



Energetyka

PROBLEMY ENERGETYKI I GOSPODARKI PALIWOWO-ENERGETYCZNEJ

ISSN 0013-7294

CENA 35 Zł (w tym 8% VAT)

6/2025
(852)

XXVII SYMPOZJUM



8-10 października 2025 r., Bystra, Hotel Magnus Resort***

DIAGNOSTYKA URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH I INSTALACJI PRZEMYSŁOWYCH

**Diagnostyka i serwisowanie
urządzeń w energetyce jądrowej
oraz konwencjonalnej**

Organizator

pronovum[®]
RESEARCH & TECHNOLOGICAL SERVICES
Centrum Badawczo - Rozwojowe
— od 1987 r. —

we współpracy z:



Ministerstwo
Przemysłu



Więcej informacji na stronie
www.symposium.pronovum.pl



Biuletyn

nr 2/2025

**Zespół redakcyjny: mgr inż. Jerzy Dobosiewicz,
dr inż. Jerzy Trzeczyski**



System zarządzania
ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
ISO 45001:2018
www.tuv.com
ID 9000012483



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

pro.vum[®]
RESEARCH & TECHNOLOGICAL SERVICES
Centrum Badawczo - Rozwojowe
— od 1987 r. —

Szanowni Państwo,

Proces, który potocznie nazywany jest transformacją polskiej energetyki zdaje się przyspieszać, co sprawia problemy nawet Operatorowi polskiego systemu elektroenergetycznego. Nadmiaru energii z OZE nie udaje się z pożytkiem, w coraz większym stopniu zagospodarować, jednocześnie już istniejąca luka mocy będzie ciągle rosła. Dziwne w tym wszystkim jest to, że... nie może dziwić taka sytuacja, choćby odwołując się do treści pierwszego artykułu niniejszego Biuletynu oraz innych publikowanych w ostatnich latach. Kolejne, zwłaszcza wojenne zawirowania w globalnej polityce wskazują na od dawna znaną prawdę, że suwerenność technologiczna posiada podstawowe znaczenie nie tylko w obronności, w energetyce także. Czy nasz model energetyki to uwzględni? Czy powstają i nadal będą powstawać polskie elektrownie, czy elektrownie zlokalizowane w Polsce?

Prawie ćwierć wieku temu zainicjowaliśmy w polskich elektrowniach proces cyfryzacji diagnostyki urządzeń energetycznych. Od paru lat promujemy systemy diagnostyczne w formule LTDSA (Long Time Diagnostic Service Agreement), zwłaszcza na nowych blokach, którym towarzyszą często... kilkunastoletnie serwisy LTSA dostawców. W drugim artykule niniejszego Biuletynu zwracamy uwagę na korzyści również dla diagnostyki z modelowania nie tylko geometrii konstrukcji, ale także procesów towarzyszących generacji energii elektrycznej i ciepła. Szkoda, że można z ich atutów korzystać dopiero wtedy, gdy powstają problemy eksploatacyjne zamiast wtedy, gdy można im zapobiegać.

W ostatnim czasie energetyka polska może jednak odnotować pewien sukces. Po pięciu miesiącach bieżącego roku jest eksporterem netto energii, co oznacza, że nasza „najdroższa” w UE energia elektryczna jest okresowo tańsza niż bardziej zielone energie elektryczne naszych sąsiadów.

Diagnostykę w ostatniej fazie eksploatacji bloków energetycznych czeka sporo wyzwań, jeśli w tej fazie bloki mają być dyspozycyjne, nawet pozostając w rezerwie operacyjnej czy strategicznej. Tymczasem diagnostyka stała się częścią remontów, a te z kolei traktowane są jako ostatnie przed planowanym wyłączeniem bloków i urządzeń energetycznych z eksploatacji w najbliższych latach. Zasadą staje się diagnostyka ograniczona do okresowej rewizji wyłącznie urządzeń podlegających UDT, która bywa także szansą na... bieżący remont.

Do specyficznych cech procesu transformacji polskiej energetyki należy także zaliczyć wyłączenie z eksploatacji bloków węglowych w tempie szybszym niż budowa bloków jądrowych, co może sprawić, że tak ważny technologiczny local content, na jaki aktualnie jeszcze stać polskie firmy posiadające wysokie kompetencje w zakresie serwisowania i diagnozowania urządzeń energetycznych, może nie doczekać się wykorzystania. Elektrownie gazowe mogą także nie spełnić tych oczekiwań, gdyż są budowane często nawet z kilkunastoletnim serwisem dostawcy w formule LTSA. M.in. temu zagadnieniu zamierzamy poświęcić tegoroczne Sympozjum Pro Novum, o którym informujemy w bieżącym wydaniu „Energetyki”, do udziału w którym zapraszam, jak również do refleksji towarzyszącej lekturze artykułów opublikowanych w niniejszym Biuletynie Pro Novum.

Jerzy Trzeczyski

Dyspozycyjność bloków węglowych podczas kontynuowania ich eksploatacji

Availability of coal fired power units during their further operation

Bloki węglowe będą towarzyszyć transformacji polskiej energetyki przynajmniej do czasu, gdy stabilizowanie systemu energetycznego przejmą niższe emisyjne, sterowalne źródła energii oraz jej wielkoskalowe magazyny. Zanim to nastąpi przyrost generacji z pogodozależnych źródeł OZE będzie skracał ich czas pracy, zwiększał liczbę i czas nieplanowanych postojów oraz zwiększał liczbę uruchomień. Podczas gdy efekt ekonomiczny ich eksploatacji może być coraz mniejszy, dyspozycyjność pozostanie ich najbardziej pożądaną cechą.

Słowa kluczowe: bloki węglowe, dyspozycyjność, transformacja energetyki

Coal fired power units will accompany the transformation of the Polish energy sector at least until the stabilization of the energy system is taken over by lower emission controllable energy sources and its large-scale storage. Before this happens, the increase in generation from weather-dependent RES sources will shorten their operating time, increase the number and duration of unplanned outages and increase the number of starts. While the economic effect of their operation may be decreasing, availability will remain their most desirable feature.

Keywords: coal fired power units, availability, transformation of energy sector

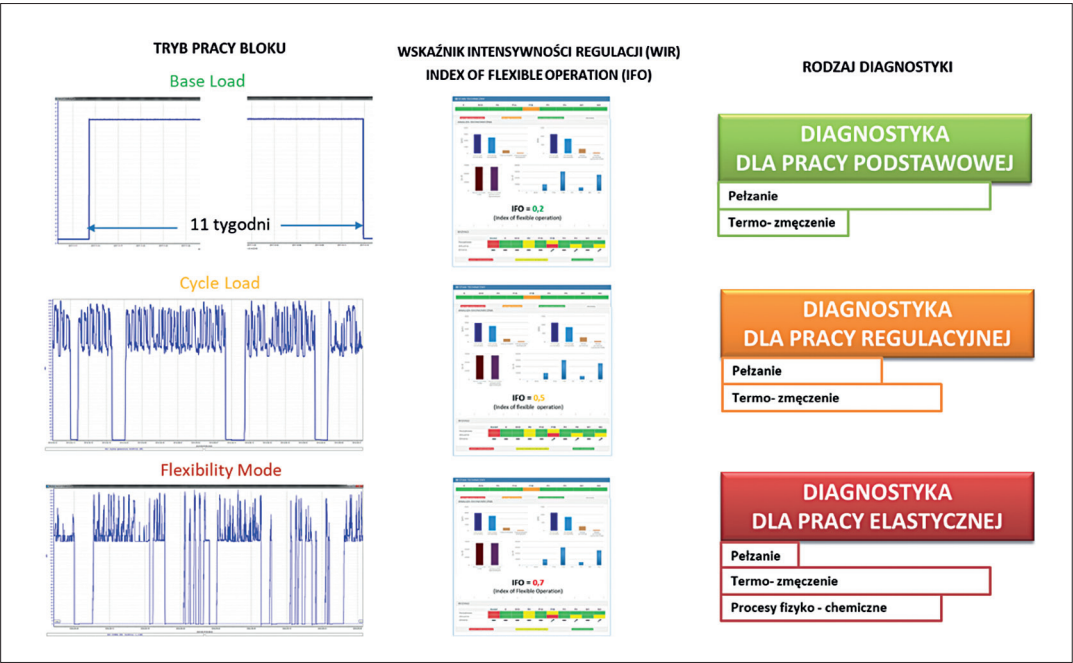
Bloki węglowe będą towarzyszyć transformacji polskiej energetyki przynajmniej do czasu, gdy stabilizowanie systemu energetycznego przejmą niższe emisyjne sterowalne źródła energii oraz jej wielkoskalowe magazyny. Zanim to nastąpi przyrost generacji z pogodozależnych źródeł OZE będzie skracał ich czas pracy, zwiększał liczbę i czas nieplanowanych postojów oraz zwiększał liczbę uruchomień. Podczas gdy efekt ekonomiczny ich eksploatacji może być coraz mniejszy, dyspozycyjność pozostanie ich najbardziej pożądaną cechą.

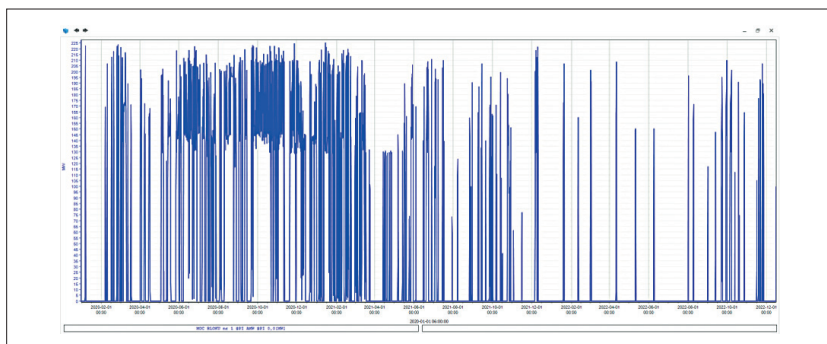
Identyfikacja zagrożeń w nowych reżimach eksploatacji

Nowe reżimy eksploatacji, z którymi elektrownie mają do czynienia od dłuższego czasu stanowią dla majątku produkcyjnego coraz większe wyzwanie. Jak przedstawiono to na rysunku 1 maleje intensywność uszkodzeń od pełzania, natomiast zwiększa się ich liczba od termozmęczenia oraz od czynników fizykochemicznych.

Zmiana trybu pracy bloku wpływa na lokalizację i charakter uszkodzeń, wymaga to odpowiedniego dostosowania diagnostyki, w tym dysponowania aparaturą do wykrywania uszkodzeń w nietypowych i trudno dostępnych miejscach [6]. Ten proces można zobiektywizować np. posługując się Wskaźnikiem Intensywności Regulacji (WIR).

Rys. 1.
Związek pomiędzy trybem pracy bloku, charakterem uszkodzeń oraz rodzajem diagnostyki





Rys. 2. Praca bloku przed wyłączeniem z eksploatacji

Diagnostykę w ostatniej fazie eksploatacji bloków energetycznych czeka sporo wyzwań, jeśli w tej fazie bloki mają być dyspozycyjne, nawet pozostając w rezerwie operacyjnej czy strategicznej. Na rysunku 2 zilustrowano przykładowo ostatnią fazę pracy bloku klasy 200 MW. Ten blok został wyłączony z eksploatacji (na skutek zakończenia czasu derogacji).

Za duże wyzwanie dla dyspozycyjności bloków węglowych należy uznać rosnącą liczbę uszkodzeń o charakterze fizykochemicznym. W trybie awaryjnym lub/i przypadkowo ujawniane są uszkodzenia korozyjne zlokalizowane w mniej oczywistych miejscach, jeśli uwzględnić dotychczasowe doświadczenia. Przyczyną uszkodzeń i nieprawidłowości są wszelkie odmiany korozji oraz erozja. Szczególną uwagę należy poświęcić korozji naprężeniowej. Uszkodzenia o takim charakterze inicjowane są i ulegają rozwojowi także podczas postoju urządzeń, zwłaszcza gdy nie są one odpowiednio zabezpieczone, a także przygotowane od strony reżimów chemicznych do pracy intensywnie regulacyjnej [7]. Nasilenia tego typu uszkodzeń należy się także spodziewać w związku z coraz powszechniejszym współpaleniem biomasy oraz paliw alternatywnych.

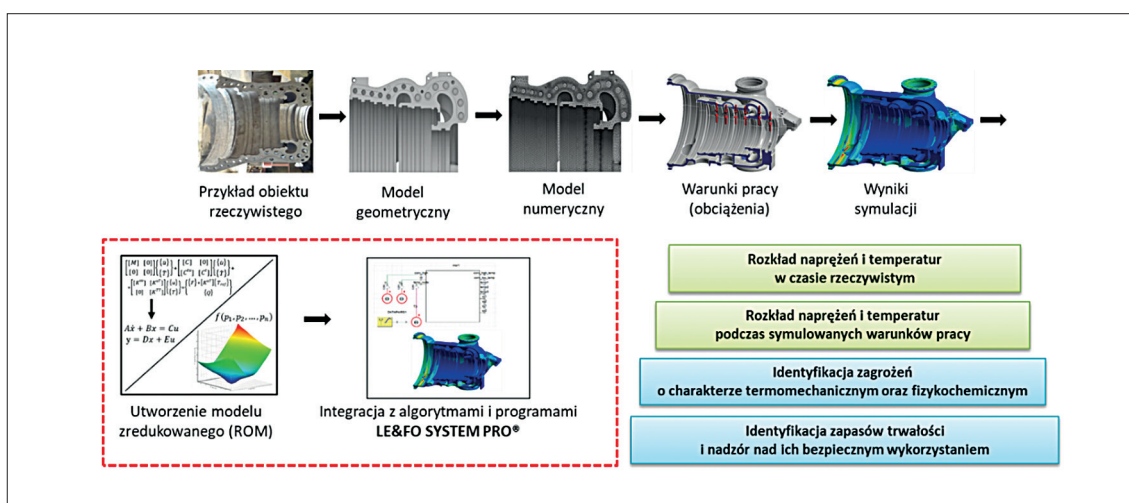
Diagnostyka wspierająca dyspozycyjność urządzeń energetycznych

Zapewnienie bezpiecznej pracy urządzenia energetycznego nie wymaga dyskusji, nawet gdy jego tryb pracy odbiega od tego, dla którego zostało zaprojektowane. Trzeba tylko uwzględnić efekt ekonomiczny takiej pracy oraz negatywne skutki dla trwałości, zwłaszcza dla bloków nadkrytycznych o mocy większej od 360 MW.

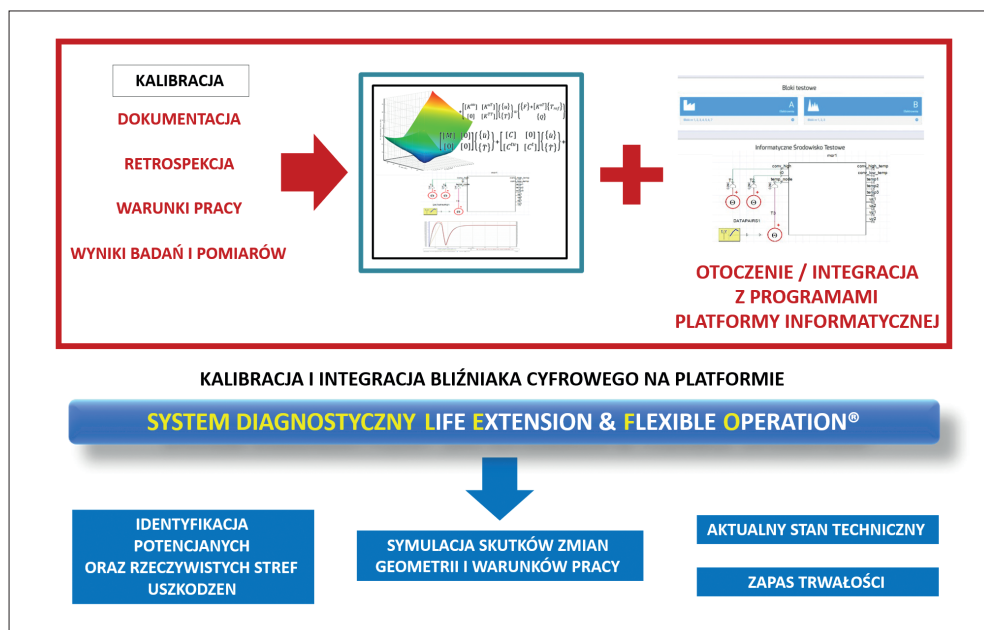
Niezawodność i dyspozycyjność urządzeń to mniej oczywiste zagadnienia, zwłaszcza gdy konsekwencje postoju awaryjnego lub ograniczonych możliwości technicznych bloku można odpowiednio interpretować. Rzeczywistym testem dyspozycyjności bloku jest przywołanie go do pracy przez Operatora według jego wymagań. Niespełnienie ich może skutkować karami lub rezygnacją z przywołania bloku do pracy. Jedna i druga sytuacja skutkuje co najmniej konsekwencjami finansowymi.

Diagnostyka sprawowana w trybie nadzoru diagnostycznego jest najlepszym sposobem na uniknięcie problemów j.w. Na przykładzie nadzoru diagnostycznego nad stanem technicznym kadłuba turbiny parowej zilustrowano sposób i efekt takiego postępowania.

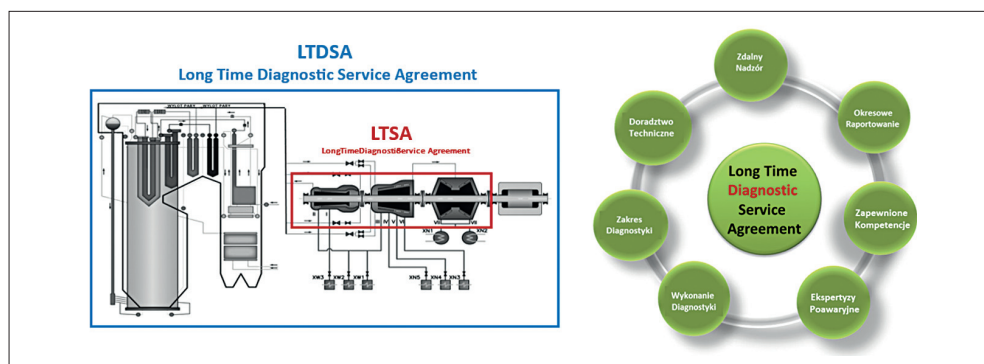
Integracja modułów dotyczących wybranych elementów krytycznych bloku energetycznego jak również rurociągów oraz elementów/węzłów konstrukcyjnych narażonych na uszkodzenia fizykochemiczne z programami realizującymi ich zaawansowaną kalibrację (rys. 4) pozwala na pełny nadzór nad dyspozycyjnością urządzeń, w tym wsparcie dla działań naprawczych i korekcyjnych w celu przywrócenia oczekiwanej dyspozycyjności.



Rys. 3. Przykład procesu towarzyszącego przygotowaniu do bieżącej oceny stanu technicznego i weryfikacji zapasów trwałości w trybie nadzoru diagnostycznego jednego z elementów krytycznych turbiny



Rys. 4. LE&FO SYSTEM PRO® sprawujący nadzór diagnostyczny zwłaszcza w zakresie dyspozycyjności w okresie do wyłączenia bloku z eksploatacji



Rys. 5. LTSA to najczęściej serwis dostawcy turbiny.

LTSA to serwis firmy remontowej i diagnostycznej lub tylko firmy diagnostycznej nad ważnymi komponentami majątku produkcyjnego

Serwis w formule LTSA/LTDSA zapewniający dyspozycyjność i wspierający kompetencje

Kluczowymi cechami serwisów LTSA / LTDSA są (rys. 5):

- **długoterminowy charakter:** umowy są zawierane na wiele lat, co zapewnia stabilność kosztów i dostępność firmy remontowej i diagnostycznej;
- **koszty:** ustalona z góry cena usługi lub modelu rozliczenia ułatwia przewidywanie wydatków, zarządzanie budżetem i planowanie kosztów na utrzymanie stanu technicznego urządzeń;
- **elastyczność rozliczeń:** w umowach często uwzględnia się warunki elastyczne, takie jak zmiany harmonogramów badań w zależności od faktycznego stanu technicznego urządzeń;
- **nowoczesność:** w ramach usług serwisowych dostawcy często zapewniają systemy do zdalnej diagnostyki, które na bieżąco informują Użytkownika o nieprawidłowościach;
- **zarządzanie ryzykiem:** można przenosić część ryzyka na dostawcę usług, ponieważ to on jest odpowiedzialny za zapewnienie poprawnego stanu technicznego urządzeń, co minimalizuje ryzyka wystąpienia awarii oraz nieplanowanych postojów.

Tego rodzaju serwis gwarantuje bezpieczeństwo i dyspozycyjność zapewniając zachowanie koniecznych kompetencji firm diagnostycznych, a także remontowych, których utrata lub znaczące ograniczenie może stwarzać większe zagrożenie dla dyspozycyjności urządzeń niż utrata trwałości na skutek eksploatacji [8, 9].

Podsumowanie

Śledząc dyskusję wokół energetyki można odnieść wrażenie, że największym problemem jest jak najszybsze wyłączenie bloków węglowych z eksploatacji. Jak dotąd nawet rosnąca luka mocowa w KSE oraz świadomość poniesienia gigantycznych środków finansowych na budowę nowych źródeł, a właściwie nowego systemu elektroenergetycznego i ciepłowniczego, nie skłaniają

do głębszych refleksji [1]. Ponieważ pomiędzy energetyką a geopolityką można postawić znak równości nie wykluczone, że będzie ona dla energetyki polskiej źródłem dobrej inspiracji, zwłaszcza gdy ta ostatnia staje się dla naszego kraju coraz mniej korzystna.

Oznacza to, że scenariusz transformacji polskiej energetyki to jeszcze *work in progres*, co należy uwzględnić zwłaszcza w obszarze utrzymania stanu technicznego majątku produkcyjnego, zachowując jego możliwości i kompetencje personelu. Technologie zastosowane przy budowie polskich elektrowni sprawiają, że główne urządzenia ciepłno-mechaniczne są względnie łatwo naprawialne przy wykorzystaniu *know how* polskich firm.

Bloki, zwłaszcza klasy 200 MW, przez swoją liczbę oraz cechy konstrukcyjne nadają się jak żadne inne do stabilizacji KSE. Ich elastyczność można względnie niskokosztowo zwiększyć, a ich bezpieczeństwo, w nowym reżimie pracy, skutecznie nadzorować [4, 5]. Bloki węglowe, nawet najdłużej eksploatowane, są nadal w dobrym lub bardzo dobrym stanie. Żadnego bloku dotąd nie wyłączono z eksploatacji ze względu na stan techniczny [2]. Żeby tak się nie stało w przyszłości należy nadać utrzymaniu stanu technicznego majątku produkcyjnego, odpowiednią do sytuacji, rangę. W ostatnim okresie eksploatacji, który może trwać od 3 do 15, może do ok. 20 lat jego formuła powinna ulec zmianie. Dyspozycyjność poszczególnych bloków, także tych pozostających w operacyjnej czy strategicznej rezerwie, w warunkach ich coraz bardziej elastycznej pracy jak również całych elektrowni, jest jedyną szansą na bezpieczne zwiększanie generacji z OZE.

W tym procesie diagnostyka powinna pełnić ważną funkcję [3]. Może to nastąpić jednak tylko wtedy, gdy:

- będzie źródłem wiedzy, a nie kolejnych informacji;
- zakres i metody diagnostyki będą wynikać z retrospekcji, której jednym z najważniejszych źródeł stała się analiza historii i warunków pracy;
- prognoza trwałości poszczególnych elementów, węzłów konstrukcyjnych i urządzeń będzie formułowana z uwzględnieniem warunków pracy, a nie tylko liczby godzin;
- uwzględni się, że skutkiem coraz bardziej regulacyjnej pracy bloków energetycznych jest rosnący udział uszkodzeń o charakterze fizykochemicznym, dotyczy to zwłaszcza urządzeń pozostających w coraz dłuższych postojach;
- analizie awaryjności zostanie nadana (przywrócona) odpowiednio wysoka ranga, co powinno zwłaszcza określać pośrednie przyczyny uszkodzeń, tj. wspierać proces identyfikacji zagrożeń wywołanych pracą elastyczną;
- stosując metody modelowania MES można będzie podnieść dokładność analiz naprężeń, zwłaszcza eksploatowanych w warunkach termozmęczenia – bez takiego podejścia nie sposób sobie wyobrazić oceny stanu technicznego elementów krytycznych o złożonej geometrii, np. elementów turbin;
- uwzględni się, że elastyczna praca bloków energetycznych wymusza potrzebę bieżącej znajomości stanu technicznego i zapasów trwałości nie tylko elementów krytycznych, także tych, a może zwłaszcza, wpływających na niezawodność – nadzór diagnostyczny zwłaszcza w zdalnym trybie w największym stopniu realizuje taką potrzebę.

Metody diagnostyki i zakresy remontów to nie wszystko. Ważną, a może najważniejszą sprawą jest ich organizacja i wzajemne powiązanie. Formuła LTDSA wydaje się optymalna. Nie tylko w okresie gwarancyjnym nadzór nad urządzeniem powinni sprawować wykonawcy diagnostyki i remontu. Powinni to robić do wyłączenia bloku z eksploatacji lub... do kolejnego remontu.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Trzeczcyński J. „Projekt BLOKI 2025+”. Jak wykorzystać ostatnią fazę eksploatacji bloków klasy 200 MW dla wsparcia bezpiecznej transformacji polskiej energetyki. Podsumowanie. „Energetyka” 2024, nr 12, Biuletyn Pro Novum 2/2024.
- [2] PN/045.3360/2016: Wytyczne przedłużania czasu eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych bloków 100-360 MW. Pro Novum. Katowice 2013/2016.
- [3] Trzeczcyński J., Trzeczcyńska E., *Diagnostic as a source of knowledge and strategy for units of coal flexible fired power plants*. “VGB PowerTech” 2020, No 9.
- [4] Trzeczcyński J., *Poprawa elastyczności bloków klasy 200 MW poprzez wykorzystanie możliwości i rezerw po stronie sterowania oraz zapasów trwałości*. „Energetyka” 2022, nr 6, Biuletyn Pro Novum 2/2022.
- [5] Trzeczcyński J. i inni, *Adaptation of coal-fired units for further operation in the transitional period of transformation of the Polish energy sector*, „vgbe energy journal” 2023, No 12.
- [6] Brunné K., *Nowoczesne techniki w diagnostyce urządzeń energetycznych: PAUT i TOFD w praktyce*. „Energetyka” 2025, nr 2, Biuletyn Pro Novum 1/2025.
- [7] Gawron P., *Przygotowanie i nadzór nad stanem technicznym bloków energetycznych pozostających w rezerwie operacyjnej*. „Energetyka” 2024, nr 12, Biuletyn Pro Novum 2/2024.
- [8] Rajca S., Pośpiech S., *Długoterminowy serwis turbin parowych zapewniający ich bezpieczeństwo i dyspozycyjność*. IX Konferencja Techniczna Utrzymanie Ruchu – diagnostyka, remonty, modernizacje. Kazimierz Dolny 2023.
- [9] Trzeczcyński J., Stanek R., *Diagnostyka w trybie LTSA zapewniająca dyspozycyjność bloków węglowych podczas kontynuowania ich eksploatacji*. „Energetyka” 2025, nr 2, Biuletyn Pro Novum 1/2025.

Modelowanie procesów technologicznych źródłem wiedzy diagnostycznej

Modeling technological processes as a source of diagnostic knowledge

Zmienne warunki pracy elementów i węzłów konstrukcyjnych urządzeń energetycznych prowadzą do zmian stanu naprężenia, co może skutkować uszkodzeniami zmęczeniowymi i utratą trwałości. Źródłem tych zmian są zwykle niestacjonarne przepływy medium roboczego, tj. pary, wody czy spalin. Do ich analizy wykorzystuje się modelowanie CFD, którego wyniki mogą posłużyć jako dane wejściowe do obliczeń naprężeń metodą MES. Dokładność odwzorowania procesu technologicznego ma kluczowe znaczenie dla rzetelnej oceny trwałości elementu. Wyniki obliczeń mogą być weryfikowane eksperymentalnie i używane do oceny stanu technicznego oraz prognozowania uszkodzeń.

Słowa kluczowe: procesy technologiczne, metodyka CFD i MES, diagnostyka trwałości elementów

Variable operating conditions of structural elements and joints in power equipment lead to changes in the stress state, which may result in fatigue damage and loss of durability. These changes are typically caused by unsteady flows of working media such as steam, water, or exhaust gases. Their analysis involves CFD modelling, with the results used as input data for stress calculations using the FEM method. The accuracy of reproducing the technological process is crucial for a reliable durability assessment. Computational results can be experimentally verified and used to evaluate the technical condition and predict potential damage.

Keywords: technological processes, CFD and FEM method, diagnostics of component durability

Wstęp – analiza procesów technologicznych jako wsparcie diagnostyki

Ze względu na charakter pracy obecna energetyka zawodowa i przemysłowa stawia coraz większe wymagania wobec trwałości i niezawodności urządzeń ciepłno-przepływowych. Jednocześnie postępująca eksploatacja infrastruktury technicznej powoduje konieczność wdrażania coraz bardziej zaawansowanych narzędzi diagnostycznych i prognostycznych.

Jednym z kluczowych problemów eksploatacyjnych są uszkodzenia elementów spowodowane zmiennymi obciążeniami cieplnymi i mechanicznymi. Ich źródłem są dynamiczne procesy zachodzące w trakcie pracy urządzeń, tj. gwałtowne zmiany temperatury, ciśnienia, prędkości przepływu czy nawet składu chemicznego medium roboczego. Te zmienne warunki pracy skutkują cyklicznymi zmianami stanu naprężenia materiału, co w dłuższej perspektywie prowadzi do zmęczenia i zużycia, powstawania pęknięć i potencjalnych awarii.

Procesy technologiczne prowadzące do zmian naprężeń często są związane ze zmiennym przepływem medium roboczego w postaci pary, wody czy spalin. Znajomość charakteru przepływu pozwala na określenie lokalizacji najbardziej wrażliwych na wystąpienie dużych amplitud naprężeń w tzw. potencjalnych strefach występowania uszkodzeń (PSU).

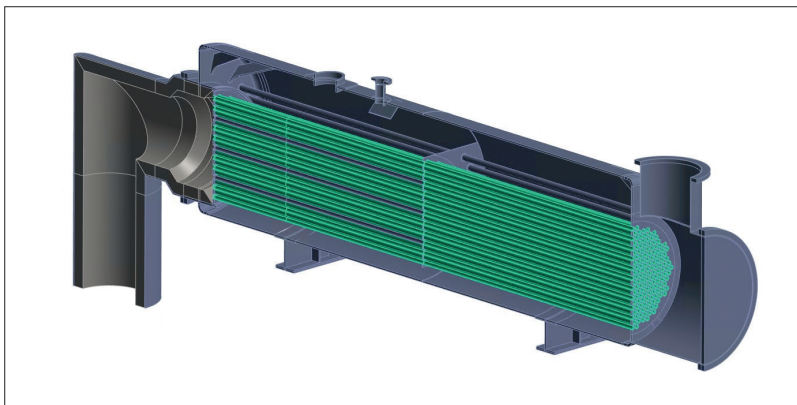
W tym kontekście szczególnego znaczenia nabiera analiza procesów technologicznych, która – dzięki nowoczesnym narzędziom numerycznym – może służyć jako źródło informacji diagnostycznej. Wykorzystanie metod obliczeniowych, takich jak Computational Fluid Dynamics (CFD) i Metoda Elementów Skończonych (MES), pozwala nie tylko na lepsze zrozumienie zjawisk przepływowych i cieplnych, ale również na precyzyjne wyznaczenie rozkładów naprężeń oraz prognozowanie trwałości.

Analizy CFD–MES – modelowanie procesu i analiza jego wpływu na stan techniczny

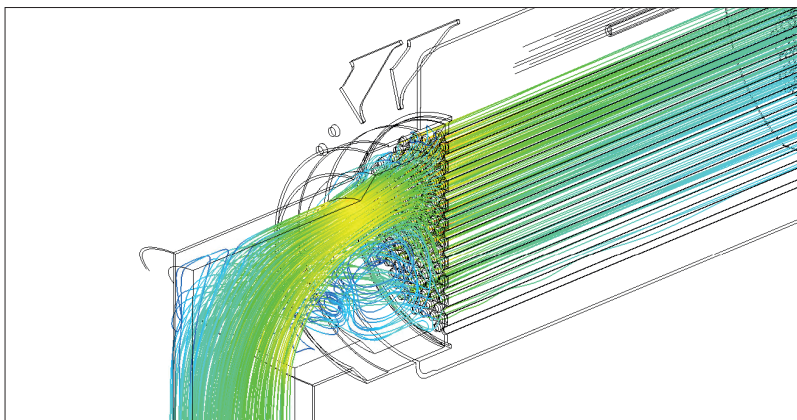
Metody CFD umożliwiają dokładne odwzorowanie zjawisk przepływowych zachodzących w instalacjach energetycznych – zarówno w warunkach ustalonych, jak i zmiennych w czasie. Dzięki nim możliwa jest analiza zmian prędkości, ciśnienia i temperatury medium roboczego w obszarze jego przepływu przez urządzenie. Obliczenia CFD pozwalają również na określenie turbulencji i wirów, które mogą doprowadzić do drgań konstrukcji oraz analizować możliwość wystąpienia efektów kawitacji, kondensacji czy odparowania mogących akcelerować efekty erozji i korozji.

Analizy CFD są też źródłem wiedzy o warunkach pracy urządzeń w tych miejscach układu, gdzie nie występują czujniki pozwalające na wykonywanie ciągłych pomiarów takich wielkości, jak temperatura czy ciśnienie. Opierając się na warunkach brzegowych zadanych w obszarach o znanych parametrach, wynikiem analiz CFD jest pełny rozkład omawianych wielkości w całej domenie przepływu.

Wyniki uzyskane w analizach CFD – w szczególności rozkłady temperatury i ciśnienia – stanowią dane wejściowe do dalszych analiz strukturalnych przy użyciu MES. Na podstawie tych danych wyznaczane są wartości naprężeń termicznych i mechanicznych, przemieszczenia urządzenia, a w przypadku analiz bazujących na rzeczywistych warunkach pracy – cykle obciążeń zmęczeniowych. Wykryte lokalizacje o podwyższonych wartościach naprężeń są miejscem potencjalnych pęknięć i powinny być one poddawane badaniom w czasie postojów czy remontów.

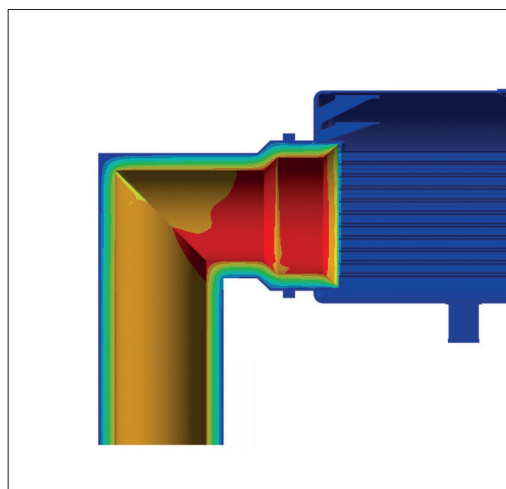


Rys. 1. Model geometryczny urządzenia przygotowany do dyskretyzacji

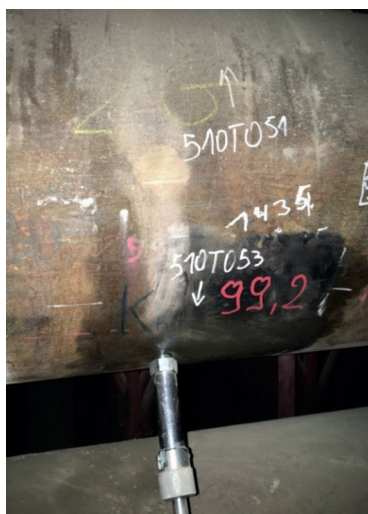


Rys. 2. Rozkład prędkości przepływu medium w urządzeniu uzyskany metodami CFD

Zintegrowana analiza CFD–MES pozwala zatem nie tylko na odwzorowanie fizyki przepływu, ale również na wyznaczenie obciążeń, które są najistotniejsze z punktu widzenia trwałości elementu. Dodatkowo, możliwa jest ocena wpływu różnych scenariuszy eksploatacyjnych – np. szybkich rozruchów, wyłączeń awaryjnych, pracy z częściowym obciążeniem – na stan naprężenia i spadek trwałości.



Rys. 3. Rozkład temperatury zmapowany na model MES



Rys. 4. Wykonywanie pomiarów weryfikacyjnych

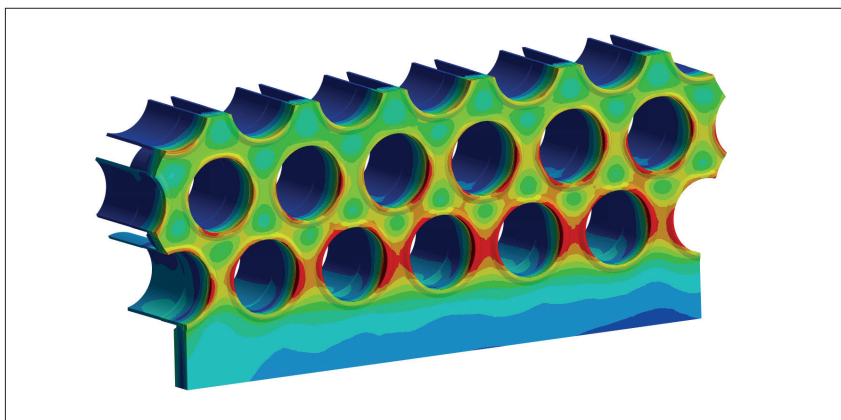
Wyniki obliczeń CFD mogą również służyć lepszemu odwzorowaniu warunków brzegowych przygotowywanych w celu utworzenia cyfrowego bliźniaka urządzenia energetycznego. Taki bliźniak cyfrowy pracujący w czasie rzeczywistym może być wykorzystywany w systemach diagnostycznych, jak również (odpowiednio zaimplementowany) być elementem systemu sterowania procesem w elektrowniach czy elektrociepłowniach, generując dane do warunków ograniczających poziom naprężeń w elementach.

Weryfikacja modelu – badania na obiektach rzeczywistych

Aby zapewnić wysoką jakość modelu numerycznego wymagane jest przeprowadzenie jego weryfikacji na podstawie danych rzeczywistych. W praktyce oznacza to prowadzenie pomiarów na pracujących obiektach, w tym wykonywanie pomiarów temperatury metalu i czynnika (np. za pomocą termopar), rejestracji przebiegów ciśnienia (przetworniki ciśnienia) oraz w specjalnych przypadkach – pomiarów deformacji (fotogrametria, czujniki przemieszczeń).

Porównanie wyników pomiarów z wynikami symulacji pozwala na kalibrację modelu (np. dopasowanie warunków brzegowych, danych materiałowych itp.), a także na zwiększenie jego wiarygodności i dokładności.

W przypadku analiz poawaryjnych lub wykonywania oceny stanu technicznego po wystąpieniu nietypowych warunków pracy (np. uderzenia wodnego, termoszoku), dane z pomiarów stanowią nieocenione źródło informacji do rekonstrukcji rzeczywistego scenariusza awarii.



Rys. 5. Rozkład naprężeń na elemencie bazujący na rzeczywistych warunkach pracy

Analiza naprężeń bazująca na procesie technologicznym

Jedną z największych zalet stosowania CFD i MES w diagnostyce jest możliwość realistycznego odwzorowania pełnego cyklu pracy urządzenia, z uwzględnieniem niestandardowych scenariuszy obciążeniowych. Modele termomechaniczne tworzone na podstawie rzeczywistych danych przepływowych pozwalają na analizę wpływu szybkości nagrzewania i chłodzenia na rozszerzalność cieplną, która może prowadzić do powstawania pęknięć w obszarach otworów pod króćce komór, walczków itp. Obliczenia takie umożliwiają analizę złożonych stanów naprężeń występujących w kombinacji obciążeń termicznych i mechanicznych, pochodzących od kinematyki obiektu (zamocowań) ciśnienia oraz grawitacji.

Takie podejście pozwala na wyznaczenie zmiany stopnia wyczerpania trwałości (SWT) w funkcji liczby cykli pracy, co umożliwia oszacowanie czasu lub liczby zdarzeń danego typu (np. uruchomień z różnych stanów termicznych itp.) pozostałych do osiągnięcia granicznej wartości trwałości.

Co istotne, analizy mogą być prowadzone zarówno dla elementów nowo projektowanych, jak i istniejących, poddawanych ocenie przy okazji remontów, modernizacji lub diagnostyki poawaryjnej.

Podsumowanie – CFD i MES jako narzędzia do oceny stanu technicznego i prognozy trwałości

Modelowanie numeryczne, oparte na metodach CFD i MES, stało się nieodzownym elementem współczesnej diagnostyki urządzeń energetycznych. Umożliwia ono:

- identyfikację potencjalnych (PSU) i rzeczywistych (RSU) stref uszkodzeń,
- ocenę wpływu parametrów przepływu na zmęczenie i uszkodzenia materiału,
- prognozę trwałości i projektowanie strategii remontowych,
- wsparcie procesów decyzyjnych w zakresie dalszej eksploatacji lub modernizacji urządzeń.

W dobie transformacji energetycznej i wzrastających wymagań dotyczących efektywności i niezawodności rola cyfrowych bliźniaków urządzeń energetycznych oraz diagnostyki zdecydowanie rośnie. CFD i MES są fundamentem takich rozwiązań, stanowiąc pomost między rzeczywistą eksploatacją a cyfrową symulacją.

Zastosowanie tych metod pozwala nie tylko na ograniczenie liczby awarii i nieplanowanych przestojów, ale również na optymalizację kosztów eksploatacyjnych i zwiększenie bezpieczeństwa pracy urządzeń energetycznych w długim horyzoncie czasu.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Trzeczyski J., Rajca S., Murzynowski W., Stanek R., Hałas M., *Modelowanie MES elementów krytycznych bloków energetycznych w celu identyfikacji zapasów trwałości i bezpieczeństwa ich wykorzystania*. „Energetyka” 2024, nr 6, Biuletyn Pro Novum 1/2024.
- [2] Hałas M., Murzynowski W., Trzeczyski J., *Parametryczne bliźniaki cyfrowe źródłem informacji i wiedzy dla bezpiecznej eksploatacji urządzeń i instalacji energetycznych*. „Energetyka” 2022, nr 12, Biuletyn Pro Novum 3/2023.
- [3] Hannink M., Kuczaj A., Blom F., Church J., Komen E.M.J., *A coupled CFD-FEM strategy to predict thermal fatigue in mixing tees of nuclear reactors*. Eurosaf Forum (2008).
- [4] Ubulom I., *Influence of fluid-structure interaction modelling on the stress and fatigue life evaluation of a gas turbine blade*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: “Journal of Power and Energy” 2020, 235(5), 1019-1038.

Diagnostyka walczaka to nie tylko badania

Diagnostics of the boiler drums isn't only the tests

Diagnostyka to nie tylko badania towarzyszące remontowi kotła. Najwięcej korzyści dla użytkownika zapewnia wtedy, gdy przybiera formę procesu powiązanego z procesem eksploatacji. Zakres badań i oceny stanu technicznego należy ustalać na podstawie retrospekcji, której częścią powinna być analiza historii i warunków pracy walczaka. Ocenę stanu technicznego można aktualizować podczas eksploatacji walczaka wykorzystując metodykę Walczak PRO®, a prognozę trwałości na bieżąco weryfikować wykorzystując program Prognoza PRO®.

Słowa kluczowe: walczak, diagnostyka, metodyka Walczak PRO®, program Prognoza PRO®

Diagnostics is not only about tests accompanying the boiler repair. It provides the most benefits for the user when it takes the form of a process related to the operation process. The scope of tests and assessment of the technical condition should be determined on the basis of retrospection, which should include an analysis of the history and operating conditions of the drum. The assessment of the technical condition can be updated during the operation of the drum using the Walczak PRO® methodology, and the durability forecast can be verified on an ongoing basis using the Prognoza PRO® program.

Keywords: drum, diagnostics, Walczak PRO® methodology, Prognoza PRO® program

Wstęp

W ostatnim artykule dotyczącym diagnostyki walczaków, opublikowanym w „Energetyce 2025, nr 2 [1], przedstawiliśmy metodykę oceny ich stanu technicznego oraz zaprezentowaliśmy narzędzia wspierające ten proces. Skupiliśmy się na problemach, z którymi mierzymy się głównie w trakcie badań walczaków (pęknięcia, zmiany geometrii, nie zawsze poprawnie przeprowadzone naprawy itd.) i na tym, jak je uwzględnić w ocenie stanu technicznego. Jednak diagnostyka to proces, który uwzględnia nie tylko działania w trakcie remontu, ale również czynności, które mogą być prowadzone zarówno przed odstawieniem kotła do remontu, jak i po jego ponownym uruchomieniu.

Retrospekcja – podstawa diagnostyki

Na początku zacznijmy od analogii medycznej (ostrzegamy, będzie ich parę w tym artykule). Od lekarza oczekujemy, że w trakcie wizyty nie tylko określi nasz obecny stan zdrowia, ale odniesie go do tego, jaki on był w przeszłości. Weźmy na przykład morfologię krwi – wyniki badania mieszczące się w normach nie stanowią wystarczającej podstawy do pełnej diagnozy. Dopiero porównanie ich z poprzednimi wynikami (a nawet i wcześniejszymi) umożliwia określenie trendu i wykrycie zmian w czasie (nawet w granicach normy) świadczących o początkach ewentualnej choroby. Podobnie jest w diagnostyce walczaków. Dopiero pełna informacja o historii eksploatacji elementu (rys. 1) pozwala w rzetelny sposób ocenić jego obecny stan techniczny.



Rys. 1. Retrospekcja jako fundament diagnostyki

A jakie konkretnie informacje w ramach retrospekcji nas interesują?

- historia napraw, a przede wszystkim, gdzie i dlaczego były przeprowadzane; takie informacje pozwalają jeszcze przed postojem kotła określić obszary, w których możemy spodziewać się problemów;
- historia modernizacji – zmiany w konstrukcji mogą wynikać z konieczności naprawy błędów konstrukcyjnych, ale też mogą być związane z zastosowaniem nowocześniejszych lub korzystniejszych z punktu widzenia eksploatacji oraz obsługi rozwiązań konstrukcyjnych; przykładowo modernizacja separacji walczaka ze spawanej na skręcaną pozwala oszczędzić czas podczas remontów walczaka;

- Wymienione informacje powinny być zbierane i analizowane jeszcze przed postojem remontowym. Dzięki temu jesteśmy w stanie odpowiednio wcześniej zidentyfikować część problemów i w odpowiedni sposób uwzględnić je w programie badań.

Analiza warunków pracy od ostatniego remontu, któremu towarzyszyła diagnostyka walczaka, powinna stanowić istotną część retrospekcji.

Faktem jest, że długo eksploatowane jednostki, takie jak np. bloki klasy 200 MW, były zaprojektowane do pracy ciągłej, stanowiąc podstawę systemu energetycznego, a nie do pracy

regulacyjnej, która wiąże się m.in. z wielokrotnymi uruchomieniami (czasami nawet dwa razy dziennie), częstymi zmianami mocy, pracą przy obniżonym minimum technicznym lub z postojami o różnej długości. Eksploatując więc urządzenie w sposób inny niż zakładał konstruktor, powinniśmy ze szczególną uwagą przyglądać się temu, jak zmienione warunki pracy wpływają na jego obecny stan techniczny i zapas trwałości.

Postępując analogią z początku artykułu – jeśli 70-letni senior, będący dotychczas domatorem, nagle zacznie codziennie biegać i jeździć na rowerze, to należy zwrócić uwagę na to, jak jego organizm reaguje na tę zmianę trybu życia i intensyfikację aktywności.

Analiza warunków pracy walczaka powinna uwzględniać następujące parametry (rys. 2):

- temperatury metalu płaszcza walczaka – najlepiej, gdy są to pomiary zabudowane na różnych głębokościach płaszcza walczaka, w środku i po jego bokach, na górnej i dolnej tworzącej; analiza tych parametrów nie tylko uwzględnia same wyniki pomiarów, ale też relacje między nimi, w szczególności różnice na grubości ścianki i pomiędzy górną a dolną tworzącą;
- temperatura nasycenia w walczaku;
- ciśnienie nasycenia w walczaku;
- temperatura wody zasilającej.

Idealnie byłoby, gdyby analizie można było poddać czasowe zapisy sygnałów pomiarowych z pełnego okresu eksploatacji. W przypadku długo eksploatowanych bloków jest to niestety niemożliwe i w związku z tym przyjmujemy, że wystarczające do oceny obecnego stanu technicznego są zapisy parametrów w okresie od ostatniego remontu. Problem ten na ogół znika w przypadku nowych konstrukcji, dla których zazwyczaj dostępne są parametry pracy z całego okresu eksploatacji.

Niestety często analiza warunków pracy błędnie odbierana jest jako kontrola eksploatacji oraz kontrola zaangażowanych w nią wydziałów elektrowni. Celem analizy nie jest wytykanie błędów, lecz identyfikowanie warunków pracy mogących mieć negatywny wpływ na stan techniczny urządzenia.

Walczak PRO®

Elektrownia Blok Kocioł Walczak

Okras danych procesowych od: 2020-09-07 00:00 do: 2024-03-28 23:59

Parametry **Wyniki**

[O analizie](#)

Historia i warunki eksploatacji

- ☒ Historia eksploatacji
- ☒ **Warunki pracy**
- ☒ Próby ciśnieniowe

Obliczenia analityczne

- ☒ Ustawienia
- ☒ Stopień Wyczerpania Trwałości
- ☒ Ocena bezpieczeństwa
- ☒ Mechanika pełnia LBB, λ_{B2} , λ_{B3}

Obliczenia z użyciem bliźniaków

- ☒ Ustawienia
- ☒ Modelowanie i symulacje
- ☒ Stopień Wyczerpania Trwałości
- ☒ Ocena bezpieczeństwa

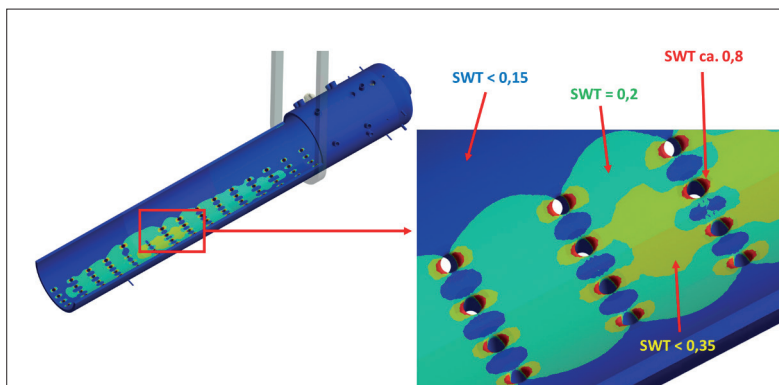
☐ Zapas trwałości

Warunki pracy				
Różnice temperatury metalu na grubości ścianki				
Symbol	Nazwa	Jedn.	Status	
> ECPKSHAD01CT001XQ050.PV - ECPKSHAD01CT007XQ050.PV	RÓŻNICA TEMP. METALU WALCZAKA - GLEBKOKI - PLYTKI - GÓRA - STR. L	°C	✔	Idź
> ECPKSHAD01CT002XQ050.PV - ECPKSHAD01CT008XQ050.PV	RÓŻNICA TEMP. METALU WALCZAKA - GLEBKOKI - PLYTKI - GÓRA - SRODEK	°C	✔	Idź
Różnice temperatury metalu pomiędzy górną i dolną tworzącą				
Symbol	Nazwa	Jedn.	Status	
> ECPKSHAD01CT001XQ050.PV - ECPKSHAD01CT004XQ050.PV	RÓŻNICA TEMP. METALU WALCZAKA - GÓRA - DÓŁ - PLYTKI - STR. L	°C	✔	Idź
> ECPKSHAD01CT002XQ050.PV - ECPKSHAD01CT005XQ050.PV	RÓŻNICA TEMP. METALU WALCZAKA - GÓRA - DÓŁ - PLYTKI - SRODEK	°C	✔	Idź
> ECPKSHAD01CT003XQ050.PV - ECPKSHAD01CT006XQ050.PV	RÓŻNICA TEMP. METALU WALCZAKA - GÓRA - DÓŁ - PLYTKI - STR. P	°C	⚠	Idź
Różnice pomiędzy temperaturą metalu ścianki i wody zasilającej				
Symbol	Nazwa	Jedn.	Status	
> ECPKSHAD01CT004XQ050.PV - ECPKSHAC03CT001XQ050.PV	T METALU WALCZAKA L.D / PLYTKO - T.W.ZAS.	°C	⚠	Idź
> ECPKSHAD01CT005XQ050.PV - ECPKSHAC03CT001XQ050.PV	T METALU WALCZAKA S.G. / GLEBKOKO - T.W.ZAS.	°C	⚠	Idź
Prędkości nagrzewania i chłodzenia metalu podczas uruchomień i odstawień				
Symbol	Nazwa	Jednostka	Status	
> ECPKSHAD01CT001XQ050.PV	T METALU WALCZAKA L.G. / PLYTKO	°C	✔	
> ECPKSHAD01CT002XQ050.PV	T METALU WALCZAKA S.G. / PLYTKO	°C	✔	
> ECPKSHAD01CT003XQ050.PV	T METALU WALCZAKA P.G. / PLYTKO	°C	✔	

Rys. 2. Fragment raportu z automatycznej analizy warunków pracy walczaka

Nowoczesne podejście do oceny trwałości walczaków

Częścią metodyki Pro Novum w zakresie diagnostyki walczaków kotłów parowych, jak już wspominaliśmy w poprzednim artykule [1], jest ich ocena stanu technicznego i określanie zapasu trwałości z wykorzystaniem oprogramowania Walczak PRO®. W walczakach występują obszary o zróżnicowanym stopniu wyczerpania trwałości (rys. 3), a także obszary rzeczywistych stref uszkodzeń związanych z eksploatacją i/lub jakością przeprowadzonych remontów. Wykorzystując oprogramowanie jw. możliwe jest obecnie jednocześnie wyznaczanie zapasów trwałości w tych obszarach, z uwzględnieniem obecnego jak również oczekiwanego czasu i trybu dalszej eksploatacji przy wykorzystaniu obowiązujących przepisów i dostępnych metod numerycznych.



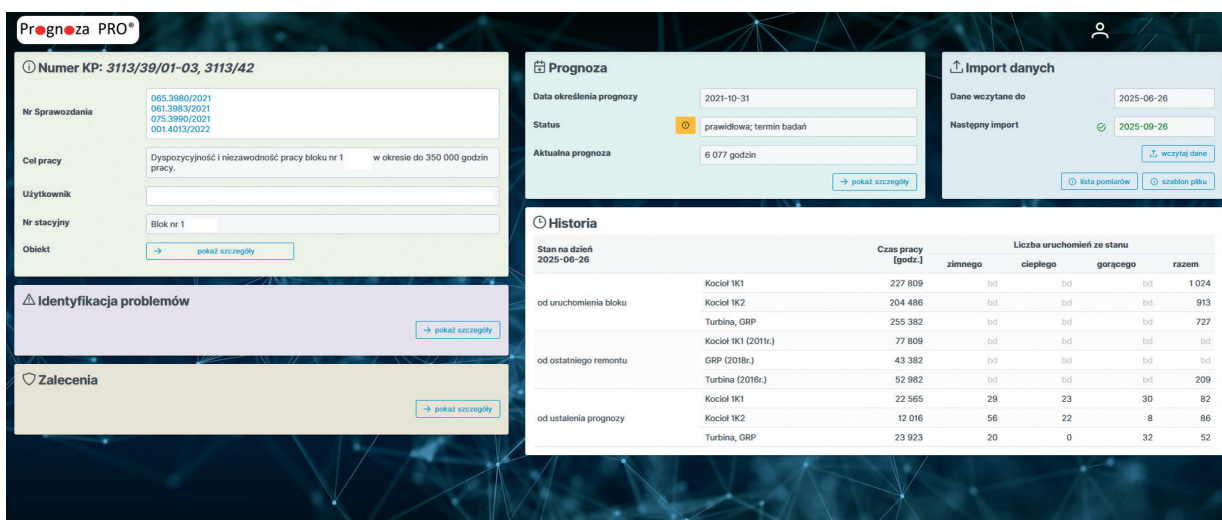
Rys. 3. Obszary o zróżnicowanych wartościach stopnia wyczerpania trwałości

Co po remoncie? Weryfikacja prognozy

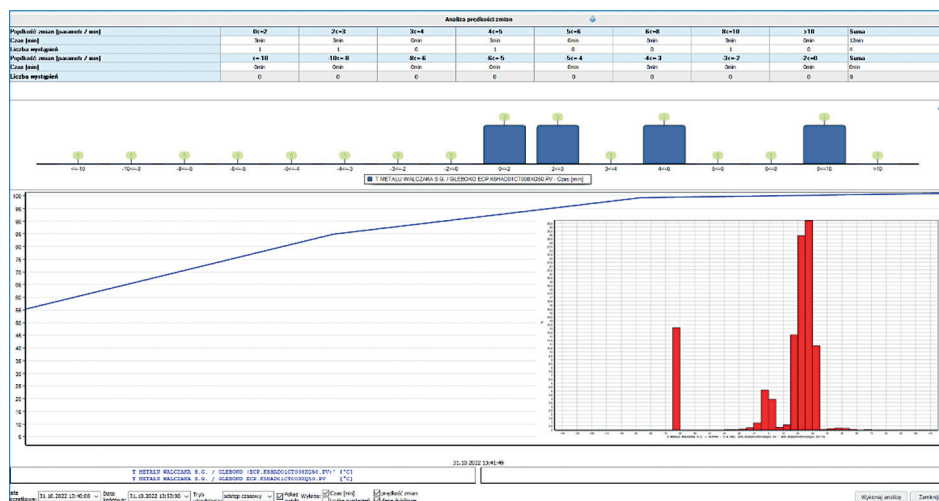
Po opracowaniu diagnozy (czyli po wykonaniu oceny stanu technicznego) formułuje się prognozę trwałości oraz zalecenia eksploatacyjne. Prognozę można weryfikować podczas eksploatacji kotła odpowiednio monitorując warunki pracy walczaka, np. wykorzystując do tego autorską aplikację Pro Novum – Prognoza PRO® (rys. 4).

Weryfikacja prognozy może być realizowana przez:

- okresowe badania – to metoda weryfikacji prognozy, która z jednej strony jest problematyczna, gdyż wymaga postoju kotła, a z drugiej pozwala na bezpośrednie potwierdzenie (lub nie) założeń przyjętych na etapie formułowania prognozy; szczególne znaczenie ma w przypadku zmiany warunków pracy, które w przypadku walczaka mogą mieć znaczący wpływ na jego stan techniczny; okresowe badania powinny dotyczyć nie tylko wybranych obszarów płaszcza walczaka, w których wcześniej zidentyfikowano potencjalne i rzeczywiste strefy uszkodzeń;
- analizę awaryjności – poza swoją podstawową „funkcją” identyfikacji problemów na kotle może również być użyteczna w weryfikacji prognozy; w przypadku walczaka uszkodzenia pojawiające się po remoncie zazwyczaj mają związek z błędami remontowymi, jednak – jeśli rozpatrywać je w szerszym kontekście wieloletniej analizy i prognozy – można odpowiednio wcześniej zidentyfikować problemy, które mogą ostatecznie skutkować uszkodzeniami o charakterze technologiczno-eksploatacyjnym;
- ciągłą analizę warunków pracy (rys. 5) – to chyba najłatwiejsza i najmniej problematyczna dla Użytkownika metoda weryfikacji prognozy; porównanie aktualnych danych z systemu DCS z danymi użytymi do sformułowania prognozy [3] może stanowić sygnał do konieczności ponownego przyjrzenia się prognozie i jej aktualizacji, np. z powodu zmiany warunków pracy [4]; dodatkowo, analiza ta może służyć za podstawę do opracowania zakresu badań przed następnym postojem diagnostycznym walczaka (na co już zwrócono uwagę w artykule).



Rys. 4. Prognoza PRO® - aplikacja Pro Novum wykorzystywana do nadzoru diagnostycznego [3]



Rys. 5. Weryfikacja prognozy trwałości na podstawie analizy warunków pracy (fragment raportu z aplikacji Prognoza PRO®)

Ocena stanu technicznego a wiarygodność informacji i wyników badań

Na koniec, zamiast typowego podsumowania, kilka ogólnych refleksji związanych z diagnostyką, w tym także gorzkich. Ostatni raz posłużymy się analogią medyczną – nie możemy oczekiwać, że lekarz nam pomoże w sytuacji, w której ukrywamy, że coś nam dolega. Brak wiarygodnych informacji (lub czasami jakichkolwiek) o nieprawidłowościach zidentyfikowanych na walczaku, kotle lub bloku, może prowadzić do mylnego wrażenia, że użytkownik urządzenia nie ma problemów. To jednak myślenie magiczne, które może się zemścić w przyszłości ze zwielokrotnioną siłą podczas kolejnych remontów lub w trakcie eksploatacji (awaria).

Z doświadczenia znamy nie jeden taki przypadek, kiedy przy poważnych awariach pojawiały się informacje, które udostępnione wcześniej mogłyby uchronić kocioł przed uszkodzeniem, a właściciela przed znaczącymi stratami. Podejście do diagnostyki jako do przykrego obowiązku wymuszonego przez Urząd Dozoru Technicznego to często za mało, żeby ustrzec się od problemów w przyszłości. Konsekwencje tego znajdujemy również w wynikach badań.

Czy wykrycie wskazania o charakterze pęknięcia w badaniach MT na płaszczu walczaka, jego usunięcie bez udokumentowania tego faktu oznacza, że go tam nie było? Ktoś, kto weźmie po latach do ręki dokument z wynikiem badań „pozytywny” tak właśnie pomyśli. Oczywiście pod kątem dotrzymania na ogół krótkich terminów i budżetów remontów, takie podejście może wydawać się „korzystne”. W rzeczywistości pozbyto się jednak ważnej informacji dla kogoś, kto potrafiłby zrobić z niej dobry, zwłaszcza dla użytkownika urządzenia, użytek. Usunięto tylko skutek, a przyczyny nawet nie zidentyfikowano. Nie można wykluczyć, że w przyszłości problem znowu się przypomni, a w najgorszym wypadku doprowadzi do awarii. A awaria walczaka z pęknięciami, do której może dojść w trakcie np. nieprawidłowego przeprowadzenia próby ciśnieniowej (zbyt wysokie ciśnienie przy zbyt niskiej temperaturze płaszczu walczaka), może mieć katastrofalny charakter [5].

W niniejszym artykule staraliśmy się zwrócić, nie pierwszy raz, uwagę na to, że współczesna diagnostyka stwarza ogromne możliwości dbania o prawidłowy stan techniczny zarówno walczaka jak i innych urządzeń w elektrowni. Zastosowanie nowoczesnych metod diagnostycznych nie tylko w trakcie remontu, ale też przed jego rozpoczęciem i po jego zakończeniu, pozwala użytkownikowi i właścicielowi uniknąć kosztownych problemów, angażując niewielkie środki w stosunku do tych związanych z usuwaniem skutków awarii czy uszkodzeń wymagających kosztownych napraw.

PIŚMIENICTWO

- [1] Murzynowski W., Staszałek K., Sobczyszyn A., *Ocena stanu technicznego walczaków kotłów parowych – wybrane problemy i metody ich rozwiązywania*. „Energetyka” 2025, nr 2, Biuletyn Pro Novum nr 1/2025.
- [2] Staszałek K., Trzeczczński J., Murzynowski W., *Technical condition assessment of steam boiler drums. Selected problems and methods of solving them*. VGBE Materials and Quality Assurance 2025 Workshop.
- [3] Stanek R., Trzeczczński J., *Prognozowanie trwałości urządzeń energetycznych w trybie zdalnym z wykorzystaniem aplikacji Prognoza PRO®*, „Energetyka” 2021, nr 12.
- [4] Stanek R. (Pro Novum Sp. z o.o.), Rażny J. (Veolia Energia Poznań S.A.), *Korzyści z nadzoru diagnostycznego sprawowanego przy pomocy programu Prognoza PRO® na przykładzie duobloku BC-50 w Veolia Energia Poznań S.A.*, „Energetyka” 2023, nr 12.
- [5] Zbroińska-Szczechura E., Dobosiewicz J., *Całkowite zniszczenia walczaków kotłów parowych*. „Energetyka” 1991, nr 4, Biuletyn Pro Novum nr 1/1991.

O współczesnych badaniach materiałowych oraz problemach ujawnianych podczas badań

Relacja z vgbe Workshop

“Materials and Quality Assurance 2025”

DNV Technology Centre w Bergen to jedna z wielu placówek międzynarodowej organizacji DNV, w której szerokim zakresie działalności odnajdujemy m.in. zapewnienie jakości i zarządzanie ryzykiem w przemyśle morskim, ale też dostarczanie rozwiązań technologicznych oraz świadczenie usług badawczych dla energetyki. Wizyta w norweskim centrum prawdopodobnie u każdego inżyniera wywoła co najmniej pojawienie się błysku w oku, gdyż zaraz po przekroczeniu drzwi głównego wejścia oczom ukazuje się przeszklona ściana, za którą znajduje się działające laboratorium, w którym przeprowadzane są badania i testy. Chociaż pracownicy centrum bardzo pobieżnie pochwalili się tym, co obecnie jest badane, to sama możliwość wglądu w ich pracę była wystarczająco satysfakcjonująca. Nie dziwi więc, że vgbe Energy wybrało to miejsce na organizację siódmej międzynarodowej konferencji „Materials and Quality Assurance 2025” (i zapewne nic do tego nie miała bajkowa lokalizacja miasta Bergen).

Konferencja zebrała głównie inżynierów i naukowców z Niemiec, ale wśród uczestników można było spotkać również obywateli innych państw Europy Zachodniej, Środkowej i Skandynawii oraz azjatyckiej części Turcji. Międzynarodowe towarzystwo zapewniło szeroki wgląd w problemy energetyki i w wyzwania związane z jej transformacją, co oczywiście znalazło odzwierciedlenie w tematyce referatów.

Główne wątki konferencji, według oficjalnego programu, to wodór w kontekście stosowanych materiałów i rozwiązań technologicznych, zapewnienie jakości i awarie (tym razem przede wszystkim w klasycznych rozwiązaniach energetycznych) oraz ogólne rozważania na temat materiałów i komponentów stosowanych w energetyce. Wątki te zostały zebrane w siedem sesji rozłożonych na dwa dni, w trakcie których wygłoszono 19 referatów.

Sesja otwierająca to zazwyczaj wprowadzenie uczestników w tematykę konferencji i nakreślenie ogólnego kontekstu, który powinien stanowić podstawę do szczegółowych rozważań przedstawianych w następnych sesjach. Tym razem zdecydowano, że kontekst zostanie przedstawiony na konkretnym przykładzie EnBW Energie Baden-Württemberg AG – dużego, niemieckiego dostawcy prądu, gazu, wody oraz ciepła (szeroko działającego również w e-mobilności), którego przedstawiciel zaprezentował ich strategię osiągnięcia celów klimatycznych stawianych przez rząd Niemiec i Unię Europejską. Założony plan realizowany ma być poprzez wyłączenia z eksploatacji mniej opłacalnych jednostek węglowych (przy jednoczesnym utrzymywaniu wysokosprawnych jednostek),

zmiany paliwa (tam gdzie to jest możliwe i opłacalne) oraz wprowadzanie jednostek na gaz i wodór. Prelegent zwrócił uwagę na techniczne problemy towarzyszące tym ambitnym zmianom, czyli m.in. ograniczoną liczbę dostawców stali w Europie, niską jakość stali z Azji, ograniczoną wiedzę na temat długotrwałej pracy stali P91/P92 lub brak danych dla nowych stali.

Referaty w sesjach Hydrogen I i II skupiały się na wątkach związanych z wytwarzaniem i transportem wodoru, jego wpływem na materiały oraz badaniami materiałów pracujących w tym środowisku. Zdecydowanie najbardziej interesujące były referaty dotyczące statycznej próby rozciągania przeprowadzanej w środowisku wodorowym. Skupiały się one na rozwiązaniu, w którym gaz wtłaczany jest do środka specjalnie przygotowanej wydrążonej próbki. To rozwiązanie, według autorów referatów, jest mniej problematyczne niż dotychczas stosowane metody (np. statyczna próba rozciągania w autoklawie), jednak wymaga dopracowania i standaryzacji, gdyż nawet chropowatość powierzchni otworu w próbce może mieć wpływ na wynik badania. W kuluarach o wodorze jako źródle energii mówiono, że jest to technologia przyszłościowa, wymagająca badań, jednak w obecnej chwili zdecydowanie za droga.

Kolejne dwie sesje dotyczyły uszkodzeń i z całej konferencji to właśnie ta tematyka budziła moje największe zainteresowanie. Awaria dla inżyniera to nie tylko źródło bezcennej wiedzy, ale też okazja, żeby poczuć się jak detektyw. Warto też dodać, że to właśnie te sesje pokazały, że mimo transformacji energetycznej i stosowania innowacyjnych metod w energetyce, wciąż mierzymy się z często dobrze nam znanymi problemami.

O pierwszym referacie dotyczącym zmęczenia korozyjnego należy wspomnieć nie tylko dlatego, że porusza on temat jakże teraz aktualny, ale również z powodu niedawnego wydania przez vgbe techniczno-naukowego raportu dotyczącego właśnie tego mechanizmu (vgbe -TW-532: „Strain induced corrosion cracking in fossil-fired power plants”). W raporcie tym znaleźć można kompleksowy przegląd stanu wiedzy, doświadczenia, założeń do inspekcji oraz założeń do oceny wykrytych nieprawidłowości. Referat częściowo odnosił się do wszystkich tych kwestii, jednak szczególnie wyróżniały się rozważania dotyczące metod oceny tego mechanizmu, również z uwzględnieniem metod obliczeniowych. Referat pokazał również, w jaki sposób nasi zachodni sąsiedzi podchodzą do kwestii problemów w energetyce i w jaki sposób próbują je rozwiązać (wspomnę o tym jeszcze na końcu relacji).

Następny referat, o którym chciałbym wspomnieć, dotyczył uszkodzeń walczaków u austriackiego producenta, m.in. nawozów azotowych oraz amoniaku. Po ponad 50. latach eksploatacji właściciel postanowił wymienić stare walczaki. Nowe, zabudowane w 2020 r. nie popracowały niestety długo, gdyż w 2023 r. konieczna była ich wymiana. Analiza przyczyn uszkodzeń walczaków z 2020 r. wykazała odstępstwa od procedur spawalniczych, błędy w samym procesie spawania, jak i nieprawidłowe podejście do obróbki cieplnej złącz spawanych. Powyższe błędy doprowadziły do powstania licznych pęknięć i lokalnego wzrostu twardości materiału. Konkluzja jest taka, że mimo procedur i nadzoru, nadal możliwe są aż nadto oczywiste błędy, które mogą doprowadzać do awarii i w konsekwencji do dużych strat finansowych.

Referat „Pro Novum” Sp. z o.o. [1] wygłoszony przez autora niniejszej relacji również dotyczył walczaków. Przedstawiliśmy w nim aktualne problemy, z którymi mierzymy się w trakcie prowadzenia diagnostyki walczaków oraz nasz pomysł na nowoczesne podejście do oceny ich stanu technicznego. Wieloletnie i wszechstronne doświadczenie firmy mogliśmy poprzeć konkretnymi przykładami, co wzbudziło szczególne zainteresowanie u uczestników konferencji.

Ostatnie dwie sesje skupiały się na materiałach, a w szczególności na stalach P91 i P92. W Niemczech stale te używane są od roku 1990 (P91) i 2010 (P92) i do dnia dzisiejszego uważane są za podstawowe dla elementów pracujących w wysokiej temperaturze. Wysokie wymagania dotyczące obróbki cieplnej (i wynikające z tego ryzyko ich niedotrzymania) oraz pojawiające się problemy po długotrwałej eksploatacji sprawiają, że stale te wymagają jednak większej uwagi i badań. Biorąc pod uwagę krótszy okres eksploatacji tych stali w polskiej energetyce, z zainteresowaniem powinniśmy spoglądać na doświadczenia inżynierów z Zachodu.

Pozostając jeszcze w tematyce stali P91 warto wspomnieć o referacie dra Ahmeda Shibli z ETD (UK), który w obszernej prezentacji (53 slajdy!) przedstawił problem nietypowych jak dla tej stali mikrostruktur zidentyfikowanych w elektrowniach na całym świecie. I tutaj również prelegent nawiązał do problemów związanych z obróbką cieplną, jednak tym razem w kontekście jej wpływu na mikrostrukturę, a następnie wynikających z tego

konsekwencji w ocenie takiej stali. Jeśli dodamy do tego, że tradycyjne metody NDT nie ujawniają uszkodzeń aż do momentu, kiedy stopień wyczerpania trwałości wynosi 70% (lub nawet więcej), to stajemy przed dużym wyzwaniem diagnostycznym. ETD jednak w tym obszarze ma do zaoferowania szereg innowacyjnych rozwiązań i programów, które mogą być odpowiedzią na pojawiające się już na horyzoncie problemy.

Ta krótka relacja podsumowująca najważniejsze wątki z konferencji „Materials and Quality Assurance 2025” jest pisana w Katowicach, dwa tygodnie po konferencji, więc miałem czas, żeby otrząsnąć się z wrażeń, jakie dostarczyło mi miasto Bergen i w trzeźwy sposób podejść do podsumowania. Przede wszystkim, banał – warto rozmawiać i dzielić się wiedzą. Doświadczenia naszych zagranicznych kolegów w obszarze wodoru lub długo eksploatowanych stali P91 i P92 mogą już za niedługo nam się przydać. Z drugiej strony nasza wiedza i podejście do diagnostyki np. elementów grubościennych, takich jak walczak, może okazać się atrakcyjna dla tych, u których widoczny jest zanik kompetencji w tym obszarze (a niestety jest widoczny). Żeby jednak nie było zbyt różowo, to należy wspomnieć o tym, że w kwestii badań i rozwoju (a następnie praktycznego wykorzystania tej wiedzy) nadal mamy wiele do zrobienia w porównaniu z zachodnimi i północnymi sąsiadami.

Będąc w towarzystwie przedstawicieli kilku instytucji badawczych i wysłuchując ich referatów odniosłem wrażenie, że oczywistym jest dla nich inwestowanie w wiedzę i czerpanie korzyści z tej wiedzy, również finansowych. Należałoby sobie zadać pytanie, czy u nas, w Polsce też to jest oczywiste?

PIŚMIENNICTWO

- [1] Staszałek K., Trzeczcyński J., Murzynowski W., *Technical condition assessment of steam boiler drums Selected problems and methods of solving them*. vgbe Workshop „Materials and Quality Assurance 2025”, Bergen, 7-8 May 2025.

