

## Doświadczenia z inspekcji i diagnostyki katalitycznych instalacji odazotowania spalin

### Experience from inspection and diagnostics of catalytic flue gas denitrification installation

Wymagania prawa ochrony środowiska dotyczące oczyszczania spalin kotłowych przed ich emisją do atmosfery zmuszają właścicieli obiektów energetycznych do budowy coraz bardziej nowoczesnych instalacji oczyszczania spalin. Obecnie coraz szerzej stosowana jest katalityczna metoda odazotowania spalin (Selective Catalytic Reduction – SCR), pozwalająca uzyskać stopień oczyszczania spalin z tlenków azotu spełniający nowe wymagania w tym zakresie.

Od kilku lat w krajowej energetyce eksploatowane są instalacje odazotowania spalin. Ten stosunkowo krótki okres wykazał już celowość, a często konieczność okresowych przeglądów w celu utrzymania założonych wskaźników emisyjnych. Wiedza i wieloletnie doświadczenie w pomiarach emisji, pomiarach założeniowych pod zabudowę instalacji DeNO<sub>x</sub>, doradztwie technicznym w zakresie koncepcji instalacji odazotowania spalin, udział w procesach przetargowych na etapie przygotowywania specyfikacji istotnych warunków zamówienia oraz oceny ofert i wyboru wykonawcy, udział w realizacji inwestycji jako Inżynier Kontraktu i w końcu wykonanie kilkudziesięciu pomiarów gwarancyjnych i optymalizacyjnych instalacji katalitycznego odazotowania spalin pozwoliły firmie „ENERGOPOMIAR” Sp. z o.o. na opracowanie nowej na polskim rynku usługi: inspekcji i diagnostyki instalacji SCR. Jest ona kluczowa dla poprawnej eksploatacji w dłuższym okresie oraz dla optymalnego zarządzania gospodarką remontową.

Usługa ta polega na szczegółowym audycie instalacji SCR, obejmującym zarówno ocenę i diagnostykę instalacji w czasie pracy, jak i inspekcję w czasie postoju wraz ze szczegółowym badaniem wkładów katalitycznych wykonywanym przez niezależny zespół ekspertów. Wykonanie pełnego zakresu usługi inspekcji i diagnostyki instalacji SCR daje kompleksową i rzetelną wiedzę na temat skuteczności pracy instalacji SCR.

Usługa „ENERGOPOMIAR” Sp. z o.o. realizowana jest w trzech etapach:

- Etap 1. Ocena pracy instalacji SCR.
- Etap 2. Inspekcja instalacji SCR w czasie postoju.
- Etap 3. Weryfikacja poprawności pracy instalacji SCR – pomiary kontrolne.

#### Etap 1. Ocena pracy instalacji SCR

Etap ten polega na analizie danych eksploatacyjnych udostępnionych przez operatora instalacji. Analiza przeprowadzana jest w następującym zakresie:

- tryb pracy kotła, czas pracy i postoju instalacji, informacje o pracy przy pełnej i częściowej mocy, rozruchy zimne i gorące;
- wartości NO<sub>x</sub> na wejściu do instalacji SCR;
- wartości NO<sub>x</sub> na wyjściu z instalacji, informacje o przekroczeniach wartości dopuszczalnych;
- wartości prześlizgu NH<sub>3</sub> (o ile taki pomiar jest zainstalowany);
- wartości NO<sub>x</sub> w pomiarach emisyjnych (na kominie);
- wartości O<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O w spalinach;
- wartości temperatury spalin na wejściu i wyjściu SCR;
- spadek ciśnienia na katalizatorach (wartości i trendy);
- zużycie wody amoniakalnej;
- informacje o stosowanym paliwie, w szczególności o ewentualnych odstępstwach od planowanego pola paliwowego, ilość współspalanej biomasy itp.;
- dane o zawartości amoniaku w popiele (o ile takie analizy prowadzone są przez operatora);
- dane o zawartości amoniaku w ściekach z IOS (o ile występuje);
- informacje o zakłóceniach pracy instalacji (np. awariach);
- obserwacje operatora dotyczące ewentualnych nieprawidłowości pracy instalacji.

Wymienione dane poddawane są weryfikacji i analizie.

Kolejne zadanie w ramach Etapu 1 wykonywane jest w czasie ruchu instalacji i obejmuje obserwację pracy poszczególnych urządzeń wchodzących w skład instalacji SCR, m.in. przeprowadzana jest wstępna ocena pracy systemu odparowania i wtrysku reagenta. Na tym etapie wykonywana jest również inspekcja układów pomiarowych, w szczególności analizatorów spalin. Weryfikacja wskazań aparatury ruchowej w zakresie pomiarów NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub> i O<sub>2</sub> polega na poddaniu ich testom funkcjonalności



Rys. 1. Inspekcja instalacji SCR w czasie pracy

i ocenie analogicznej jak dla ciągłego pomiaru emisji. Dzięki przeprowadzaniu pełnego testu funkcjonalności wraz z badaniem liniowości analizatorów możliwa jest weryfikacja poprawności ich pracy. Efekt prac prezentowany jest w postaci raportu zawierającego najważniejsze spostrzeżenia, trendy oraz wstępną ocenę pracy instalacji SCR. Raport zawiera też wytyczne dotyczące zakresu przeprowadzenia szczegółowych pomiarów kontrolnych (Etap 3).

## Etap 2. Inspekcja instalacji SCR w czasie postoju

Etap ten obejmuje szczegółową inspekcję całości układu technologicznego SCR, w tym: wnętrza reaktorów, układów wtrysku (AIG), kierownic spalin, ocenę stanu ECO, kanałów spalin, klap by-passowych, LUVO. W czasie inspekcji oceniany jest stan poszczególnych urządzeń z naciskiem na ocenę stanu wkładów katalitycznych. W czasie inspekcji pobierane są próbki katalizatorów, poddawane następnie dokładnym badaniom w laboratorium. W razie potrzeby sprawdzana jest i optymalizowana praca układu zdmuchiwaczy poprzez pomiary rozkładu dźwięku w reaktorze SCR i dobór parametrów pracy zdmuchiwaczy.

Szczegółowa inspekcja instalacji SCR w czasie postoju obejmuje wymienione poniżej działania.

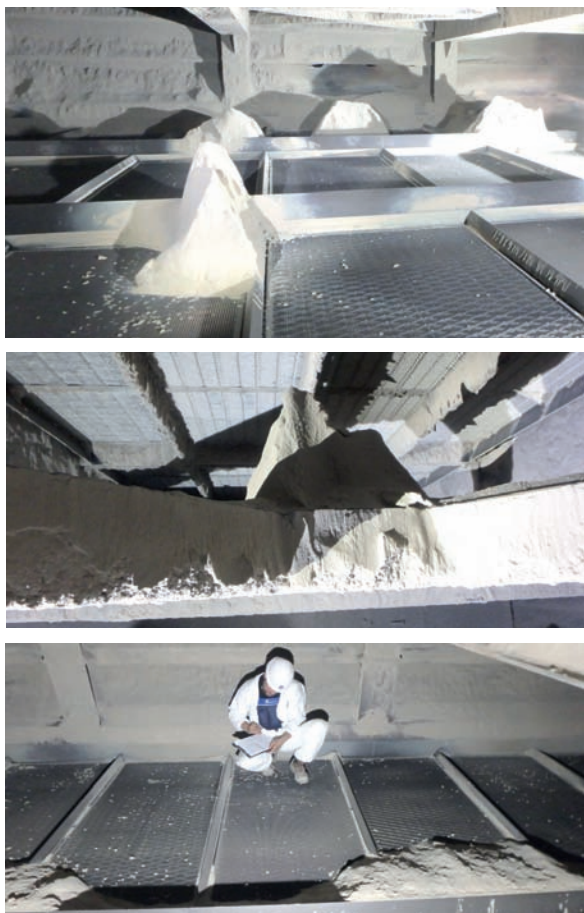
1. Inspekcja warstw katalitycznych:
  - weryfikacja akumulacji popiołu na powierzchni katalizatorów, pobranie próbek popiołu;
  - sprawdzenie i dokumentacja stanu drożności warstw katalitycznych; dla wszystkich modułów przeprowadzana jest standardowa procedura sprawdzenia stopnia zablokowania katalizatorów;

- sprawdzenie stanu uszczelnień między katalizatorami, względnie między modułami;
  - ocena oznak niezupełnego spalania paliwa rozpałkowego i podstawowego na powierzchni katalizatorów;
  - ocena oznak niewłaściwej pracy zdmuchiwaczy (erozje powierzchni katalizatorów lub nieoczyszczone powierzchnie);
  - ocena nietypowych oznak pracy instalacji (np. inne osady, zmiana barwy elementów, ślady uszkodzeń mechanicznych, termicznych itp.) oraz dokumentacja stwierdzonych zjawisk;
  - pobór próbek katalizatora do badań laboratoryjnych.
2. Inspekcja siatki wtrysku (Ammonia Injection Grid – AIG):
    - sprawdzenie osadów, zanieczyszczeń lub innych oznak niepoprawnej pracy;
    - badanie osadów ABS (wodorosiarczan amonu) na dyszach wtryskowych lub na powierzchniach mieszacza.
  3. Inspekcja systemu zdmuchiwaczy:
    - badanie osadów, zanieczyszczeń lub innych oznak niepoprawnej pracy;
    - badanie zanieczyszczeń dysz i ocena oznak korozji.
  4. Inspekcja obudowy wkładów katalitycznych (reaktora) oraz kanałów dolotowych i odlotowych:
    - sprawdzenie akumulacji popiołu poza warstwami katalizatora, w tym m.in. w kanałach spalin;
    - ocena korozji ścian wskazującej na wystąpienie mostków termicznych;
    - ocena utraty grubości blachy przewodnic;
    - ocena utraty grubości blachy elementów konstrukcji;
    - inne obserwacje niepoprawnej pracy instalacji.
  5. Inspekcja klap odcinających i/lub by-passowych pod kątem uszkodzeń mechanicznych.



Inspekcja w czasie postoju prowadzona jest w dwóch fazach.

Inspekcja „na brudno” wykonywana jest po odstawieniu instalacji i wychłodzeniu do temperatury zgodnej z wymaganiami BHP. Inspekcja ta ma na celu wskazanie stref większych akumulacji popiołu w instalacji oraz pozwala określić, w których miejscach następuje akumulacja popiołu wewnątrz reaktora SCR. Przykład akumulacji popiołu wewnątrz reaktora SCR przedstawiono na rysunku 2. Szczegółowa dokumentacja tych stref oraz wnikliwa analiza pozwalają określić przyczyny zaistniałego stanu. Dodatkowo tworzona jest dokładna „mapa” akumulacji popiołu na powierzchni warstwy katalitycznej.



Rys. 2. Strefy akumulacji popiołu na modułach katalitycznych i konstrukcji reaktora oraz pracownik ENERGOPOMIARU sporządzający szczegółową dokumentację

Inspekcja „na brudno” pozwala również zweryfikować skuteczność pracy zdmuchiwalicy popiołu (rys. 3) oraz ocenić słusność założeń modelu przepływowego i zweryfikować poprawność kształtu kierownic spalin (rys. 4).

Szczegółowym oględzinom poddawane są również układy wtrysku reagenta i układy mieszania, co często jest utrudnione w przypadku braku odpowiednich włazów i wymaga specjalistycznego sprzętu. Inspekcja „na brudno” pozwala na wytypowanie reprezentatywnych pakietów do poborów próbek katalizatora. Inspekcji poddawane są także kłapy by-passowe. Przykład uszkodzonego uszczelnienia na kłapie zamieszczono na rysunku 6. W przypadku niektórych rozwiązań konstrukcyjnych wyko-

nuje się inspekcją podgrzewacza wody kotła ECO umieszczonego za SCR. Przykład zanieczyszczenia pęczków konwekcyjnych ECO zamieszczono na rysunku 7.

Po zakończeniu inspekcji „na brudno” instalacja SCR poddawana jest procesowi czyszczenia wykonywanego pod nadzorem i według zaleceń pracowników ENERGOPOMIARU.



Rys. 3. Przykładowy efekt pracy intrafonu i pyłofonu



Rys. 4. Akumulacja popiołu na kierownicach spalin



Rys. 5. Akumulacja popiołu na mikserze statycznym oraz dyszach wtrysku reagenta



Rys. 6. Zniszczone uszczelnienia klap by-passowych wykryte w czasie inspekcji



Rys. 7. Przykład akumulacji popiołu na pęczkach konwekcyjnych ECO za SCR

Inspekcja „na czysto” ma na celu dokładną rewizję wszystkich pakietów katalitycznych, instalacji usuwania popiołu, a także inspekcję dysz dozowania reagenta.

„ENERGOPOMIAR” Sp. z o.o. w swoich procedurach dotyczących inspekcji SCR przyjął jako podstawową zasadę indywidualną ocenę każdego pakietu katalitycznego. Tylko takie podejście zapewnia dokładną ocenę stopnia zapchania, erozji, a także uszkodzeń mechanicznych poszczególnych pakietów. Natomiast badania endoskopowe każdego pakietu umożliwiające precyzyjne określenie stopnia zapchania bądź erozji dolnych modułów w warstwie (rys. 8). W wyniku przeprowadzonej inspekcji powstaje szczegółowa mapa zanieczyszczeń i erozji poszczególnych warstw katalizatora (rys. 9).

W czasie inspekcji pobierane są próbki katalizatora, które poddawane są badaniom. Badania pokazują aktualny stan katalizatora, a w porównaniu z wcześniejszymi wynikami pozwalają na określenie trendów i prognozy dalszego przebiegu dezaktywacji i zużycia mechanicznego.

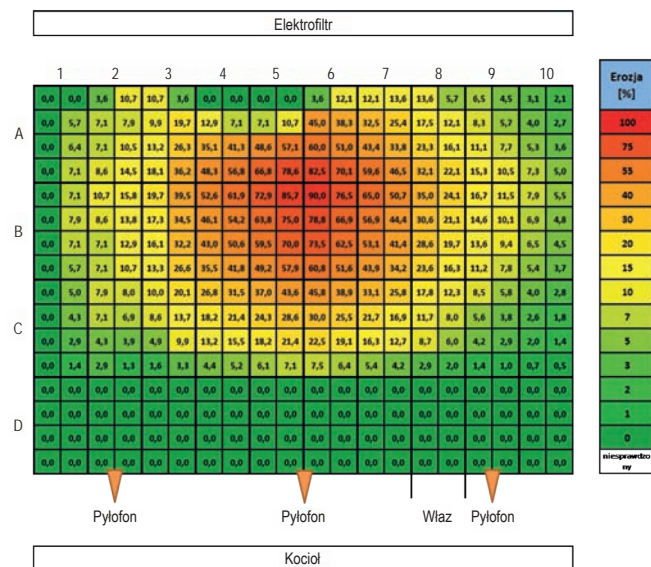
Badania laboratoryjne katalizatorów przeprowadzane są w certyfikowanym laboratorium według odpowiednich norm oraz z zastosowaniem norm zakładowych, w reaktorze testowym typu „bench”. Przykładowy zakres badań w reaktorze typu „bench”:

- badanie aktywności katalizatora,
- badanie konwersji  $SO_2/SO_3$ ,
- wyznaczenie specyficznej powierzchni materiału katalizatora,
- analiza chemiczna powierzchni katalizatora,
- analiza chemiczna materiału katalizatora.

Na podstawie wyników badań oraz trendów aktualizowany jest Program Zarządzania Katalizatorami (Catalyst Management Plan) zawierający rekomendacje w zakresie dodania, wymiany lub regeneracji warstw katalizatora. W przypadku stwierdzenia niejednoznacznego uszkodzenia lub zanieczyszczenia powierzchni płyt katalitycznych dokonywana jest również analiza makroskopowa powierzchni płyty.



Rys. 8. Pracownicy ENERGOPOMIARU w czasie inspekcji. Szczegółowe oględziny pakietów katalitycznych

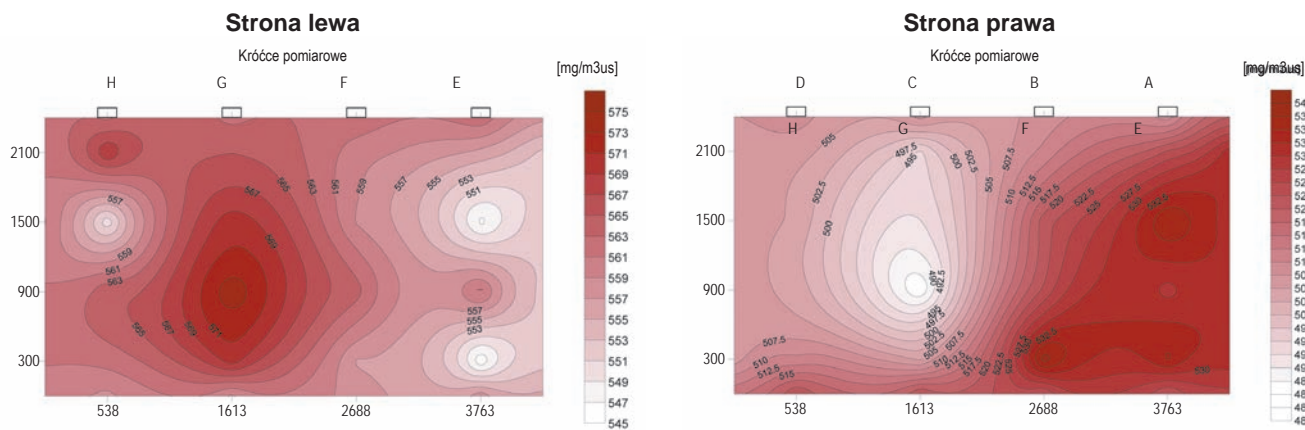


Rys. 9. Przykładowa mapa erozji poszczególnych pakietów w warstwie katalizatora

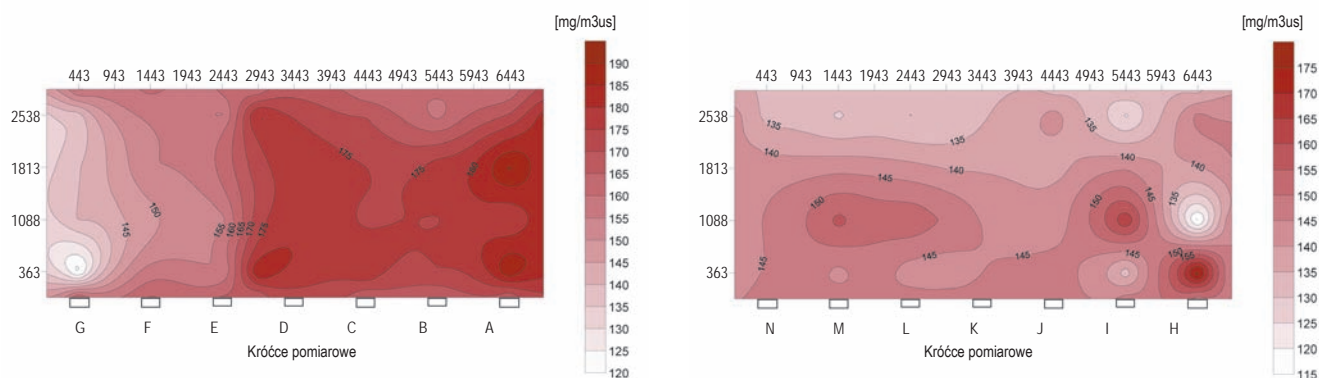
### Etap 3. Weryfikacja poprawności pracy instalacji SCR – pomiary kontrolne

W czasie pomiarów kontrolnych sprawdzane są pozostałe parametry determinujące skuteczność pracy instalacji, takie jak: zużycie wody amoniakalnej, stężenie  $NO_x$ ,  $NH_3$  i  $SO_3$  w spalinach przed i za SCR, zawartość amoniaku w popiele lotnym oraz inne pomiary i badania indywidualnie uzgodnione z klientem. W ramach tego etapu weryfikacji, poprzez badania





Rys. 10. Przykład nierównomiernego rozkładu stężenia NO<sub>x</sub> w spalinach przed SCR



Rys. 11. Przykład nierównomiernego rozkładu stężenia NO<sub>x</sub> w spalinach za SCR – przed regulacją siatki wtrysku

Rys. 12. Przykład rozkładu stężenia NO<sub>x</sub> w spalinach za SCR – po regulacji siatki wtrysku

porównawcze z aparaturą ENERGOPOMIARU, podlegają wskazania aparatury ruchowej zabudowanej przed i za instalacją SCR w zakresie pomiarów NO<sub>x</sub> i O<sub>2</sub>. Weryfikowany jest również pomiar spadku ciśnienia na całej instalacji SCR. Przeprowadzane są pomiary siatkowe rozkładu stężenia NO<sub>x</sub> i O<sub>2</sub> przed SCR oraz pomiary siatkowe rozkładu stężenia NO<sub>x</sub> i O<sub>2</sub> za SCR. W szczególnych przypadkach wykonywany jest także siatkowy pomiar NH<sub>3</sub> za SCR w celu weryfikacji poprawności regulacji siatki wtrysku. W razie konieczności przeprowadzana jest optymalizacja nastaw.

Rysunek 10 przedstawia przykładowy rozkład stężenia NO<sub>x</sub> w kanale spalin przed wtryskiem reagenta, a rysunek 11 nierównomierny rozkład stężenia NO<sub>x</sub> pod warstwami katalizatora. Na przedstawionym przykładzie nierównomierny rozkład stężenia NO<sub>x</sub> za SCR wynika z nieprawidłowo wyregulowanej siatki wtrysku. W tym przykładzie siatka wtrysku wymagała regulacji. Po przeprowadzeniu analizy wyników i regulacji siatki wtrysku uzyskano rozkłady NO<sub>x</sub> jak na rysunku 12.

Należy jednak zauważyć, iż nawet przy poprawnie wyregulowanej siatce wtrysku zwiększona nierównomierność rozkładu stężenia NO<sub>x</sub> za instalacją SCR może wynikać z nierównomiernego rozkładu NO<sub>x</sub> na wlocie do instalacji SCR spowodowanej nierównomierną pracą kotła, układem pracujących młynów i wieloma innymi czynnikami, które należy zweryfikować i wyjaśnić właśnie w czasie pomiarów kontrolnych. Z tego względu pomiary kontrolne są kluczowym etapem regulacji pracy instalacji SCR.

## Podsumowanie

„ENERGOPOMIAR” Sp. z o.o. jako jedna z pierwszych w Polsce niezależnych firm pomiarowych zdobył doświadczenie w przeprowadzaniu kompleksowej inspekcji oraz oceny pracy instalacji SCR. Usługa daje pełny obraz pracy instalacji SCR oraz stanu technicznego poszczególnych układów i urządzeń wspomagających. Zarówno nowo zdobyte, jak i dotychczasowe wieloletnie doświadczenie pracowników firmy, obejmujące usługi związane z różnymi aspektami instalacji ochrony środowiska, potwierdzone referencjami, jak również współpraca z wiodącymi w temacie jednostkami działającymi w Polsce oraz za granicą, gwarantują profesjonalne przeprowadzenie inspekcji i diagnostyki SCR.

Podsumowanie wszystkich działań wykonanych w ramach inspekcji i diagnostyki SCR, a także wnioski i rekomendacje w zakresie eksploatacji oraz remontów instalacji zawarte są w raporcie końcowym.

Zakres prac ENERGOPOMIARU może zostać rozszerzony o opracowanie zapytania ofertowego kierowanego przez użytkowników instalacji do podmiotów realizujących remonty i serwis instalacji SCR.

Doświadczenia z eksploatacji istniejących SCR powinny być wykorzystywane przy projektowaniu nowych instalacji.

