

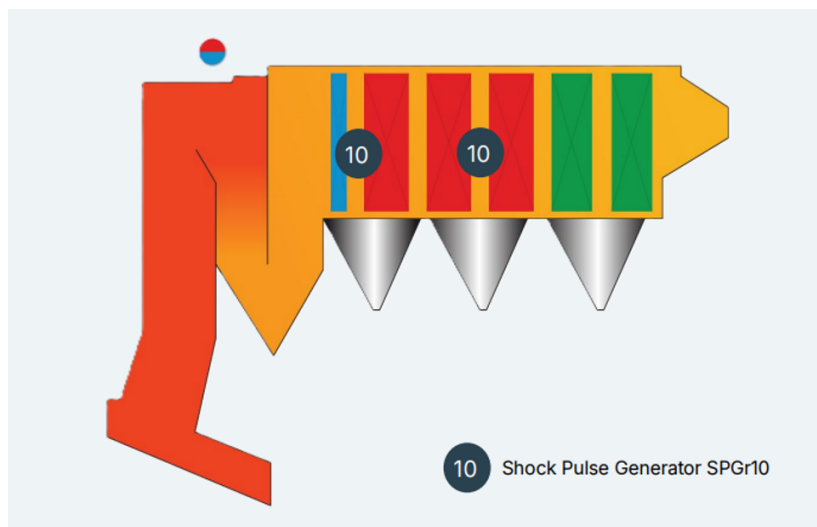
- Krzysztof Maślanka,
Zastępca Dyrektora, Miejski Zakład Gospodarki Odpadami Komunalnymi Sp. z o.o. w Koninie

Zastosowanie technologii Shock Pulse Generator (SPGr) oraz cyfrowego bliźniaka

w optymalizacji pracy kotła w instalacji WtE

W artykule przedstawiono wyniki modernizacji instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych w Miejskim Zakładzie Gospodarki Odpadami Komunalnymi Sp. z o.o. w Koninie. Zakres prac obejmował wdrożenie technologii Shock Pulse Generator (SPGr) oraz opracowanie cyfrowego bliźniaka kotła. Zastosowane rozwiązania umożliwiły stabilizację procesów przepływowo-cieplnych, eliminację przestoju eksploatacyjnych oraz wzrost wydajności instalacji o 3,24%.

Instalacje termicznego przekształcania odpadów komunalnych charakteryzują się znaczną zmiennością parametrów pracy, wynikającą z heterogenicznego składu paliwa. Obecność związków chloru, siarki oraz składników mineralnych sprzyja intensywnemu odkładaniu się osadów na powierzchniach ogrzewalnych kotła, co prowadzi do pogorszenia warunków wymiany ciepła oraz destabilizacji pracy instalacji. W praktyce eksploatacyjnej zjawiska te skutkują koniecznością cyklicznych przestoju serwisowych oraz stosowaniem metod mechanicznego czyszczenia, które mogą powodować dodatkowe obciążenia i uszkodzenia elementów ciśnieniowych.



Rys. 1. Lokalizacja montażu generatorów uderzeń SPGr na przekroju kotła

Charakterystyka zjawiska odkładania się osadów i ich wpływ na pracę kotła

Proces odkładania się osadów w kotłach WtE prowadzi do powstawania warstw depozytów o niskiej przewodności cieplnej, które zwiększają opór cieplny po stronie spalin i ograniczają efektywność przekazywania ciepła do czynnika roboczego. W konsekwencji obserwuje się wzrost temperatury spalin na wylocie z kotła oraz pogorszenie warunków pracy powierzchni ogrzewalnych. Narastające osady powodują również istotne zmiany charakterystyki przepływu spalin. Redukcja efektywnych przekrojów kanałów prowadzi do powstawania lokalnych przyspieszeń strugi, stref recyrkulacji oraz nierównomiernych rozkładów temperatury. W obecności chlorków i związków siarki zjawiska te są dodatkowo intensyfikowane przez korozję wysokotemperaturową, szczególnie w obszarach przegrzewaczy.

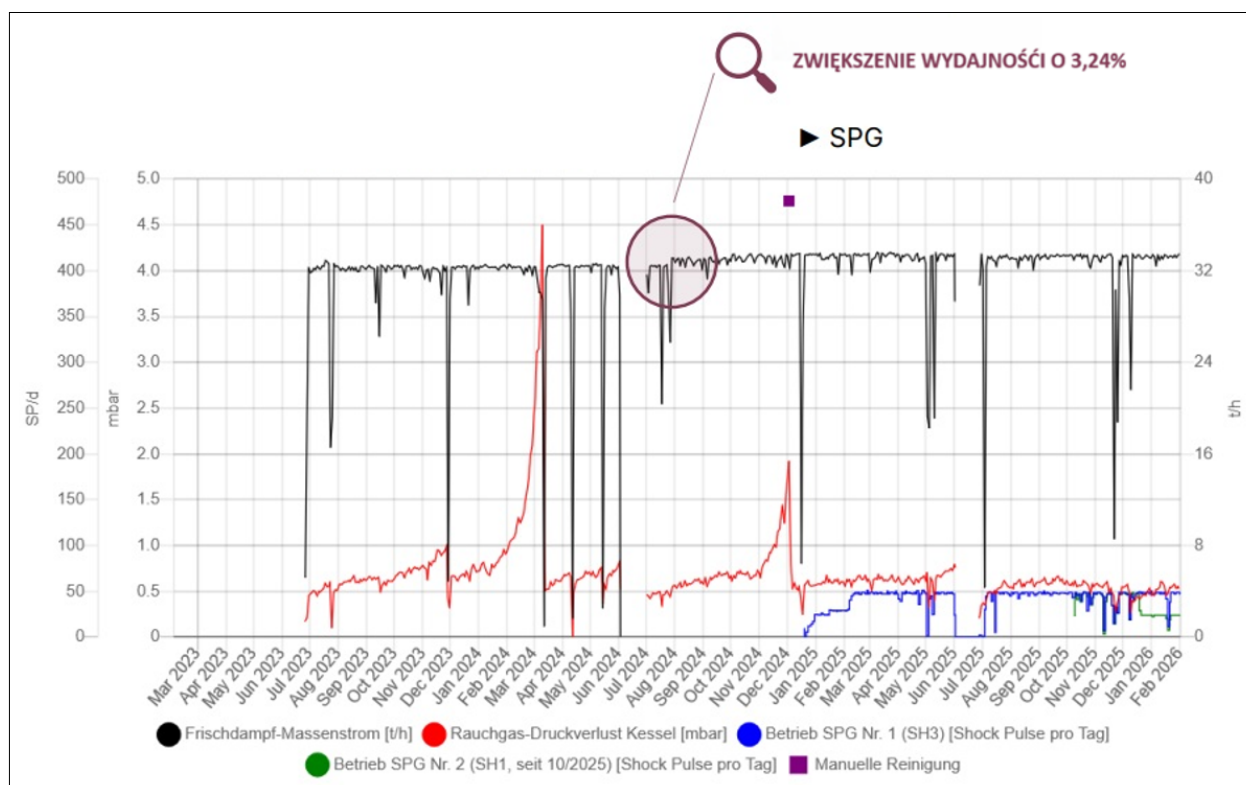
Cyfrowy bliźniak kotła jako narzędzie analizy i optymalizacji

W celu szczegółowej analizy zjawisk zachodzących w kotle opracowano cyfrowy bliźniak instalacji, stanowiący numeryczne odwzorowanie procesów przepływowo-cieplnych. Model ten uwzględniał turbulentny przepływ spalin, rozkłady temperatur w przestrzeni kotła oraz lokalne współczynniki przemowienia i przenikania ciepła, a także mechanizmy odkładania się osadów i ich wpływ na opory cieplne i hydrauliczne. Zastosowanie cyfrowego bliźniaka umożliwiło symulowanie różnych stanów pracy kotła, zarówno w warunkach nominalnych, jak i przy zmiennym obciążeniu oraz zwiększonej intensywności foulingu. Analizy pozwoliły na identyfikację obszarów szczególnie narażonych na degradację wymiany ciepła oraz określenie wymaganej energii oddziaływania systemu czyszczenia. Dzięki temu

możliwe było precyzyjne dopasowanie parametrów pracy urządzeń jeszcze na etapie projektowym.

Dobór technologii czyszczenia - analiza rozwiązań alternatywnych

Proces wdrożenia technologii SPGr został poprzedzony analizą i testami innych metod czyszczenia powierzchni ogrzewalnych kotła. Rozpatrywano zastosowanie armatek powietrznych zasilanych sprężonym powietrzem, które generują impulsy o ograniczonej energii i okazały się niewystarczające w przypadku silnie związanych osadów powstających podczas spalania odpadów komunalnych. Analizowano również metody pirotechniczne polegające na generowaniu kontrolowanych wybuchów w przestrzeni kotła, które mimo wysokiej skuteczności energetycznej wiązały się z ograniczeniami eksploatacyjnymi oraz ryzykiem oddziaływań mechanicznych na konstrukcję urządzenia. Kolejnym



Rys. 2. Charakterystyka pracy kotła przed i po montażu generatorów uderzeń SPGr



Rys. 3. Generatory uderzeń SPGr

rozwiązaniem była instalacja typu „shower cleaner”, wykorzystująca okresowe mycie powierzchni kotła, jednak metoda ta nie zapewniała ciągłości procesu i wymagała ingerencji w pracę instalacji.

W wyniku przeprowadzonych analiz i prób eksploatacyjnych stwierdzono, że najskuteczniejszym rozwiązaniem jest technologia Shock Pulse Generator, która łączy wysoką efektywność oddziaływania z możliwością pracy ciągłej i pełnej automatyzacji.

Technologia SPGr i jej integracja z modelem obliczeniowym

Technologia Shock Pulse Generator opiera się na generowaniu krótkotrwałych impulsów ciśnieniowych w wyniku kontrolowanego spalania mieszaniny gazu



Rys. 4. Zanieczyszczenie części ogrzewalnych kotła przed wprowadzeniem generatorów uderzeń SPGr

i powietrza. W instalacji wykorzystywany jest metan (CH_4), który pełni rolę medium energetycznego odpowiedzialnego za generację fali uderzeniowej. Powstałe fale ciśnieniowe rozchodzą się w przestrzeni kotła, powodując wzbudzenie drgań powierzchni ogrzewalnych oraz warstw osadów. Zjawisko to prowadzi do przełamania sił adhezji i oderwania depozytów, które następnie są wyprowadzane poprzez istniejący system odprowadzania popiołów. Istotną cechą systemu jest możliwość regulacji mocy uderzenia impulsu oraz częstotliwości jego generacji. Parametry te zostały dobrane na podstawie wyników analiz uzyskanych z cyfrowego bliźniaka, co pozwoliło na dostosowanie intensywności oddziaływania do lokalnych warunków przepływowych oraz stopnia zabrudzenia powierzchni. Zastosowana technologia SPGr została opracowana przez firmy MARTIN GmbH oraz Explosion Power, specjalizujące się w rozwiązaniach dla instalacji termicznego przekształcania odpadów oraz systemach czyszczenia kotłów przemysłowych. Rozmieszczenie urządzeń SPGr zostało określone na podstawie analiz numerycznych. Pierwszy generator zainstalowano w strefie pomiędzy parownikiem EV1, a przegrzewaczem SH3, natomiast kolejne urządzenia umieszczono pomiędzy przegrzewaczami SH2 i SH1, co pozwoliło na objęcie oddziaływaniem kluczowych powierzchni konwekcyjnych narażonych na fouling. W oznaczeniach stosowanych dla kotłów parowych EV odnosi się do parownika, natomiast SH oznacza przegrzewacz pary, czyli element odpowiedzialny za podniesienie temperatury pary powyżej temperatury nasycenia. Warto podkreślić, że metan wykorzystywany w systemie może stanowić paliwo pochodzące z procesów biogazowych, typowych dla instalacji komunalnych, co stwarza możliwość integracji procesu czyszczenia kotła z lokalnymi źródłami energii odnawialnej.

Wpływ modernizacji na warunki wymiany ciepła i przepływu

Utrzymanie wysokiej czystości powierzchni ogrzewalnych w sposób ciągły



Rys. 5. Porównanie zanieczyszczeń przegrzewacza SH3 przed montażem urządzenia i realizacji inwestycji

gły doprowadziło do stabilizacji warunków wymiany ciepła w całym okresie eksploatacji. Eliminacja warstw osadów ograniczyła dodatkowe opory cieplne i umożliwiła utrzymanie korzystnych wartości współczynników przejmowania ciepła. Jednocześnie usunięcie depozytów wpłynęło na poprawę charakterystyki przepływu spalin, ograniczając występowanie zaburzeń, stref recyrkulacji oraz nierównomiernych rozkładów prędkości i temperatury. W rezultacie uzyskano stabilne warunki pracy wymienników ciepła oraz przewidywalny przebieg procesów termodynamicznych.

Efekty eksploatacyjne

Zastosowane rozwiązania doprowadziły do istotnej poprawy parametrów pracy instalacji. Po raz pierwszy od 10 lat eksploatacji wyeliminowano postoje związane z koniecznością czyszczenia kotła, co stanowiło przełom w pracy instalacji. Uzyskana stabilność pracy pozwoliła na utrzymanie jednolitych warunków eksploatacyjnych kotła w długim okresie. Dzięki temu osiągnięto wzrost wydajności instalacji o 3,24%, który był

bezpośrednio związany z ciągłością procesu oraz utrzymaniem optymalnych warunków wymiany ciepła. Instalacja odpowiedzialna za utrzymanie czystości kotła odegrała kluczową rolę w eliminacji zakłóceń pracy i umożliwiła prowadzenie procesu w sposób nieprzerwany.

Wnioski

Przeprowadzona modernizacja potwierdza, że zastosowanie cyfrowego bliźniaka jako narzędzia analitycznego w połączeniu z technologią aktywnego czyszczenia kotła pozwala na skuteczne ograniczenie problemów eksploatacyjnych charakterystycznych dla instalacji WtE. Integracja modelowania numerycznego z regulowanym systemem SPGr umożliwia precyzyjne sterowanie procesami zachodzącymi w kotle oraz utrzymanie wysokiej wydajności instalacji w warunkach zmiennego paliwa. Uzyskane wyniki wskazują na istotny potencjał implementacji tego typu rozwiązań zarówno w instalacjach termicznego przekształcania odpadów, jak i w klasycznych jednostkach energetycznych. □