

Krzysztof Krotła, Tadeusz Wala, Piotr Brudziana, RAFAKO S.A.

# URZĄDZENIA TYPU SCR

## - porównanie nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji urządzeń - I część

W związku z wchodzeniem w życie nowych, zaostrzonych wymagań w odniesieniu do emisji  $\text{NO}_x$  z elektrowni, i elektrociepłowni stwierdzających konieczność osiągnięcia redukcji tychże do poziomu  $200 \text{ m}^3/\text{h}$ , prowadzona jest intensywna dyskusja o metodach osiągnięcia tej wartości.

Celem artykułu jest pokazanie pozytywnych możliwości zastosowania technologii katalitycznej redukcji SCR. Urządzenia SCR są predysponowane do redukcji  $\text{NO}_x$  o 80% i więcej co powinno zostać uwzględnione przy doborze całościowego konceptu modernizacji bloków elektrowni. W przypadku zastosowania SCR nie jest konieczne graniczne optymalizowanie wysokości emisji przy pomocy środków pierwotnych, które często odbywa się na koszt żywotności lub dyspozycyjności kotła. Przeciwnie, mając gwarancje osiągnięcia wymaganego poziomu emisji, możliwe jest poprawienie parametrów spalania i optymalizacji wytwarzania energii.

W artykule wykazane zostanie, że redukcja  $\text{NO}_x$  z wysokich wartości wejściowych do bardzo niskich wartości wyjściowych (emisji) tylko nieistotnie podwyższa koszty wybudowania urządzenia SCR. Koszty eksploatacyjne katalitycznego odazotowania są w porównaniu do innych metod korzystne.

### ■ Metody pierwotne

#### □ Zasady obniżania poziomu $\text{NO}_x$ przy pomocy metod pierwotnych

Redukcja emisji tlenków azotu w

procesie spalania jest ściśle związana z tworzeniem się tych tlenków. Mechanizm powstawania tlenków azotu jest procesem skomplikowanym, a powstają one z azotu zawartego w paliwie oraz z azotu zawartego w powietrzu.

W przypadku spalania pyłu węglowego, w pierwszej fazie następuje suszenie węgla i odgazowanie części lotnych, które zapalają się pierwsze, a w dalszej kolejności spalają się cząsteczki koksu. W wyniku spalania części lotnych przy udziale azotu i tlenu z powietrza, powstaje zasadnicza część tlenków azotu, które później pozostają w spalinach jako  $\text{NO}$ . Ilość powstałych tlenków azotu zależy od składu części lotnych, temperatury, rozdrobnienia węgla i przede wszystkim od koncentracji tlenu w strefie spalania. Wysoka zawartość tlenu i wysoka temperatura sprzyjają powstawaniu tlenków azotu i odwrotnie, niska temperatura i niska koncentracja tlenu powodują obniżenie ich ilości.

W dalszym procesie spalania, polegającym na spalaniu cząstek stałych, część tlenków azotu ulega rozkładowi. W procesie tym duży udział ma reakcja redukcji  $\text{NO}$  przez wiązanie się z węglem i tlenkiem węgla, w wyniku której powstaje  $\text{CO}_2$  i  $\text{N}_2$ . Jeśli spalanie cząstek stałych odbywa się z niską kon-

centracją tlenu, wówczas proces redukcji  $\text{NO}$  jest bardzo efektywny. W końcowej fazie procesu spalania następuje dopalenie pozostałości  $\text{CO}$  i winien się on odbywać przy odpowiednio wysokiej ilości tlenu w spalinach.

Technologie redukcji tlenków azotu wykorzystują powyższy mechanizm, wpływając zarówno na proces tworzenia tlenków azotu w początkowej fazie spalania, jak również na proces redukcji w fazie drugiej. Można wśród nich wyróżnić: stopniowanie dopływu powietrza tzw. „air staggig”, stopniowanie dopływu paliwa oraz dodawanie paliwa redukcyjnego (gazowego, ciekłego lub pyłu węglowego) tzw. „reburning”.

Metody redukcji tlenków azotu w czasie spalania, nazywane są również metodami pierwotnymi. Najpowszechniej stosowaną metodą pierwotną jest stopniowanie ilości powietrza.

Powietrze jest doprowadzone do palników w dwóch lub trzech strumieniach, jako tzw. powietrze pierwotne, wtórne i trzecie. W strefie intensywnego spalania utrzymuje się współczynnik nadmiaru powietrza  $0,9 \div 1,05$ , a dodatkowe powietrze tzw. Over Fire Air (OFA) jest wprowadzone poza strefę spalania.

Silnie redukcyjna atmosfera, jaka panuje w rejonie palników powoduje ograniczenie ilości tlenków azotu, ale

jest doskonałym środowiskiem dla wystąpienia korozji niskotlenowej. Aby zapobiec jej występowaniu stosuje się zabiegi polegające na skierowaniu części powietrza palnikowego w stronę ścian paleniska, względnie stworzenie wokół płomienia płaszcza ochronnego z „powietrza trzeciego”.

Przykładem zastosowania stopniowania paliwa jest kocioł z palnikami wirowymi o zróżnicowanej koncentracji. Palniki są zabudowane na przedniej ścianie paleniska.

Mieszanka paliwowa na wylocie z młyna jest podzielona na dwa strumienie, o dużej i małej koncentracji. Do dolnych palników jest doprowadzona mieszanka o dużej koncentracji, z grubszymi frakcjami pyłu, a do górnych palników drobne frakcje pyłu, które odseparowano ze strumienia mieszanki o małej koncentracji. Czynniki gazowe ze strumienia o małej koncentracji jest wprowadzony do paleniska jako dodatkowe powietrze OFA.

Na rys. 1 przedstawiono palenisko z reburningiem. Zasada działania jest następująca: spalanie w palniku odbywa się przy małym nadmiarze lub niedmiarze powietrza. Powyżej palników wprowadza się strumień paliwa o wysokiej reaktywności (gaz, olej lub drobny pył węglowy), w ilości ~15-20%. Paliwo to, spalając się, redukuje tlen z istniejących tlenków NO. W końcowej fazie dopalane są produkty spalania z nadmiarem powietrza ~1,15-1,25. Stosowanie reburningu wymaga wysokiej komory paleniskowej i stosowane jest rzadko, ze względu na wysokie koszty inwestycyjne (konieczność doprowadzenia gazu w kociołach opalanych węglem).

W zastosowanych przykładach z reburningiem pyłowym obserwowano stosunkowo wysoką zawartość części palnych w popiele, co wpływało na konieczność zastosowania ekstremalnie drobnego przemiatu.

Pierwotne metody redukcji NO<sub>x</sub> wymagają dokładnego rozdziału paliwa i precyzyjnej regulacji rozptyłów powietrza, co nie zawsze jest możliwe. Nierównomierność rozdziału powoduje po-

wstawanie niekontrolowanych stref zbyt ubogich w tlen, które generują dodatkowe ilości CO i zwiększają lokalnie zawartość części palnych w popiele, albo stref zbyt bogatych w tlen, w których generowane są intensywnie tlenki azotu. W efekcie tych nierównomierności zwiększa się emisja NO<sub>x</sub> i CO oraz części palne w popiele. Dodatkowo zwiększa się również zagrożenie korozją wysokotemperaturową. Regulacja rozptyłów powietrza jest sprawą istotną, dlatego kotły z paleniskami niskoemisyjnymi mają rozbudowane układy automatycznej regulacji rozptywu powietrza i są wyposażone dodatkowo w sondy do pomiaru CO w spalinach. W uzasadnionych przypadkach instaluje się na ścianach paleniska dysze powietrza osłonowego.

W praktyce eksploatacyjnej spotykane są rozrzuty rozdziału paliwa do ±20% i powyżej. Jest to sytuacja niewłaściwa i w takim przypadku efekty stosowania pierwotnych metod redukcji NO<sub>x</sub> są zdecydowanie zaniżone. Dla zapobiegania takim anomalom wskazana jest okresowa kontrola prawidłowości rozdziału paliwa, a w określonych przypadkach zastosowanie elementów wyrównujących rozdział paliwa. W tym celu stosowane są stałe lub nastawne kryzy dławiące na przewodach mieszanki pyłowej oraz rozdzielacze o specjalnej konstrukcji.

Pomiar rozdziału pyłu jest wykonywany najczęściej metodą izostatycznego poboru próbek (metoda ta umożliwia dodatkowo analizę składu frakcyjnego).

Stosowana jest również metoda pomiaru koncentracji „on line”, np. z wykorzystaniem czujników mikrofalowych. Metoda ta umożliwi ciągły pomiar i rejestrację wyników w korelacji z innymi parametrami eksploatacyjnymi, takimi jak: wydajność kotła, ilość powietrza itp. Znane są rozwiązania kotłów, w których ciągły pomiar rozptywu mieszanki pyłowej jest włączony do układu automatycznej regulacji rozptywu powietrza, co teoretycznie winno wyeliminować powstawanie niekontrolowanych stref redukcyjnych powodu-

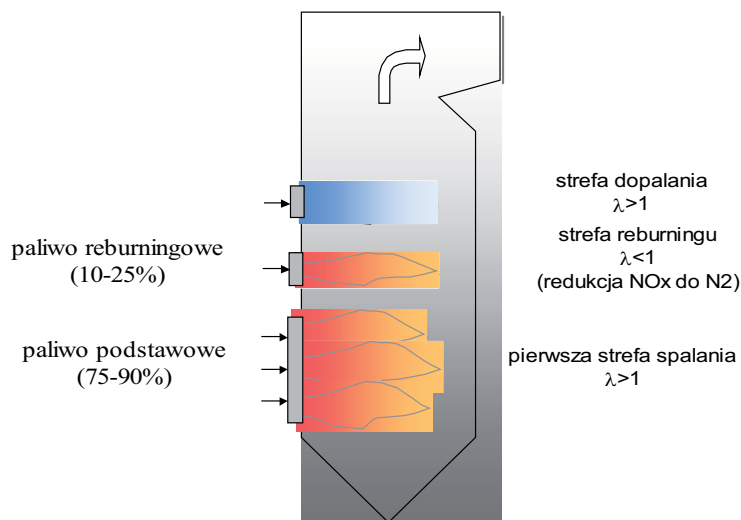
jących korozję. W RAFAKO S.A. prowadzone są również prace badawcze nad zastosowaniem takiego systemu.

#### □ Uboczne skutki metod pierwotnych

Pierwotne metody redukcji NO<sub>x</sub> polegają na zmianie organizacji procesu spalania, w taki sposób, aby spalanie odbywało się przy jak najniższej ilości tlenu (niski nadmiar powietrza), wtedy nadmiarowy tlen nie tworzy z azotem tlenków. Z tego faktu wynika cały szereg skutków ubocznych, zarówno pozytywnych, jak i negatywnych dla pracy kotła.

**Zmiana temperatury adiabatycznej** - zmniejszenie ilości powietrza powoduje zwiększenie temperatury adiabatycznej, jednocześnie stopniowanie dopływu powietrza do paleniska powoduje rozciągnięcie płomienia i obniżenie średniej temperatury w jądrze. W efekcie tych dwóch przeciwstawnych wpływów, wymiana ciepła w palenisku na ogół intensyfikuje się, co w konsekwencji powoduje obniżenie temperatury spalin na wylocie. Wymianie ciepła sprzyja również poprawa czystości ścian komory paleniskowej uzyskiwana w wyniku specyficznej dystrybucji powietrza, którego część jest skierowana w stronę ścian (powietrze „ofsetowe” w palnikach strumieniowych, lub powietrze osłonowe). Jednocześnie obniżenie współczynnika nadmiaru powietrza powoduje zmniejszenie ilości spalin i spadek wymiany ciepła w powierzchniach ogrzewalnych, co w skrajnym przypadku może spowodować niedogrzanie pary. Aby skompensować ubytek wymiany ciepła, w większości przypadków konieczna jest rozbudowa powierzchni ogrzewalnych, co generuje dodatkowe koszty. Pozytywnym skutkiem zmniejszenia ilości spalin jest obniżenie straty wylotowej i zwiększenie sprawności kotła.

Spadek wymiany ciepła z powodu zmniejszenia ilości powietrza można skompensować również przez zastosowanie recyrkulacji spalin do komory paleniskowej. Metoda ta jest stosowa-



Rys. 1. Zasada działania paleniska z reburningiem

na głównie przy spalaniu gazu oraz węgla brunatnego. Zastosowanie recyrkulacji spalin wiąże się jednak ze zwiększeniem kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych (koszt wentylatorów oraz dodatkowy koszt przetłaczania spalin). Ponadto w przypadku wysokiej zawartości siarki w paliwie instalacja recyrkulacji spalin jest narażona na korozję i wymaga zastosowania specjalnych materiałów, co dodatkowo podnosi jej koszt. Dlatego jest ona stosowana tylko w przypadkach koniecznych.

**Szlakowanie w komorze paleniskowej** - nie powinno występować przy poprawnie rozwiązanej palenisku niskoemisyjnym. Jednakże znane są przypadki szlakowania ścian, towarzyszące spalaniu węgla o dużej skłonności do szlakowania. W takich przypadkach koniecznością jest zabudowa skutecznych urządzeń czyszczących – zdmuchiwaczy parowych lub wodnych.

**Podwyższenie emisji CO i zawartości części palnych w popiele** - z reguły towarzyszy pierwotnym metodom redukcji  $\text{NO}_x$ . Wynika to z faktu wydłużenia drogi spalania cząstek węgla spowodowanego niskim współczynnikiem nadmiaru powietrza w strefie spalania. Wpływ ten jest kompensowany przez poprawienie jakości przemiału (zawartość ziaren o wymiarze  $>0,2$  mm nie wyższa niż  $1 \pm 1,5\%$ ), a w kotłach no-

wo projektowanych również przez podwyższenie komory paleniskowej. Poprawienie jakości przemiału jest możliwe przez zastosowanie na młynach regulowanych separatorów odśrodkowych. Szczególnie skuteczne są separatory dynamiczne z regulowaną prędkością, które pozwalają praktycznie wyeliminować ziarna o średnicy powyżej  $0,2$  mm. Poprawienie jakości przemiału wiąże się ze zwiększeniem zużycia energii przez młyny, oraz zwiększeniem kosztów inwestycyjnych i remontowych.

**Korozja wysokotemperaturowa (niskotlenowa) powierzchni ogrzewalnych** - jest najbardziej dotkliwym skutkiem ubocznym. Korozja WT polega na tym, że przy niedomiarze tlenu w palenisku, składniki spalin, takie jak siarka, chlor i fluor wchodzi w reakcje chemiczne z tlenem tworząc ochronną warstwę tlenków na powierzchni rur, a następnie reagują z żelazem, powodując szybki ubytek grubości ścianki. Może wystąpić w tych obszarach, gdzie zawartość tlenu jest niska (poniżej  $0,5\%$ ), a zawartość CO wysoka ( $>3\%$ ). Występowaniu korozji WT sprzyja zawartość w paliwie takich pierwiastków jak chlor, fluor, siarka, a w przypadku paliw płynnych również wanad, oraz osadzanie się płynnej szlaki na rurach ekranowych (szczególnie intensywne przy spalaniu węgla zawierają-

cych związki alkaliczne). Dlatego między innymi spalanie biomasy zwiększa prawdopodobieństwo jej wystąpienia. Korozja wysokotemperaturowa ścian komory paleniskowej jest zagrożeniem realnym (może spowodować w krótkim czasie zniszczenie znacznych powierzchni ekranów, powodując konieczność ich wymiany). Dlatego we wszystkich przypadkach, kiedy ryzyko takie występuje, należy podjąć odpowiednie działania prewencyjne. Należą do nich: regularna kontrola stężenia CO w spalinach w strefie przyściennej, pomiar kontrolny grubości ścian ekranów w zagrożonych rejonach, zastosowanie osłony powietrznej w strefie przyściennej, wykonanie powłok ochronnych.

Kontrola stężenia CO w strefie przyściennej winna być wykonywana okresowo przy pomocy przenośnej aparatury pomiarowej. Konieczne jest w tym celu zainstalowanie na ścianach paleniska króćców w rozstawie  $1 \div 2$  m umożliwiających pobór spalin. Pomiar CO umożliwia wyznaczenie stref zagrożenia korozją. W strefach tych konieczne jest wykonywanie pomiarów grubości ścianek w czasie corocznych postojów remontowych kotła. Pomiar taki mogą być wykonywane ręcznie, z ruchomych rusztowań. Istotnym elementem jest czas niezbędny dla przeprowadzenia pomiarów grubości. Koszty związane z wydłużeniem postoju kotła przekraczają bowiem wielokrotnie wartość samych pomiarów. Ostatnio podjęto inicjatywę zaprojektowania robotów do zdalnego wykonywania takich pomiarów.

Osłona powietrzna polega na doprowadzeniu strumienia powietrza do strefy przyściennej w formie kurtyny, która izoluje ściany od wpływu spalin. Jest to zadanie dość trudne, gdyż strumień powietrza winien być wprowadzony z dużą prędkością, aby pokryć równomiernie całą powierzchnię, a jednocześnie ilość powietrza nie może być zbyt duża, aby nie zakłócić bilansu powietrza do spalania.

Aby powietrze kurtynowe było skuteczne, konieczne jest zabudowanie



oddzielnych wentylatorów o wysokim sprężu.

Skutecznym, ale kosztownym zabezpieczeniem przed korozją są powłoki ochronne. Mogą być one nakładane różnymi metodami (metoda łukowa, plazmowa, naddźwiękowa, napawanie). Dobre efekty uzyskiwane są z powłokami wielowarstwowymi (druły proszkowe z osnową niklowo-chromową i żelazową) nakładanymi metodą łukową, oraz powłoki metaliczno-ceramiczne nakładane metodą natryskową. Napawanie materiałami typu Inconel, znacznie droższe od natryskiwania, jest stosowane raczej w kotłach spalających odpady i śmieci.

W przypadkach, kiedy powyższe metody są niewystarczające, stosowane są pokrycia ceramiczne. Spełniają one równocześnie funkcję osłony przed korozją i erozją. Stosowane są one w strefie wysokiej erozji lub wysokich obciążeń cieplnych, na przykład w komorach spalania z płynnym odprowadzeniem żużla, w kotłach cyklonowych, w gardzielach palników.

Ograniczeniem zastosowania tych pokryć jest ich znaczny ciężar oraz uciążliwa technologia wykonania obejmująca kołkowanie rur, suszenie i obróbkę termiczną masy ceramicznej. Pokrycia te ograniczają przepływ ciepła i często mają tendencje do pęknięcia, wykruszają się i wymagają okresowych uzupełnień, co wydłuża znacznie czas postoju remontowego.

#### □ **Możliwe koszty działań ubocznych metod pierwotnych**

Jak widać z powyższego opisu, uboczne skutki zastosowania pierwotnych metod redukcji  $\text{NO}_x$  mogą mieć istotne znaczenie dla eksploatacji kotła. Poniżej przedstawiono kilka możliwych przykładów kosztów związanych z zabezpieczeniem ekranów i usuwaniem skutków w kotle o wydajności  $\sim 650$  t/h.

- Przykład 1 - w związku z wprowadzeniem pierwotnych metod redukcji  $\text{NO}_x$  zwiększyła się zawartość części palnych w popiele z



Rys. 2. Powierzchnia ekranu ze śladami korozji oraz powierzchnia zabezpieczona natryskiem (bezpośrednio po wykonaniu i po 1-rocznym okresie pracy)

0,5% do 1,5%, co spowodowało spadek sprawności kotła o  $\sim 0,12$  punktu %. Przy koszcie produkcji 1 MWh wynoszącym 180 zł i udziale paliwa w kosztach wynoszącym  $\sim 60\%$ , wzrost kosztów w skali roku wyniesie  $\sim 190\ 000$  zł/rok.

- Przykład 2 - dla modernizowanego kotła wykonano instalację do pomiaru CO w strefie przyściennej i przez rok wykonano 3 serie pomiarów - koszt  $\sim 450\ 000$  zł. Na podstawie pomiarów wytypowano strefy zagrożone o powierzchni  $\sim 100$  m<sup>2</sup> i wykonano pokrycia ochronne - koszt 400 000 do 600 000 zł. Łączne koszty wyniosą  $\sim 800\ 000$  do 1 000 000 zł, ponadto trzeba okresowo kontrolować stan zabezpieczeń i wykonywać ewentualne poprawki.
- Przykład 3 - dla modernizowanego kotła wykonano instalację powietrza osłonowego - koszt  $\sim 600\ 000$  zł.
- Przykład 4 - w modernizowanym kotle nie wykonano zabezpieczeń przed korozją wysokotemperaturową zakładając, że nie będzie miała miejsca, jednakże część ekranów została uszkodzona i jest potrzeba wymiany  $\sim 100$  m<sup>2</sup>. Koszt wymiany uszkodzonych ekranów wyniesie  $\sim 400\ 000$  zł, nie licząc kosztów dodatkowego postoju.

Powyższe przykłady są czysto hipotetyczne, jednak dają one pewną orientację co do rzędu kosztów, jakie mogą wystąpić w wyniku ubocznych skutków metod pierwotnych.

#### ■ **Metody wtórne**

Oprócz metod pierwotnych, bazujących na uniknięciu powstania  $\text{NO}_x$ , redukcja emisji może zostać osiągnięta poprzez usunięcie już istniejących tlenków azotu ze strumienia spalin. W metodach tych wykorzystywana jest reakcja NO i  $\text{NO}_2$  z  $\text{NH}_3$ . Reakcja ta nie tworzy szkodliwych produktów ubocznych z wyjątkiem pozostałości nieprzereagowanego amoniaku.

#### □ **Metoda selektywnej, niekatalitycznej redukcji SNCR**

Reakcja  $\text{NO}_x$  z  $\text{NH}_3$  zachodzi w temperaturze 900-1100°C. Powyżej tej temperatury następuje utlenianie (spalanie) amoniaku, w wyniku czego powstają tlenki azotu. W temperaturze poniżej podanego przedziału reakcja  $\text{NO}_x$  z  $\text{NH}_3$  ulega spowolnieniu, w wyniku z ubocznym negatywnym skutkiem pozostałości nieprzereagowanego amoniaku.

Aby osiągnąć zamierzoną redukcję  $\text{NO}_x$  stosowany jest wtrysk amoniaku wprost do komory paleniskowej kotła. W związku ze zmianami obciążenia kotła i przesunięć poziomów temperatury, dysze wtrysku amoniaku instalowane są na różnych poziomach, a w trakcie pracy kotła wybierana jest odpowiednia pozycja wprowadzenia amoniaku. Pozostałe dysze nie są aktywnie wykorzystywane, lecz muszą być stale chłodzone. Jako medium chłodzące i jednocześnie rozpylające amoniak stosowane są najczęściej para wodna lub sprężone powietrze.

Przy pomocy metody SNCR osiągnięte są redukcje w granicach: 30-35% dla dużych kotłów energetycznych (powyżej 450 MW) oraz do 45% dla małych kotłów.

Większe stopnie odazotowania są związane z ryzykiem wysokiej ilości nieprzereagowanego amoniaku (slip) oraz przekroczenia emisji  $\text{NO}_x$ , zwłaszcza przy zmianie obciążenia kotła.

Zaletą metody SNCR są niskie koszty inwestycyjne, które kształtują się w granicach 10-20% kosztów instalacji SCR.

Wadą SNCR, oprócz ograniczonych możliwości technologicznych, jest wysokie zużycie amoniaku, które wynosi około 250-300% zużycia przez SCR. Kilkukrotnie większy niż w metodzie SCR wypadek nieprzereagowanego w procesie redukcji amoniaku może być przyczyną nadmiernej zawartości związków amoniaku w popiele, powodując utratę jego przydatności do celów komercyjnych.

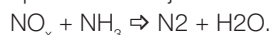
#### □ Metoda selektywnej, katalitycznej redukcji SCR

W metodzie katalitycznej redukcji  $\text{NO}_x$  zastosowane zostają katalizatory, na powierzchni których reakcja  $\text{NO}$  i  $\text{NO}_2$  z  $\text{NH}_3$  zachodzi już w temperaturach rzędu  $130^\circ\text{C}$ .

### ■ System SCR

#### □ Zasada usuwania $\text{NO}_x$ w systemie Selektywnej Katalitycznej Redukcji SCR

Technologia SCR polega na redukcji tlenków azotu w wyniku reakcji katalitycznej. Główną reakcją chemiczną w czasie procesu SCR jest:



Aby reakcja ta mogła w sposób właściwy dla procesu przebiegać potrzebne jest zachowanie szeregu parametrów. Zależności tych parametrów są przedstawione na rys. 4.

Podstawową zaletą procesu SCR jest obniżenie temperatury reakcji amoniaku z tlenkami azotu. Dzięki temu nie występuje zjawisko spalania amoniaku,

a niebezpieczeństwo powstania przebiecia nieprzereagowanego  $\text{NH}_3$  może zostać ograniczone do minimum (najczęściej rzędu 1 do 3 ppm). W procesie SCR osiągnięte są stopnie redukcji  $\text{NO}_x$  powyżej 90%, niezależnie od pracy kotła. Dzięki tym zdolnościom proces SCR został uznany przez większość narodowych i ponadnarodowych gremiów, w tym również przez UE za BAT.

#### □ Główne podzespoły urządzenia SCR

**Reaktor zawierający łoża katalizatorów** - wykonany jest z blachy stalowej odpowiednio uźebrowanej, a całość pokryta izolacją. Obudowa jest częściowo demontowalna, dla umożliwienia remontów i wymiany elementów katalizatora, oraz zaopatrzona w włazy rewizyjne. Dla transportu modułów katalizatora przewidziano system wciągników elektrycznych poruszających się na belkach, instalowanych wewnątrz obudowy na czas remontu, oraz zewnętrznych stałych belek.

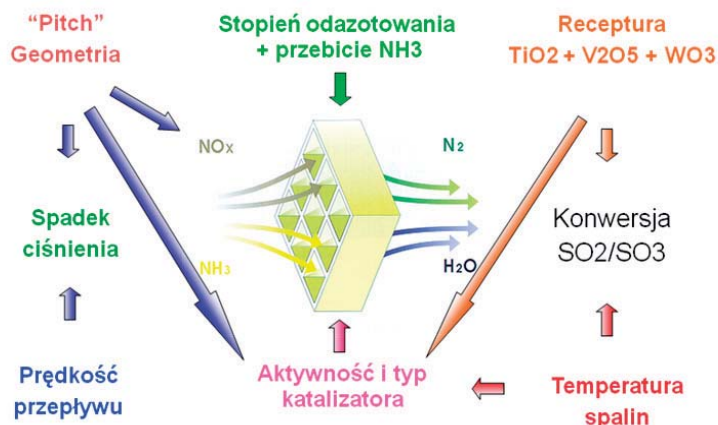
Katalizator montowany jest w najczęściej dwóch warstwach modułów, oddzielonych wolną przestrzenią dla potrzeb remontowych. Dodatkowo przewidziane jest wolne miejsce dla zabudowy dodatkowej warstwy modułów. Przepływ spalin w katalizatorze jest skierowany pionowo.

Dla czyszczenia katalizatora z osadów popiołu instalowany jest system zdmuchiwalny parowych lub akustycznych.

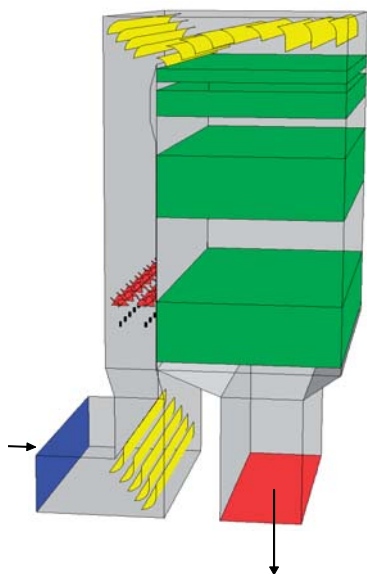
Przewody spalinowe prowadzące do reaktora wyposażone są w system prowadnic i mieszaczy, gwarantujący równomierny rozkład stężenia  $\text{NO}_x$ , pyłu oraz homogeną temperaturę spalin. Uproszczony przykład reaktora pokazano na rys. 3.

**Instalacja wtrysku amoniaku na kotle** - składa się z parownika, instalacji powietrza rozrzedzającego oraz dysz wtryskowych. W parowniku wodny roztwór amoniaku jest doprowadzany do stanu gazowego, a następnie mieszany ze strumieniem podgrzanego powietrza. Podgrzanie powietrza jest realizowane w parowym podgrzewaczu. Strumień mieszanki amoniaku i powietrza jest doprowadzany do instalacji wtrysku amoniaku, gdzie jest równomiernie rozprowadzany w strumieniu spalin z kotła. Instalacja wtrysku jest usytuowana w kanale spalin przed katalizatorem. Jest ona zaprojektowana jako zespolony system dysz i mieszacza. Rozpływ amoniaku do poszczególnych dysz jest optymalizowany za pomocą przepustnic. Ilość amoniaku jest regulowana automatycznie przy pomocy sterowanych zaworów.

**Stacja rozładunku i magazynowania wody amoniakalnej** - stosowana jest dla zdecydowanej większości urządzeń jako źródło amoniaku wprowadzanego do strumienia spalin. Innymi możliwościami są skroplony amoniak lub granulaty mocznika, ale w niniejszym opracowaniu skoncentrowano się na tej



Rys. 4. Schemat reaktora z katalizatorami



Rys. 4. Schemat parametrów procesu SCR

pierwszej możliwości.

Stacja magazynowania wody amoniakalnej składa się ze zbiornika, stacji pomp rozładunkowych i stacji pomp cyrkulacyjnych, połączonych rurociągami.

Woda amoniakalna jest dostarczana w cysternach, przy użyciu transportu kolejowego albo samochodowego. Do rozładunku z cysterny do zbiornika może być wykorzystywana pompa własna cysterny lub zainstalowany pompowy agregat rozładunkowy. Dodatkowa instalacja do usuwania gazu zapewnia przeładunek pomiędzy cysterną ciężarówki a zbiornikiem, bez przecieków.

Roztwór amoniaku podawany jest do kotła przez stację pomp cyrkulacyjnych o stałej wydajności, a nadmiar roztworu zwracany jest do zbiornika.

Zbiorniki są planowane z zapasem na 1-3 tygodni pracy z maksymalną wydajnością. Zbiorniki są wykonane jako cylindryczne, jedno płaszczowe, ze stali nierdzewnej. Dodatkowo wyposażone są w podest obsługowy dla dostępu do oprzyrządowania.

Magazyn amoniaku uwodnionego sam w sobie nie jest obszarem niebezpiecznym według ATEX. W pobliżu sta-

cji magazynowania amoniaku znajduje się kontener z wyposażeniem bezpieczeństwa, które jest wymagane dla magazynowania amoniaku uwodnionego. Składa się ze środków ochrony osobistej (maska do oddychania z filtrem powietrza, rękawice, buty gumowe), oraz prysznica i urządzeń do przemywania oczu.

Dodatkowo są zainstalowane: system kontroli wycieku, składający się z czujników reagujących na amoniak, lampy sygnalizacji alarmu i sygnału dźwiękowego.

**Konstrukcje i podzespoły pomocnicze** - system SCR zawiera szereg dalszych, technologicznie niespecyficznych konstrukcji i podzespołów potrzebnych do realizacji i eksploatacji urządzenia. Wylizzyć tu należy: konstrukcje stalowe nośne i pomocnicze, system transportu katalizatorów potrzebny przy montażu i wymianie, system pomiarów i sterowania, w tym analizatory spalin, przewody spalinowe, klapy, kompensatory, itp. Wszystkie te podzespoły są w dużej mierze zależne od lokalnych warunków, lokalizacji, konstrukcji kotła, itp. □

reklama



**DARPIN**  
SPECJALIŚCI OD SCHŁADZANIA

## NOWY BIEGUN ZIMNA I ENERGII

Szerokie horyzonty  
w odzyskiwaniu energii cieplnej  
z sektora energetyczno-paliwowego



**FHU DARPIN**

ul. Sw. Huberta 47b  
PL 44-105 Gliwice  
Tel. 0048 32 270 59 26  
[www.darpin.pl](http://www.darpin.pl)

- Green power
- Systemy ORC
- Kogeneracja
- Odzysk ciepła
- inne.