

Jerzy SOBOTA

Zakład Techniki Ciepłej i Gospodarki Energetycznej,  
Zakłady Pomiarowo-Badawcze Energetyki ENERGOPOMIAR, Gliwice

## UJEMNE SKUTKI ZWIĄZANE Z WPROWADZENIEM OGRANICZENIA EMISJI TLENKÓW AZOTU METODAMI PIERWOTNYMI W PALENISKACH KOTŁÓW ENERGETYCZNYCH

**Streszczenie.** Z uwagi na obowiązujące przepisy prawa konieczne jest dostosowanie pracujących kotłów energetycznych do wymagań wynikających z dopuszczalnych emisji szkodliwych substancji, w tym tlenków azotu. Sposobem najtańszym i w wielu przypadkach wystarczającym jest zmniejszenie stężenia tego składnika w wyniku odpowiedniej organizacji procesu spalania, co jednak powoduje niepożądane efekty uboczne, takie jak: żużlowanie, wzrost części palnych w żużlu i popiele, wzrost zawartości tlenku węgla w spalinach.

## UNWANTED SIDE-EFFECTS CONNECTED WITH PRIMARY METHODS OF NO<sub>x</sub> REDUCTION IN POWER BOILER FURNACES

**Summary.** In view of valid rules and regulation it is necessary to reduce the emission of noxious substances, including NO<sub>x</sub>, from power boilers. A suitable arrangement of the combustion process is inexpensive and sufficient in many cases. However, it gives rise to some unwanted side - effects, such as the slagging of heat surfaces, increase in combustibles in slag and dust, increase in CO content in flue gas.

## ВРЕДНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СВЯЗАННЫЕ С ВНЕДРЕНИЕМ ПЕРВИЧНЫХ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА В ТОПКАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ

**Резюме.** Требования по окружающей среде вынуждают необходимость приспособления работающих энергетических котлов к допустимым величинам эмиссии вредных газов, в том числе тоже оксидов азота. Самым дешёвым и в нескольких случаях достаточным способом является уменьшение этого компонента через соответствующую организацию процесса горения. Однако это приносит нежелательные результаты, такие

как шлакование, увеличение недожога в твердых остатках сжигания, повышение содержания CO в продуктах горения.

Zachowanie na dopuszczalnym poziomie ilości szkodliwych substancji powstałych w procesie energetycznego spalania węgla i odprowadzanych do atmosfery wynika z wymagań obowiązujących przepisów prawa [1], jak również ma aspekt ekonomiczny związany z systemem opłat za korzystanie ze środowiska oraz kar za przekroczenie ustalonych wielkości emisji. W odniesieniu do tlenków azotu ( $\text{NO}_x$ ), podobnie jak i w przypadku dwutlenku siarki i pyłów, można stosować ich usuwanie ze spalin w odrębnej instalacji. Jednak wobec ogromnych kosztów odazotowania spalin powszechnie stosuje się techniki umożliwiające zmniejszenie ilości tlenków azotu powstających w procesie spalania, nazywane powszechnie metodami pierwotnymi.

Dla osiągnięcia efektu zmniejszania wiązania się tlenu z azotem należy obniżyć nadmiar powietrza do spalania lub temperaturę spalania, bądź oba te czynniki jednocześnie.

W niniejszym artykule ograniczono się do przypadków stosowania metod pierwotnych w kotłach energetycznych z paleniskami pyłowymi na podstawie posiadanego przez Energopomiar praktycznego rozeznania. Stąd też pominięto – z uwagi na brak lub niewielkie doświadczenia w warunkach polskiej energetyki – technikę spalania fluidalnego i jej kombinacje z paleniskiem rusztowym (np. Ignifluid) czy pyłowym (HUS).

Wprowadzenie zmian konstrukcyjnych w pracujących kotłach jest trudne z uwagi na zastaną infrastrukturę techniczną, zwłaszcza zagospodarowania przestrzeni koniecznej do wprowadzenia nowych elementów i urządzeń. Dla nowo projektowanych kotłów nie ma tych ograniczeń, chociaż wymagania stawiane przez przepisy ochrony środowiska są z kolei wyższe.

Jest rzeczą oczywistą, że przy wprowadzaniu do eksploatacji pierwotnych metod ograniczenia emisji  $\text{NO}_x$  drogą modernizacji elementów układu paleniskowego lub wdrażania zmodyfikowanego reżimu pracy paleniska eksponowane są osiągnięte rezultaty w postaci zmniejszenia stężenia tego składnika w spalinach odprowadzanych do atmosfery z eksploatowanych kotłów. Jest to oczywiście pierwszoplanowy cel tego typu przedsięwzięć. Jako cele drugoplanowe najczęściej stawiane jest utrzymanie wydajności, zachowanie parametrów wylotowych czynnika obiegowego (pary lub wodu dla celów grzewczych) oraz osiągnięcie określonego poziomu sprawności cieplnej. Stosunkowo niewiele uwagi do tej pory poświęcono trudnościom i ujemnym skutkom (w tym również wpływającym na koszty eksploatacji), związanym z wprowadzeniem i utrzymaniem spalania niskoemisyjnego, chociaż są już tutaj pewne doświadczenia.

Ogólnie można stwierdzić, że organizacja procesu spalania w sposób ograniczający powstawanie tlenków azotu, zwłaszcza mocne ograniczanie nadmiaru powietrza, jak i jego „rozciągnięcie” w przestrzeni (stopniowanie dopływu powietrza, doprowadzenie czynnika inercyjnego itp.) jest odmienna od stosowanej w przeszłości dla osiągnięcia możliwie wysokiej efektywności energetycznej oraz zmniejszenia skłonności do tworzenia zanieczyszczeń popiołowych. Stąd między innymi wynikają niekorzystne skutki oraz konieczność utrzymania zaostrzonych reżimów prowadzenia procesu spalania, spowodowane koniecznością dotrzymania wymagań związanych z emisją  $\text{NO}_x$ .

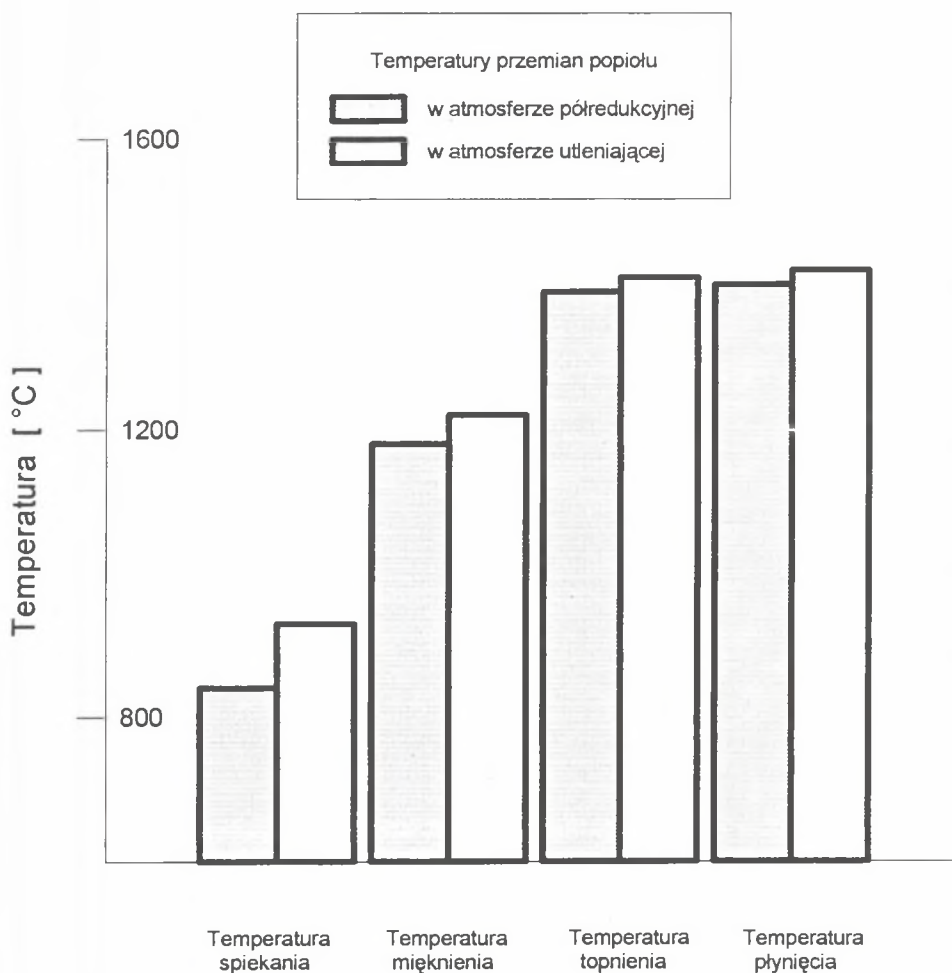
## INTENSYFIKACJA ZANIECZYSZCZEŃ POPIOŁOWYCH

Zagrożenie występowania intensywnego procesu zanieczyszczenia osadami popiołowymi powierzchni komory paleniskowej, tzw. żużlowanie, potencjalnie istnieje dla prawie każdego kotła pyłowego. Zagrożenie to jest większe przy spalaniu węgla o zwiększonych skłonnościach do szlakowania, związanych ze składem chemicznym popiołu i wynika z konstrukcji (np. wysokie jednostkowe obciążenia cieplne komory paleniskowej).

Ze stosowaniem technik spalania dla uzyskania niskich stężeń  $\text{NO}_x$  wiąże się często występowanie przestrzeni (stref), gdzie spalanie odbywa się z niedomiarem powietrza. Wpływa to na własności fizyko-chemiczne popiołu, co objawia się między innymi obniżeniem poziomu temperatur charakterystycznych przemian. Na wykresie (rys. 1) przedstawiono przykładowo temperatury charakterystycznych przemian popiołu uzyskane w czasie badań tej samej próbki w atmosferze utleniającej i redukującej.

Dodatkowo należy wziąć pod uwagę efekt spłaszczenia przebiegu temperatur spalin na wysokości komory paleniskowej, co objawia się niższymi wartościami temperatury w rejonie palników, a wyższymi na wylocie z komory. W sprzyjających warunkach może to intensyfikować żużlowanie tego rejonu, a zwłaszcza grodzi.

Największe zagrożenie z tytułu żużlowania stanowi prowadzenie procesu spalania z nadmiarem powietrza poniżej wymaganego. Nawet stosunkowo krótki okres (kilkugodzinny) takiej pracy może doprowadzić do konieczności odstawienia kotła do ręcznego czyszczenia. Bez niezawodnej automatyki, zwłaszcza przy pracy kotła w systemie ARCM, praktycznie nie ma możliwości utrzymania wymaganych warunków prowadzenia procesu spalania. Stąd szczególny nacisk położyć należy na bieżącą kontrolę nadmiaru powietrza i pracę automatyki, sterującej procesem spalania. Dotyczy to zwłaszcza niezawodności wskazań tlenomierzy. Dużą rolę odegrać może kontrola zawartości CO w spalinach, bowiem jej wzrost dodatkowo wskazuje na prowadzenie spalania ze zbyt niskim nadmiarem powietrza.



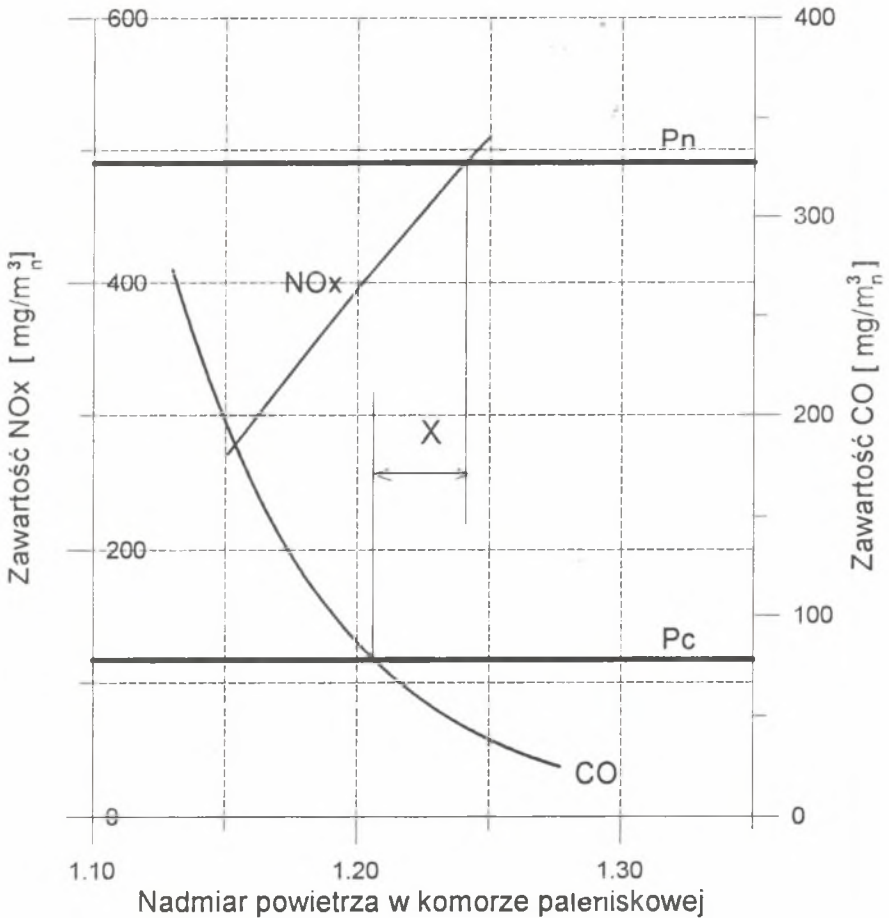
Rys. 1. Wpływ niedomiaru powietrza na temperatury charakterystycznych przemian popiołu

Fig. 1. Influence of reduction–or non reduction atmosphere on characteristic ash temperatures

### ZWIĘKSZENIE EMISJI TLENKU WĘGLA

Prawie we wszystkich obserwowanych przypadkach przy obniżonej emisji  $\text{NO}_x$  obserwuje się wyraźny wzrost stężenia tlenku węgla w spalinach. Widać to również na przedstawionym wykresie – rys. 2 – dla kotła BP–1150 (przy wybranym układzie pracy młynów).

Jak widać, dla utrzymania emisji  $\text{NO}_x$  na wymaganym poziomie konieczne jest utrzymanie nadmiaru powietrza poniżej 1,24. Natomiast by emisja CO nie była nadmierna, poziom nadmiaru powietrza nie może być niższy od 1,21. Wynika stąd, że dla utrzymania – w tym przypadku – obu składników poniżej



Rys. 2. Optymalizacja nadmiaru powietrza ze względu na emisję tlenków azotu i tlenku węgla na przykładzie kotła BP-1150 oraz wybranego układu pracy młynów:  $P_c$  – dopuszczalny poziom emisji CO,  $P_n$  – dopuszczalny poziom emisji  $\text{NO}_x$ , X – wymagany zakres nadmiaru powietrza. Wartości emisji zostały przeliczone na 6% zawartości tlenu w spalinach

Fig. 2. Optimization of the air-excess ratio for the reduction of  $\text{NO}_x$  and CO (boiler BP-1150):  $P_c$  – CO-emission requirement,  $P_n$  –  $\text{NO}_x$ -emission requirement, X – air-excess range. Emissions calculated on 6%  $\text{O}_2$



wartości dopuszczalnych konieczne jest utrzymywanie nadmiaru powietrza w wąskim przedziale 1,21 ... 1,24. Dla innych warunków pracy tego kotła (inne pracujące młyny, inne ustawienie klap powietrza OFA) otrzymuje się inne poziomy zawartości  $\text{NO}_x$  w zależności od nadmiaru powietrza, przy podobnych stężeniach CO. W efekcie dla pewnych warunków nie można osiągnąć odpowiednio niskiego poziomu zawartości  $\text{NO}_x$  bez przekroczenia granicznego stężenia CO, natomiast w innych przedział nadmiaru powietrza z dotrzymaniem warunków emisji jest stosunkowo duży.

Podobną sytuację dla kotła wodnego WP-120 przedstawia dolna część rys. 3. W tym przypadku zakres nadmiaru powietrza wymagany dla utrzymania wymaganej emisji  $\text{NO}_x$  i CO jest stosunkowo szeroki – 1,22 ... 1,37.

## STRATY I SPRAWNOŚĆ KOTŁA

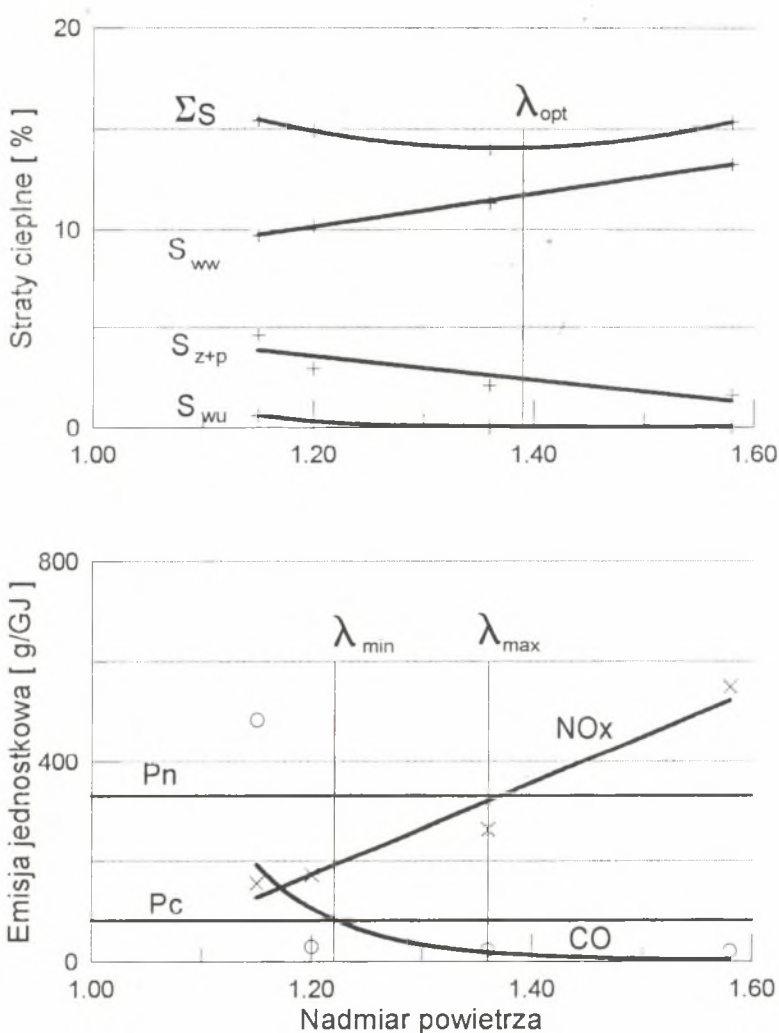
Wprowadzenie modernizacji paleniska pyłowego dla zmniejszenia emisji tlenków azotu, takich jak np.: palniki niskoemisyjne, dysze powietrza górnego (OFA), recyrkulacji spalin prowadzi do zwiększenia strat ciepłych, o ile równocześnie nie przeprowadzono stosowanych zmian w powierzchniach wymiany ciepła lub gruntownego remontu (odnowy) kotła.

Zmniejszeniu maksymalnemu temperatur w jądrze płomienia towarzyszy mniejszy lub większy wzrost temperatur na wylocie z komory paleniskowej i na wylocie z kotła. Zwiększona temperatura spalin wylotowych, chociaż nie we wszystkich przypadkach, kompensowana jest spadkiem ilości spalin w wyniku ograniczenia nadmiaru powietrza do spalania. Do wzrostu temperatury spalin wylotowych może przyczynić się wzmożony proces tworzenia się zanieczyszczeń popiołowych w komorze paleniskowej.

Na ogół następuje wzrost zawartości części palnych w żużlu i popiele lotnym, o ile nie jest skompensowany wpływem innych czynników (np. poprawa przemiału, rozdziału mieszaniny pyłowo-gazowej i powietrza na poszczególne palniki). Spadek sprawności, spowodowany wzrostem straty wylotowej utajonej z tytułu zwiększonej zawartości CO w spalinach w większości przypadków nie jest znaczący z uwagi na konieczność utrzymywania emisji tlenu węgla w określonych granicach.

Na górnej części rys. 3 przedstawiono kształtowanie się strat ciepłych w przypadku kotła WP-120; straty promieniowania nie przedstawiono osobną linią z uwagi na jej stałą wartość (została uwzględniona w sumie strat). Jak widać z rysunku, istnieje nadmiar powietrza optymalny ze względu na sprawność kotła, zależny w przedstawionym przypadku od straty wylotowej wyrażanej i strat w niedopałach stałych, który leży powyżej zakresu wartości wymaganych ze względu na emisję  $\text{NO}_x$  i CO.

Przy wzroście zawartości części palnych w niedopałach może dojść do przekroczenia wielkości wymaganych dla wykorzystywania tych odpadów w bu-



Rys. 3. Nadmiar powietrza optymalny ze względu na sprawność i wymagany z uwagi na emisję tlenków azotu i tlenku węgla: CO – emisja tlenku węgla,  $NO_x$  – emisja tlenków azotu,  $S_{ww}$  – strata wylotowa wyraźna,  $S_{z+p}$  – strata w żużlu i popiele,  $S_{wu}$  – strata niezupełnego spalania,  $\Sigma S$  – suma strat,  $\lambda_{opt}$  – nadmiar optymalny ze względu na straty,  $\lambda_{min}$  – minimalny z uwagi na emisję CO,  $\lambda_{max}$  – maksymalny z uwagi na emisję  $NO_x$

Fig. 3. Optimum air-excess for maximum boiler efficiency and required from the viewpoint of  $NO_x$  and CO emissions: CO,  $NO_x$  – emissions,  $S_{ww}$  – chimney loss,  $S_{z+p}$  – loss in combustibles (slag + fly ash),  $S_{wu}$  – loss due to CO in flue gas  $\Sigma S$  – total boiler loss,  $\lambda_{opt}$  – air excess ratio for minimum total loss,  $\lambda_{min}$  – minimum air excess ratio for CO emission,  $\lambda_{max}$  – maximum air excess for  $NO_x$  emission

downictwie. W takim przypadku, oprócz oczywistych strat finansowych, występuje konieczność ich składowania (przy braku innych możliwości gospodarczego wykorzystania), co stanowi dodatkowe obciążenie środowiska.

W warunkach występowania niższych strat w niedopałach stałych optimum mogłoby się znaleźć wewnątrz lub poniżej (o optimum decydować może strata wylotowa utajona i wyraźna) przedziału nadmiaru powietrza wymaganego z uwagi na emisję.

## WNIOSKI

Stosowanie pierwotnych metod ograniczenia emisji tlenków azotu, uzasadnione z punktu widzenia ochrony środowiska z jednej strony, a kosztami wprowadzenia z drugiej, wymaga podniesienia poziomu eksploatacji kotłów.

Dla sprostania utrzymaniu zaostrzonego reżimu eksploatacyjnego niezbędne jest wprowadzanie niezawodnej automatyki spalania. Jednym z jej niewralgicznych elementów, wymagającym szczególnej troski, jest aparatura do pomiaru zawartości tlenu w spalinach. Z uwagi na minimalną bezwładność wskazań, konieczną zwłaszcza przy pracy bloku w ARCM, obecnie stosuje się sondy cyrkonowe, które poza wymienioną zaletą są kosztowne i często zawodne.

Liczyć się również należy z występowaniem niepożądanych skutków w postaci obniżenia sprawności kotła brutto, jak i możliwością wystąpienia wzmożonego zużłowania. W tym ostatnim przypadku konieczne staje się wprowadzenie skutecznie działających zdmuchiwaczy.

## LITERATURA

- [1] Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnych z dn. 12.02.1990 r.
- [2] Sprawozdania Energopomiaru z pomiarów cieplnych i regulacyjnych kotłów w Elektrowniach: Łagisza, Łaziska, Siersza, Turów oraz Elektrociepłowniach: Lublin, Łódź, Rzeszów, Siekierki.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ludwik CWYNAR

Wpłynęło do Redakcji 5.08.1994 r.



**Abstract**

There is an increasing environmental pressure worldwide for reducing the emission of noxious substances including  $\text{NO}_x$  from power stations boilers. A suitable arrangement of the combustion process is inexpensive and sufficient in many cases. However, it gives rise to some unwanted side – effects, such as the slagging of heat surfaces, increase in combustibles in slag and flue dust, increase in  $\text{CO}$ .

The primary factors that lead to  $\text{NO}_x$  formation are temperature and availability of oxygen. There are reducing zones in the combustion chamber. In these conditions ash sediments may appear on heat surfaces in the combustion chamber.

The decrease in oxygen availability causes the increase in carbon oxide. In many cases there are limits of oxygen availability to keep  $\text{CO}$  and  $\text{NO}_x$  below demand values.

The increase in combustible residues in slag and fly ash causes the decrease in the boiler efficiency.

There is a limit of combustibles to enable the utilization of slag and fly ash in the building industry.