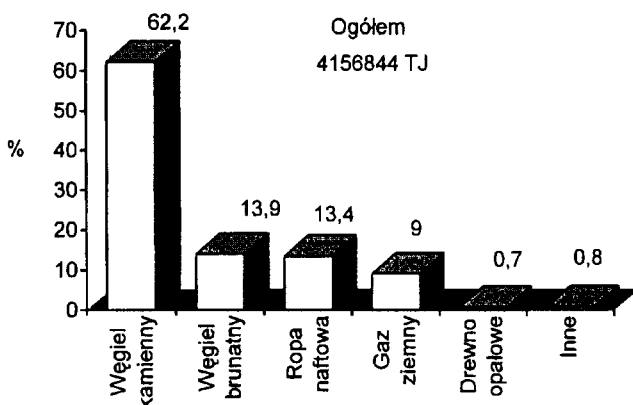


Józef Kuropka

## Odazotowanie spalin – stan obecny i perspektywy rozwoju

Ponieważ w Polsce podstawowym źródłem energii jest i będzie węgiel (rys. 1) [1], dlatego też niezwykle znaczenie mają wszelkie przedsięwzięcia mające na celu możliwie nieszkodliwe dla środowiska naturalnego wykorzystanie paliwa węglowego w różnych gałęziach gospodarki, a zwłaszcza do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Z porównania udziału różnych gałęzi przemysłu w emisji dwutlenku siarki oraz tlenków azotu w Polsce w latach 1992 i 1993 wynika, że energetyka stanowi główne i najpoważniejsze źródło tych zanieczyszczeń (tab.1) [1]. Znaczny udział w tej emisji ma również ciepłownictwo i transport. Tlenki azotu powstające w procesie spalania paliw, ze względu na mechanizm ich powstawania, można podzielić na [2]:



Rys. 1. Struktura zużycia nośników energii pierwotnej w Polsce w 1993 r.

– tlenki termiczne, które powstają z połączenia azotu zawartego w powietrzu spalania oraz tlenu; ich ilość zależy głównie od temperatury panującej w płomieniu oraz w mniejszym stopniu od stężenia tlenu w strefie spalania,

– tlenki paliwowe, które powstają z azotu związanego chemicznie z paliwem oraz tlenu; ich ilość jest uzależniona od zawartości azotu w paliwie oraz od stężenia tlenu w płomieniu, natomiast w mniejszym stopniu na ich powstawanie wpływa temperatura w płomieniu,

– tlenki natychmiastowe, które powstają jedynie w początkowej strefie płomienia węglowodorowych w wyniku działania rodników  $\text{CH}_3$  na azot z powietrza.

Przy spalaniu gazu i olejów lekkich dominującą rolę w końcowej emisji odgrywają tlenki termiczne, natomiast w przypadku olejów ciężkich i paliw stałych zawierających większą ilość związanego azotu – tlenki paliwowe. Tlenki natychmiastowe powstają zazwyczaj w niewielkich ilościach. Na rysunku 2 przedstawiono proces tworzenia się tlenków azotu podczas spalania węgla [3]. Z wykresu tego wynika, że ilości tlenków paliwowych i termicznych zależą od temperatury w komorach paleniskowych kotłów energetycznych, przy czym im niższa temperatura, tym mniejszy jest udział tlenków termicznych. Ilości tlenków natychmiastowych są natomiast pomijalnie małe.

Dopuszczalne emisje tlenków azotu powstające w procesie energetycznego spalania paliw określa rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 12 lutego 1990 r. [4]. Wartości emisji tlenków azotu (suma tlenków azotu w przeliczeniu na dwutlenek azotu) wynikające z tego rozporządzenia podano w tabeli 2.

Instalacje istniejące w dniu wejścia w życie tego rozporządzenia w okresie do 31 grudnia 1997 r. muszą spełniać wymagania określone dla grupy A, natomiast po 31 grudnia 1997 r. muszą spełniać wymagania określone dla grupy B. Instalacje nowe, modernizowane i rozbudowywane muszą spełniać wymagania określone dla grupy C.

Należy podkreślić, że oddziaływanie emisyjne na środowisko naturalne obecnie eksploatowanych w kraju kotłów energetycznych

Tabela 1. Emisja dwutlenku siarki i tlenków azotu w Polsce [1]

Źródło emisji	Dwutlenek siarki		Tlenki azotu			
	1992	1993	1992	1993		
	tys. ton	%	tys. ton	%		
Energetyka zawodowa	1.300	1.290	47,4	370	380	33,9
Energetyka przemysłowa	420	400	14,7	115	70	6,3
Technologie przemysłowe	250	235	8,6	145	120	10,7
Źródła stacjonarne <sup>a)</sup>	750	750	27,5	100	130	11,6
Źródła mobilne	90	50	1,8	400	420	37,5
Ogółem	2.820	2.725	100,0	1.130	1.120	100,0

<sup>a)</sup>kotłownie lokalne, paleniska domowe

Tabela 2. Dopuszczalne emisje dwutlenku siarki i tlenków azotu powstające w procesie energetycznego spalania paliw, g/GJ

Paliwo	Typ paleniska	Instalacje					
		Grupa A		Grupa B		Grupa C	
		SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
Węgiel kamienny	rusztowe stałe	990	35	720	35	650	35
	rusztowe mechaniczne	990	160	640	95	200	95
	pyłowe z ciekłym odzuzlaniem	1.240	495	870	170	200	170
	pyłowe z suchym odzuzlaniem	1.240	330	870	170	200	170
Węgiel brunatny	pyłowe z ciekłym odzuzlaniem	1.540	225	1.070	150	200	150
	pyłowe z suchym odzuzlaniem	1.540	225	1.070	150	200	150
Koks	rusztowe stałe	410	45	410	45	410	45
	rusztowe mechaniczne	500	145	250	145	250	110
Olej opałowy	kotły < MWt	1.720	120	1.250	120	1.250	90
	kotły > MWt	1.720	160	170	160	170	120
Gaz ziemny	kotły < MWt	-	60	-	35	-	35
	kotły > MWt	-	145	-	85	-	85
Drewno	rusztowe	-	50	-	50	-	50

wytwarzają tlenki siarki w ilości 1.500+3.200 g/GJ (granica emisji wynosi 200 g/GJ), a spalające przeciętne węgle kamienne 70+2.300 g/GJ. W przeliczeniu na SO<sub>2</sub> w suchych spalinach o zawartości 7 % O<sub>2</sub>, w warunkach normalnych, emisja tlenków siarki wynosi dla węgla brunatnych 3.400+7.300 mg/m<sup>3</sup>, natomiast dla węgla kamiennych 1.800+6.000 mg/m<sup>3</sup>. Podobnie, eksploatowane obecnie w kraju kotły emitują tlenki azotu w ilości 500+1.400 mg/m<sup>3</sup> w przeliczeniu na NO<sub>2</sub> w suchych spalinach o zawartości 7 % O<sub>2</sub> (w warunkach normalnych), co daje 200+550 g/GJ [5]. W przypadku ostrych ograniczeń emisji tlenków azotu, a z takimi mamy do czynienia w przypadku nowych instalacji energetycznych w Polsce, konieczne jest, w odniesieniu do klasycznych palenisk kotłowych, równoczesne stosowanie tzw. pierwotnych i wtórnych metod odazotowania spalin.

### Odazotowanie spalin – stan obecny

W wyniku prowadzonych prac badawczych opracowano wiele metod ograniczenia emisji tlenków azotu [5-16], które podzielić można na dwie zasadnicze grupy:

- metody pierwotne, polegające na ograniczeniu ilości tlenków azotu wytwarzanych w procesie spalania,
- metody wtórne, polegające na usuwaniu tlenków azotu z gazów spalinowych.

### Metody pierwotne

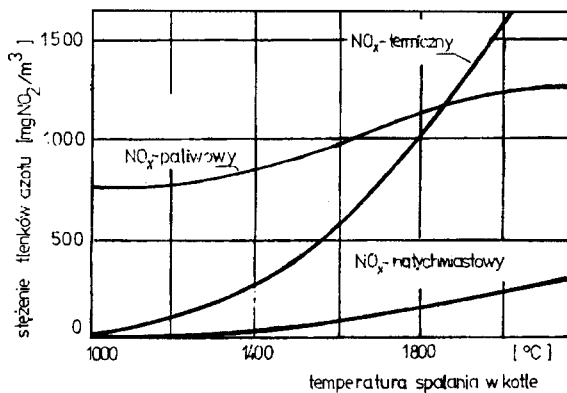
Metody te obejmują cztery podstawowe grupy zagadnień.

Grupa pierwsza obejmuje modyfikację procesu spalania, poprzez modernizację układu paleniskowego, która może być realizowana kilkoma metodami.

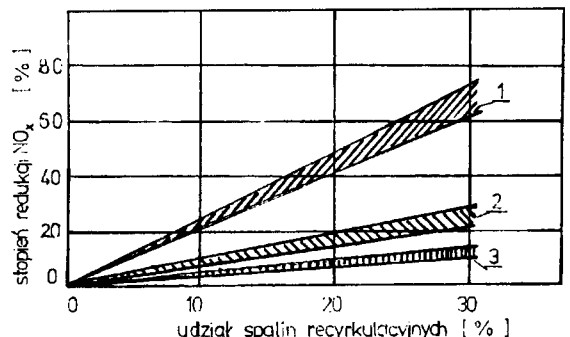
a) Niestechiometryczne spalanie (uzyskuje się znaczne zmniejszenie ilości tlenków azotu ze strefy spalania [9,13]):

- przez wprowadzenie części powietrza wtórnego do kotła ponad palnikami głównymi, tzw. system OFA (*Over Fire Air*),
- przez oddzielenie strumieni powietrza wtórnego od strumienia paliwa w poziomie przy tangencjalnym układzie strumieniowych palników pyłowych, tzw. system LNCFS (*Low NO<sub>x</sub> Concentric Firing System*),
- przez dociążenie dolnych palników paliwem i spalanie go z niedomiarem powietrza, przy jednoczesnym odciążeniu palników górnych, pracujących w warunkach dużego nadmiaru powietrza, tzw. system PM (*Pollution Minimum*),
- przez całkowite odłączenie górnych palników od zasilania paliwem przy pełnym obciążeniu powietrzem, tzw. system BOOS (*Burners out of Service*).

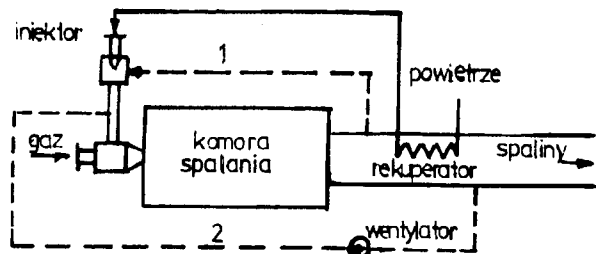
b) Recyrkulacja spalin, która powoduje zmniejszenie maksymalnych temperatur w płomieniu i obniżenie stężenia tlenu w początkowym odcinku spalania. Doświadczenia ze stosowaniem tej



Rys. 2. Proces tworzenia się tlenków azotu podczas spalania węgla



Rys. 3. Wpływ recyrkulacji spalin na ograniczenie emisji tlenków azotu (1 – gaz i lekkie gatunki oleju, 2 – olej opałowy ciężki (mazut) i węgiel kamienny spalany w paleniskach z ciekłym odprowadzeniem żużla, 3 – węgiel spalany w paleniskach pyłowych granulacyjnych)



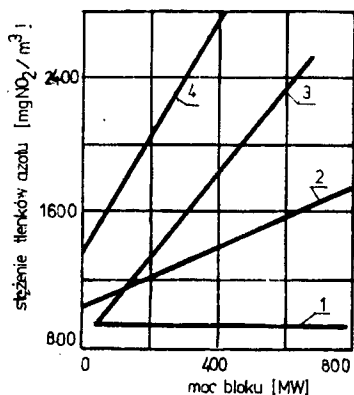
Rys. 4. Sposoby zmniejszenia emisji tlenków azotu przez zewnętrzną recykulację spalin (1 – wysokotemperaturowych, 2 – niskotemperaturowych)

metody w dużych kotłach energetycznych wykazały (rys.3), że stosunkowo dobry efekt można uzyskać przy spalaniu gazu. Należy jednak rozróżnić dwa sposoby recykulacji spalin: zewnętrzną i wewnętrzną [11]. Zewnętrzna recykulacja spalin może być zrealizowana w stanie wysokotemperaturowym lub po ich ochłodzeniu, zależnie od urządzenia recykulującego (rys.4). Wewnętrzna recykulacja jest wywołana przez gazodynamikę płomienia w obrębie komory spalania. W powietrzu nie podgrzanym recykulacja spalin jest bardzo efektywnym sposobem zmniejszenia emisji tlenków azotu; już przy stopniu recykulacji spalin około 10 % jest możliwe uzyskanie 70 % zmniejszenia emisji tlenku azotu [11].

c) Doprowadzenie wody lub pary w celu obniżenia temperatury płomienia, co bezpośrednio wpływa na zmniejszenie emisji tlenków azotu. Jest to najprostsza metoda pod względem nakładów inwestycyjnych, lecz wymaga dużej ilości wody lub pary. Stwierdzono, że doprowadzenie wilgoci w ilości 1% masowo, w stosunku do wyprodukowanej pary w kotle, powoduje zmniejszenie emisji tlenków azotu o 12 % [14].

d) Doprowadzenie do komory spalania dodatkowego paliwa węglowodorowego nad palnikami głównymi, tzw. system MACT (*Mitsubishi Advanced Combustion Technology*). Powstające w wyniku tego procesu wolne rodniki  $C^{\bullet}mH^{\bullet}_n$  redukują około 50 % tlenków azotu, tworzących się przy spalaniu paliwa podstawowego.

e) Selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR), która polega na iniekcji amoniaku do komory spalania [10]. Proces redukcji tlenków azotu z największą wydajnością przebiega w zakresie temperatur  $800+1.000^{\circ}C$ . Metoda ta umożliwia obniżenie emisji tlenków azotu o 40+60 %. Wtrysk do komory spalania mocznika wraz ze wspomagającymi środkami chemicznymi (metoda  $NO_x$ OUT) pozwala poszerzyć zakres temperatur od 500 do  $1.200^{\circ}C$  [10,16]. Wtrysk ten odbywa się na kilku poziomach

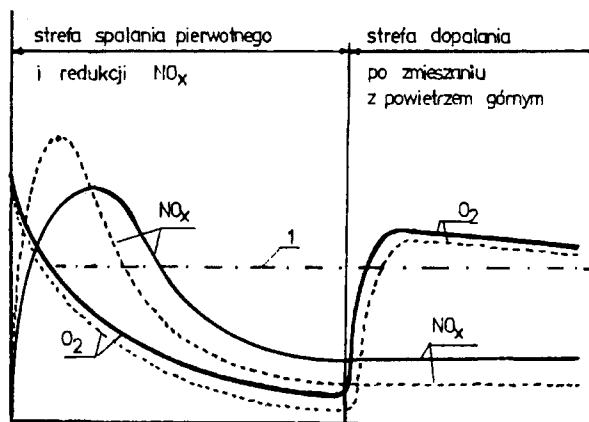


Rys. 5. Zależność emisji tlenków azotu od rodzaju paleniska (1 – palenisko tangencjalne, 2 – usytuowanie palników na przeciwległych ścianach, 3 – palniki na ścianie przedniej, 4 – palenisko z ciekłym odprowadzeniem żużla)

przestrzeni spalania, przy czym zależnie od temperatury stosuje się różne mieszaniny i stężenia środków chemicznych. Redukcja tlenków azotu przebiega zatem stopniowo w kilku fazach, dzięki czemu oprócz wysokiego stopnia odazotowania spalin możliwe jest utrzymanie strat amoniaku na niskim poziomie [16].

Grupa druga obejmuje modyfikację konstrukcji kotłów (uwzględniając m.in. rodzaj paleniska, obciążenie cieplne komory, rodzaj i rozmieszczenie palników, kąt nachylenia palników, zmiany obciążenia palników itp.). Na rysunku 5 pokazano zależność emisji tlenków azotu od rodzaju paleniska [7]. Z wykresu wynika, że najwięcej powstaje tlenków azotu w dużych paleniskach pyłowych, trochę mniej w paleniskach z suchym odprowadzaniem żużla i palnikami wirowymi usytuowanymi na ścianie przedniej, jeszcze mniej przy usytuowaniu palników na przeciwległych ścianach. Najmniejszą emisję tlenków azotu wykazują paleniska z narożnikowym układem palników (tangencjalne), przy czym moc cieplna paleniska praktycznie nie ma wpływu na emisję tlenków azotu.

Grupa trzecia obejmuje stosowanie palników o specjalnej konstrukcji (palniki niskoemisyjne, palniki ze stopniowaniem paliwa, palniki z recykulacją gazów itp.). Obecnie najbardziej rozpowszechnione są dwa typy palników niskoemisyjnych: palnik strumieniowy z zastosowaniem powietrza strefowego oraz palnik wirowy z zastosowaniem powietrza strefowego. Emisja tlenków azotu w palnikach tego typu, w stosunku do palników klasycznych, może być zredukowana o mniej więcej 40 % [12]. Cechą uboczną tych palników, zaobserwowaną podczas eksploatacji, jest zwiększenie strat niecałkowitego spalania dla niskich zawartości tlenu w spalinach. Poprawę efektów spalania uzyskuje się przez połączenie optymalizacji procesu mielenia z odpowiednią regulacją ilości doprowadzanego powietrza. Przebieg powstawania i redukcji tlenków azotu dla drobnego i grubego przemiału węgla przedstawiono na rysunku 6 [13]. Drobniejsze zmielenie węgla powoduje szybsze wypalenie pyłu w komorze paleniskowej. Oznacza to, że tlen doprowadzony do palnika jest szybciej zużywany niż przy pyłe grubszym i wcześniej jest osiągnięte graniczne stężenie tlenu, poniżej którego zachodzi redukcja tlenków azotu. Ponieważ odległość od wylotu z palnika do wprowadzenia powietrza górnego jest pod względem konstrukcyjnym zadana, to w przypadku drobnego pyłu czas, w którym zachodzi rozkład tlenków azotu jest dłuższy i emisja tlenków azotu na końcu komory paleniskowej jest mniejsza, mimo wyższego stężenia tlenków azotu na początku płomienia [13].



Rys. 6. Przebieg tworzenia się i redukcji tlenków azotu w komorze paleniskowej (1 – górna granica tlenu dla redukcji tlenków azotu, linia ciągła – grubym przemiałem, linia przerywana – drobnym przemiałem)

Tabela 3. Stopień odazotowania spalin w różnych metodach pierwotnych

Wyszczególnienie	Stopień odazotowania			
	gaz	olej lekki	olej ciężki	węgiel
Recykulacja spalin	20+70	20+60	10+35	5+10
Palniki niskoemisyjne	20+40	20+40	10+30	10+60
Stopniowanie powietrza	10+30	10+40	10+40	10+50
Obniżanie temperatury	10+60	10+60	10+30	–
Gaz redukccyjny	30+50	30+50	30+50	30+50

Grupa czwarta obejmuje wprowadzenie kotłów z cyrkulacyjnym paleniskiem fluidalnym, co umożliwi efektywne spalanie niskogatunkowych paliw czy nawet odpadów, dotychczas odrzucanych ze względu na niską kaloryczność i zanieczyszczenia. Redukuje się emisję tlenków azotu średnio o 70 % [5], ze względu na znacznie niższą temperaturę spalania niż w paleniskach konwencjonalnych, a także możliwość wiązania dwutlenku siarki bezpośrednio w złożu przez odpowiednie sorbenty, zwykle związku wapnia [16].

Realizacja omówionych wyżej metod pierwotnych zmniejszenia ilości powstających tlenków azotu w kotłach energetycznych nie jest możliwa w jednakowym stopniu i we wszystkich przypadkach. Stopień redukcji tlenków azotu osiągany dzięki stosowaniu niektórych metod pierwotnych przedstawiono w tabeli 3. Dobre rezultaty daje również jednoczesna modernizacja instalacji oraz modyfikacja parametrów procesu spalania.

### Metody wtórne

Metody te obejmują dwie podstawowe grupy zagadnień:

Grupa pierwsza obejmuje selektywną redukcję katalityczną (SCR), która polega na użyciu amoniaku jako gazu redukcyjnego w obecności katalizatora. Tlenki azotu ulegają przemianom na azot i wodę, a więc obojętne składniki atmosfery. Proces ten wymaga temperatury gazów od 150 do 400 °C, w zależności od aktywności zastosowanego katalizatora [17]. Redukcja tlenków azotu amoniakiem przebiega selektywnie zarówno na metalach szlachetnych (Pt, Pd, Rh), jak i tlenkach metali przejściowych ( $V_2O_5$ ,  $TiO_2$ ,  $MoO_3$ ), przy czym te ostatnie są mniej podatne na zatrucia [18]. Oferowane są następujące rozwiązania, które zrealizowano w skali przemysłowej [16]:

- układ dostosowany do spalin o dużym stopniu zapylenia (*high-dust*),
- układ dostosowany do spalin o małym stopniu zapylenia (*low-dust*),
- układ dostosowany do czystych spalin (*Reingas*).

Grupa druga obejmuje metody jednoczesnego usuwania dwutlenku siarki i tlenków azotu [15,16], które można podzielić na metody mokre, stosujące proces oczyszczania w układzie ciecz–gaz oraz metody suche, realizujące proces usuwania toksycznych składników spalin w układzie ciało stałe–gaz. Wśród metod mokrych są to najczęściej procesy:

- utleniająco-absorpcyjno-redukcyjne,
- utleniająco-absorpcyjne,
- absorpcyjno-redukcyjne,
- absorpcyjno-utleniające.

Zaletą tych metod jest niewrażliwość na zapylenie gazów oraz wysoki stopień odsiarczenia i odazotowania spalin (do ok. 90 %). Do ich wad natomiast zalicza się znaczny stopień skomplikowania, a w związku z tym wysoki koszt ogólny, konieczność utyli-

zacji roztworów poabsorpcyjnych oraz konieczność podgrzewania oczyszczonych gazów [16].

Wśród metod suchych wyróżnia się procesy:

- sorpcyjno-katalityczne,
- jednoczesnej katalizy,
- oddziaływania zewnętrznymi czynnikami jonizującymi.

Metody te charakteryzują się niskim kosztem ogólnym i dużą sprawnością oczyszczania (ponad 90 %) oraz brakiem odpadów ciekłych. Wadę stanowi konieczność uprzedniego, dokładnego odpylenia gazów, wysokie temperatury procesu, znaczne zużycie reduktorów, wysoki koszt katalizatorów i amoniaku oraz możliwość jego wtórnej emisji do powietrza atmosferycznego [16]. Przykładowe możliwości realizacji procesu odsiarczenia i odazotowania spalin przedstawiono na rysunku 7 [19].

W wysoko uprzemysłowionych krajach świata, zwłaszcza w Japonii, Stanach Zjednoczonych AP i RFN, eksploatacja przemysłowych instalacji do oczyszczania gazów w spalinowych jest oparta na następujących technologiach [16]:

metody mokre:

- WALTHERA,
- SAARBERG-HÖLTER-LURGII,
- CIBA-GEIGY,

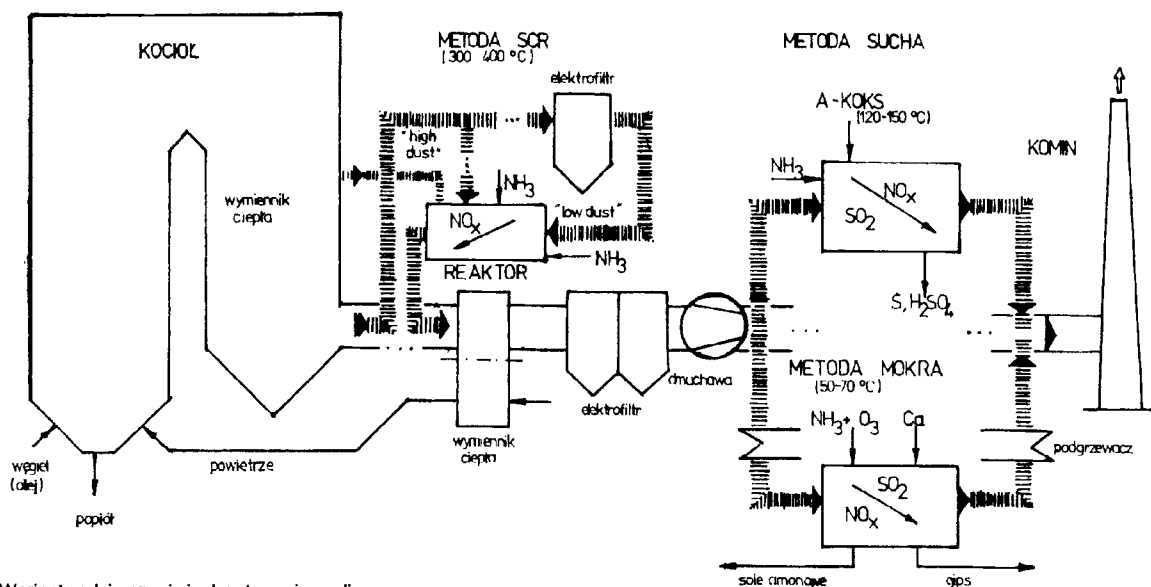
metody suche:

- BERGBAU-FORSCHUNG,
- NIRO-ATOMIZER,
- RADIACYJNA.

### Odazotowanie spalin – perspektywy rozwoju

Konieczność ograniczenia emisji dwutlenku siarki i tlenków azotu do powietrza atmosferycznego nie budzi obecnie wątpliwości, dyskusyjny jest natomiast problem doboru właściwych technologii gazów spalinowych. Wynika to między innymi z różnych właściwości fizyczno-chemicznych obu zanieczyszczeń oraz ich niewielkich ilości w bardzo dużych objętościach oczyszczanego gazu. Na stopień trudności realizacji procesu oczyszczania wpływa dodatkowo fakt, że zawartość dwutlenku siarki w gazach spalinowych zależy głównie od rodzaju i gatunku paliwa, zaś o ilości powstających tlenków azotu w procesach spalania decydują dodatkowo temperatura spalania, czas kontaktu reagentów (azotu i tlenu) w czasie spalania, zwłaszcza w strefie wysokich temperatur, rodzaj urządzeń paleniskowych itp. [7-10].

Realizacja metod pierwotnych i wtórnych, skierowanych na odazotowanie spalin, jest związana z pewnymi skutkami ujemnymi. Metody pierwotne są szeroko stosowane ze względu na korzystny stosunek stopnia odazotowania spalin do kosztów. Ich podstawowymi wadami są: konieczność stosowania skomplikowanego systemu kontroli i sterowania procesem spalania oraz



Rys. 7. Warianty odzotowania i odzotowania spalin

możliwość zwiększonej emisji niezupełnego spalania (tlenek węgla, węglowodory, sadza). W razie nierozważnej modyfikacji procesu spalania może zwiększyć się niedopał oraz może wystąpić zużycie ekranów kotłowych lub ich korozja [9]. Polepszenie jakości rozpylenia i intensywne odparowanie paliwa same w sobie nie są metodami na zmniejszenie emisji tlenków azotu, a wręcz przeciwnie, przez zwiększenie prędkości spalania zwiększają emisję tlenków azotu [14]. Obie metody dają jednak pozytywne efekty w zastosowaniu łącznym z innymi metodami ograniczenia emisji tlenków azotu, np. z doprowadzeniem wody lub pary, dwustopniowym spalaniem itd. Większość metod pierwotnych wymaga stosowania systemu kontroli spalania, co ogranicza możliwość ich stosowania w układach małej mocy, w których zainstalowanie takiego systemu jest niemożliwe lub nieopłacalne. Za przykład może posłużyć niskoemisyjny palnik gazowy charakteryzujący się stałym stopniem recyrkulacji spalin, niezależnie od obciążenia. Dlatego o wykorzystaniu konkretnego sposobu odzotowania spalin z wielu metod pierwotnych powinna decydować wnikliwa analiza możliwości wprowadzenia zmian w układzie paleniskowym, uwzględniająca jakość spalnego paliwa, rodzaj urządzeń paleniskowych i warunki lokalne zakładu.

Metody wtórne charakteryzują się wysoką sprawnością odzotowania spalin oraz pewnością działania, ale w kraju nie znalazły szerszego zastosowania przede wszystkim z powodu znacznych nakładów inwestycyjnych i eksploatacyjnych. Koszt urządzenia do selektywnej redukcji katalitycznej tlenków azotu jest w największym stopniu wynikiem zapotrzebowania na masę katalizatora, zależy od żywotności katalizatora i od zużycia amoniaku [17,18]. Wydaje się, że w warunkach krajowych proces jednoczesnego oczyszczania spalin z dwutlenku siarki i tlenków azotu można z powodzeniem realizować wykorzystując metody mokre (absorpcyjno-redukcyjne) z zastosowaniem związków kompleksowych żelaza Fe(II) [21]. Zastosowanie jednak konkretnej metody odzotowania spalin, z bogatej oferty metod wtórnych realizowanych w uprzemysłowionych krajach, powinno być poprzedzone szczegółową analizą techniczno-ekonomiczną, uwzględniającą warunki konkretnego zakładu.

Należy podkreślić, że według założeń resortu ochrony środowiska do roku 2000 nie przewiduje się w Polsce stosowania wtórnych metod odzotowania spalin, w szczególności metody SCR. Podstawowe zadanie ograniczenia emisji tlenków azotu

z gazów spalinowych do roku 1997 ma być oparte głównie na metodach pierwotnych i stosowane w kotłach parowych i wodnych [22]. Naprzeciw planom resortu wychodzą propozycje modernizacyjne (dla kotłów istniejących i nowo projektowanych) Raciborskiej Fabryki Kotłów RAFAKO [20].

#### LITERATURA

1. Ochrona Środowiska 1994. Informacje i opracowania statystyczne. GUS, Warszawa 1994.
2. W. SCHULZ, H. KREMER: Bildung von Stickstoffoxiden bei der Kohlenstaubverbrennung. Brennstoff, Wärme, Kraft, 1985, nr 1-2(37), S. 29-35.
3. P. NECKER: Überblick über die NO<sub>x</sub> -inderungsmaßnahmen in Europa. NO<sub>x</sub>-Symposium, Karlsruhe, 1985, S. D1-D44.
4. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z 12 lutego 1990 r. w sprawie ochrony powietrza przed zanieczyszczeniem. Dz.U. 1990, nr 15, poz. 97.
5. A. MAZURKIEWICZ: Zmniejszenie emisji gazów szkodliwych dzięki wprowadzeniu kotłów z cyrkulacyjnym paleniskiem fluidalnym RAFAKO-EVT system AHLSTROM RAFAKO, Racibórz 1991.
6. Metody kontrolowania emisji NO<sub>x</sub> ze źródeł stacjonarnych, Warszawa 1986.
7. J. JACOBS, J. ŻELKOWSKI: Perspektiven für NO<sub>x</sub>-arme Kraftwerksfeuerungen. VGB Kraftwerkstechnik, 1987, nr 8(67), S. 803-810.
8. N.N.: Kostengünstige Stickoxidreduzierung für Kesselanlagen mit fossilen Brennstoffen. Wasser, Luft und Betrieb, 1988, nr 11-12, S. 40-42.
9. V. WRÓBLEWSKA: Warunki powstawania i redukcji tlenków azotu w kotłach energetycznych. Energetyka, 1989, nr 3(43), ss. 102-106.
10. J. KUROPKA: Możliwości ograniczenia emisji tlenków azotu z procesów spalania paliw. Ochrona Środowiska, 1992, nr 1(45), ss. 9-12.
11. J. TOMCZEK: Możliwości obniżenia emisji tlenków azotu z pieców przemysłowych opalanych gazem ziemnym. Gospodarka Paliwami i Energią, 1994, nr 3(42), ss. 2-4.
12. V. WRÓBLEWSKA i in.: Palniki pyłowe o niskiej emisji NO<sub>x</sub>. Energetyka, 1993, nr 3(47), ss. 91-95.
13. M. KRUPA i in.: Kierunki modernizacji młynów wynikające z potrzeby obniżenia emisji tlenków azotu. Energetyka, 1992, nr 10(46), ss. 329-337.

14. Z. ORZECZOWSKI, J. PRYWIER: Rozpylanie cieczy w urządzeniach energetycznych. WNT, Warszawa 1994.
  15. K. STÄBLER et.al.: NO<sub>x</sub> – Minderung durch Sekundärmaßnahmen. Erfahrungen aus Versuchs- und Großanlagen. VGB Kraftwerkstechnik, 1988, nr 7(68), S. 735-743.
  16. J. KUROPKA: Oczyszczanie gazów odlotowych z zanieczyszczeń gazowych. Urządzenia i technologie. Wyd. PWr., Wrocław 1991.
  17. J. KUROPKA: Badania selektywnej redukcji katalitycznej tlenków azotu. Raport Inst. Inż. Ochr. Środow. PWr., 1992, nr SPR-3.
  18. P. TIEMANN, B. GLADBACH: Katalysatoren für die Stickstoffoxidreduktion. Brennstof, Wärme, Kraft, 1987, nr 3(39), S. 107-109.
  19. F. BAUM: Luftreinhaltung in der Praxis. Oldenbourg-Verlag, München 1988.
  20. D. TOMAS: Propozycje modernizacyjne kotłów produkcji RAFAKO dla zmniejszenia emisji NO<sub>x</sub>. Zeszyty Naukowe PŚL, seria Energetyka, 1990, z. 113, ss. 558-569.
  21. J. KUROPKA i in.: Intensyfikacja procesu odazotowania spalin przez modyfikację roztworu sorpcyjnego. Mat. II symp. POL-EMIS 94, wyd. PZITS nr 673, Szklarska Poręba 1994, ss. 99-106.
  22. W. JAWORSKI: Polityka proekologiczna Polski w sektorze paliwowo-energetycznym. Karbo-Energochemia-Ekologia, 1993, nr 2, ss. 30-35.
- 

### **Nitrogen Removal from Industrial Gases: State-of-the-Art and Prospects for the Future**

*Production of nitrogen oxides is concomitant with fuel combustion, irrespective of whether solid, liquid or gaseous fuels are burnt. The quantity of the nitrogen oxides produced depends on a variety of factors, e.g. combustion temperature, concentration and contact time of the reagents during combustion, boiler type, fuel type, quality of the fuel-air mixture, etc. The majority*

*of nitrogen oxides come from power generation, heating processes and traffic. This paper provides an analytical account of the available methods for nitrogen removal from industrial flue gases, and outlines the prospects of development in this domain. The paper also discusses in more detail what has been done in this field in Poland within the past few years.*