamy przykłady różnych zdarzeń, które wiążą się ze zmęczeniem i o których należy pamiętać, zwłaszcza gdy bloki pracują w warunkach dalece odbiegających od tych, dla których były pierwotnie projektowane – praca w regulacji, a nie w podstawie.

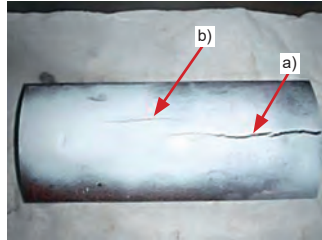
Rzeczywiste i potencjalne uszkodzenia rurociągów o charakterze pełzaniowym [1]

Błędy projektowe



Miejsce wystąpienia nieszczelności rurociągu pary świeżej

Uszkodzona prostka kolana



Wycinek nr 1 z pęknięciem „głównym” (a) i „pobocznym” (b)

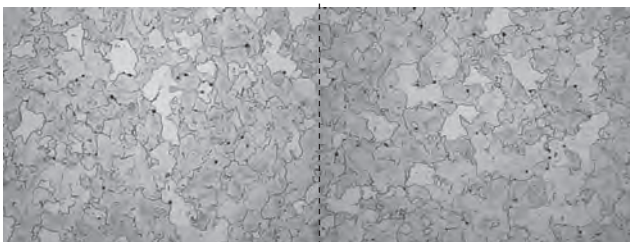
Rys. 2. Pęknięcia o charakterze pełzaniowym wywołane dodatkowymi naprężeniami wywołanymi przez nierównomierne nagrzewanie się obwodu rurociągu (zaleganie skroplin) i moment skręcający



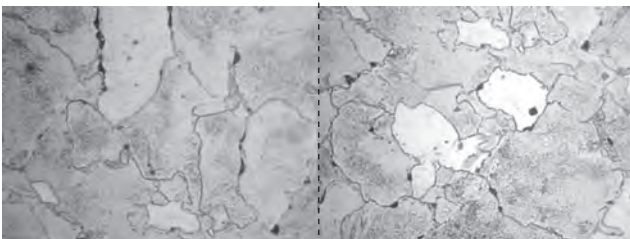
Pęknięcie „główne” przechodzące na wskroś ścianki



Silnie skorodowany przelom – długotrwały proces niszczenia



Struktura materiału kolana – liczne pojedyncze mikropory pełzaniowe (pow. 200x)



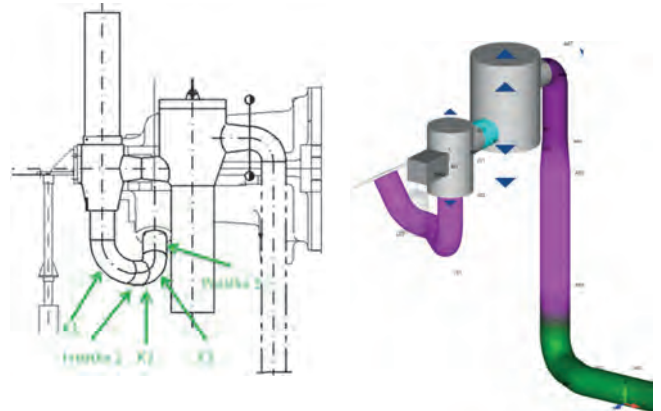
Struktura materiału kolana – zdegradowany bainit; liczne pustki pełzaniowe (pow. 500x)

Rys. 3. Przekrój przez uszkodzony materiał prostki i strukturę materiału w bezpośrednim sąsiedztwie pęknięć

Poniższy przykład dotyczy powstałych równocześnie dwóch błędów projektowych:

- po pierwsze, bardzo długi poziomy rurociąg do zaworów bezpieczeństwa pozostawiono bez przepływu czynnika (brak tzw. układu do grzania rurociągu), co spowodowało zaleganie skroplin w obszarze i awarię,
- po drugie, nie w pełni skompensowano oddziaływanie momentu skręcającego związanego z różnym przemieszczaniem się rurociągu głównego i utwierdzonego na końcu rurociągu do zaworu bezpieczeństwa.

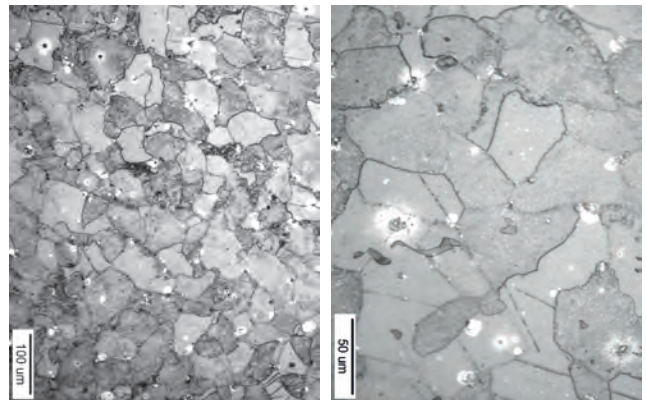
Rurociąg łączący zawór regulacyjny z kadłubem WP turbiny



Rozkład wskaźnika (σ_{cr}/σ_{dnp}) naprężeń dla omawianego rurociągu

Rys. 4. Potencjalny obszar wystąpienia pęknięć spowodowanych procesami pełzania, związany z nieuwzględnieniem przez projektanta pełnej kompensacji wydłużeń cieplnych rurociągu

Struktura materiału badanych kolan



pow. 200x

pow. 500x

Struktura ferrytyczna z bardzo niewielką ilością bainitu/perlitu rozmieszczonego głównie po granicach ziaren ferrytu. Ferryt polygonalny i quasi-polygonalny. Wielkość ziarna ferrytu 5,0, wg PN-EN ISO 643:2005.

Występują liczne roztrawienia wokół węglików/siarczków oraz pojedyncze mikropory pełzaniowe

Rys. 5. Początek III stadium procesu pełzania materiału kolan rurociągu do kadłuba WP turbiny

Błędy remontowe



Rys. 6. Pozostawienie blokad zamocowań sprężynowych (poziomych i pionowych) na czas próby wodnej

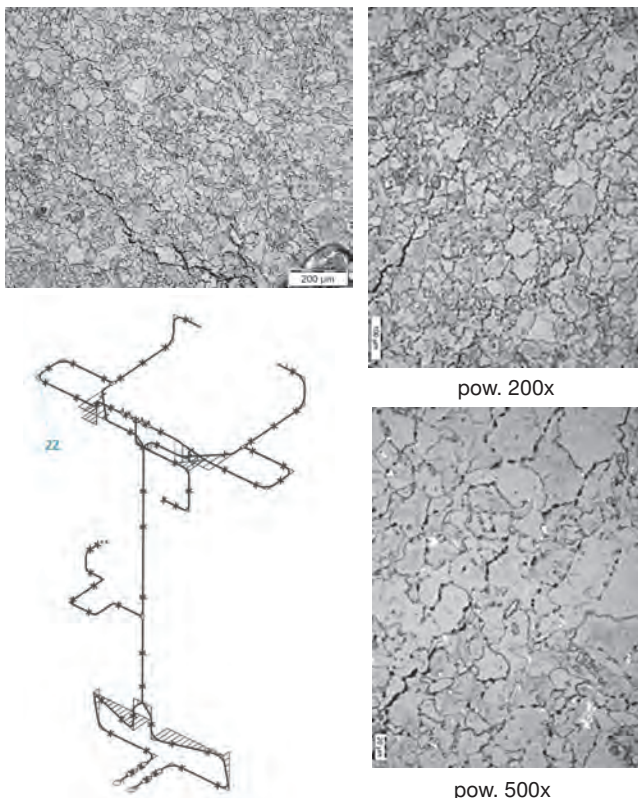
Błędy montażowe



Rys. 7. Pozostawienie fabrycznych blokad zamocowań

Błędy diagnostyczne

Zaawansowany proces pełzania materiału kolan ZZ



Rys. 8. Niewykryta, a co za tym idzie, nieusunięta w porę blokada zamocowania i efekt oddziaływania dodatkowego naprężenia wywołanego momentem gnącym

Uszkodzenia systemu zamocowań i zmiany trasy rurociągów pary do wtórnego przegrzewu spowodowane uderzeniem hydraulicznym

Uderzenie hydrauliczne to gasnące drgania rurociągu najczęściej pary do wtórnego przegrzewu wynikające z gwałtownego odparowania wody, które powoduje lokalny, skokowy wzrost ciśnienia wewnętrznego. Jest to typowy błąd eksploatacyjny związany z niewłaściwym odwodnieniem rurociągów przed rozruchem lub nieprawidłowym sterowaniem zaworem wtryskowym stacji redukcyjno-schładzającej RS-1. Poziom naprężeń i amplituda drgań kwalifikują je do grupy zmęczenia z zakresu małej liczby cykli, ale jednorazowe „wymuszenie” sprawia, że mamy do czynienia z drganiami gasnącymi, dla których liczba cykli nie przekacza 10, a naprężenia i amplituda maleją wykładniowo z cyklu na cykl. Jest to zatem proces zmęczenia quasi-małowycyklicznego.

W naszej praktyce nie spotkaliśmy się z przypadkiem, żeby uszkodzeniu (rozszczerzeniu) uległ sam rurociąg. Natomiast poważniejszych uszkodzeń doznał system zamocowań, a sam rurociąg został przemieszczony poza swą dotychczasową trasę.

Przykłady skutków uderzeń hydraulicznych

Uderzenia hydrauliczne są bardzo niebezpieczne ze względu na to, że występują nagle (bez jakichkolwiek wczesnych symptomów) i mogą mieć bardzo dużą dynamikę. Destrukcyjne efekty jednego z analizowanych przez nas zdarzeń pokazano na rysunkach 9 i 10 [2].



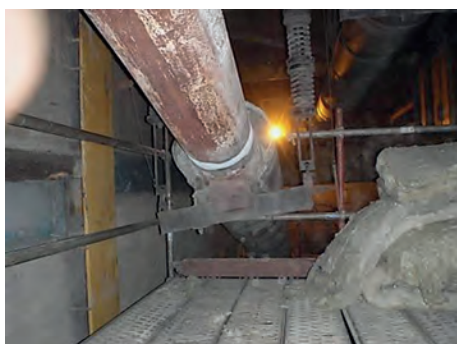
Rys. 9. Spłaszczenie ścianki lewej nitki rurociągu pary do wtórnego przegrzewu powstała na skutek uderzenia rurociągu w słup kotłowni (projektowa odległość osi rurociągu od osi słupów wynosiła 1500 mm)



Rys. 10. Całkowicie zerwane obie części ciężna zamocowania stałositolowego Z5 prawej nitki rurociągu pary do wtórnego przegrzewu. W tym przypadku słupy kotłowni nie były „naturalnym” ogranicznikiem amplitudy drgań gasnących wywołanych uderzeniem hydraulicznym



Rys. 11. Znaczące przesunięcie rurociągu na zewnątrz od bocznej ściany kotła – istotne skrzywienie zamocowania 32P



Rys. 12. Uszkodzone zamocowanie 34P



Rys. 13. Wygięta obejma zawieszenia 6P, przesunięta prawa nitka rurociągu w kierunku rurociągu pary wtórnie przegrzanej



Rys. 14. Wygięta obejma zamocowania 6L i przesunięcie lewej nitki rurociągu w kierunku rurociągu pary wtórnie przegrzanej



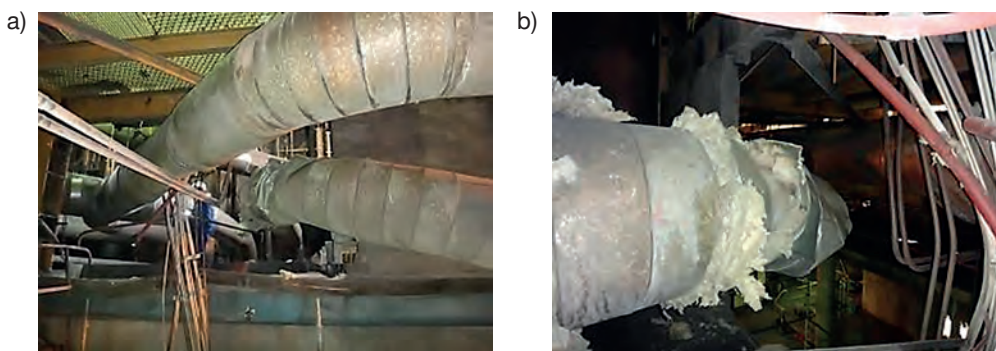
Rys. 15. Ugięcie obejmy podpory stałej



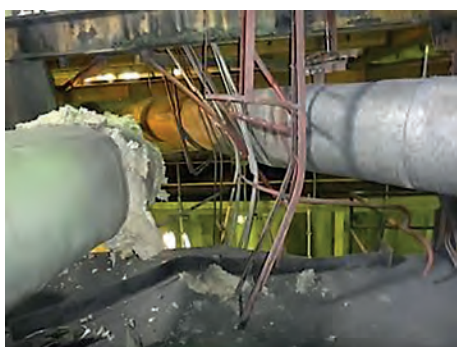
Rys. 16. Zmiana trasy i wykrzywienie zawieszenia poziomego odcinka rurociągu



Rys. 17. Wykrzywienie obejmy zamocowania, „pokrzywienie” ciągów i zmiana trasy rurociągu



Rys. 18. Zniszczona infrastruktura bloku w sąsiedztwie „skaczącego” rurociągu



Rys. 19. Uszkodzone „zejście” w rejonie czwórników



Rys. 20. „Spotkanie” rurociągu ze ścianą



Rys. 21. „Spotkanie” rurociągu z rurociągiem pary świeżej

Podsumowanie

1. Dotychczasowa praktyka inżynierska nie odnotowała przypadku uszkodzenia (rozszczerzenia) rurociągu związanego z procesami pełzania lub zmęczenia, związanymi z prawidłową ekspatacją rurociągów.
2. Uszkodzenia materiału rurociągu o charakterze pełzaniowym wynikają z dodatkowych naprężeń związanych z błędem ludzkim.
3. Gasnące drgania rurociągu (para do wtórego przegrzewu) wywołane uderzeniem hydraulicznym są zjawiskiem nagłym, bardzo dynamicznym, a co za tym idzie bardzo niebezpiecznym dla ludzi znajdujących się w sąsiedztwie rurociągu.
4. Prawidłowo prowadzona diagnostyka rurociągów poprzedzona pełną inwentaryzacją pozwala na wyeliminowanie i przeciwdziałanie błędom ludzkim powstałym na etapie projektowania, montażu, eksploatacji i nieadekwatnej diagnostyki.
Proponowane podejście w bardzo dużym stopniu ogranicza możliwość występowania destrukcyjnych procesów pełzania i/lub zmęczenia.

PIŚMIENICTWO

- [1] Brunné W., Potencjalne i rzeczywiste miejsca występowania uszkodzeń o charakterze pełzaniowym. Konferencja UDT, Łądek Zdrój, maj 2018.
- [2] Sprawozdanie „Pro Novum” nr 5.231/1993, praca niepublikowana.

Pomiary drgań rurociągów ciepłowniczych

Vibration measurements of heating pipelines

Sieci ciepłownicze są to sieci rozległe, składające się z wielu kilometrów rurociągów. Ze względu na ich miejski charakter dostęp do wielu odcinków sieci ciepłowniczych jest utrudniony. Przykładem może być warszawski system ciepłowniczy (w.s.c.), w którego skład wchodzi ok. 1800 km rurociągów, z czego ok. 98% jest zlokalizowanych po ziemi. Powoduje to znaczne trudności w odnajdowaniu miejsc, w których doszło do wycieku wody sieciowej do otoczenia (awarii). W przypadku wycieku na tyle małego, że nie powoduje on widocznych objawów (np. zalanie ulicy/chodnika, parowanie z kominów odpowietrzających komory) może to prowadzić do niewykrycia awarii przez bardzo długi czas, sięgający nawet kilku miesięcy. W tym czasie woda wyciekająca z rurociągu może powodować korozję coraz dłuższego odcinka rurociągu lub innych elementów sieci, a ostatecznie doprowadzić do poważniejszej awarii.

Obecnie większość awarii w.s.c. odnotowuje się na odcinkach sieci budowanych w technologii kanałowej. Są to odcinki, które pracują nieprzerwanie nawet od ponad 40 lat. W tym czasie były one wystawione na wyższe parametry pracy systemu ciepłowniczego, okresy gorszej jakości wody sieciowej oraz, na niektórych odcinkach, na kontakt z wodami zewnętrznymi zalewającymi kanały. Wszystkie te warunki prowadziły do powstawania i szybszego rozprzestrzeniania się korozji rurociągów, która jest główną przyczyną awarii sieci ciepłowniczej (obecnie ok. 80% wszystkich awarii w w.s.c.).

Awaryje niewykryte przez dłuższy okres powodują znaczące straty dla przedsiębiorstwa ciepłowniczego, zarówno w postaci ubytku wody sieciowej, którą trzeba uzupełnić, jak i zwiększonych strat ciepła i większych nakładów inwestycyjnych, jeśli awaria rozprzestrzeni się na dłuższy odcinek sieci. Wszystko to powoduje potrzebę podjęcia działań mających na celu stworzenie narzędzi mogących pomóc we wcześniejszym wykrywaniu awarii. W niniejszym artykule zostały zaprezentowane dotychczasowe wyniki jednego z rozwijanych rozwiązań.

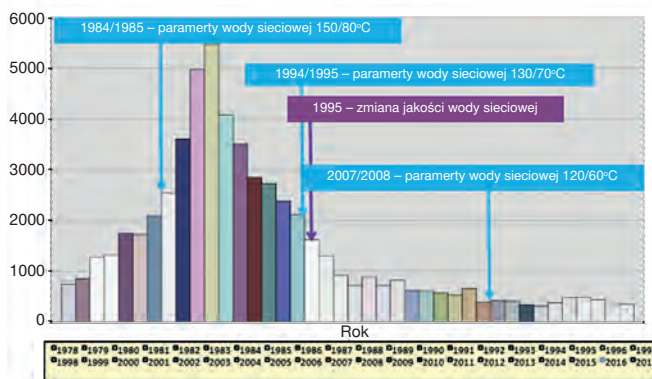
Cel badań

Celem badań jest sprawdzenie czy na podstawie pomiarów i analiz widmowych drgań możliwe jest określenie przybliżonej lokalizacji wystąpienia nieszczelności (awarii) rurociągów sieci ciepłowniczej miasta stołecznego Warszawy.

Pomiary i diagnostyka stanu technicznego urządzeń na podstawie analiz sygnałów drgań

Nadzór stanu technicznego urządzeń oparty na pomiarach i analizach poziomu drgań stosowany jest od połowy lat siedemdziesiątych XX wieku. Ta technologia diagnostyczna doczekała się najpierw gruntownych podstaw teoretycznych [1] i [6]. Następnie metody pomiarowe poddawane były wielu kolejnym próbom usystematyzowania, znormalizowania. Ostatnio opracowano i wprowadzono do oceny maszyn wirnikowych normy serii 20816 [4], które podają precyzyjne wytyczne co do poziomu dopuszczalnych drgań dla typowych urządzeń stosowanych szeroko w energetyce i wielu innych dziedzinach przemysłu.

Nadzór diagnostyczny nad pracą maszyn wymaga zastosowania odpowiednich narzędzi. Zdecydowanie szybki rozwój technologii i informatyki, tak widoczny w ostatnich 20 latach, miał duży udział w szybkim rozwoju tej metody pomiarowej. Obecnie na rynku dostępne są systemy pomiarowe różnych firm, umożliwiające wdrożenie systemu diagnostyki eksploatacyjnej opartego na kompleksowej analizie wyników badań kontrolnych. Zasadniczą część systemu stanowią mierniki drgań

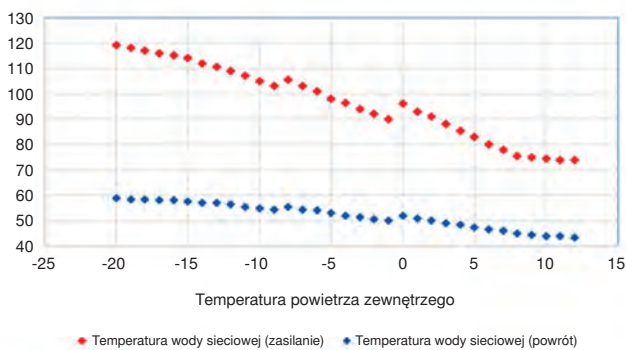


Rys. 1. Liczba awarii w.s.c. w latach 1978-2017 [3]

(lub lepiej je nazwać teraz skomputeryzowani zbieraczami danych) oraz wspomagające oprogramowanie komputerowe służące do analizy i przechowywania danych pomiarowych. Nowoczesne bazy danych diagnostycznych mogą także pracować w sieciach lokalnych (LAN) lub rozległych (WAN). Ta technologia pomiarowa okazała się skuteczna w szeregu zastosowań praktycznych w energetyce jak i w przemyśle [5].

Wykonane badania

Realizując zaplanowany cykl badawczy pomiarami objęto do tej pory 64 punkty pomiarowe zlokalizowane w wybranych 64 komorach sieci ciepłowniczej w Warszawie [7-10]. W pierwszym etapie wybrano 24 punkty pomiarowe zlokalizowane w 24 komorach na terenie Warszawy. Zaplanowano wykonanie pomiarów w trzech różnych okresach eksploatacji sieci ciepłowniczej – jesiennym, zimowym i letnim.



Rys. 2. Wykres regulacyjny w.s.c. [3]

W okresie zimowym przy najwyższych parametrach wody sieciowej ciśnienie w instalacji może dochodzić do 1,35 MPa, natomiast w okresie letnim ciśnienie spada do ok. 0,81 MPa. Zmianie ulegają także temperatury wody sieciowej. Latem to ok. 75°C. W okresie zimowym mogą dochodzić do 120°C. Zima 2017/2018 nie była aż tak sroga, więc temperatura wody sieciowej nie przekraczała 85°C. Celem tego etapu badań była odpowiedź na pytanie: czy wynikające ze zmian temperatur otoczenia parametry ciśnienia i temperatury wody sieciowej mają wpływ na mierzone wartości drgań? Dodatkowo celem tak szeroko wykonanych pomiarów – po 3 pomiary w tych samych punktach pomiarowych – była identyfikacja „typowych” i powtarzalnych częstotliwości drgań.

W drugim etapie skoncentrowano się na analizach awarii wykrywanych przez firmę *Veolia Energia Warszawa*. Celem tego etapu była analiza czy wycieki wody sieciowej z niesprawnej punktowo instalacji generują specyficzne, różniące się od „typowych” częstotliwości drgań. Na tym etapie skupiono się na wykonywaniu pomiarów i analiz widmowych drgań nie tylko w miejscu awarii, lecz także w coraz dalszej odległości od miejsca awarii, aż do punktu, w którym sygnały drganiowe „zanikały”. Jednocześnie pomiędzy miejscem pomiaru a miejscem awarii często znajdowały się elementy armatury, takie jak kompensatory, zwężki, zawory, rozgałęzienia, których wpływ na pomiar był również badany.

Każdorazowo zastosowano następującą technologię pomiaru i analiz widmowych drgań:

- pomiary i analizy drgań wykonano dla parametru przyspieszenia drgań [m/s^2],
- zmierzono amplitudy sumarycznych drgań (szerokopasmowych) dla tej jednostki pomiarowej drgań w zakresie do 20000 Hz.

Sygnały drgań poddano analizom widmowych z wykorzystaniem techniki FFT (Szybkie Przekształcenie Fouriera, ang. *Fast Fourier Transform*) w celu wyodrębnienia z odbieranego sygnału poszczególnych częstotliwości drgań. Stąd też w każdym punkcie pomiarowym zebrano widma drgań w pasmach kolejno do 5000 Hz, do 10000 Hz oraz do 20000 Hz. W każdym przypadku wykonano w technice cyfrowej FFT widma drgań z dużą rozdzielczością 12800 linii. Pozwoliło to uzyskać przebiegi widm drgań z dokładnością odpowiednio 0,39 Hz.

Analiza wyników pomiarów drgań rurociągów sieci ciepłowniczej

Celem głównym pierwszego etapu badań drgań rurociągów było wykonanie pomiarów w wytypowanych 24 punktach pomiarowych – wytypowanych 24 komorach na terenie Warszawy. Jak już wspomniano pomiary te wykonano w trzech okresach pracy ciepłowniczej. W tym celu zebrano bogaty materiał pomiarowy, obejmujący nie tylko wartości liczbowe drgań w poszczególnych punktach pomiarowych, lecz także wykonane z dużą rozdzielczością widma drgań w trzech kolejnych pasmach do 5000 Hz, do 10000 Hz oraz do 20000 Hz.

Jak wykazały pomiary w szeregu punktów pomiarowych amplitudy drgań na rurociągach sieci ciepłowniczej nie były wysokie – rzędu od 0,002 m/s^2 . Jak wykazuje bibliografia [2] nie należało się spodziewać w drganiach rurociągów ciepłowniczych wyższych amplitud drgań. Pojazdy mechaniczne w ruchu miejskim generują drgania przenoszące się przez grunt, o podobnych amplitudach, w pasmie częstotliwości do ok. 100 Hz. Drgania te oczywiście przenoszą się również na rurociągi ciepłownicze.

Większość wytypowanych do pomiarów drgań komór jest zlokalizowana w miejscach, gdzie ruch uliczny nie jest duży i nie miał on większego wpływu na rejestrowane przebiegi sygnałów drgań. Jedynie w kilku przypadkach napotkano wyższe amplitudy drgań w miejscach pomiarów zlokalizowanych blisko ruchliwych ulic, torowisk tramwajowych lub stacji metra.

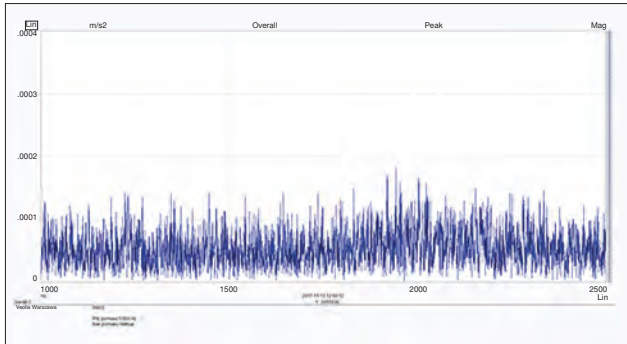
Drugim źródłem drgań, na które narażone są rurociągi, są zjawiska związane z przepływem wody sieciowej.

W otrzymanych analizach widmowych drgań mierzonych na rurociągach sieci ciepłowniczej można było wyszczególnić typowe, znajdujące w większości analiz zakresy częstotliwości drgań:

- pasmo niskich częstotliwości z zakresu do 100 Hz – pochodzące od ruchu ulicznego – z różnym nasileniem i chwilowymi wartościami zależnymi od jego aktualnego natężenia,
- drgania o częstotliwości ok. 8850 Hz,
- drgania o częstotliwości ok. 17500 Hz.

W jednym z punktów pomiarowych wykryto wyraźnie inny obraz widma drgań niż w pozostałych punktach sieci ciepłowniczej. Rysunek 3 pokazuje typowy przebieg widma drgań.

Rysunek 4, skalowany identycznie, ma zaś wyraźnie wyższe składowe drgań w dość szerokim pasmie częstotliwości. W pobliżu tej komory wykryty został później przez pracowników firmy Veolia nieduży wyciek z instalacji. Ta awaria, podobnie jak ta stwierdzona w 2016 roku, była przesłanką, by w drugim planowanym etapie skupić się na analizach wartości drgań w miejscach występowania awarii sieci.

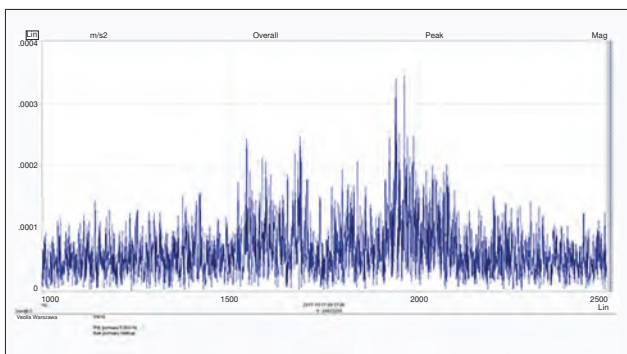


Rys. 3. Typowe widmo drgań mierzone w pasmie częstotliwości szerokości 1500 Hz

Analizy awarii na sieci ciepłowniczej

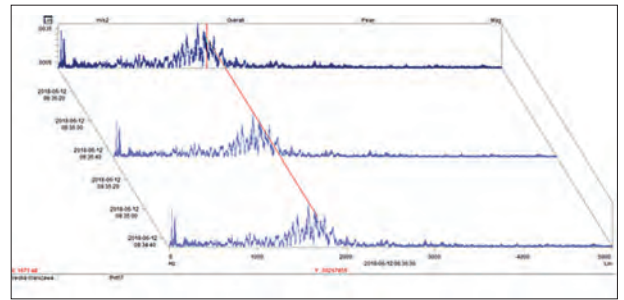
Od listopada 2017 roku wykonano pomiary drgań w miejscach występowania ośmiu awarii sieci ciepłowniczej wskazanych przez pracowników eksploatacji. Poniżej opisano trzy z nich.

W każdym przypadku sygnały drgań poddano analizom widmowym z wykorzystaniem techniki FFT w celu wyodrębnienia z odbieranego sygnału poszczególnych częstotliwości drgań. W widmach drgań wyróżniono kilka pasm, niektóre z nich były powtarzalne i występujące prawie we wszystkich pomiarach. Po analizach widm mierzonych w miejscach awarii zauważono jednak, że nieszczelności na instalacji pobudzają drgania w pasmie o szerokości 1500 Hz, jak to pokazano na rysunku 4.

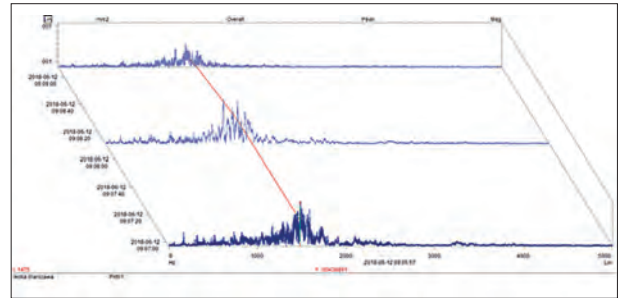


Rys. 4. Widmo drgań w pasmie częstotliwości szerokości 1500 Hz. Pomiary w miejscu nieszczelności

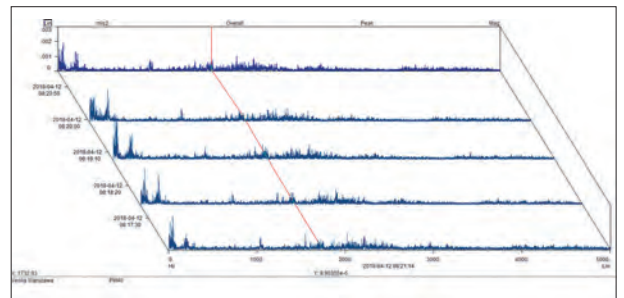
Opisując poniżej trzy stwierdzone awarie podano wartości liczbowe drgań z tego pasma. Dołączono także wydruki analiz widmowych drgań dla wybranych punktów pomiarowych – rysunki 3-6.



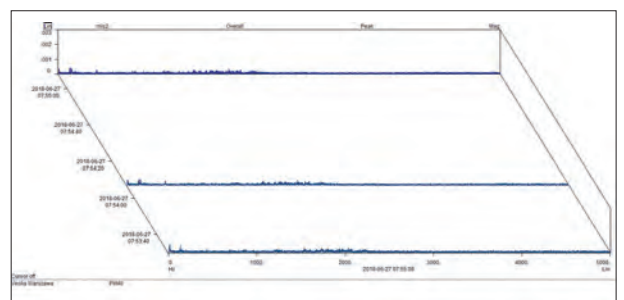
Rys. 5. Pkt. 57 – komora 1.1. Widma drgań rurociągu w pasmie do 5000 Hz



Rys. 6. Pkt. 61 – komora 2.1. Widma drgań rurociągu w pasmie do 5000 Hz



Rys. 7. Pkt. 40 – komora 3.1 nieszczelność. Widma drgań rurociągu w pasmie do 5000 Hz



Rys. 8. Pkt. 40 – komora 3.1 po usunięciu wycieku. Widma drgań rurociągu mierzone w pasmie do 5000 Hz.

Awaria nr 1 – pomiary z dnia 12 czerwca 2018

Miejsca pomiaru i analiz drgań rurociągów obejmowały kolejne punkty pomiarowe położone w pobliżu komory 1.1 i 1.2, gdzie podejrzewano awarię.

Pkt. 56 – kanał między komorami 1.1 i 1.2, blisko awarii.

Duże nasilenie ruchu ulicznego.

Pkt. 57 – komora 1.1, ok. 30 m od awarii.

Pkt. 58 – komora 1.3, ok. 90 m od awarii.

Pkt. 59 – komora 1.4, ok. 160 m od awarii.

Pkt. 60 – komora 1.5, ok. 200 m od awarii.

Tabela 1

Wyniki pomiarów drgań w pasmie o szerokości 1500 Hz
– awaria nr 1 z dnia 12 czerwca 2018

Punkt pomiarowy	m/s ²
Pkt. 56 – kanał między komorami 1.1 i 1.2	0,015
Pkt. 57 – komora 1.1	0,05
Pkt. 58 – komora 1.3	0,036
Pkt. 59 – komora 1.4,	0,04
Pkt. 60 – komora 1.5	0,07

Awaria nr 2 – pomiary z dnia 12 czerwca 2018

Miejsca pomiaru i analiz drgań rurociągów obejmowały kolejne punkty pomiarowe położone w pobliżu awarii.

Pkt. 61 – komora 2.1, ok. 220 m od awarii.

Pkt. 62 – spust z rurociągu 2, ok. 120 m od awarii.

Pkt. 63 – właz kontrolny rurociągu 2, ok. 40 m od awarii.

Pkt. 64 – w miejscu awarii (komora 2.2), lekki wyciek na odpowietrzeniu.

Tabela 2

Wyniki pomiarów drgań w pasmie szerokości 1500 Hz
– awaria nr 2 z dnia 12 czerwca 2018

Punkt pomiarowy	m/s ²
Pkt. 61 – komora 2.1	0,08
Pkt. 62 – spust z rurociągu 2	0,02
Pkt. 63 – właz kontrolny rurociągu 2	0,03
Pkt. 64 – w miejscu awarii (komora 2.2),	0,09

Awaria nr 3 – pomiary z 27 czerwca 2018

Miejsca pomiaru i analiz drgań rurociągów obejmowały kolejne komory wybrane do pomiarów w pobliżu komory 3.1 – Pkt. 40, gdzie usunięto awarię wykrytą przy pomiarach dnia 12 kwietnia 2018.

Pkt. 40 – komora 3.1.

Pkt. 42 – komora 3.2.

Pkt. 43 – komora 3.3.

Pkt. 44 – komora 3.4.

Tabela 3

Wyniki pomiarów drgań w pasmie szerokości 1500 Hz
– awaria nr 3 dnia 27 czerwca 2018

Punkt pomiarowy	m/s ²
Pkt. 40 – komora 3.1	0,005
Pkt. 42 – komora 3.2	0,10
Pkt. 43 – komora 3.3	0,06
Pkt. 44 – komora 3.4	0,0009
Pkt. 40 – komora 3.5	0,005

Wnioski i podsumowanie

Wykonane pomiary wykazały, że awaria na jednym rurociągu generuje w sygnale analizowanych drgań „unikatową” częstotliwość drgań w pasmie o szerokości 1500 Hz. Przeprowadzono następnie analizy wyników pomiarów w miejscach awarii stwierdzanych przez służby firmy *Veolia Energia Warszawa*. Analizy wykonane w miejscach awarii zdają się to potwierdzać.

Celem przeprowadzonych badań była odpowiedź na pytanie: czy ta znana i już sprawdzona technologia analizy drgań jest także skuteczna przy wykrywaniu nieszczelności w układach rurociągów sieci ciepłowniczej? Na tym etapie badań wydaje się, że odpowiedź jest pozytywna, chociaż istnieje potrzeba wykonania większej liczby pomiarów w miejscach awarii sieci w celu zidentyfikowania czynników mających wpływ na wyniki pomiarów.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Cempel C., *Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn*, Wydział Nauk Technicznych Warszawa 1982.
- [2] Chyży T., *Badania oddziaływań drgań pochodzenia komunikacyjnego na budynki mieszkalne i ludzi w aglomeracji Warszawskiej*, Prace Instytutu Techniki Budowlanej – „Kwartalnik” 2008, nr 1 (145).
- [3] Gawroński T., Kręcielewska E., Maliszewski W., Żarnowski T., *Pomiary drgań rurociągów ciepłowniczych*, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja” 2018, 49/9.
- [4] ISO 20816-1: 2016: *Mechanical vibration – Measurement and evaluation of machine vibration*.
- [5] Maliszewski W., *Z diagnostyką na co dzień*, „Służby Utrzymania Ruchu SUR”, 2012, 6 (28).
- [6] Morel J., *Drgania maszyn i diagnostyka stanu technicznego*, Polskie Towarzystwo Diagnostyki Technicznej, 1994.
- [7] [6] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 115.3574/2017: *Wykonanie pomiarów wibroakustycznych na rurociągach ciepłowniczych*, (niepublikowane) listopad 2017.
- [8] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 011.3596/2018: *Wykonanie pomiarów wibroakustycznych na rurociągach ciepłowniczych – etap 2*, (niepublikowane) luty 2018.
- [9] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 036.3614/2018: *Wykonanie pomiarów wibroakustycznych na rurociągach ciepłowniczych – etap 3 Analizy awarii*, (niepublikowane) maj 2018.
- [10] Sprawozdanie *Pro Novum* nr 041.3523/2018: *Wykonanie pomiarów wibroakustycznych na rurociągach ciepłowniczych – etap 4 Analizy awarii – część 2*, (niepublikowane) lipiec 2018.

XX Sympozjum Informacyjno-Szkoleniowe DIAGNOSTYKA I REMONTY URZĄDZEŃ CIEPLNO-MECHANICZNYCH ELEKTROWNI – Elastyczne bloki energetyczne na Rynku Mocy

W dniach **3-5 października 2018 r.** w Courtyard® by Marriott® Katowice City Center w Katowicach odbyło się zorganizowane przez *Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o.*: jubileuszowe, XX Sympozjum Informacyjno-Szkoleniowe **DIAGNOSTYKA I REMONTY URZĄDZEŃ CIEPLNO-MECHANICZNYCH ELEKTROWNI – Elastyczne bloki energetyczne na Rynku Mocy.**

Sympozjum zostało zorganizowane przy współpracy z Towarzystwem Gospodarczym Polskie Elektrownie, Izbą Gospodarczą Energetyki i Ochrony Środowiska, *ENERGA Elektrownie Ostrołęka S.A.*, *ENEA Wytwarzanie sp. z o.o.* oraz Centrum Energetyki Akademii Górniczo-Hutniczej. Po raz pierwszy w tym roku merytorycznie wsparli Sympozjum także: *PZU Lab S.A.* oraz *VGB PowerTech e.V.*

Urząd Dozoru Technicznego po raz kolejny objął Sympozjum Honorowym Patronatem.

Patronat medialny nad Sympozjum sprawowały branżowe czasopisma: *Dozór Techniczny*, *Energetyka*, *Europejskiej Perspektywy*, *Nowa Energia*, *Przegląd Energetyczny*, a także portal *Cire.pl*.

W Sympozjum wzięło udział blisko 130 przedstawicieli prawie wszystkich polskich elektrowni i elektrociepłowni, Urzędu Dozoru Technicznego, krajowych firm remontowych i diagnostycznych, innych podmiotów związanych z polską energetyką, a także zagranicznych firm i ośrodków naukowych. W ciągu dwóch dni podczas sześciu sesji wygłoszonych zostało 26 referatów, które dotyczyły aktualnych problemów i wyzwań branży energetycznej.





Tegoroczny charakter Sympozjum sprawił, że rozpoczęto je otwarciem wystawy oraz sesją poświęconą przypomnieniu jego historii na tle transformacji polskiej energetyki w okresie ponad 30-letniej działalności *Pro Novum*. Sesję rozpoczął film ukazujący wszystkie dotychczasowe edycje, ważne osobistości, uczestników, jak również charakterystyczne momenty z ich przebiegu. Refleksjami na temat historii Sympozjum podzielił się zaproszeni do dyskusji jego twórcy: Jerzy Trzeszczyński i Jerzy Dobosiewicz oraz wielokrotni jego aktywni uczestnicy: Stefan Kotowski, Ignacy Waga i Stanisław Tokarski.

Dwie sesje w pierwszym dniu Sympozjum miały specjalny charakter. Pierwszą z nich pt. „Doświadczenia w zakresie poprawy elastyczności elektrowni węglowych” zorganizował *VGB PowerTech e.V.* z udziałem niemieckich firm: *Steag Energy Services GmbH*, *RWE Technology International GmbH* oraz *EnBW Energie Baden-Württemberg AG*. Druga miała formę panelu dyskusyjnego i dotyczyła dobrych praktyk inżynierskich w zakresie remontów i diagnostyki turbin. Dyskusja, jaka wywiązała się po zakończeniu obydwu sesji pokazała, że zarówno tematyka jak i poziom referatów znalazły uznanie wśród uczestników Sympozjum. Na zakończenie pierwszego dnia Sympozjum odbyło się kolejne spotkanie użytkowników Portalu Bloki PRO® poświęcone jego modernizacji.

Podobnie jak wszystkie poprzednie, także tegoroczne Sympozjum stało się okazją do zaprezentowania bogatego dorobku technicznego *Pro Novum*, zwłaszcza dotyczącego diagnostyki i utrzymania stanu technicznego majątku produkcyjnego elektrowni eksploatowanego w coraz bardziej wymagających warunkach dla jego bezpieczeństwa i dyspozycyjności. Potwierdzeniem wysokiego poziomu technicznych rozwiązań *Pro Novum* jest ich aproba przez NCBR, organizatora konkursu Program Bloki 200+.

Sympozjum towarzyszyła wystawa, na której oprócz Przedsiębiorstwa Usług Naukowo-Technicznych „Pro Novum” sp. z o.o. stoiska wystawowe przygotowały: *Ecol Sp. z o.o.*, *Emerson Automation Solutions Final Control Polska sp. z o.o.*, *Ligra sp. z o.o.*, *Turbolab – Diagnostyka Turbin Sp. z o.o.* i *VGB PowerTech e.V.*



Spis wygłoszonych referatów

SESJA I

1. Jerzy Trzeszczyński (*Pro Novum sp. z o.o.*) – „Diagnostyka elastycznych bloków energetycznych na Rynku Mocy”
2. Stanisław Siedlecki (*ENERGA Elektrownie Ostrołęka S.A.*), Wojciech Merdalski (*Pro Novum sp. z o.o.*) – „Podejście do utrzymania majątku w ENERGA Elektrownie Ostrołęka SA metodą na sukces na Rynku Mocy”

SESJA II

1. Wojciech Nowak (Centrum Energetyki AGH), Stanisław Tokarski (Centrum Energetyki AGH, Główny Instytut Górnictwa) – „Poprawa parametrów eksploatacyjnych bloków energetycznych poprzez zwiększenie obciążenia w dolinach nocnych”
2. Paweł Gugala (*ENEA Wytwarzanie sp. z o.o.*) – „Dostosowanie bloków 200 MW do pracy regulacyjnej i nowych wymagań środowiskowych w Enea Wytwarzanie sp. z o.o.”
3. Dariusz Gołębiowski (*PZU Lab SA*) – „Zarządzanie bezpieczeństwem bloków energetycznych z perspektywy ubezpieczyciela”
4. Wojciech Murzynowski, Kamil Staszatek, Sławomir Rajca, Marcin Kijowski, Katarzyna Królikowska (*Pro Novum sp. z o.o.*) – „Stan techniczny bloków klasy 200 MW - konsekwencje pracy elastycznej”

SESJA III – DOŚWIADCZENIA W ZAKRESIE POPRAWY ELASTYCZNOŚCI ELEKTROWNI WĘGLOWYCH

1. Hartmut Popella (*Steag Energy Services GmbH*) – „Potrzeby, wyzwania i ograniczenia w zakresie elastyczności i minimalnego obciążenia elektrowni węglowych”
2. Thomas Hofbauer (*EnBW*) – „Obniżenie minimum technicznego i systemy magazynowania energii jako sposób na poprawę elastyczności elektrowni węglowych”
3. Axel Meschbiz, Michael Schütz (*RWE Technology International GmbH*) – „Elastyczność nowych i zoptymalizowanych elektrowni zasilanych paliwami kopalnymi”

SESJA IV

1. Paweł Cecotka (*PGE GiEK S.A. Oddział Elektrownia Bełchatów*) – „Remonty turbin głównych w Elektrowni Bełchatów a polskie regulacje prawne?”
2. Krzysztof Słota (*ZRE Katowice SA*), Ewald Grzesiczek, Sławomir Rajca (*Pro Novum sp. z o.o.*) – „Jakich remontów wymagają turbiny na blokach klasy 200 MW eksploatowanych regulacyjnie?”
3. Ewald Grzesiczek, Sławomir Rajca (*Pro Novum sp. z o.o.*) – „Diagnostyka turbozespołów na blokach eksploatowanych w trybie regulacyjnym”
4. Cezary Starczewski (*PGE GiEK S.A., Oddział Elektrownia Bełchatów*), Andrzej Błaszczak (*P.B.W. „HYDRO-POMP” Łódź*) – „Algorytm optymalnego sterowania łopatkami kierownicy wstępnej w pompach wody chłodzącej w Elektrowni Bełchatów”

SESJA V

1. Robert Wersta (UDT, Oddział Terenowy we Wrocławiu), Paweł Grześkowiak (*CLDT Poznań*) – „Porównanie własności wytrzymałościowych i struktury materiału podstawowego i złącza naprawczego z materiału 13HMF, który przepracował 230 tys. godzin w warunkach pełzania”
2. Wojciech Brunné, Marcin Kijowski, Bartosz Borcz (*Pro Novum sp. z o.o.*) – „Zjawiska zmęczenia i pełzania a stan techniczny długo eksploatowanych powyżej temperatury granicznej głównych rurociągów parowych bloków klasy 200 MW”
3. Szczepan Borowski (*ENEA Wytwarzanie sp. z o.o.*) – „Rozwiązania konstrukcyjne pomp wody zasilającej i chłodzącej w Enea Wytwarzanie sp. z o.o.”
4. Tomasz Gawroński (*Pro Novum sp. z o.o.*), Tomasz Żarnowski (*Veolia Energia Warszawa S.A.*), Wiesław Maliszewski – „Pomiary drgań rurociągów ciepowniczych”
5. Krzysztof Brunné, Kamil Staszatek, Cezary Kolan (*Pro Novum sp. z o.o.*) – „Warunki dalszej bezpiecznej eksploatacji ponad 200 000 godzin walczków kotłów parowych”

SESJA VI

1. Jukka Verho, Jouni Koivumäki (*Inspecta Oy*) – „Nowe zaawansowane metody badań wspierające oceny stanu technicznego w celu przedłużenia trwałości i procesy inwestycyjne”
2. Grzegorz Pakuła (*Grupa Powen-Wafapomp SA*) – „Budowa nowej stacji prób Grupy Powen-Wafapomp SA w ramach Centrum Badawczo-Rozwojowego Pomp”
3. Piotr Kuśmierski, Zbigniew Jaguszewski (*PGE GiEK S.A. Oddział Elektrownia Bełchatów*) – „Wykorzystanie nowej techniki badań ultradźwiękowych metodą Phased Array przy naprawie płaszczki regeneracji niskoprężnej”
4. Wojciech Majka (*ECOL s p. z o.o.*) – „Profesjonalny outsourcing olejowo-smarowniczy /tfm/ w przemyśle 4.0 - tylko narzędzie marketingowe czy wysokiej klasy rozwiązanie serwisowe zapewniające realne oszczędności? - doświadczenia niezależnego dostawcy usług smarowniczych zbudowane na realizacji czynności serwisowych ponad 20000 urządzeń w elektrowniach i elektrociepłowniach”
5. Jerzy Trzeszczyński, Radosław Stanek, Marcin Dąbrowski (*Pro Novum sp. z o.o.*) – „Portal Bloki PRO® - innowacyjne narzędzie do kreowania i zarządzania wiedzą o stanie technicznym bloków klasy 200 MW”

