

# Zastosowanie przemysłowe technologii reburningu

## Industrial application of reburning technology

mgr inż. Krzysztof MAJEWSKI



### W KILKU SŁOWACH

W artykule przedstawiono ideę, wdrożenie do praktyki przemysłowej, rozwój oraz nowe możliwe kierunki zastosowania technologii reburningu - jednej z pierwotnych metod ograniczenia emisji tlenków azotu, powstających w procesach spalania. Z powodu dominującej roli Stanów Zjednoczonych i Japonii w badaniach, rozwoju i udoskonalaniu technologii reburningu, skoncentrowano się na doświadczeniach tych krajów. Wzmiankowano również o spadkowym trendzie poziomu zanieczyszczenia atmosfery tlenkami azotu, wynikającej z postępu technicznego i stymulującej roli zaostrzania przepisów prawnych w tym zakresie.



### SUMMARY

This article contains the idea, implementation into practical use, development and new possible fields of applying of reburning technology - one of primary control technologies of reduction in emissions of nitrogen oxides from combustion processes. Because of dominate role of US and Japan into technical research, development and improvement of reburnig technology main focus is putting on experiences of above countries. There is also mentioned of  $\text{NO}_x$  emissions decline trend as a result of technological progress and stimulating role of more stricted regulations.

Krzysztof Majewski  
doktorant Śląskiego  
Środowiskowego Studium  
Doktoranckiego

### Poziom zanieczyszczenia atmosfery tlenkami azotu

Tlenki azotu należą do grupy zanieczyszczeń powietrza, na których od kilkudziesięciu lat koncentruje się uwaga społeczeństw, w szczególności zamieszkujących obszary silnie zurbanizowane. Jest to następstwem udokumentowanego udziału tlenków azotu w tworzeniu smogu, kwaśnych deszczów, niszczenia ochronnej warstwy ozonowej, a także bezpośrednio negatywnego wpływu na samopoczucie i zdrowie. Poziom stężenie dwutlenku azotu nad lądami mieści się zazwyczaj w przedziale od 0,4 do 9,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

W rejonach uprzemysłowionych i miejskich średnioroczne stężenie dwutlenku azotu jest o 1-2 rzędy wielkości wyższe. W krótszych okresach występują znaczne wahania w zależności od warunków meteorologicznych (znaczny wzrost podczas występowania w przyziemnej warstwie atmosfery zjawiska inwersji termicznej) oraz bliskości i typu źródła emisji [1].

Procesy energetycznego spalania paliw należą, obok transportu drogowego, do dominujących antropogennych źródeł emisji tlenków azotu. Szczegółowa analiza danych Europejskiej Agencji Środowiska [2] wskazuje na utrzymującą się od lat 90. XX wieku w Unii Europejskiej





stałą tendencję spadkową (ogółem 42% od 1990 do 2010 r - spadek od kilkunastu do kilkudziesięciu procent w zależności od kraju) w ilości emitowanych tlenków azotu. Fakt ten tłumaczy się dla transportu drogowego wyposażaniem samochodów w coraz sprawniejsze katalizatory i układy recyrkulacji EGR. W przemyśle energetycznym obniżenie emisji tlenków azotu wiąże się z opanowaniem niskoemisyjnych technik spalania oraz skutecznych metod oczyszczania spalin, a także zastępowaniem węgla paliwem gazowym. Jeszcze większa tendencja spadkowa występuje w Stanach Zjednoczonych. Motorem do wyposażenia zakładów energetycznych w skuteczne instalacje do ograniczenia emisji zanieczyszczeń tlenkami azotu (oraz  $\text{SO}_2$ ) były wprowadzone w etapach (1995r., 2000r., 2005r.) przepisy, ukierunkowane na ograniczenie emisji zanieczyszczeń odpowiedzialnych za kwaśne deszcze (szczegółowe dane zob.[ 3]). Powyższe dane pokazują, iż jest możliwe skuteczne ograniczenie emisji zanieczyszczeń powietrza z energetycznych procesów spalania. Wymaga to dogłębnego poznania mechanizmów tworzenia się niepożądanych produktów spalania oraz technik ich ograniczenia.

### **Mechanizmy powstawania tlenków azotu w procesach spalania**

Prowadzone od lat 40. XX wieku badania, dotyczące procesów powstawania tlenków azotu, pozwoliły wyodrębnić trzy następujące mechanizmy formowania się tlenków azotu:

**Tlenki termiczne** powstają w wyniku utleniania azotu cząsteczkowego z powietrza spalania w wysokiej temperaturze (praktycznie powyżej  $1400^\circ\text{C}$ ). Teoretyczny model w połowie lat 40.XX wieku podał J. Zeldowicz [4] Dominujące znaczenie (stąd nazwa) w tym procesie ma temperatura, w której zachodzi reakcja. Szybkość formowania się termicznych tlenków azotu jest 1-2 rzędy mniejsza od szybkości reakcji spalania, dlatego w procesach spalania nie dochodzi do utworzenia się równowagowego stężenia tlenków azotu. Z tego powodu przewidywanie emisji tlenków azotu opiera się na równaniach kinetyki reakcji chemicznych.

**Tlenki szybkie** (prompt  $\text{NO}_x$ ) są wynikiem reakcji pomiędzy  $\text{N}_2$  i tworzącymi się podczas spalania wysokoreaktywnymi rodnikami kwasu węglowego, cyjanowodorowymi, węglowodorowymi. Wymienione rodniki są przejściowymi produktami reakcji spalania, która ma złożony, łańcuchowy charakter. Teoretyczne podwaliny podał (lata 70. XX wieku) C.P.Fenimore [5] Ilość powstających tlenków szybkich w niewielkim stopniu zależy od temperatury spalania. Duży wpływ ma natomiast rodzaj spalanej paliwa oraz liczba nadmiaru powietrza. Najbardziej sprzyjające warunki do powstawania tlenków szybkich występują podczas spalania węglowodorów przy liczbie nadmiaru powietrza mniejszej od 1.

**Tlenki paliwowe** tworzą się w wyniku utleniania azotu będącego składnikiem spalanej paliwa ciekłego lub stałego. Przebieg procesu ma złożony wielostopniowy charakter i wymaga jeszcze badań. Wiadomo, że organiczne związki azotu zawarte w paliwie ulegają w czasie spalania termicznemu rozpadowi na rodniki HCN, CN, NH,  $\text{NH}_2$ , które następnie przy współudziale OH i O ulegają utlenieniu do tlenków azotu. Energia uwalniania azotu z paliw jest 1,5 do 4 razy mniejsza niż energia dysocjacji  $\text{N}_2$  cząsteczkowego. Z tego względu znaczące ilości tlenków paliwowych mogą powstać w temperaturze niższej od temperatury potrzebnej do utworzenia się termicznych tlenków azotu.

Wgląd w udział poszczególnych tlenków azotu w ogólnej emisji tlenków azotu daje rys.1. [6]. Są na nim przykładowe wyniki uzyskane w warunkach spalania węgla w kotle.

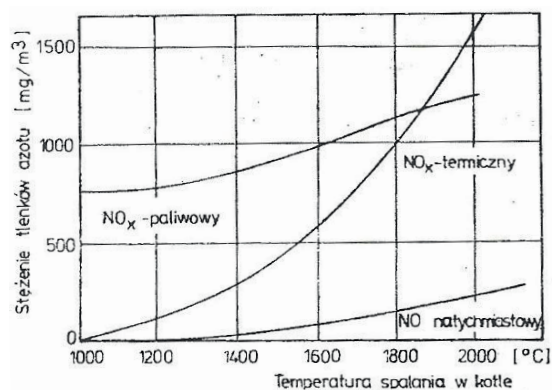
Z uwagi na dużą zależność poziomu emisji od warunków prowadzenia procesu (głównie temperatury) oraz spalanej paliwa dla różnych obiektów wartości są różne. Symbol  $\text{NO}_x$  oznacza sumę tlenku azotu NO i dwutlenku azotu  $\text{NO}_2$ . W spalinach emitowanych z procesów spalania udział NO w  $\text{NO}_x$  wynosi zwykle ponad 95%. Dalsze utlenienie NO do  $\text{NO}_2$  następuje już w atmosferze.

Opisane poniżej mechanizmy powstawania tlenków azotu wskazują, że ograniczenie emisji tlenków azotu jest możliwe:

a) poprzez ukierunkowanie procesu spalania na ograniczenie emisji, tzw. metody pierwotne, np.:



- obniżenie temperatury spalania,
  - zmniejszenie stężenia tlenu w strefie spalania,
  - skracanie czasu przebywania substratów reakcji w strefie wysokich temperatur;
- b) poprzez tzw. metody wtórne tj. oczyszczanie spalin.



Rys.1. Emisja tlenków azotu (NOX) podczas spalania węgla [6]  
 Źródło rysunku: Kuroпка J. „Możliwości ograniczenia emisji tlenków azotu z procesów spalania paliw., Ochrona Środowiska 1(45), str.9-12, 1992

### Pozycja węgla jako paliwa

Spośród powszechnie wykorzystywanych paliw energetycznych znaczącą rolę ma węgiel, pomimo że jest to paliwo (w porównaniu np. do gazu ziemnego) powodujące zdecydowanie wyższą emisję różnorodnych zanieczyszczeń powietrza, w tym tlenków azotu.

Taka pozycja węgla w energetyce wynika ze stosunkowo dużych rozpoznanych dostępnych, dosyć równomiernie rozmieszczonych zasobów, stabilnych w porównaniu z ropą i gazem ziemnym cen, łatwością i bezpieczeństwem transportu i magazynowania oraz opanowanych, dostępnych technologii spalania. W tabeli 1 przedstawiono strukturę wykorzystania pierwotnych nośników energii w skali świata dla 1999 i 2008 r. [7]

Wyróżnione we wstępie czynniki – zagrożenie ekologiczne, wynikające z procesów spalania; możliwość wpływu na proces powstawania tlenków azotu poprzez sposób prowadzenia procesu spalania; rola węgla jako paliwa energetycznego - wskazują na celowość podejmowania działań, mających na celu redukcję emisji tlenków azotu. Dodatkowym formalnym czynnikiem, wymuszającym działanie, są stale rosnące wymagania prawne.

Rodzaj nośnika energii	Rok	
	%	
	1999	2008
Węgiel i torf	23,5	27,0
Ropa naftowa	35,0	33,2
Gaz ziemny	20,7	21,1
Energia jądrowa	6,8	5,8
Energia wodna	2,3	2,2
Palne odnawialne i odpady	11,1	10,0
Pozostałe*	0,5	0,7
Ogółem [Mtoe]	9 702	12 267

Tab.1. Struktura dostaw pierwotnych nośników energii w skali świata w latach 1999 i 2008.[7]  
 \*Pozostałe obejmuje energię geotermalną, słoneczną, wiatrową, ciepło itp  
 Mtoe - miliony ton ekwiwalentu olejowego (1 Mtoe = 41,9 \*1015 J = 1015 kcal).

### Idea technologii reburningu

Jedną z efektywnych, ugruntowanych technologii jest metoda (należąca do metod pierwotnych emisji tlenków azotu) określana jako reburning (The flue gas is burned again). W metodzie tej proces spalania prowadzi się w trzech strefach. W pierwszej spala się podstawowe paliwo np. pył węglowy w ilości ~80% w przeliczeniu na sumaryczną energię chemiczną w dostarczanym do procesu spalania paliwie z małym nadmiarem powietrza, by stworzyć warunki ograniczające powstawanie tlenków azotu.

W drugiej strefie, nazywanej strefą reburningu, podaje się tzw. paliwo reburingowe (najpowszechniej gaz ziemny) z niedomiarem powietrza, co skutkuje powstaniem strefy silnie redukcyjnej, w której następuje rozpad tlenków azotu powstałych w pierwszej strefie.

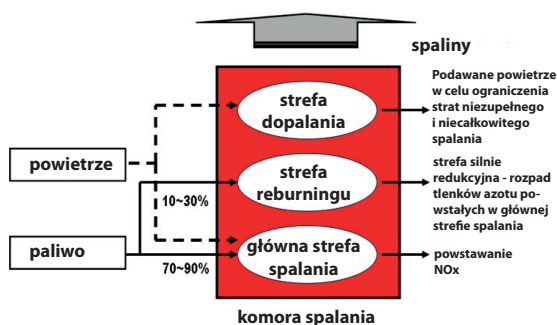
Dla konkretnych przypadków paliwo reburingowe może być podawane razem z recykulowanymi spalinami dla poprawy rozkładu przepływu w komorze spalania.

W trzeciej strefie, nazywanej strefą dopalania, podaje się porcje powietrza (tzw. overfire air lub completion air) w celu ogra-





niczenia strat niepełnego (w spalinach CO) i niecałkowitego (w popiele C) spalania. Sposób rozdziału powietrza w trzeciej strefie jest (obok ustalenia proporcji pomiędzy strumieniami paliw: podstawowego, reburningowego, powietrza dopalającego) bardzo istotnym czynnikiem, od którego zależy wynik procesu. Na rys.2 przedstawiono schematycznie istotę procesu reburningu.



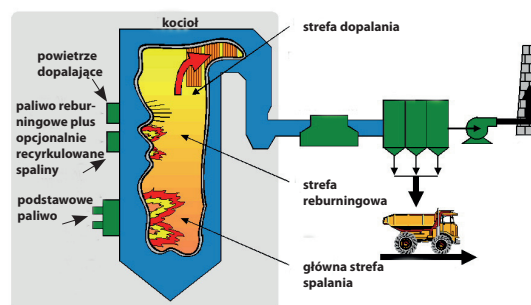
Rys. 2 Schemat procesu reburningu  
Źródło rysunku:procom.kaist.ac.kr

Idea procesu, poparta badaniami eksperymentalnymi, została przedstawiona przez zespół Wendt, Sterling, Matovich z Shell Development Company [8]. Wskazano, że podanie ponad zasadniczą strefą spalania dodatkowego paliwa (tzw. paliwo reburningowe) tak by w tej strefie był niedobór powietrza do spalania, skutkuje powstaniem strefy silnie redukcyjnej, w której następuje rozpad powstałych już tlenków azotu (jak również redukcja SO<sub>3</sub> do SO<sub>2</sub>). Warto to wykorzystać w praktyce w urządzeniach energetycznych, dla których paliwem jest węgiel bądź olej. Wspomniany rozkład tlenków azotu do azotu molekularnego N<sub>2</sub> jest wynikiem kilkietapowych reakcji tlenków azotu z wysokoreaktywnymi rodnikami węglowodorowymi. Źródłem rodników jest termiczny rozpad składników paliwa reburningowego. Jako paliwo reburningowe pierwotnie i nadal najbardziej powszechnie stosuje się gaz ziemny. W praktyce wykorzystuje się również szeroką gamę innych paliw w tym olej opałowy, emulsje węglowe, gaz ze zgazowania biomasy. Wadą paliw olejowych i węglowych jako paliwa reburningowego jest zawartość w nim związanego azotu, który podczas procesu spalania utlenia się do tlenków azotu. W ostatnich kilkunastu latach liczne symulacje komputerowe, badania w skali laboratoryjnej lub pilotażowej wskazują na możliwość wykorzystania jako paliwa reburningowego

lub dodatku do niego przeróżnych innych substancji w rodzaju produktów zgazowania lub innego przerobu odpadów. Przykładowo Werle[9] wskazuje na możliwość użycia jako paliwa reburningowego w różnego typu kotłach węglowych gazu generowanego ze zgazowania osadów ściekowych.

### Wdrożenie reburningu w energetyce – myśl japońska

Reburning jest stosowany z powodzeniem (kilkudziesięcioprocentowy stopień redukcji emisji tlenków azotu) od ponad trzydziestu lat dla energetycznych węglowych kotłów pyłowych. Technologię reburningu do praktyki przemysłowej wdrożyła w latach 80. XX wieku firma Mitsubishi. Opracowane rozwiązanie nazwano MACT (Mitsubishi Advanced Combustion Technology). Technologię reburningu w późniejszych latach wdrożono w innych państwach (przede wszystkim w Stanach Zjednoczonych). Na rysunku 3 zoobrazowano rozwiązanie dla kotłów energetycznych.

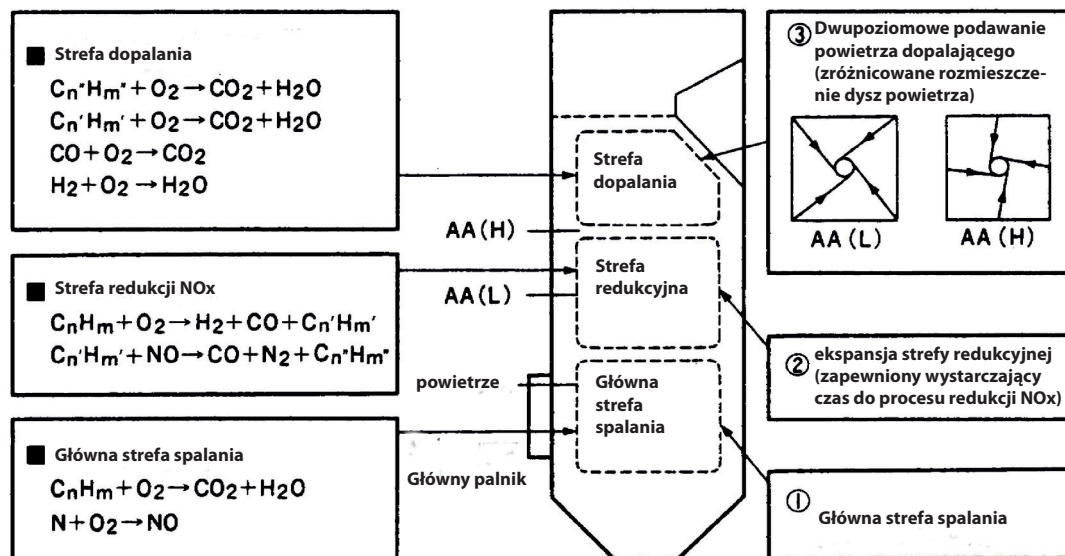


Rys. 3. Technologia reburningu zastosowana dla kotłów energetycznych  
Źródło www.netl.doe.gov

Uzyskane [10] rezultaty w przemysłowym zastosowaniu metody MACT to ~50% redukcja emisji tlenków azotu. Metoda efektywna dla obciążeń kotła w przedziale od ~30% do pełnego.

Efektem kontynuacji przez firmę Mitsubishi poszukiwania sposobów ograniczenia emisji tlenków azotu z kotłów energetycznych było opracowanie (koniec lat 90. XX wieku) kolejnej technologii redukcji tlenków azotu nazwanej A-MACT (Advanced-Mitsubishi Advanced Combustion Technology). Zasadę technologii A-MACT przedstawia rysunek nr 4.





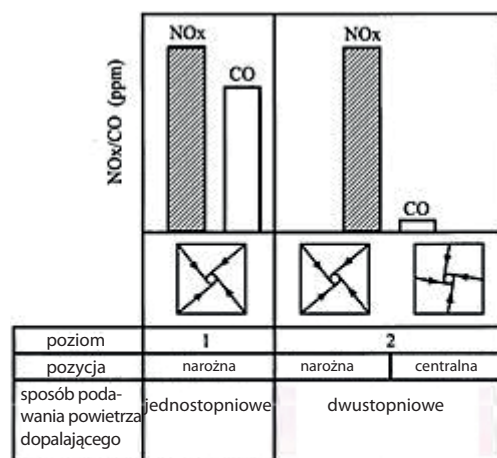
Rys.4. Schemat technologii A-MACT [11]  
 Źródło Źródło Shozo Kaneko, Takao Hashimoto, Tohushi Maruta, Susumu Sato, Norichika Kai. 1000 MW coal fired supercritical variable pressure operation boiler with vertical furnace waterwall, Technical Review, Vol.33, No 3, Mitsubishi Heavy Industries,1996

Tlenki azotu powstają w pierwszej strefie. Dzięki stosowaniu w pierwszej strefie zespołu palników niskoemisyjnych o specjalnej konstrukcji, ukierunkowanej na utworzenie stref bogatej i ubogiej mieszanki paliwowo-powietrznej, zostają stworzone warunki do powstania w komorze spalania strefy redukcyjnej, w której następuje rozpad tlenków azotu.

W trzeciej strefie następuje utlenienie pozostałych niespalonych składników paliwa.

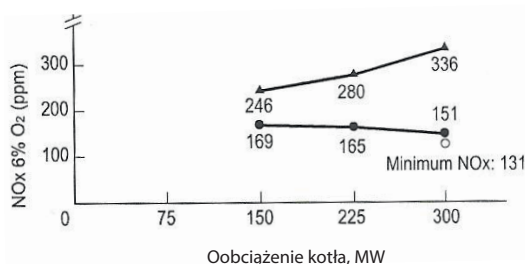
Dla uzyskania warunków do zminimalizowania ilości CO w spalinach wprowadzono podawanie powietrza dopalającego na dwóch poziomach – na niższym z rogów komory paleńskowej, na wyższym z centralnej części ścian. Skalę spadku CO w spalinach w porównaniu z jednostopniowym podawaniem powietrza przedstawia rysunek 5.

Metoda A-MACT (Advanced-Mitsubishi Advanced Combustion Technology) wykracza poza definicję reburningu. Została ona przedstawiona z uwagi na jej zaletę (w szczególności przy zastosowaniu kompaktowych niskoemisyjnych palników) jaką jest łatwość, z uwagi na ograniczone w porównaniu do technologii reburningowej wymagania przestrzenne, zaimplementowania jej do istnie-



Rys. 5. Skala spadku CO w spalinach w porównaniu z jednostopniowym podawaniem powietrza [12]  
 Źródło A-MACT stands for Advanced - Mitsubishi Advanced Combustion Technology  
[www.mhi.co.jp/en/products/detail/a-mact-system.html](http://www.mhi.co.jp/en/products/detail/a-mact-system.html)

jących, eksploatowanych kotłów. Przykład modernizacji ~ 30 letnich kotłów – węglowe 300MW, oejwowe 375MW, gazowy 500MW przedstawia [13]. Na rysunku nr 6 pokazano wyniki dla kotła węglowego.



Rys.6. Przykładowe wyniki zastosowania technologii A-MACT [13]  
 Źródło: Susumu Sato, Yoshinori Kobayshi, Takao Hashimoto, Masahiko Hakano, Toshimitsu Ichinose. Retrofitting of Mitsubishi Low Nox System, Technical Review, Vol 38 No 3, p 111-115 , Mitsubishi Heavy Industries, 2001

Literatura:  
 1. International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria, Oxides of Nitrogen, World Health Organization, Geneva, 1997  
<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc004.htm> (dostęp 14.06.2013)  
 2. Europejska Agencja Środowiska, Nitrogen oxides (NOx) emissions (APE 002) - Assessment published Dec 2012, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/eea-32-nitrogen-oxides-nox-emissions-1/assessment.2010-08-19.0140149032-2>, (dostęp 19.03.2013)  
 3. U.S. Energy Information Administration, Power plant emissions of sulphur dioxide and nitrogen oxides continue to decline in 2012, February 2013  
[www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=10151#](http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=10151#), (dostęp 19.03.2013)  
 4. Zeldowicz J., The oxidation of nitrogen in combustion and explosions, Acta Physicochemica USSR, Vol 21, 1946, 577-628,  
 5. Fenimore C.P., Formation on Nitric Oxide in Premixed Hydrocarbon Flames, 13th Symposium International on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh 1971  
 6. Kuroepka J., Możliwości ograniczenia emisji tlenków azotu z procesów spalania paliw, Ochrona Środowiska 1(45), 1992, str.9-12  
 7. Gawlik L., Węgiel kamienny energetyczny. Perspektywy rozwoju w świetle priorytetów środowiskowych, Polski Komitet Światowej Rady Energetycznej, Kraków, maj 2011.  
 8. Wend J.O.L., Sterling C.V., Matovich A. Reduction of sulphur trioxide and nitrogen oxides by secondary fuel injection. Fourteenth Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, PA p897, 1973  
 9. Werle S., Określenie potencjału reburningowego gazu generatorowego ze zgasowania osadów ściekowych, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, Vol.12, nr 3, p 9-18, 2010  
 10. Fujima, Yukihisa, Takahashi, Yasuro, Kunimoto, Takeshi, Kaneko, Shozo (Mitsubishi Heavy Industries Ltd, Fukahori, Nagasaki, Japonia). Field of application on MACT (Mitsubishi Advanced Combustion Technology), 1991, [www.etde.org/etdeweb/details\\_open.jsp?osti\\_id=5668195](http://www.etde.org/etdeweb/details_open.jsp?osti_id=5668195), abstract, (dostęp 15.02.2013)  
 11. Shozo Kaneko, Takao Hashimoto, Tohushi Maruta, Susumu Sato, Norichika Kai., 1000 MW coal fired supercritical variable pressure operation boiler with vertical furnace waterwall, Technical Review, Vol.33, No 3, 1996.  
 12. A-MACT stands for Advanced-Mitsubishi Advanced Combustion Technology, Mitsubishi Heavy Industries Ltd., [www.mhi.co.jp/en/products/detail/a-mact\\_system.html](http://www.mhi.co.jp/en/products/detail/a-mact_system.html) (dostęp 10.02.2013)  
 13. Susumu Sato, Yoshinori Kobayashi, Takao Hashimoto, Masahiko Hakano, Toshimitsu Ichinose. Retrofitting of Mitsubishi Low NOx System, Technical Review

Vol.38 No.3 p 111-115, Mitsubishi Heavy Industries Ltd.,2001  
 14. Control of NOx emissions by reburning, Summary Report EPA/625/R-96/001, Environmental Protection Agency, 1996  
<http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r96001.html> (dostęp 20.03.2013)  
 15. Woods M., Ruppel T., Mann a., Sarkus T., Cuttrigh R., Noceti P., Wendt. J  
 Reburn Revival ?, Power Engineering, 2004  
[www.power-eng.com/articles/print/volume-108/issue-11/features/reburn-revival.html](http://www.power-eng.com/articles/print/volume-108/issue-11/features/reburn-revival.html) (dostęp 01.05.2013)  
 16. Srivastava R.K., Hall R.E., Sikander K., Culligan K., Lani B.W. Nitrogen oxides emission control options for coal-fired electric utility boilers, Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 55 p1367-1388, 2005  
 17. Moyeda D.K., Pont.J., Koppang R., Donaldson L. Application of gas reburning technology to glass furnaces for NOx emissions control, Energy and Environmental Reserch Corporation, Gas Reserch Institute, 1994  
<http://content.lib.utah.edu/cdm/ref/collection/AFRC/id/10024> (dostęp 30.05.2013)  
 18. Kowarska B., Baron J., Kandefer S., Zukowski W. Oczyszczanie zużytego sorbentu bentonitowego w procesie spalania, Środowisko, Czasopismo Techniczne 1-5/2012, Z4  
 Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 2012

## Technologia reburningu – doświadczenia Stanów Zjednoczonych

Obok Japonii technologię reburningu w ramach programu ograniczania emisji tlenków azotu z kotłów energetycznych w latach dziewięćdziesiątych XX wieku wdrożono w Stanach Zjednoczonych. W okresie tym przy wydatnym wsparciu środkami U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Electric Power Research Institute, Gas Research Institute, U.S. Department of Energy (DOE) powstało kilkanaście pilotowych instalacji dla kotłów z przedziału 40 ÷ 600 MW (większość z przedziału ~ 100 ÷ 200 MW) oraz rozpoczęto przemysłowe użytkowanie instalacji reburningowych. Potwierdzono skuteczność rozwiązań [14] dla różnych kotłów. Podkreślono zalety gazu ziemnego jako paliwa reburningowego.

Pomimo obiecujących pierwszych rezultatów technologia reburingu nie upowszechniła się w szerszym stopniu a również zrezygnowano z eksploatacji części uruchomionych już instalacji [15]. Najważniejsze czynniki mające na to wpływ to zaostżanie standardów emisji, wysoka cena gazu ziemnego, bardzo duża wrażliwość na zmianę parametrów procesu oraz konfigurację kotła. Szanse na renesans technologii reburingu widzi się [15] w:

- połączeniu w technologii reburingu redukcji tlenków azotu z usuwaniem rtęci,
- stosowaniem jako paliwa reburningowego (w miejsce gazu ziemnego) gazu będącego produktem zgazowania biomasy.

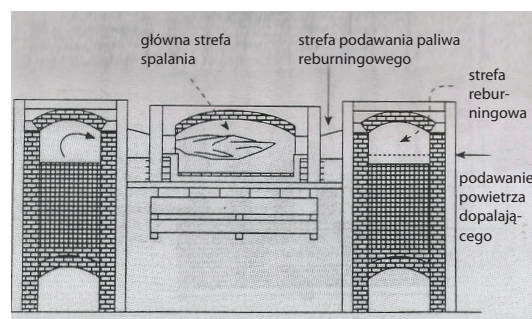
Analizę skuteczności kilkunastu technologii oraz możliwości zastosowania ich w redukcji emisji tlenków azotu z węglowych kotłów energetycznych przedstawia [16]. Wśród nich opisano następujące zmodyfikowane technologie reburningu:

AGR (Advanced Gas Reburning) – dawkowanie w odpowiednich (ze względu na temperaturę warunkującą dostatecznie szybki przebieg reakcji) strefach (w strefie reburningu lub strefie powietrza dopalającego), związków chemicznych (typowymi są  $(NH_2)_2CO$  lub  $NH_3$ ), zwiększających stopień redukcji tlenków azotu. W instalacji demonstracyjnej dla kotła 104 MW osiągnięto 68 – 76% redukcję tlenków azotu.

FLGR (Fuel-Lean Gas Reburning (controlled gas injection)) – precyzyjne (ważne miejsce i temperatura w tym obszarze) wprowadzenie strumienia gazu do strefy spalania, w ilości około 10% w stosunku do ogólnej ilości energii chemicznej paliwa, tj. około połowy w porównaniu z klasycznym reburningiem. W przypadku tego rozwiązania nie jest wymagana strefa dopalania. W instalacjach demonstracyjnych osiągnięto 33 – 45% redukcji tlenków azotu.

## Adaptacja technologii reburningu do zastosowań innych niż kotły energetyczne

Technologia reburingu, przede wszystkim ze względu na skalę emisji zanieczyszczeń, pierwotnie była rozwijana dla kotłów energetycznych, w szczególności węglowych. Z uwagi na coraz większą koncentrację na zanieczyszczeniach powietrza z innych źródeł emisji, czynione są próby zaadaptowania technologii reburingu w innych obszarach. Obszarami tymi są przemysłowe procesy wysokotemperaturowe oraz termiczne procesy utylizacji odpadów, zawierających w swym składzie związany azot, który podczas spalania tworzy tlenki azotu. Przykładowo w [17] przedstawiono możliwość zastosowania technologii reburingu w ograniczeniu emisji tlenków azotu z pieców szklarskich. Na rysunku 7 [17] przedstawiono ideę rozwiązania.



Rys.7. Idea zastosowania technologii reburningu w piecach szklarskich [17]

Źródło Moyeda D.K., Pont.J., Koppang R., Donaldson L. Application of gas reburning technology to glass furnaces for NOx control

W [18] przedstawiono wyniki badań termicznej regeneracji sorbentu bentonitowego (odpad z przemysłu tłuszczowego (w Polsce powstaje około 40 tys. ton rocznie)), w którym do obniżenia emisji NOx wykorzystano metodę reburningu.

**Wnioski**

1. Analiza utrzymującego się trendu spadkowego poziomu zanieczyszczeń tlenkami azotu wskazuje na istnienie technicznych rozwiązań ograniczających emisję zanieczyszczeń oraz stymulującą rolę przepisów prawnych w tym zakresie.
2. Dla energetycznych kotłów – w szczególności węglowych – jedną z efektywnych metod (stosowaną od lat 80.XXw.) jest technologia reburningu. Pozwala ona na redukcję emisji

tlenków azotu w granicy 50%.

3. Możliwe jest zwiększenie skuteczności metody. Przykładem może być modyfikacja technologii określana AGR (Advanced Gas Reburning).
4. Możliwe jest zaadaptowanie technologii reburingu do innych procesów wysokotemperaturowych.
5. Dodatkową zaletą technologii reburningu jest możliwość połączenia, w ramach tego procesu, redukcji emisji tlenków azotu i rtęci.

**20 lat doświadczenia w fotografii przemysłowej**



zapraszamy do współpracy  
fotografia artystyczna i reklamowa

**Piotr Komander**

tel. +48 601 438 404

[www.komander.com.pl](http://www.komander.com.pl)



**Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych**

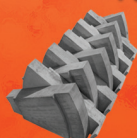
**Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach**

Zakład Doświadczalny



produkcja i sprzedaż materiałów ogniotrwałych

- betony, masy, kleje
- prefabrykaty
- ceramika techniczna
- ceramika spawalnicza
- ceramika laboratoryjna
- inne, na specjalne zamówienie



Laboratorium Badań Materiałów Ogniotrwałych

- chemia analityczna
- badania ceramiczne
- badania strukturalne, termiczne i termomechaniczne



Zakład Technologii i Stosowania Materiałów Ogniotrwałych

- badania
- ekspertyzy
- usługi naukowo-techniczne

