



Zagrożenia korozyjne na blokach energetycznych o zwiększonej elastyczności

Paweł Gawron

Przedsiębiorstwo Usług Naukowo-Technicznych
Pro Novum Sp. z o.o.

Streszczenie

Korozja nieodłącznie towarzyszy pracy bloków energetycznych, również przy elastycznym trybie pracy. Do typowych mechanizmów niszczenia, dochodzą czynniki charakterystyczne dla elastycznego trybu pracy bloków, istotne ze względu na intensyfikację procesów niszczenia korozyjnego. Właściwa i możliwie szybka identyfikacja rzeczywistych zagrożeń korozyjnych daje szansę na podjęcie adekwatnych działań prewencyjnych i utrzymanie dobrego stanu technicznego urządzeń. Biorąc pod uwagę dynamikę zmian parametrów przy pracy elastycznej tylko systemowe przetwarzanie informacji w taki sposób aby w dowolnym momencie eksploatacji można było urządzeniu (elementowi) przypisać konkretny stan techniczny i prognozę eksploatacji może dać wymierne efekty.

Słowa kluczowe: korozja, bloki energetyczne, praca elastyczna

Wprowadzenie

Problemy korozyjne nieodłącznie towarzyszą pracy bloków energetycznych niezależnie od trybu ich pracy. Rozpoznane i opanowane w stopniu wystarczającym zjawiska korozyjne na blokach pracujących w trybie normalnym, w przypadku bloków pracujących w trybie intensywnej regulacji i zwiększonej elastyczności nabierają nowego wymiaru. Do typowych mechanizmów niszczenia, dochodzą czynniki charakterystyczne dla elastycznego trybu pracy bloków, istotne ze względu na intensyfikację procesów niszczenia korozyjnego. Nowe warunki eksploatacji, powstałe w związku z uelastycznieniem pracy bloków tworzą nowy zakres zjawisk o potencjale

korozyjnych. Jeżeli przez uelastycznienie rozumiemy również rozszerzenie lub zmianę rodzaju spalnego paliwa, także w układzie mieszanek paliwowych, obszar elementów zagrożonych korozją ulega znaczącemu rozszerzeniu. Wymuszona zmiana jakości spalnego paliwa to jedna z bolączek jakie pojawiły się w związku z zaistniałą sytuacją geopolityczną i źródło problemów w obszarze elementów danej jednostki gdzie wcześniej nie identyfikowano problemów korozyjnych.

Właściwa i możliwie szybka identyfikacja rzeczywistych zagrożeń korozyjnych daje szansę na podjęcie adekwatnych działań prewencyjnych i utrzymanie dobrego stanu technicznego urządzeń z ograniczeniem przypadków uszkodzeń związanych z korozją.

Korozja

Korozja, jako zjawisko, tradycyjnie kojarzona jest jako negatywne oddziaływanie środowiska na materiały konstrukcyjne elementów danego układu technologicznego i zwykle z materiałami wykonanymi z metalu. Problem korozji, rozumianej jako utrata i zwykle pogorszenie pierwotnych własności dotyczy oczywiście znacznie szerszego wachlarza materiałów konstrukcyjnych, począwszy od materiałów niemetalicznych (beton, drewno, szkło i in.) kończąc na tworzywach sztucznych. Dobór odpowiedniego materiału do rodzaju środowiska pozostającego w kontakcie jest jednym z głównych czynników pozwalających na ograniczenie strat (w pieniądzu, w dyspozycyjności, w trwałości) związanych z procesami korozyjnymi. Dla jednorodnych środowisk i stabilnych parametrów pracy (m.in. ciśnienie, temperatura) wybór odpowiedniego gatunku materiału konstrukcyjnego pod względem odporności korozyjnej wydaje się i zwykle jest sprawą dość prostą związaną za sprawdzeniem zapisów odpowiednich tabel odporności korozyjnej i wyborem danego materiału, gdzie praktycznie jedynym czynnikiem który kieruje wyborem jest cena materiału.

Dużo trudniejsze zadanie stoi przy wyborze materiału konstrukcyjnego dla środowiska o zmiennych, często skrajnie odległych właściwościach (np. ogień i woda dla rur parowników kotłów), gdzie oprócz ryzyk

związanych z charakterystyką samego środowiska w zakresie parametrów fizycznych (ciśnienie, temperatura) oraz chemicznych, dochodzi mnogość możliwych mechanizmów niszczenia korozyjnego, tak prostych jak np. korozja wżerowa (pitting), jak i złożonych jak np. zmęczenie korozyjne czy korozja naprężeniowa. Wieloletnia historia eksploatacyjno-remontowa oraz doświadczenia diagnostyczne pokazują, że dobór odpowiednich materiałów jest możliwy, a uszkodzenia korozyjne o ile występują zwykle powiązane są z niedotrzymywaniem reżimów pracy lub błędami konstrukcyjnymi czy zakłóceniami technologicznymi.

Gradacja trudności osiąga swoje maksimum w sytuacji, kiedy dla opisanego przypadku dodamy cykliczne, zwykle nieregularne zmiany parametrów środowiska związane ze zmianą trybu pracy z projektowego na pracę w warunkach intensywnej, wymuszonej przez otoczenie (system energetyczny) pracy w regulacji. Dodatkowym czynnikiem o negatywnym wymiarze oddziaływania, jeszcze do niedawna nie brany poważnie pod uwagę, są kwestie geopolityczne, które jak pokazuje praktyka i rzeczywistość w sposób istotny mogą wpływać na integralność i trwałość urządzeń wytwórczych, między innymi w związku z wymuszonymi zmianami w strukturze dostaw paliwa. Nie bez znaczenie pozostają kwestie czysto ludzkie, dotyczące historycznych przyzwyczajeń obsługi ruchowej, powielającej działania właściwe dla normalnego trybu pracy urządzeń, niekoniecznie optymalne dla trybu zmienionego.

Z trzecim z opisanych przypadków mierzymy się obecnie w trakcie eksploatacji bloków energetycznych, w tym stanowiących w dalszym ciągu podstawę systemu energetycznego bloków 200 i 360 MW, które oprócz funkcji generacyjnej są podstawową grupą urządzeń regulujących system energetyczny.

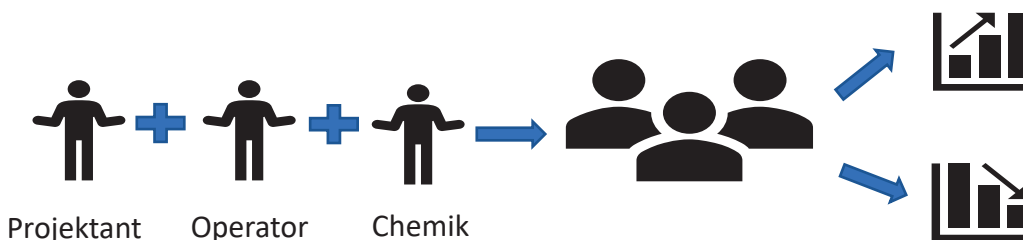
Nowa sytuacja na rynku wytwarzania energii elektrycznej

Zachodzące zmiany na rynku wytwarzania energii elektrycznej stworzyły sytuację w której tryb pracy jednostek wytwórczych związany jest z:

- Pracą w intensywnej regulacji, zgodnie z zapotrzebowaniem rynku, daleko od założeń projektowych
 - Krótkoterminowymi i długoterminowymi postojami w rezerwie
 - Odstawieniami z koniecznością zapewnienia dyspozycyjności, ale bez znanego czasu postoju
- Fizyko-chemiczną konsekwencją tego stanu rzeczy są zwykle:
- Zdecydowane pogorszenie fizykochemicznych warunków pracy urządzeń, związane z cykliczną zmianą parametrów czynnika obiegowego
 - Pogorszona ochrona antykorozyjna w trakcie pracy i postoju
 - Pojawienie się nietypowych przypadków uszkodzeń, niespotykanych przy normalnym trybie pracy oraz intensyfikacja charakterystycznych dla sytuacji przed zmianą

Potrzeba zmiany metod obróbki chemicznej czynnika obiegowego w układzie wodno-parowym

Praca bloków energetycznych w warunkach intensywnej regulacji stanowi wielowymiarowe wyzwanie nie tylko dla obsługi ruchowej ale również dla projektantów, wydziałów kontroli eksploatacji oraz chemików zajmujących się utrzymaniem optymalnych parametrów czynnika w obiegach technologicznych w tym w obiegu wodno-parowym. Ta współpraca powinna mieć na celu minimalizację wpływu pracy w intensywnej regulacji, pracy elastycznej na dyspozycyjność i efektywności pracy urządzeń wytwórczych. Zaniechanie działania wiąże się ze wzrostem poziomu ryzyka – rys. 1.



Rys. 1. Ilustracja wzrostu poziomu ryzyka



Zagrożenia korozyjne na blokach energetycznych o zwiększonej elastyczności

Wyzwania szczegółowe powinny obejmować działania pozwalające na:

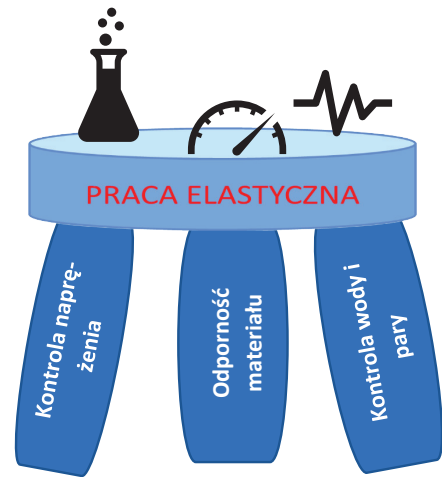
- Wydłużenie żywotności urządzeń oraz ograniczenie ilości wymuszonych przestojów
- Maksymalizację produkcji energii przy zachowaniu wysokiej sprawności
- Wyeliminowanie lub co najmniej ograniczenie intensywności zjawisk korozyjnych
- Ograniczenie ilości osadów eksploatacyjnych oraz skali ich transportu wewnątrz obiegu

Praca elastyczna jest ściśle związana z przewijającymi się cyklicznie, charakterystycznymi etapami – stanami ruchowymi obejmującymi m.in. wyłączenie z ruchu, krótszy lub dłuższy postój w rezerwie, ze zmiennym w zależności od sytuacji zakresem zmian parametrów obiegu, uruchomienie do ponownej eksploatacji z ponownym formowaniem parametrów obiegu aż do momentu ponownej synchronizacji z siecią energetyczną i dalszą pracą w regulacji.

Utrzymanie wymaganej trwałości i dyspozycyjności w obrębie wszystkich stanów pracy opiera się na jednoczesnym zabezpieczeniu trzech filarów stanowiących podstawę bezpiecznej pracy w warunkach intensywnej regulacji – rys. 2. Bieżąca kontrola stanu naprężeń, połączona z kontrolą i korektą parametrów fizyko-chemicznych obiegu wodno-parowego, przy uwzględnieniu odporności materiałów konstrukcyjnych daje szansę na bezpieczną eksploatację w zmienionych warunkach.

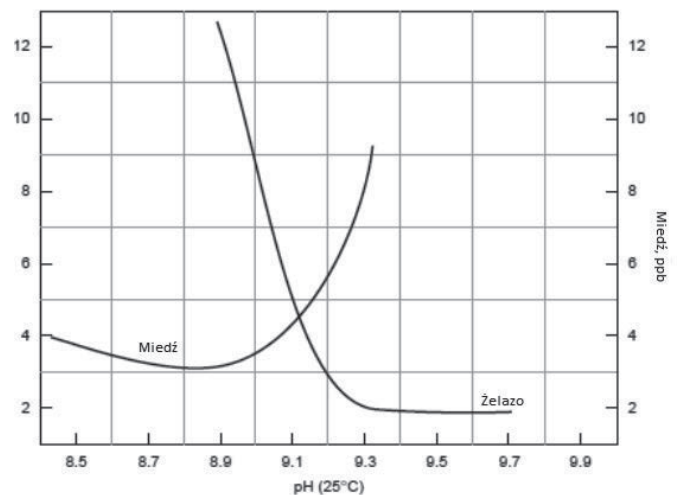
Fizykochemiczne konsekwencje pracy elastycznej

Za zmianami parametrów wydajnościowych związanych z pracą elastyczną oraz wielokrotnie zwiększoną liczbą rozruchów ponownych mamy do czynienia z cyklicznymi zmianami kluczowych parametrów (odczyn pH, potencjał utleniająco-redukcyjny i in.) wpływających niekorzystnie na trwałość warstw ochronnych w obiegu wodno-parowym oraz **intensyfikacją emisji zanieczyszczeń** stałych do czynnika obiegowego. Szczególnie istotnych niekorzystnych zmian należy spodziewać się w związku z intensyfikacją zjawisk związanych z **FAC (Flow Accelerated Corrosion)**, normalnie związanych z turbulencją przepływu i zmianami parametrów kluczowych. W układach z wymiennikami ze stopów miedzi (kondensator, regeneracja NP) wzrasta ryzyko emisji związków miedzi do czynnika obiegowego, z wtórnymi problemami związanymi z jej obecnością na elementach obiegu wodno-parowego – rys. 3. Z uwagi na ogólny, wyższy poziom zanieczyszczeń korozyjnych w obiegu, intensyfikacja

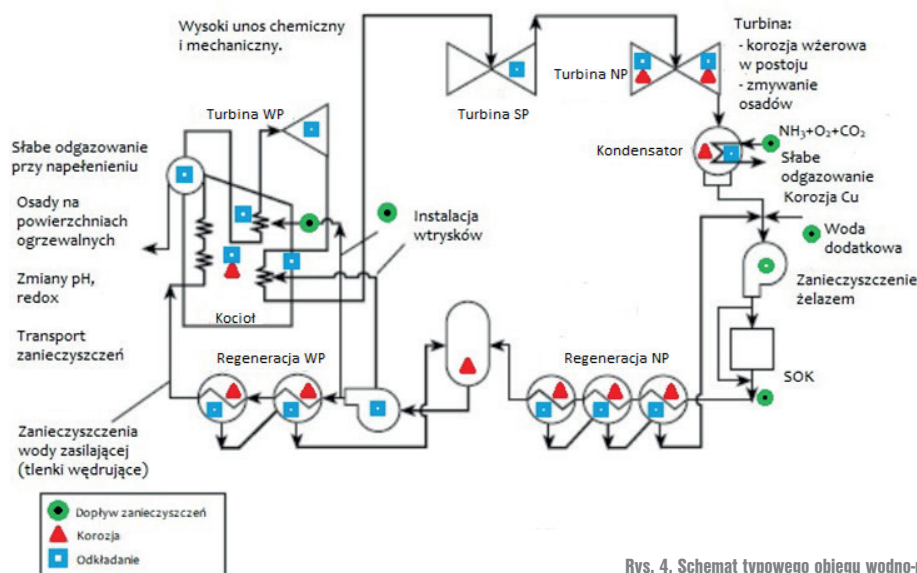


Rys. 2. Filary bezpiecznej pracy w warunkach intensywnej regulacji

odkładania się osadów korozyjnych na powierzchniach ogrzewalnych (**korozja podosadowa**) może być przyczyną powtarzających się uszkodzeń elementów w części wodnej. Szybkie zmiany wydajności to również ryzyko pogorszenia jakości produkowanej pary związane z unosem mechanicznym i chemicznym zanieczyszczeń wody kotłowej do pary. Każdorazowo, niezabezpieczony antykorozyjnie postój, niezależnie od jego długości, to okres przyrostu zawartości produktów korozji i degradacji materiałów konstrukcyjnych. Na rys. 4 przedstawiono schemat typowego obiegu wodno-parowego z wtórnym przegrzewem z zaznaczonymi miejscami występowania zjawisk korozji pierwotnej, miejscami odkładania osadów i ich wtórnego transportu oraz miejsca dopływu zanieczyszczeń spoza obiegu.



Rys. 3. W układach z wymiennikami ze stopów miedzi wzrasta ryzyko emisji związków miedzi do czynnika obiegowego



Rys. 4. Schemat typowego obiegu wodno-parowego z wtórnym przegrzewem

Praca elastyczna, praca w intensywnej regulacji, związana jest z wieloma stanami przejściowymi, których efektem oprócz „produkcji” korozji mogą być uszkodzenia elementów urządzeń. Redukcja negatywnego wpływu jest możliwa, przez podjęcie wielopłaszczyznowych działań korekcyjnych – tab. 1.

Wachlarz mechanizmów niszczenia elementów w obszarze kotła i turbiny jest bardzo szeroki. Do rzadkości należą takie na które wpływ mają pojedyncze czynniki. Większością rządzą zespoły czynników, tak o charakterze fizycznym jak i chemicznym. W warunkach

pracy elastycznej dochodzą dodatkowe czynniki związane z cykliczną zmianą parametrów wrażliwych. W tab. 2 i 3 zamieszczono syntetyczne zestawienie obejmujące wpływ pracy elastycznej i czynników chemicznych na wybrane mechaniczne niszczenia.

Podsumowanie

Elastyczne warunki pracy urządzeń zmieniają fizykochemiczne warunki pracy obiegów. Dotrzymanie parametrów czynnika wymaga zwykle optymalizacji systemów korekcji i może się wiązać również

Tabela 1. Działania korekcyjne pracy elastycznej

Efekty przejściowe	Redukcja wpływu
Korozja elementów w trakcie postoju. Transport produktów korozji w trakcie uruchomienia	Prawidłowe odstawienie, zabezpieczenie antykorozyjne, filtracja – czyszczenie obiegu po uruchomieniu.
Transport zanieczyszczeń tlenkowych wraz z wodą wtryskową do SH, RH i turbiny	Odsalanie/odmulanie kotła, oczyszczanie wody zasilającej.
Zmiany odczynu pH, redox, temperatury – wzrost zawartości zanieczyszczeń stałych w czynniku	Utrzymanie jakości czynnika zgodnie z reżimem.
Obecność osadów w układzie przepływowym turbiny, wilgoć, korozja wżerowa	Suszenie układu przepływowego, mycie turbin.
Dopływ zanieczyszczeń gazowych – korozja wżerowa, spadek pH, FAC	Doszczelnienie układu.
Słaba efektywność odgazowania czynnika w trakcie uruchomienia	Modernizacja układu odgazowania.
Wysokie przejściowe naprężenia w elementach grubościennych wynikające ze zmian parametrów w stanach niustalonych, naprężenia w rurach ścian kotłowych, zaburzenia cyrkulacji. Drgania, wzrost naprężeń w elementach wirujących. Przyspieszona korozja naprężeniowa i propagacja pęknięć korozyjno - zmęczeniowych.	Kontrola stanu naprężeń, drgań. Utrzymanie parametrów czynnika. Zmiana korekcji chemicznej.
Złuszczenie warstw tlenkowych z powierzchni przegrzewaczy. Ograniczenie przepływu czynnika, awarie armatury, erozja w układzie przepływowym, transport tlenków.	Ograniczenie szybkości zmian temperatury metalu. Efektywne odwadnianie układu. Filtracja kondensatu.
Korozja przegrzewaczy SH / RH – rozpuszczanie osadzonych soli.	Zabezpieczenie antykorozyjne
Hide - out	Optymalizacja korekcji chemicznej

Zagrożenia korozyjne na blokach energetycznych o zwiększonej elastyczności

Tabela 2. Kocioł – mechanizmy niszczenia – chemia – praca elastyczna

Mechanizm	Chemia	Praca elastyczna
Zmęczenie korozyjne	Niedotrzymanie parametrów, odstawienia/uruchomienia, błędy czyszczenia chemicznego	Zmiany parametrów fiz-chem., zakłócenia cyrkulacji, naprężenia termiczne
Korozja wodorowa	Osady wprowadzane z układu zasilającego, obecność kwaśnych soli w osadach	Zmiany parametrów fiz-chem., odkładanie stałych produktów korozji
Korozja alkaliczna	Osady wprowadzane z układu zasilającego, obecność alkalicznych soli w osadach	Hide-out, zanieczyszczenie powierzchni rur
Korozja ogniowa	Mechanizm akcelerowany wzrostem temperatury – obecność osadów	Osady na powierzchniach rur
Krótko/długoterminowe przegrzanie	Wzrost temp. metalu na skutek obecności osadów, odkładanie osadów w przewężeniach	Zanieczyszczenie rur, zaburzenia cyrkulacji
FAC	Warunki redukcyjne, niskie pH wody zasilającej	CO ₂ + niskie pH
Korozja wżerowa - ECO	Obecność wilgoci, natlenienie w trakcie postoju	Postój
Korozja wżerowa - RH	Rozpuszczanie soli, obecność kondensatu	Postój

Tabela 3. Turbina – mechanizmy niszczenia – chemia – praca elastyczna

Mechanizm	Chemia	Praca elastyczna
Korozja naprężeniowa w LP	Nadmierna zawartość składników korozyjnych w parze, zmiany wilgotności pary, naprężenia, osadzanie produktów korozji	Korozja postojowa – wżery podczas niezabezpieczonych postojów akcelerują SCC, zmiany parametrów fiz. - chem.
Wysokocyklowe zmęczenie korozyjne w LP	Nadmierna zawartość składników korozyjnych w parze w kombinacji ze zmiennymi naprężeniami	Korozja postojowa – wżery podczas niezabezpieczonych postojów akcelerują CF, przejście przez obroty krytyczne - drgania
Niskocyklowe zmęczenie korozyjne	Obecność osadów, głównie NaOH	Korozja postojowa – wżery podczas niezabezpieczonych postojów, zmiany poziomu naprężeń
Korozja wżerowa	Obecność soli i kwaśnych składników korozyjnych, niezabezpieczone postoje. Obszary SCC, CF	Obecność agresywnych soli w trakcie postoju
Osady w części HP	Związki miedzi na powierzchni HP, ograniczenie przelotu, spadek sprawności	Zintensyfikowany transport miedzi w okresach uruchomień po postojach
Zakrzemianie	Obecność Si w parze, odkładanie Si w układzie przepływowym, spadek sprawności	Uruchomienia, intensywna regulacja, zmiany parametrów fiz. - chem.
Erozja HP/IP	Zluszczanie tlenków z SH i RH.	Zmiany wydajności, zmiany naprężeń, zmiany temperatur

z koniecznością modernizacji układów dozowania korygentów. Zmiana w zakresie dominujących mechanizmów niszczenia może mieć wymiar statystyczny ale również jakościowy, z pojawieniem się nowych, nie występujących wcześniej.

Identyfikacja mechanizmów niszczenia na drodze prostej, typowej kontroli eksploatacji nigdy nie była sprawą prostą. Bardzo duża ilość mechanizmów dająca podobne, nieselektywne objawy utrudnia określenie właściwej i szybkiej odpowiedzi dotyczącej przyczyny uszkodzenia. Dużym utrudnieniem staje się ograniczony zakres kontroli parametrów fizykochemicznych prowadzonej w trakcie pracy a zwłaszcza w trakcie wielokrotnie częstszych niż pierwotnie uruchomień. Biorąc pod uwagę ich ilość koordynacja w zakresie potrzeb pomiarowych w danym czasie wydaje się kluczowa. Druga natura człowieka – przyzwyczajenia – nie zawsze dobrze współgra z potrzebami wynikającymi ze zmiany trybu pracy urządzeń energetycznych.

Biorąc pod uwagę dynamikę zmian parametrów przy pracy elastycznej tylko systemowe przetwarzanie

informacji w taki sposób aby w dowolnym momencie eksploatacji można było urządzeniu (elementowi) przypisać konkretny stan techniczny i prognozę eksploatacji może dać wymierne efekty.

LITERATURA

- [1] Cycling, Startup, Shutdown, and Layup Fossil Plant Cycle Chemistry Guidelines for Operators and Chemists, Electric Power Research Institute, 1998
- [2] Gawron Paweł, Danisz Sylwia. 2012. „Od badań diagnostycznych i analiz warunków pracy urządzeń do systemowego monitorowania ich trwałości –doświadczenia w funkcjonowaniu LM System Pro+®”. Konferencja Naukowo-Techniczna pn. Udział Chemii Energetycznej we wzroście efektywności urządzeń, Ustroń.
- [3] Burns Brad, Hubbard Doug. 2021. “The Role of Human Performance Science in Cycle Chemistry Improvement – Is This the Missing Link?” PPCHEM 01, Fossil Cycle Chemistry.
- [4] Guidelines for Control of Flow-Accelerated Corrosion in Fossil and Combined Cycle Plants, Electric Power Research Institute, 1998
- [5] Trzecznyński Jerzy. 2023. „Diagnostyka wspierająca bezpieczeństwo i dyspozycyjność bloków klasy 200 MW podczas kontynuowania ich eksploatacji”. Dozór Techniczny 2.
- [6] Application of Film Forming Substances in Fossil, Combined Cycle, and Biomass Power Plants, International Association for the Properties of Water and Steam 2019,