

Emisja NO_x w procesach spalania paliw i sposoby jej ograniczania

DEFINICJA NO_x

NO_x oznacza sumę udziałów w spalinach NO i NO₂ przeliczone na NO₂

$$\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$$

(wyrażone w NO₂)

Zwykle w spalinach 95% NO_x stanowi NO. Z czasem w atmosferze NO utlenia się do trwałego NO₂.

UDZIAŁ NO_2 W NO_x

- Podczas spalania pyłu węglowego NO_2 wnosi niewielki udział do całkowitej produkcji NO_x :

$$\frac{[\text{NO}_2]}{[\text{NO}_x]} \cdot 100\% \approx 5\%$$

- Podczas spalania w turbinach gazowych udział NO_2 może być znaczny:

$$\frac{[\text{NO}_2]}{[\text{NO}_x]} \cdot 100\% \approx 10 - 15\%$$

Jednostki, w jakich podaje się udziały NO_x w spalinach

➤ mg/m^3 (mg/nm^3)

➤ ppm

➤ g/GJ

➤ $\mu\text{g/m}^3$ (emisja)

➤ mg/kWh ?

Uwagi:

1. Udziały zanieczyszczeń w spalinach podaje się zwykle dla określonego udziału tlenu (O_2) w spalinach – dla paliw gazowych i ciekłych $3\%\text{O}_2$, dla stałych $6\%\text{O}_2$.
2. Udziały podaje się zwykle dla spalin w warunkach normalnych
3. ppm = jeden na milion ($\times 10^{-6}$) w odniesieniu do objętości

Związki między jednostkami dla NO_x

ppm:

$$\text{NO}_x [\text{ppm}] = \text{NO} [\text{ppm}] + \text{NO}_2 [\text{ppm}]$$

ppm → mg/m³

$$\text{NO} [\text{mg/m}^3] = 1,3387 \text{ NO} [\text{ppm}]$$

$$\text{NO}_x [\text{mg/m}^3] = 2,0525 \text{ NO}_x [\text{ppm}]$$

↘ NO₂

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{M}{V_h} = \frac{14 + 16}{22,4} = \frac{30}{22,4} \approx 1,3$$

$$\rho_{\text{NO}_2} = \frac{14 + 32}{22,4}$$

mg/m³ → g/GJ (NO_x)

$$1 \text{ g/GJ} = 2,7 [\text{mg/m}^3] \text{ dla węgla kamiennego}$$

$$1 \text{ g/GJ} = 2,35 [\text{mg/m}^3] \text{ dla węgla brunatnego}$$

DOMINUJĄCE MECHANIZMY POWSTAWANIA NO_x PODCZAS SPALANIA PALIW

- **Termiczny**
- **Szybki**
- **Paliwowy**

GŁÓWNE ŹRÓDŁA NO_x PODCZAS SPALANIA

1. Z AZOTU ZAWARTEGO W POWIETRZU

- termiczne
- szybkie

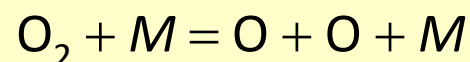
2. ZE ZWIĄZKÓW AZOTOWYCH ZAWARTYCH W PALIWIE

- Paliwowe NO_x

TERMICZNE NO_x

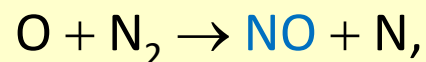
MECHANIZM ZELDOWICZA POWSTAWANIA NO_x

Powstawanie rodników O w wyniku dysocjacji tlenu (w wysokiej temp.):

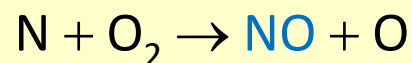


gdzie M jest stabilną cząstką dostarczająca energię do zerwania wiązania w O_2 .

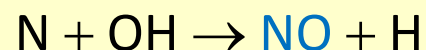
„Uwolnione” atomy O mogą reagować z N_2 w stosunkowo wolnej reakcji:



a „uwolnione” w tej reakcji atomy N szybko reagują z O_2 :



rozszerzony mechanizm o reakcję:



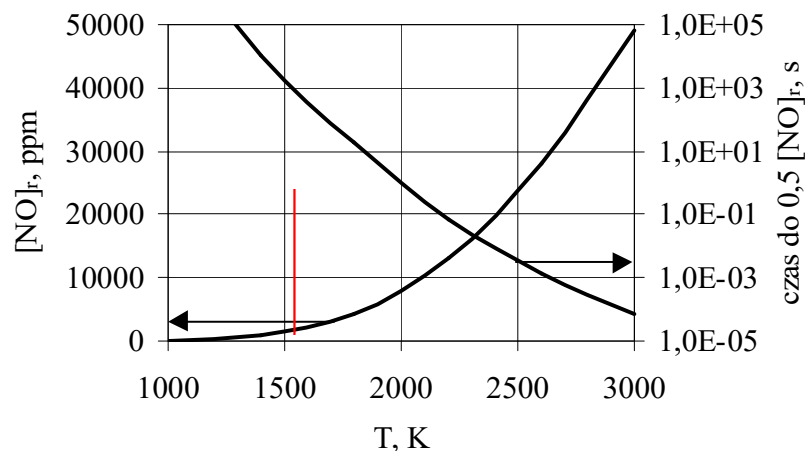
SZYBKOŚĆ POWSTAWANIA TERMICZNYCH NO_x

Szybkość powstawania NO_x

$$d[\text{NO}]/dt = k_p [\text{O}_2]^{1/2} [\text{N}_2]$$

$$d[\text{NO}]/dt = 2k_3(k_2[\text{O}_2])^{1/2} [\text{N}_2]$$

gdzie $k_p \cong 2k_3^{1/2}k_2$, zgodne z empiryczną zależnością.



gdzie:

[symbol chem.] – stężenie danego składnika w mieszaninie reakcyjnej, mol/dm³

k – stała szybkości reakcji, zależna od temperatury

$$k = k_0 \exp(-\Delta E/RT)$$

Duża energia aktywacji $E_p = 559,8$ kJ odzwierciedla silną zależność temperaturową procesu powstawania NO tym sposobem

Zależność równowagowego stężenia [NO]_r i czasu osiągnięcia 0,5[NO]_r od temperatury

Z rysunku wynika, że mechanizm Zeldowicza powstawania NO_x nabiera jakiegokolwiek znaczenia dopiero w zakresie temperatury 1600–1800 K (od około 1300-1500 °C)

SZYBKOŚĆ POWSTAWANIA TERMICZNYCH NO_x

Tworzenie termicznych NO_x w mechanizmie Zeldowicza może być opisane jako

$$[NO] = k_1 e^{-k_2/T} [N_2][O_2]^{1/2} t$$

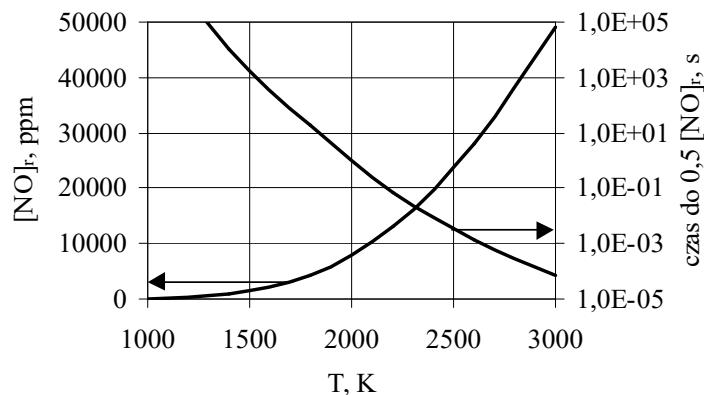
gdzie

[NO], [O₂], [N₂] – udziały molowe

k₁, k₂ – stałe

T – maksymalna temperatura płomienia

t – czas przebywania w maksymalnej temperaturze płomienia



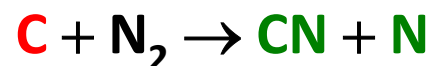
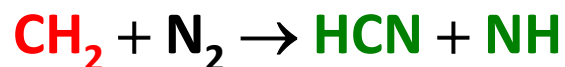
Wskazuje to, że szybkość tworzenia termicznych NO_x wzrasta wykładniczo wraz ze wzrostem temperatury płomienia.

Kluczowymi parametrami w ich tworzeniu jest temperatura, stężenie O₂ i N₂ oraz czas przebywania w wysokiej temperaturze.

SZYBKIE NO_x

REAGOWANIE RODNIKÓW WĘGLOWODOROWYCH Z N₂

Podczas spalania paliw węglowodorowych w płomieniu jest wiele rodników węglowodorowych (CH, CH₂, CH₃, C₂H₄, C₂H₅, C₃H₇, C, C₂...), które mogą reagować z azotem molekularnym (N₂).



Zapis ogólny



Rezultat: HCN, NH i CN, są łatwo utleniane do NO w płomieniu.

Mechanizm Fenimora:



PALIWOWE NO_x

Paliwowe tlenki azotu tworzą się ze związków azotowych zawartych w paliwie, które zwykle nazywa się *azotem paliwowym* i oznacza N_F .

Udział azotu paliwowego w paliwach jest bardzo zróżnicowany!!!!

Azot paliwowy może być ważnym źródłem tlenków azotu (NO_x) w ogóle.

UDZIAŁ AZOTU W PALIWACH GAZOWYCH

Gaz ziemny praktycznie nie zawiera *azotu paliwowego*.

Azot N_2 występujący w gazach (np. g.z. zaazotowanym) możemy potraktować w procesie spalania jak azot dostarczany wraz z powietrzem

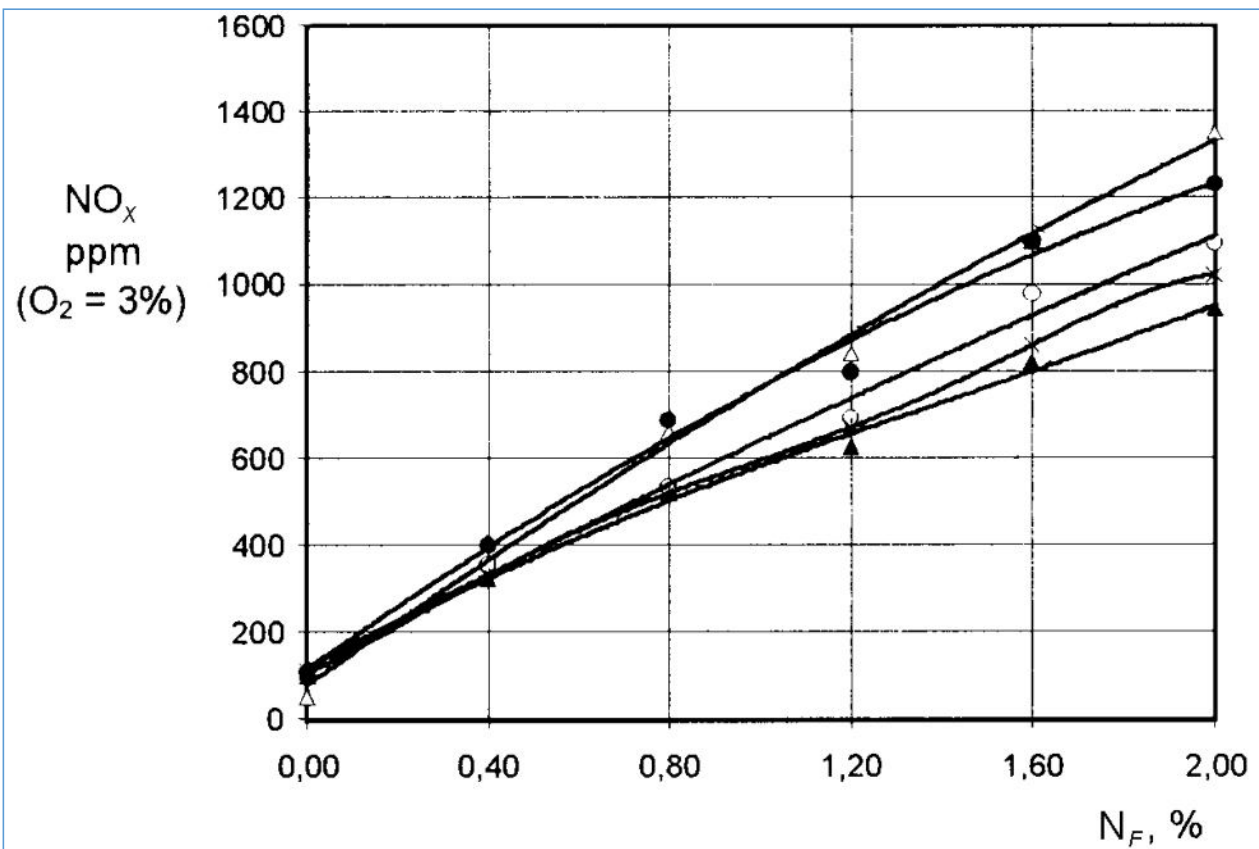
UDZIAŁ AZOTU W PALIWACH CIEKŁYCH

Ropa naftowa zawiera *azot paliwowy* od 0,01 do 0,3% wag., wyjątkowo jego udział sięga 0,9%.

Najważniejsze grupy to: pirydyny, indole, chinoliny, tetrahydrochinoliny, karbazole i pirole.

Związki azotu są względnie stabilne w podwyższonej temperaturze, dlatego w czasie destylacji ropy naftowej kumulują się w ciężkich frakcjach - na przykład w asfaltach udział N_F sięga 1,5%; w ciężkich olejach opałowych jest zawsze wyższy niż w lekkich olejach.

WPŁYW AZOTU PALIWOWEGO NA EMISJĘ NO_x



Emisja NO_x w zależności o zawartości azotu w oleju N_F dla wartości współczynnika nadmiaru powietrza $\lambda = 1,1-1,5$

UDZIAŁ AZOTU W WĘGLU

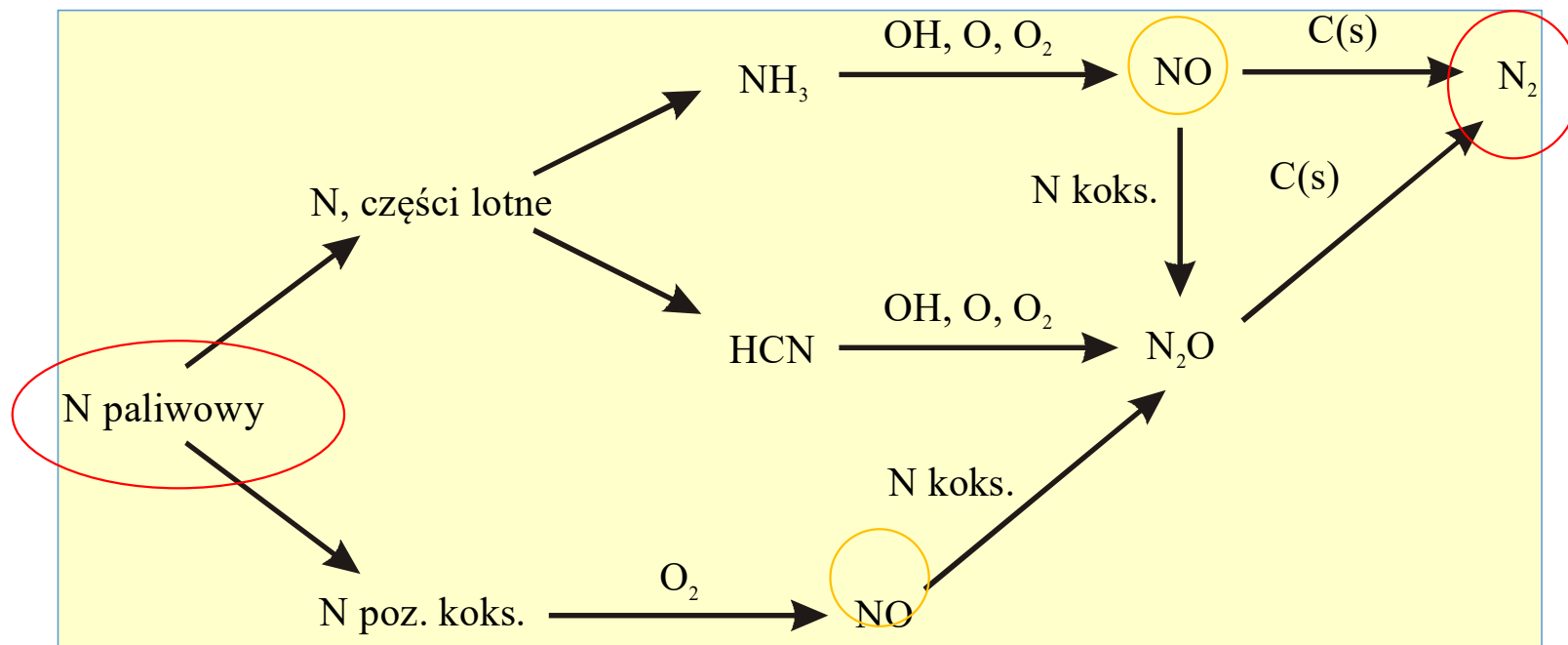
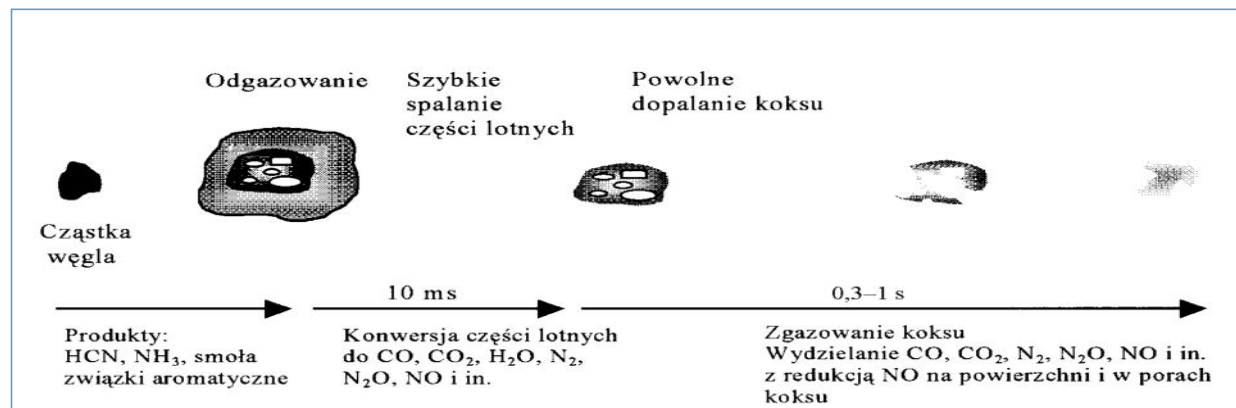
Związany w **węglu** azot pochodzi z organicznej materii węglotwórczej, a jego źródłem są wchodzące w skład roślin i bakterii białka, aminokwasy, alkaloidy i chlorofil.

Węgiel kamienny:	od 0,6 do 2,8% N (85%C)
-------------------------	-------------------------

Antracyt	< 1% N
-----------------	--------

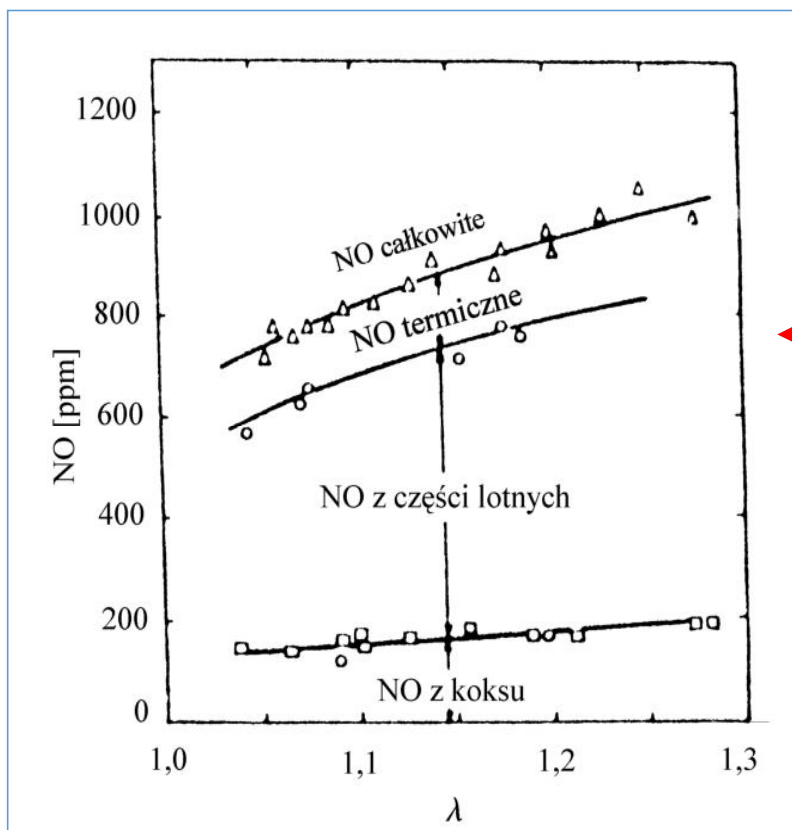
Węgiel brunatny:	od 0,6 do 2% N.
-------------------------	-----------------

MECHANIZM POWSTAWANIA NO Z AZOTU PALIWOWEGO



UDZIAŁ POSZCZEGÓLNYCH RODZAJÓW NO_x W PŁOMIENIU PYŁOWYM

Dominujący udział mają *paliwowe* NO_x



Dla węgla kamiennego ($T_{\text{pt}} = 1650 \text{ }^\circ\text{C}$)

Dla węgla brunatnego ($T_{\text{pt}} = 1250 \text{ }^\circ\text{C}$)
ok. 95% NO_x to paliwowe NO_x

NAJWAŻNIEJSZE CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA EMISJĘ NO_x

- udział N_F w paliwie
- temperatura spalania
- nadmiar powietrza
- czas przebywania w płomieniu

Wszystko to wykorzystujemy w niskoemisyjnych systemach spalania

Powstawanie NO_x podczas spalania różnych paliw

- Powstawanie termicznych NO_x przyspiesza gwałtownie przy temperaturach przekraczających 1500°C.
- NO_x termiczne są głównym źródłem NO_x podczas spalania w instalacjach gazu ziemnego i rafineryjnego (P/B).
- Spalanie gazu rafineryjnego prowadzi do większego powstawania NO_x z uwagi na wyższe temperatury (wysoka zawartość wyższych węglowodorów).
- Spalanie w palnikach olejowych powoduje wyższe emisje NO_x termicznych głównie z powodu wyższych temperatur płomienia.
- Powstawanie paliwowych NO_x jest niższe podczas spalania paliw gazowych (z powodu braku azotu paliwowego) niż paliw ciekłych cechujących się większą zawartością związanego azotu paliwowego.

PŁOMIENIE OLEJOWE

Decyduje udział *azotu paliwowego*

Ciężki olej opałowy ma dużą zawartość $N_F > 0,5\%$ dlatego emisja NO_x z palników olejowych zasilanych olejem nr 2, 3 jest w zakresie: **300-700 mg/m³** (**dominują paliwowe NO_x**).

Lekki olej opałowy ma zawartość $N_F < 0,05\%$ dlatego emisja NO_x z palników olejowych zasilanych takim olejem jest w zakresie: **180-220 mg/m³** (**dominują termiczne NO_x**).

PŁOMIENIE GAZOWE

W gazie ziemnym nie ma *azotu paliwowego*.

Palniki przemysłowe:

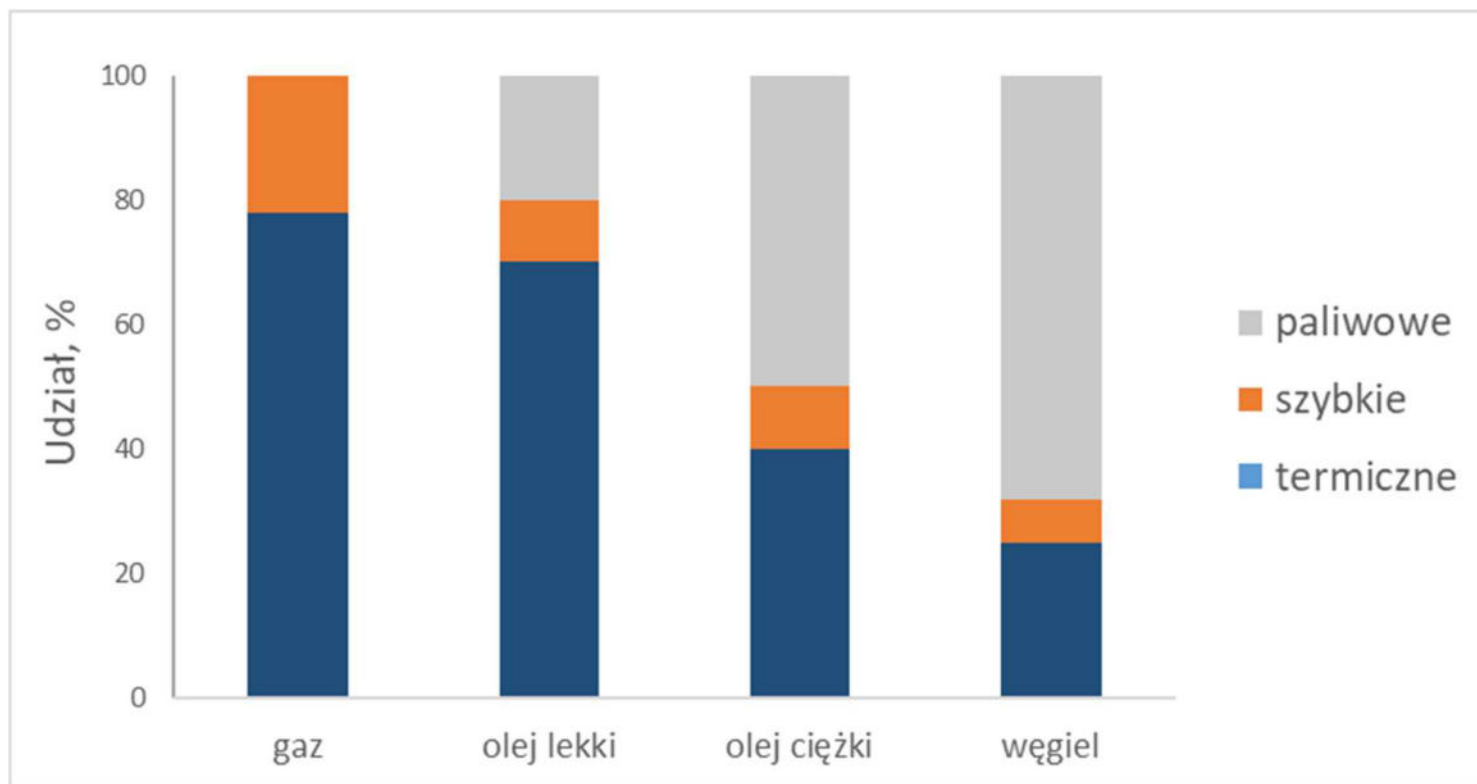
Dominujący mechanizm: termiczny

Palniki małej mocy (kuchenki gazowe):

Dominujący mechanizm: termiczny + szybki (20%)

Powstawanie NO_x podczas spalania różnych paliw

Przybliżone udziały poszczególnych NO_x w emisji całkowitej



Podział ogólny metod ograniczania emisji NO_x

I. Metody pierwotne

II. Metody wtórne

Dostępne techniki kontroli emisji NO_x

W instalacjach przemysłowych dostępne są obecnie następujące techniki obniżania emisji NO_x:

- stopniowanie powietrza / paliwa
- palniki niskoemisyjne (LNB's – low-NO_x burners)
- palniki ultraniskoemisyjne (ULNB's)
- recyrkulacja spalin (FGR)
- selektywna katalityczna redukcja (SCR)
- selektywna niekatalityczna redukcja (SNCR)

Metody pierwotne ograniczania emisji NO_x

Metody pierwotne ograniczania emisji NO_x

- polegają na takiej modyfikacji procesu spalania, żeby zmniejszyć emisję NO_x

Czynniki stosowne w tym celu:

- obniżanie temperatury,
- ograniczanie nadmiaru powietrza,
- recyrkulacja spalin,
- stopniowanie powietrza.
- stopniowanie paliwa.

Metody wtórne ograniczania emisji NO_x

Metody wtórne ograniczania emisji NO_x

- polegają na działaniu na spaliny (za kotłem, za silnikiem, ...) takimi czynnikami, które powodują przekształcenie NO_x w inne związki np. N₂ (najczęściej bazujących na NH₃)

Czynniki stosowane w tym celu:

- katalizatory,
- reduktory niekatalityczne (np. NH₃),
- adsorbery.

Metody pierwotne - idea

Metody pierwotne ograniczania emisji NO_x

- tak prowadzić proces spalania, żeby ograniczyć do minimum emisję NO_x
- stąd nazwa: niskoemisyjne techniki spalania
- stąd w ofertach firm: niskoemisyjne palniki

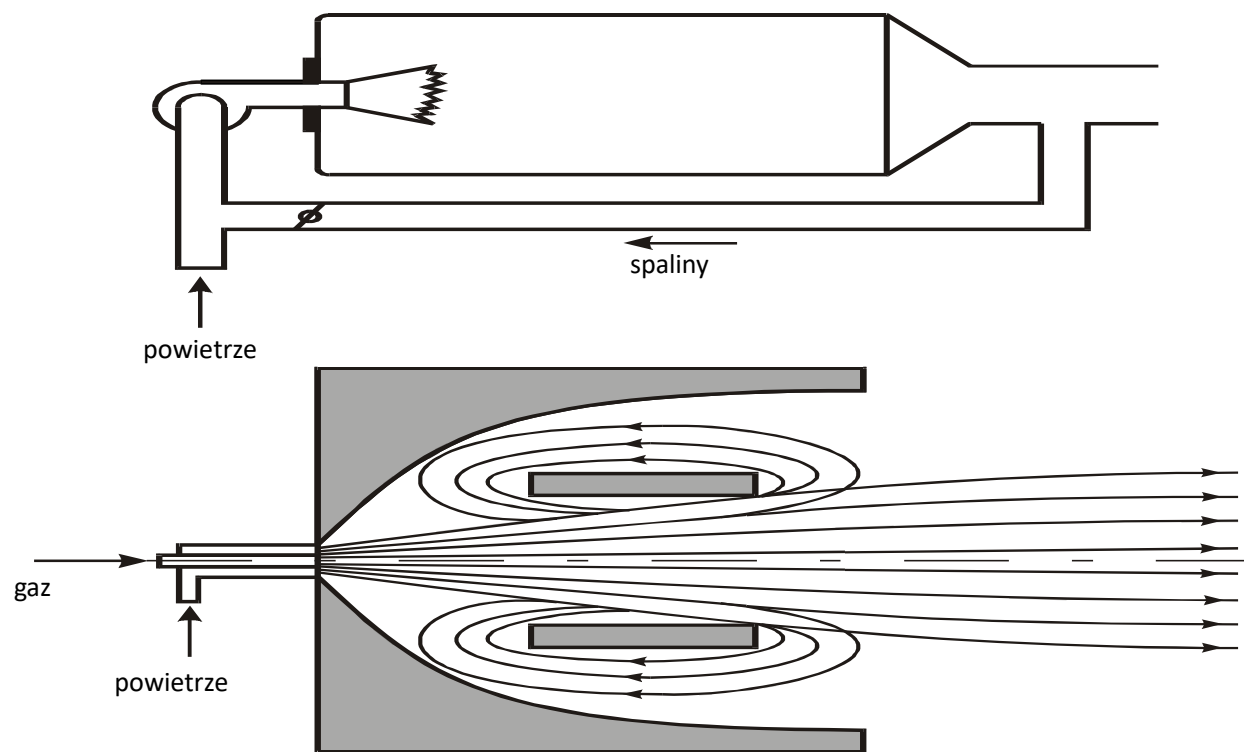
METODY PIERWOTNE OGRANICZANIA EMISJI NO_x

- obniżanie temperatury spalania
- stopniowanie powietrza
- stopniowanie paliwa

OBNIŻANIE TEMPERATURY PŁOMIENIA

1. Recyrkulacja spalin
2. Dodatek wody lub pary do płomienia lub paliwa
3. Spalanie ubogiej/bogatej mieszanki
4. Straty ciepła od płomienia:
 - a) poprawa jego zdolności radiacyjnych,
 - b) umieszczenie w płomieniu powierzchni grzewczych.

Recyrkulacja spalin

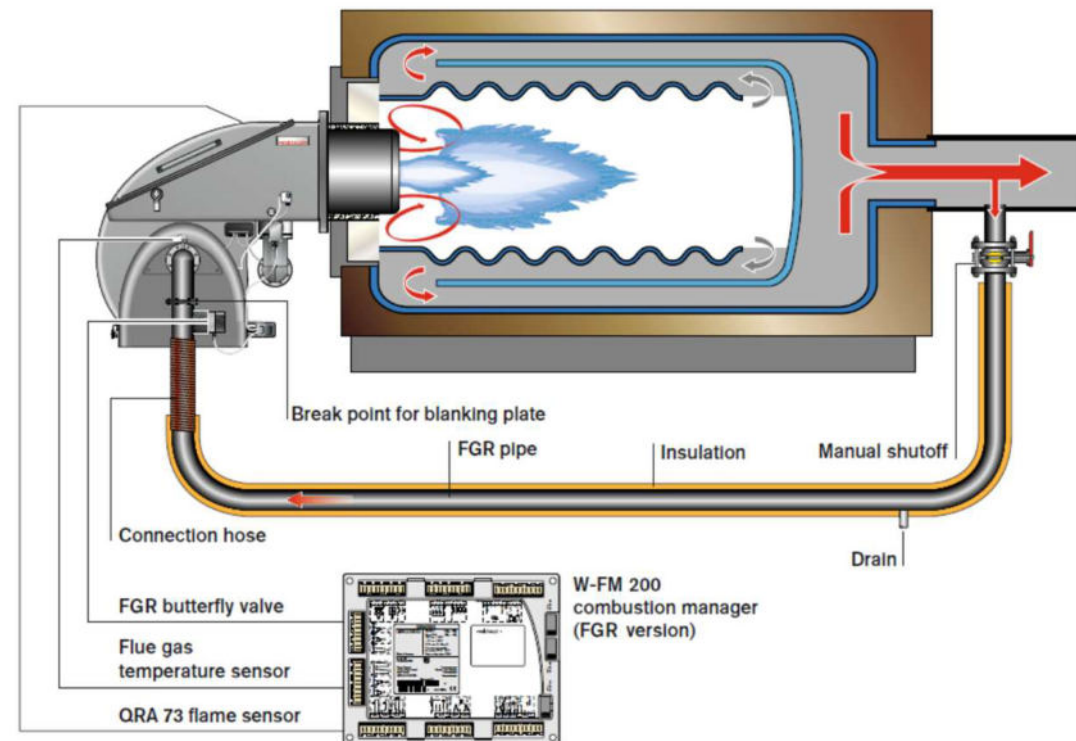
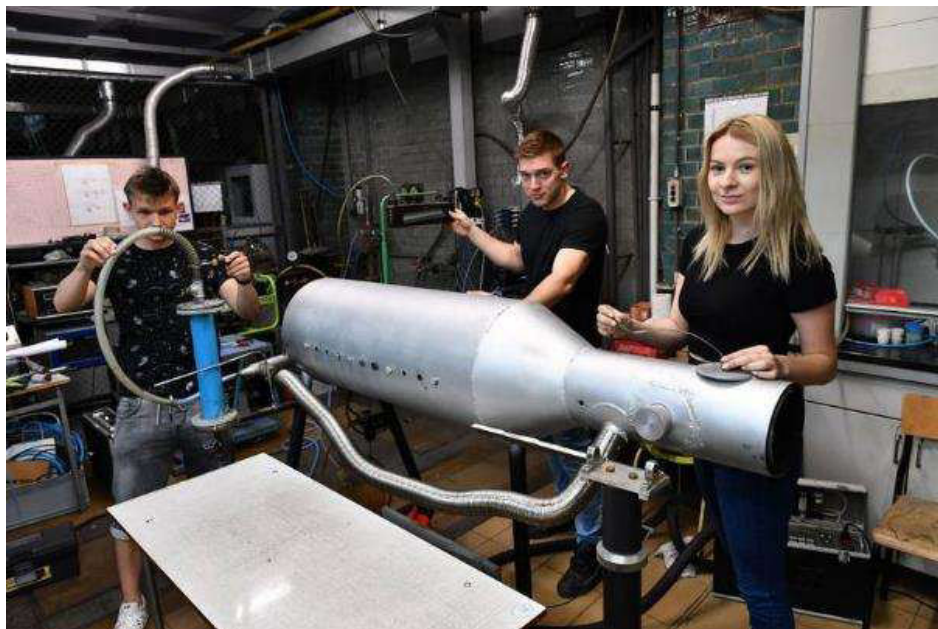


Recyrkulacja spalin stosowana jest w obrębie paleniska lub samego płomienia (tzw. recyrkulacja wewnętrzna)

Recyrkulacja spalin

Przykład recyrkulacji zewnętrznej:

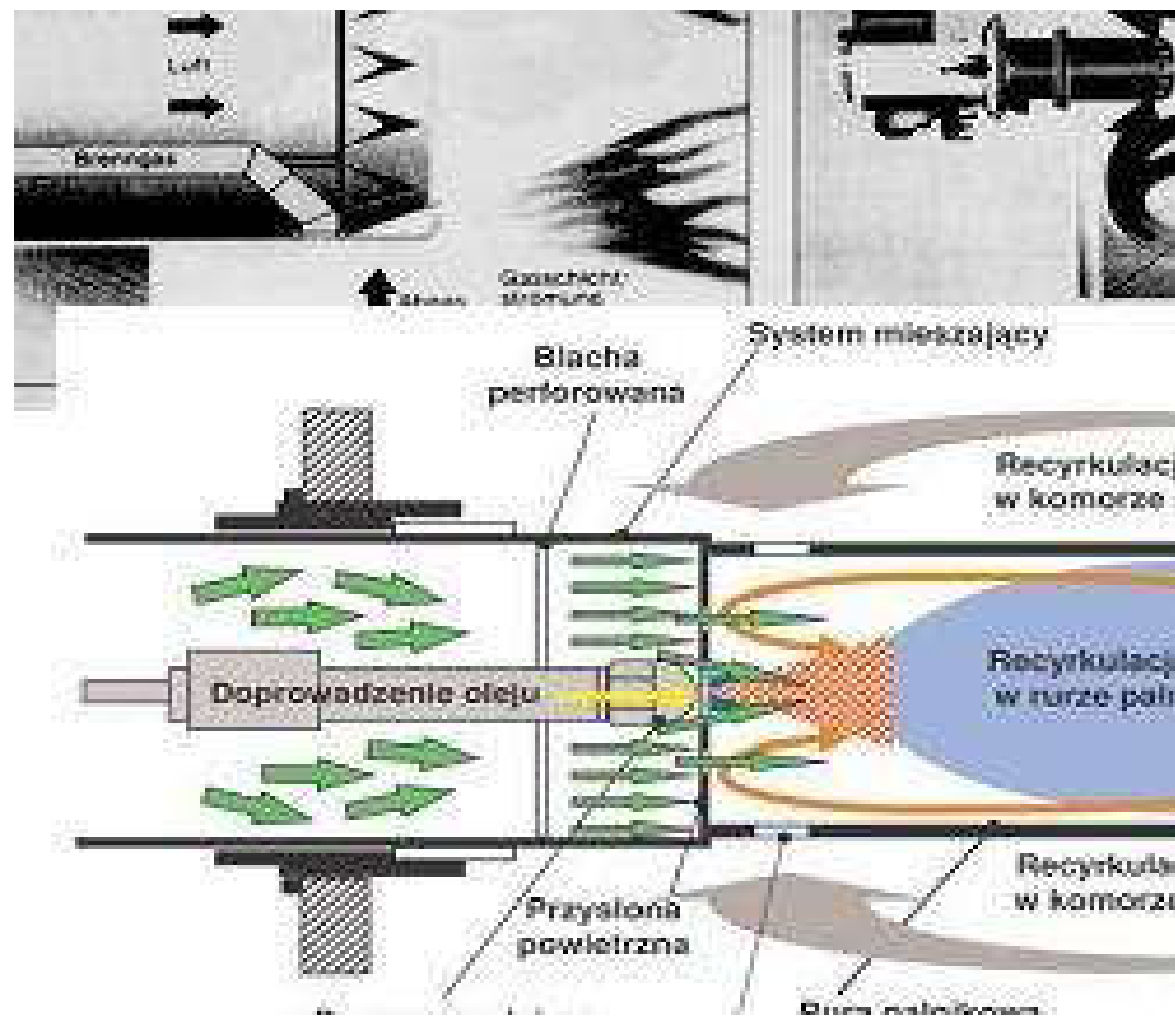
- obniżenie stężenia tlenu w strumieniu utleniacza
- obniżenie temperatury płomienia



Recyrkulacja spalin

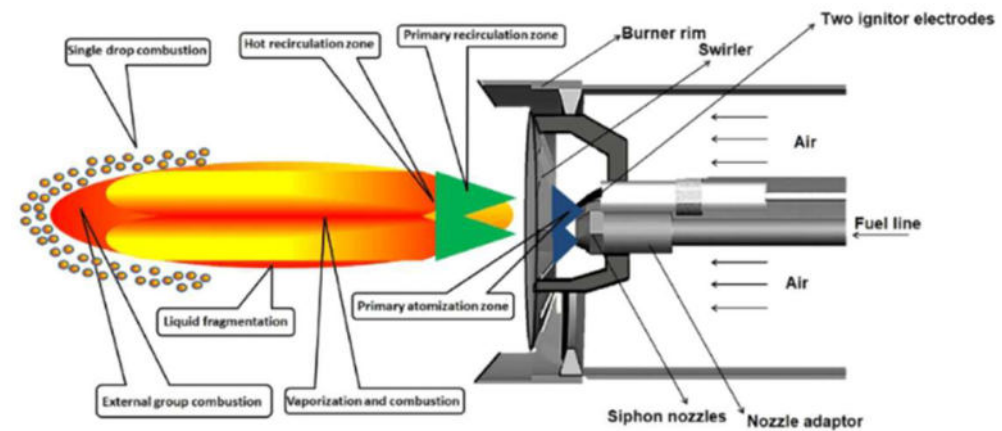
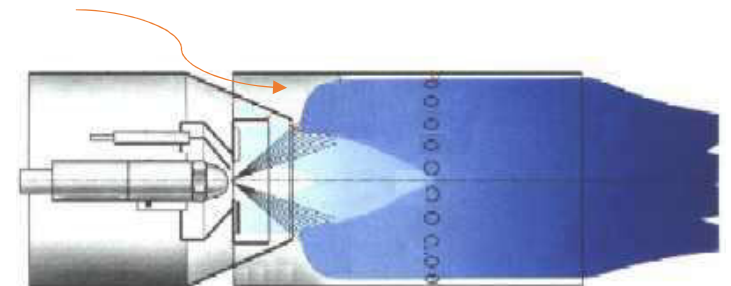
Przykład recyrkulacji zewnętrznej:

- obniżenie stężenia tlenu w strumieniu utleniacza
- obniżenie temperatury płomienia



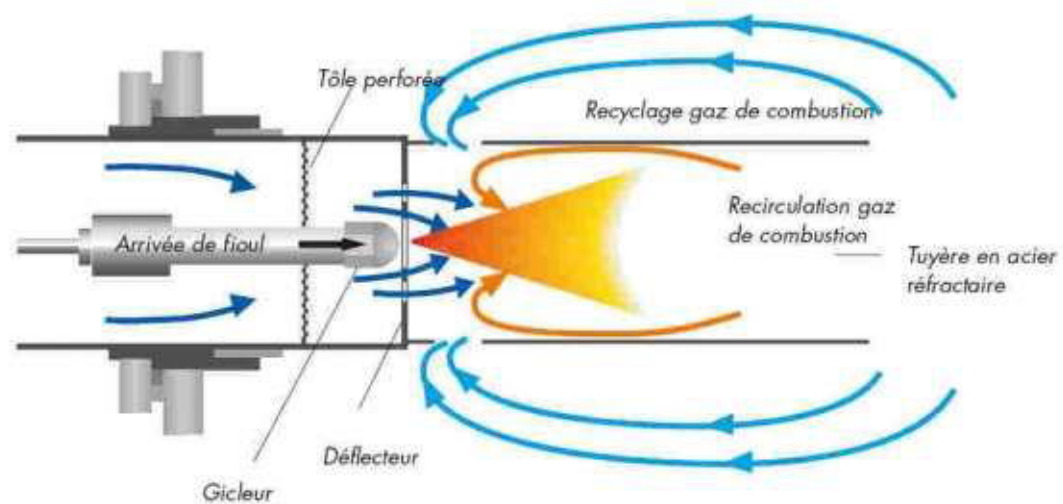
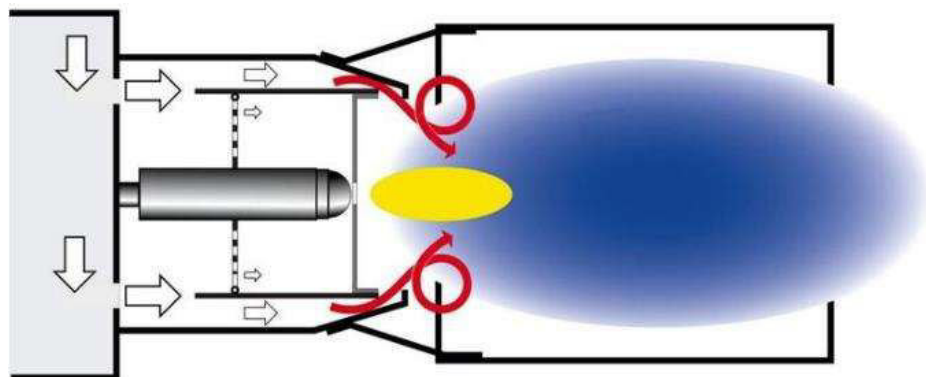
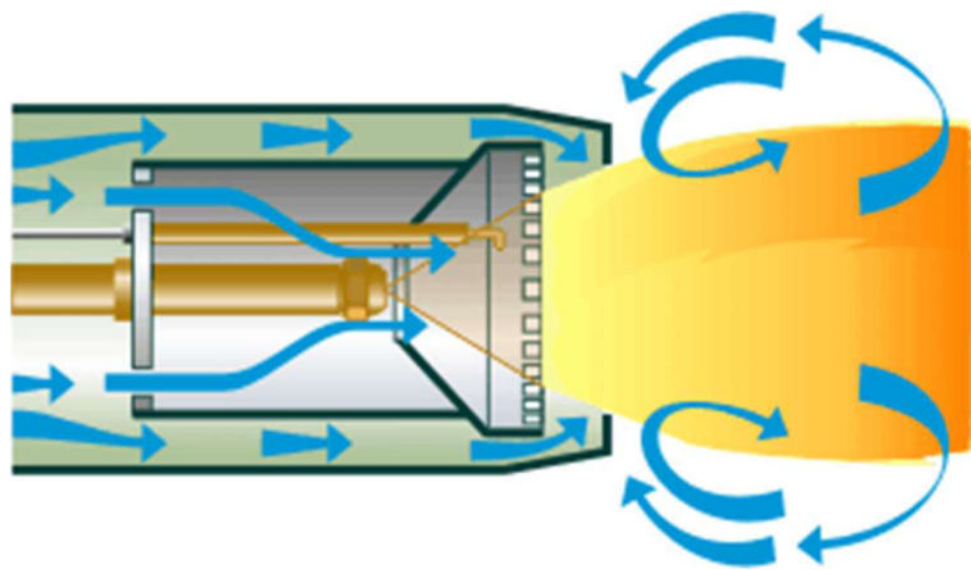
Recyrkulacja spalin

Przykład recyrkulacji spalin do płomienia



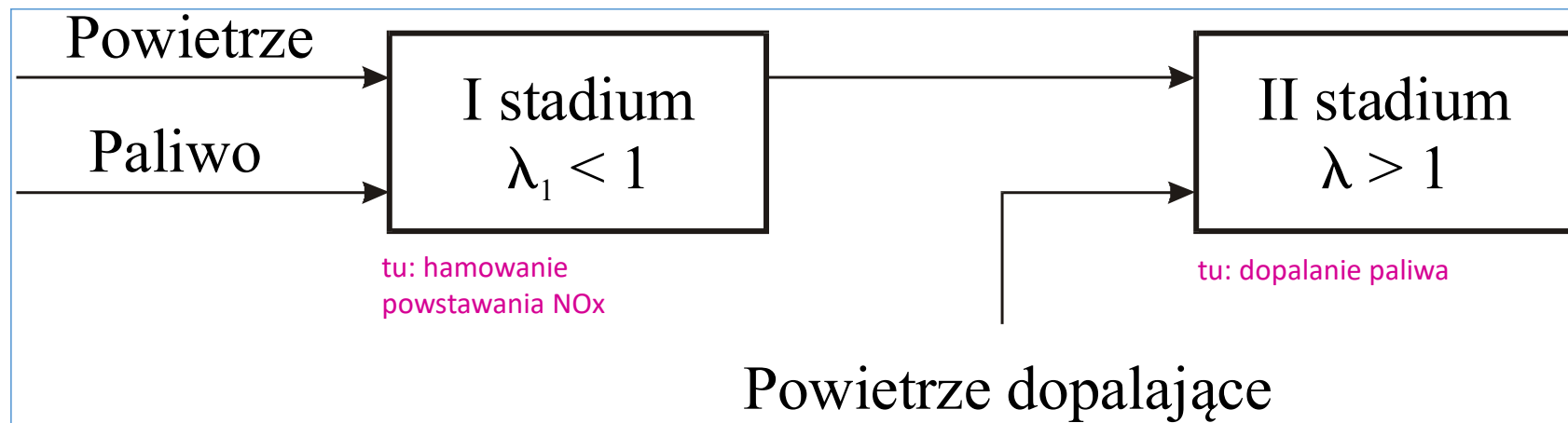
Flame zones of reaction

Recyrkulacja spalin



STOPNIOWANIE POWIETRZA

1. Zmniejszenie udziału tlenu w pierwszym etapie spalania
2. Doprowadzenie utleniacza do strefy dopalania

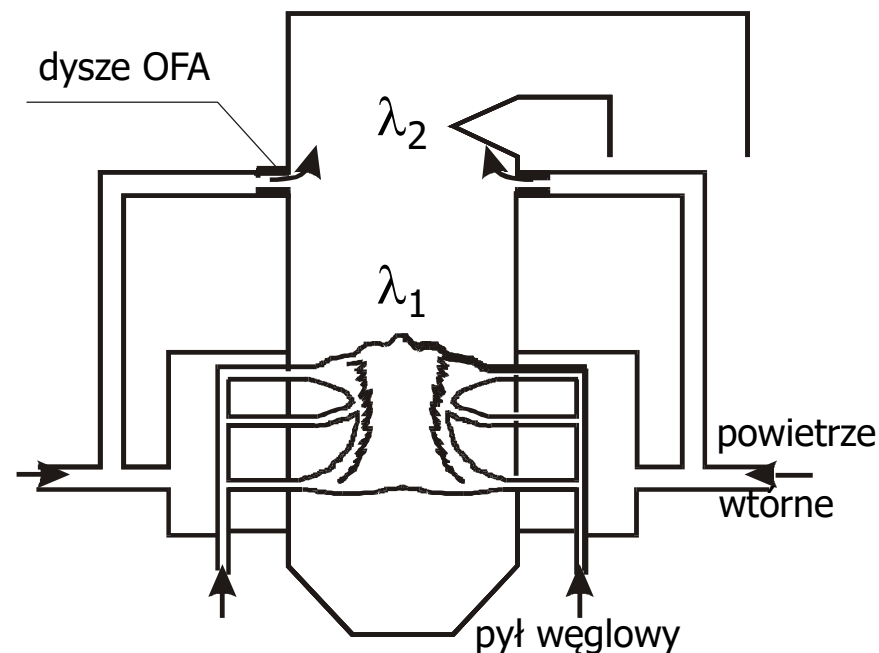
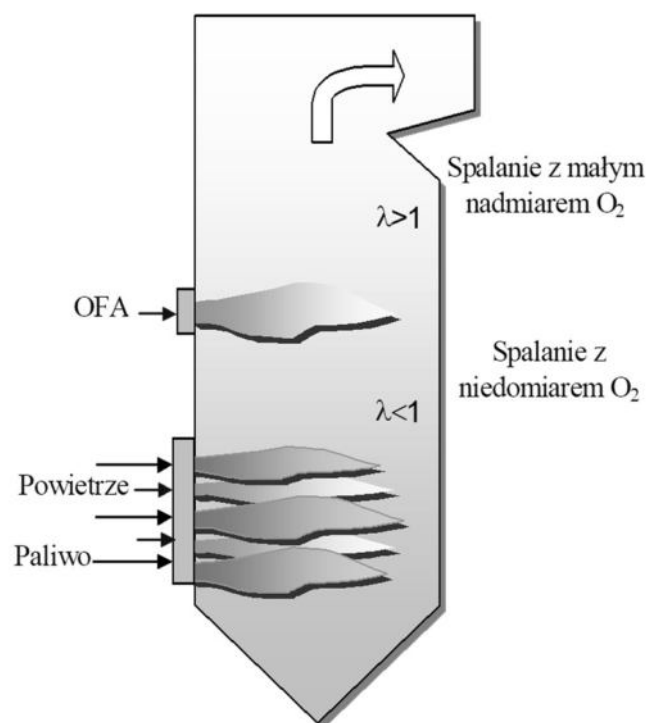


Stopniowanie powietrza

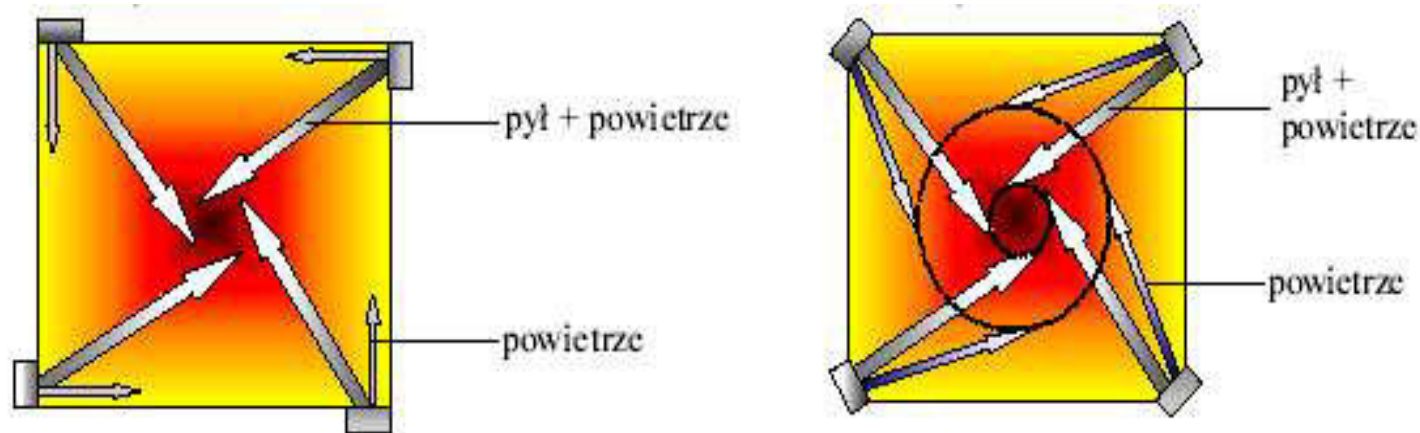
Stopniowanie powietrza w skali całej komory paleniskowej polega na podziale całkowitego strumienia powietrza do spalania na:

- strumień powietrza podawanego do palników (u dołu paleniska),
- strumień powietrza do dysz OFA (u góry paleniska).

OFA to skrót od ang. *Over Fire Air* – powietrze podawane nad palnikami albo bardziej prawidłowo – w górnej części paleniska kotłowego.



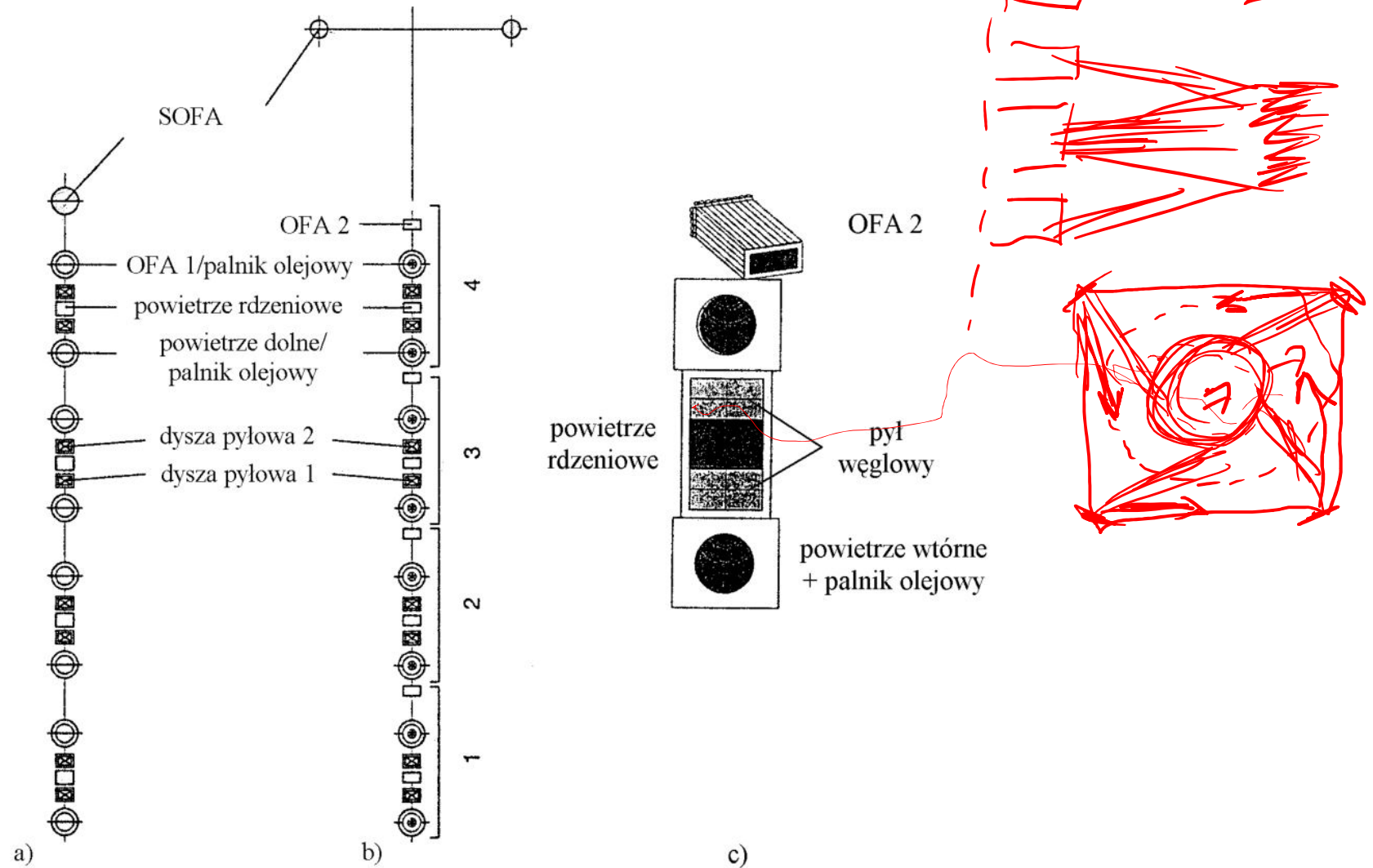
Poziome stopniowanie powietrza



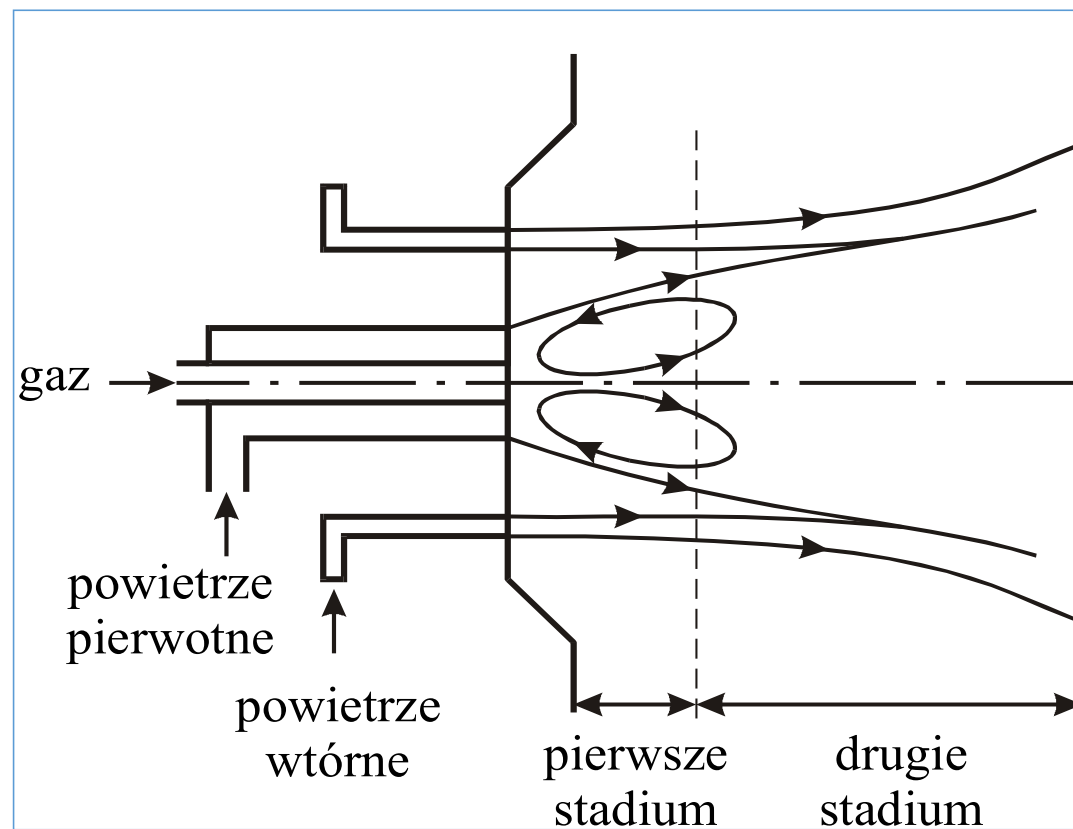
System LNCFS (*Low NO_x Concentric Firing System*)

polega na rozdziale strug mieszaniny pyłowo - powietrznej i powietrza wtórnego w przekroju poprzecznym komory spalania, w której palniki umieszczone są w narożnikach i skierowaniu tych strug na koła wiru o różnych średnicach

Niskoemisyjny palnik strumieniowy LNCFS



PRZYKŁAD STOPNIOWANIA POWIETRZA W PALNIKU GAZOWYM



PRZYKŁAD STOPNIOWANIA POWIETRZA W PALNIKU GAZOWYM

Przykład stopniowania powietrza do palnika

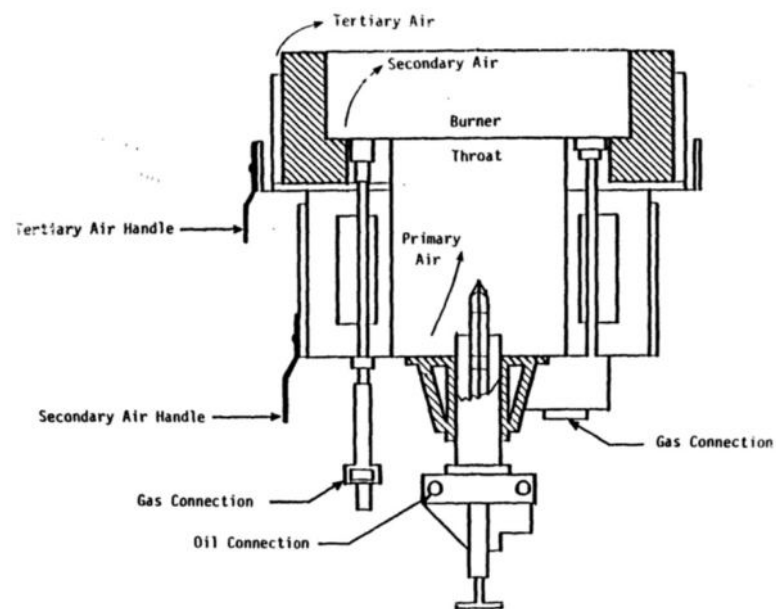


Figure 5-3. Schematic of a staged-air low- NO_x burner.⁸

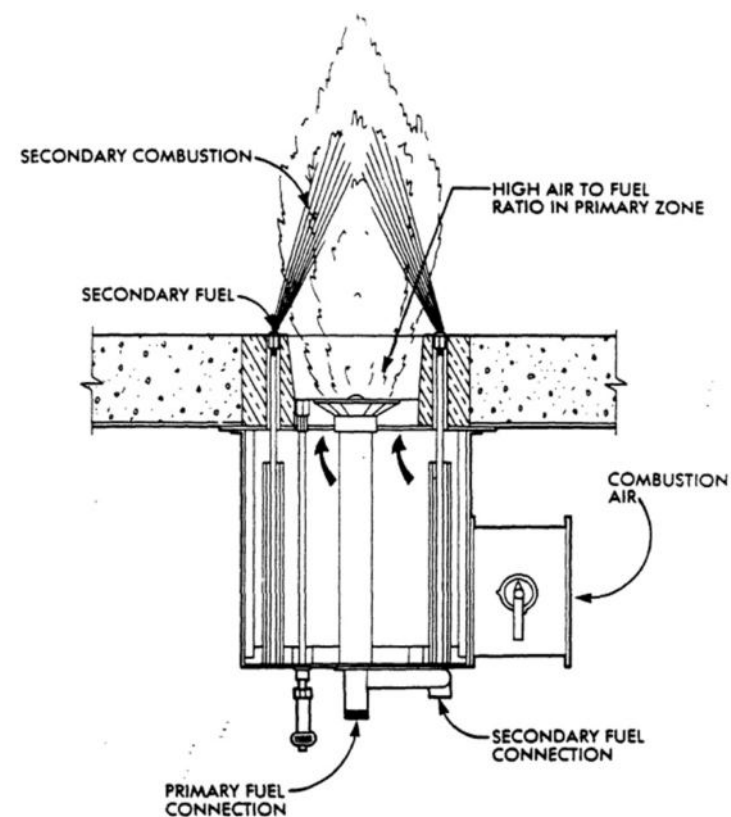
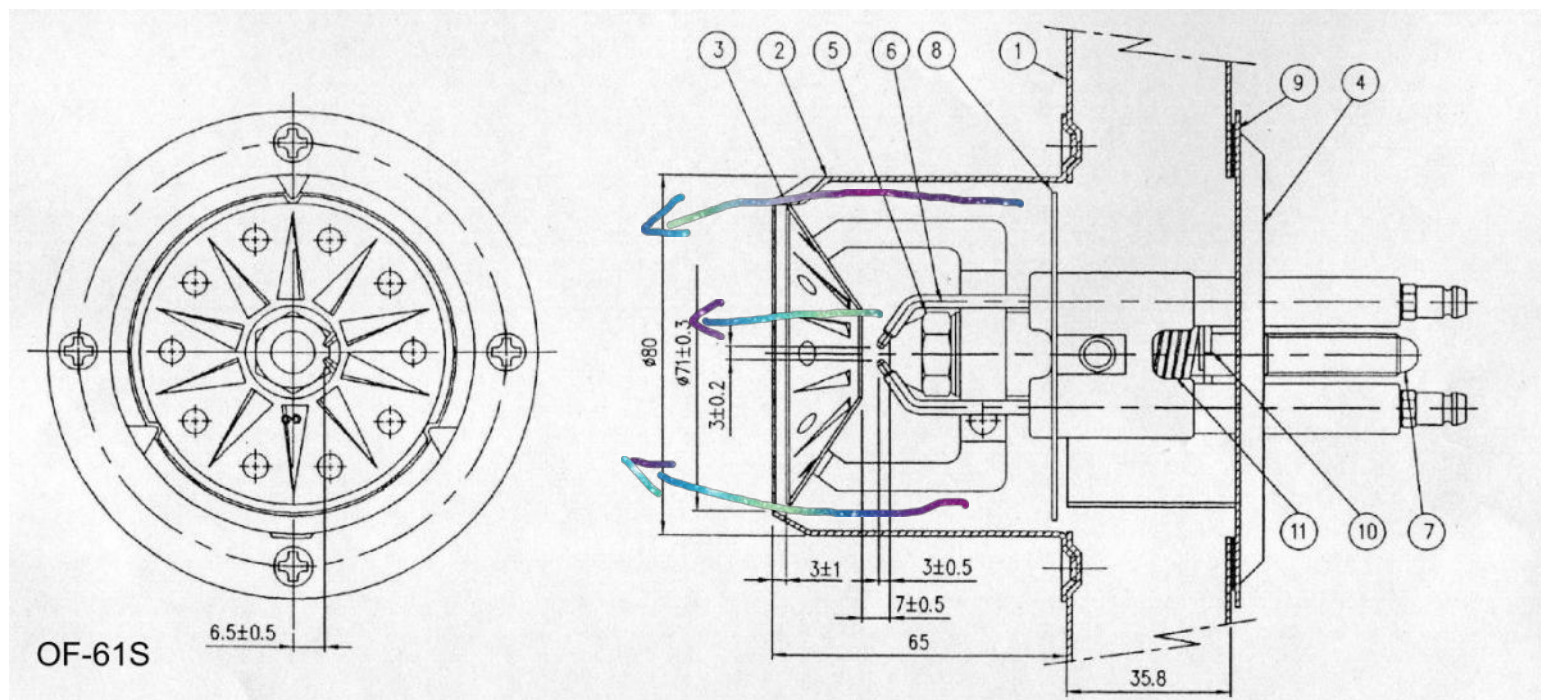


Figure 5-4. Schematic of a staged-fuel low- NO_x burner.¹

PRZYKŁAD STOPNIOWANIA POWIETRZA W PALNIKU GAZOWYM/OLEJOWYM

Doprowadzanie powietrza do spalania w palniku kompaktowym



Mieszanie strug na wylocie z palnika i zdolność do tworzenia stref bogatego/ubogiego płomienia

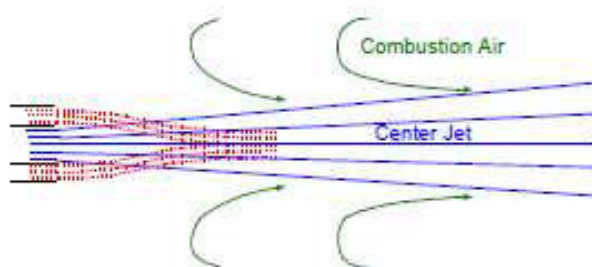


Fig. 4 Brightfire™ Burner Streamline Behavior at High Velocities

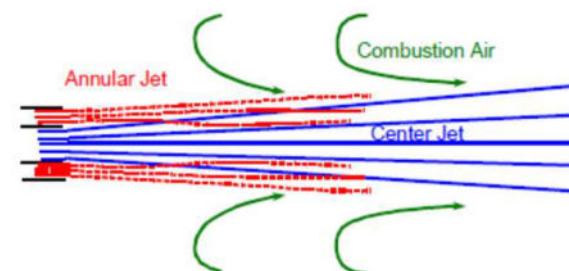


Fig. 5 Brightfire™ Burner Streamline Behavior at Intermediate Velocities

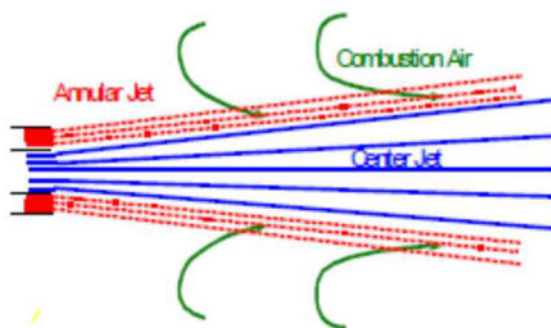
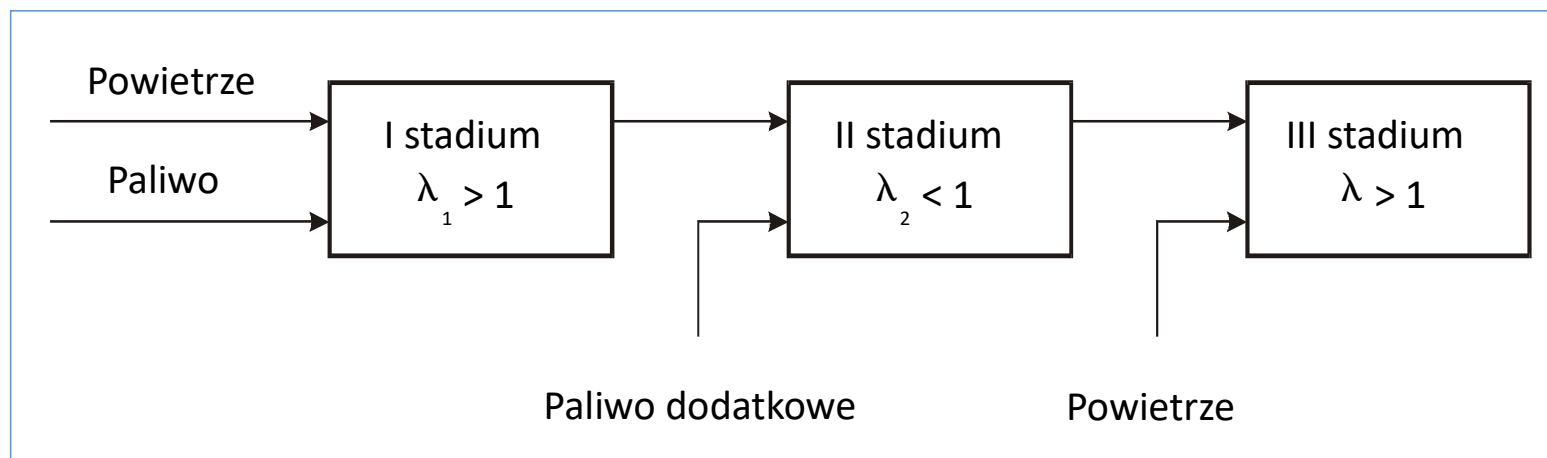


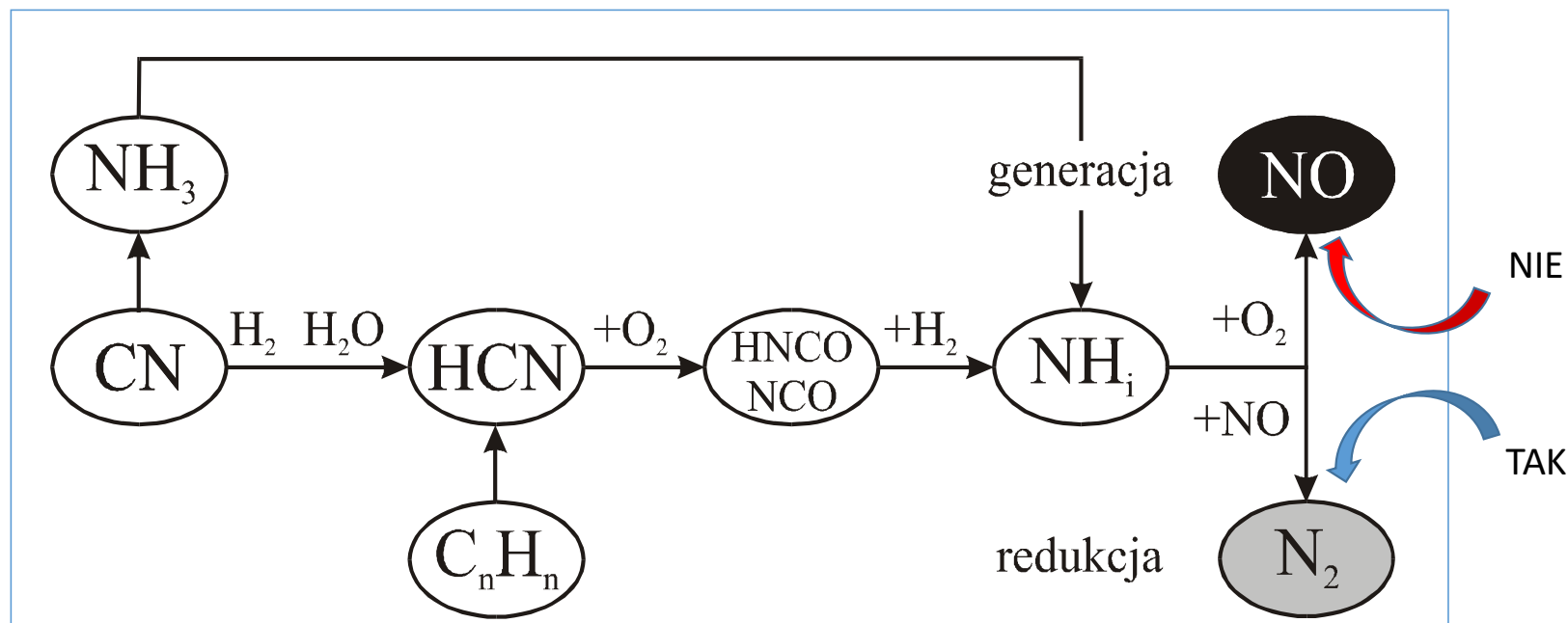
Fig. 6 Brightfire™ Burner Streamline Behavior at Low Velocities

STOPNIOWANIE PALIWA: *REBURNING*



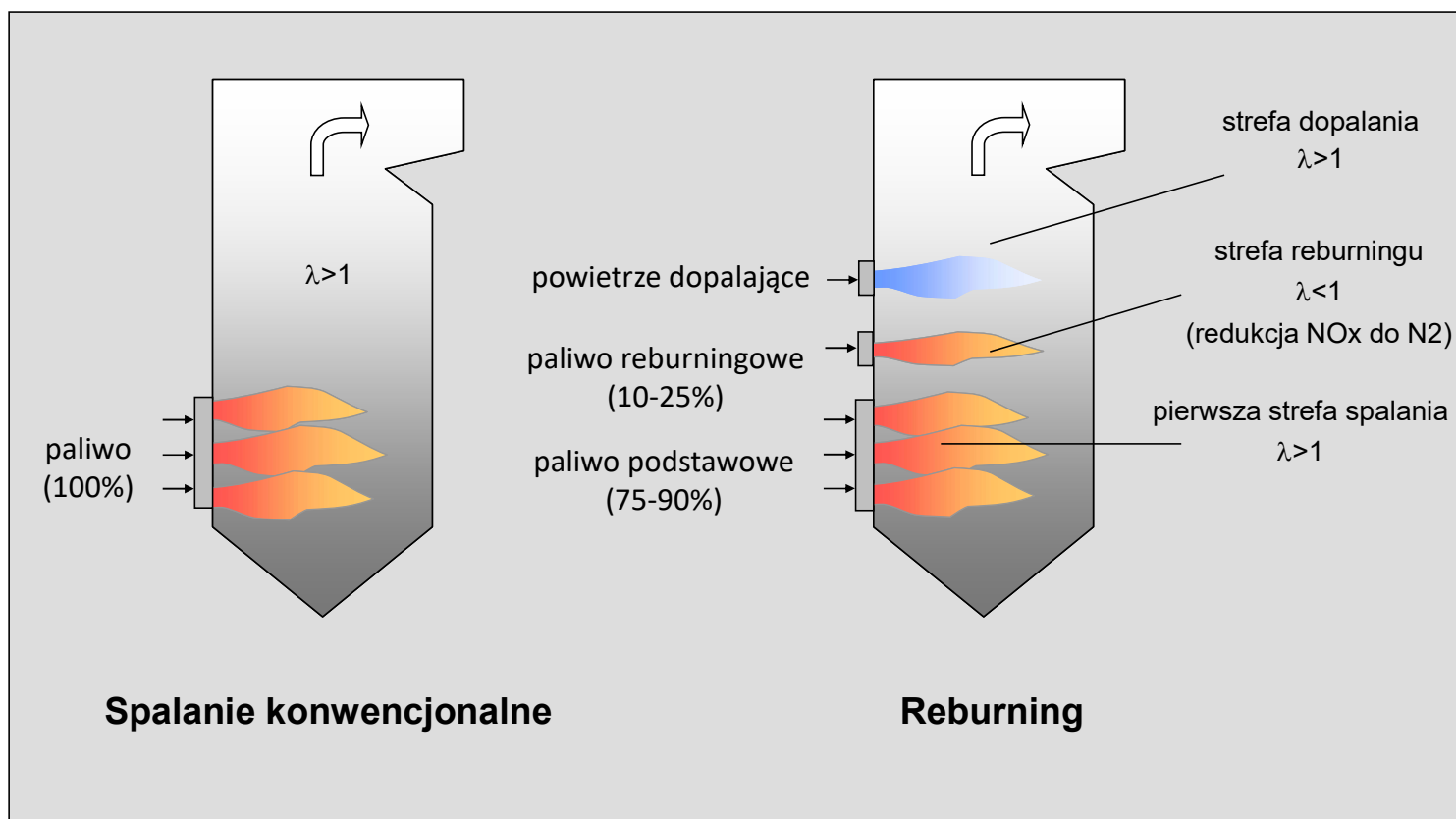
Wykorzystuje zdolność rodników węglowodorowych (wytwarzanych ze spalania paliwa „reburningowego” z niedomiarem utleniacza) do redukcji NO powstałego w pierwszej strefie spalania.

Dominujący mechanizm powstawania i redukcji paliwowych NO_x w bogatym płomieniu pyłowym

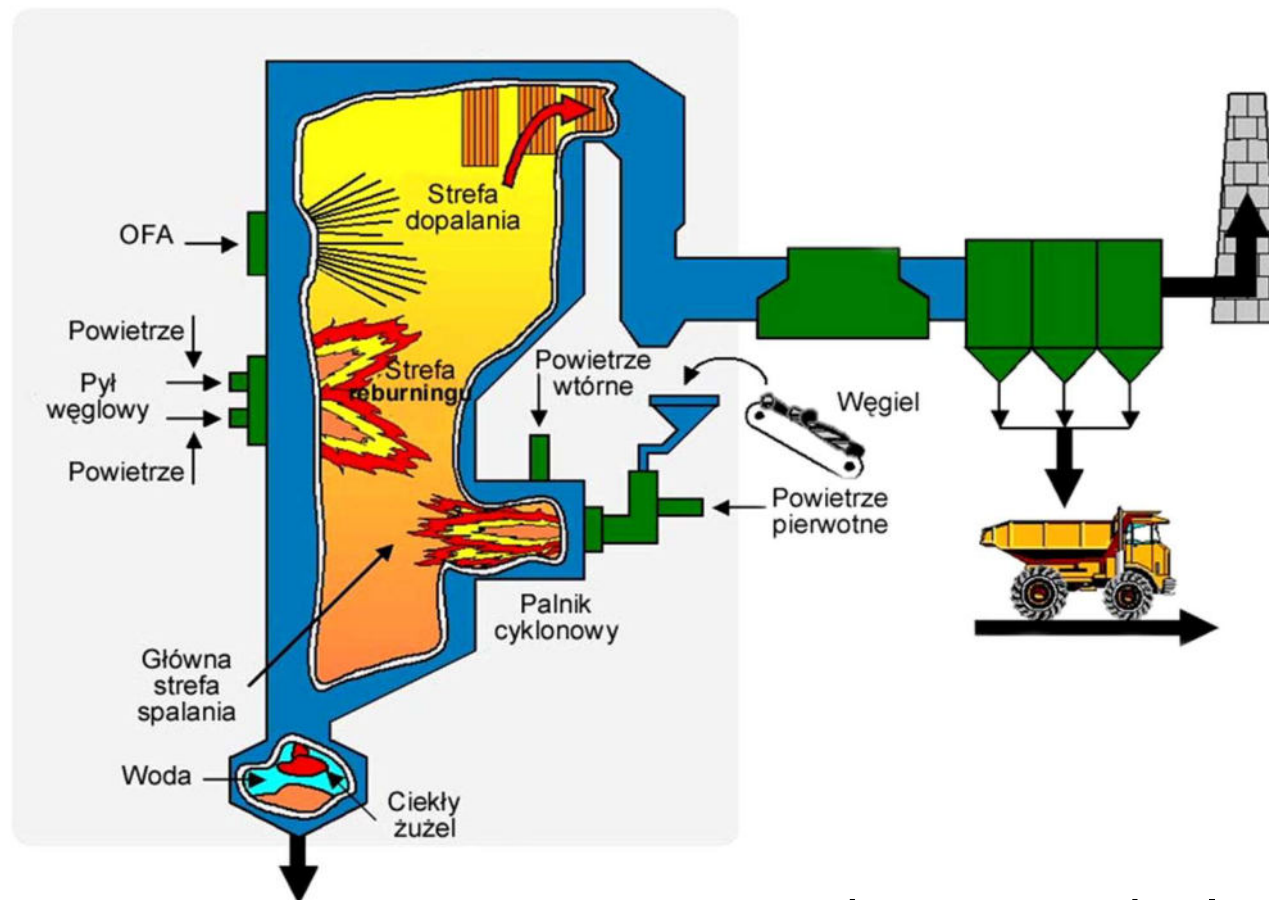


Proces redukcji NO_x w strefie „reburningowej” zachodzi przy niedoborze utleniacza, w przeciwnym razie spalanie dodatkowego paliwa tylko zwiększy emisję NO_x .

Stopniowanie paliwa - metoda *reburningu*

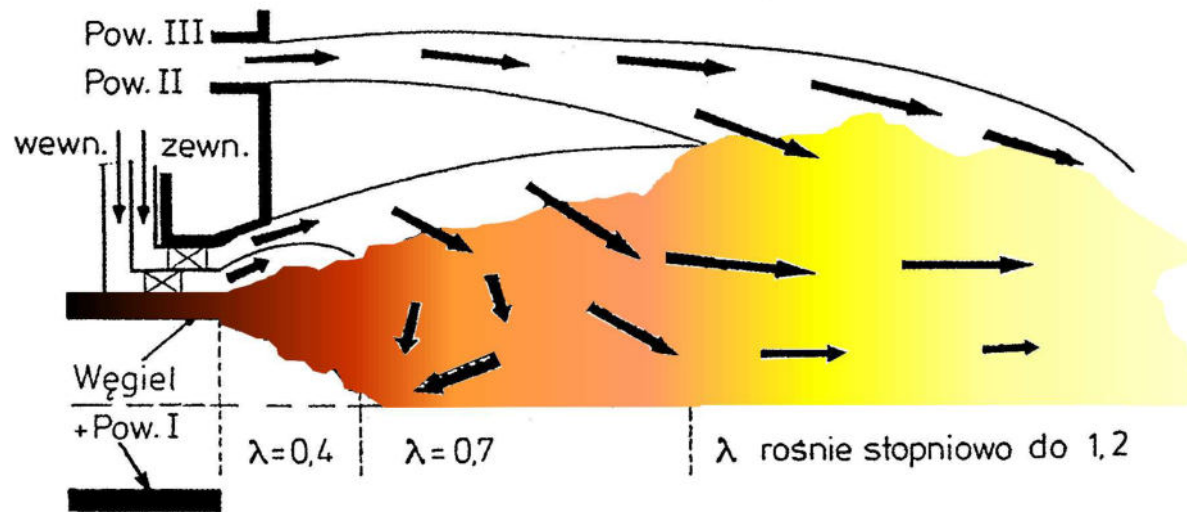


Spalanie ze stopniowaniem paliwa i powietrza (reburning)



Zastosowanie *reburningu* w kotle pyłowym

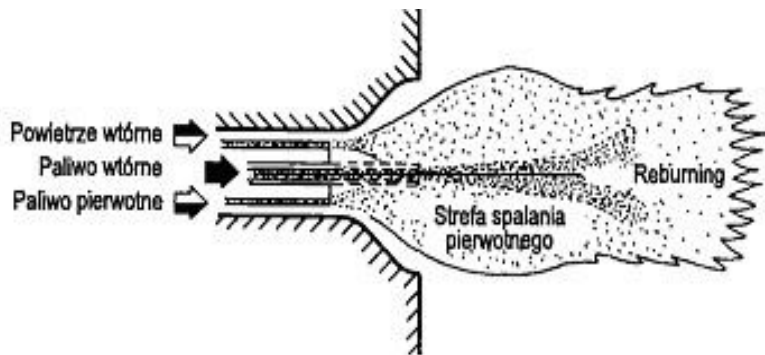
Niskoemisyjne palniki pyłowe – zasada działania



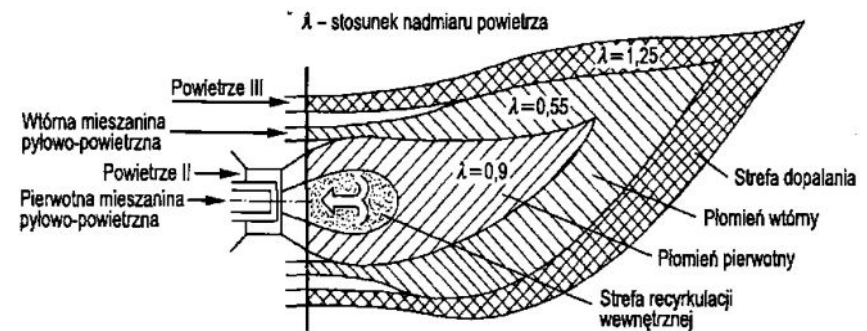
Palniki niskoemisyjne

Palniki pyłowe ze stopniowaniem powietrza można podzielić ze względu na sposób doprowadzania powietrza do palnika:

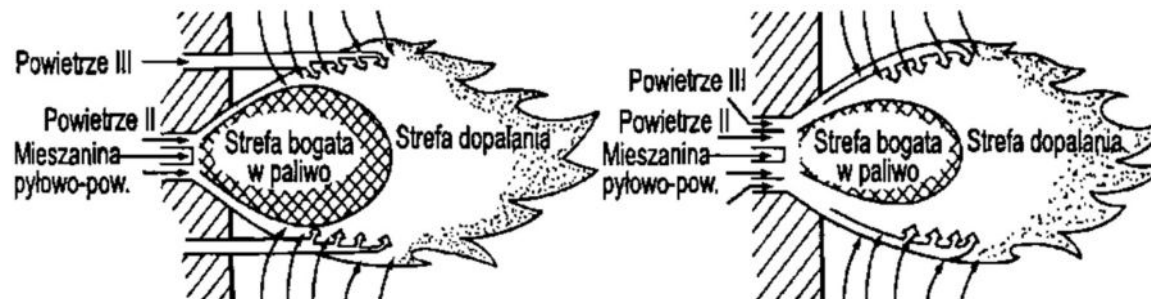
- z zewnętrznym stopniowaniem powietrza
- z wewnętrznym stopniowaniem powietrza



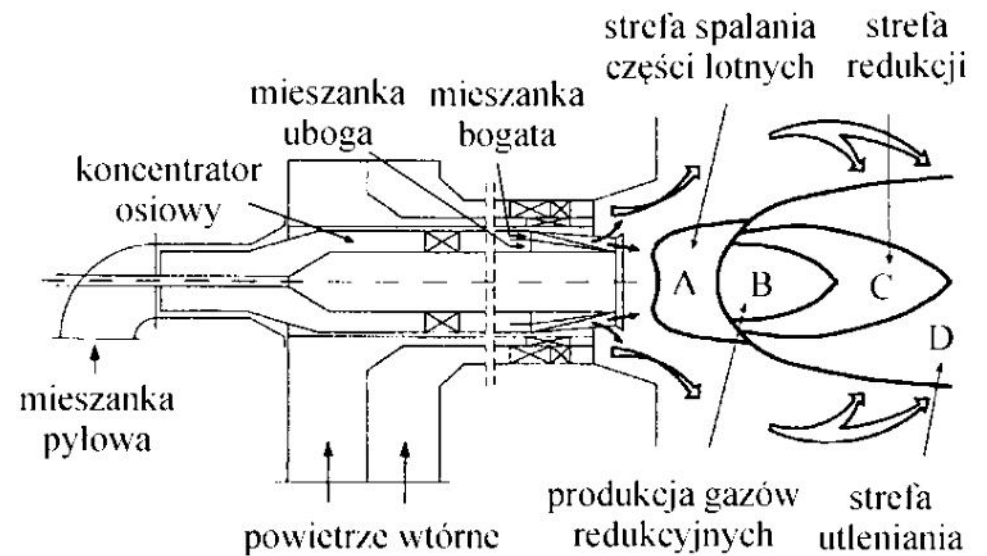
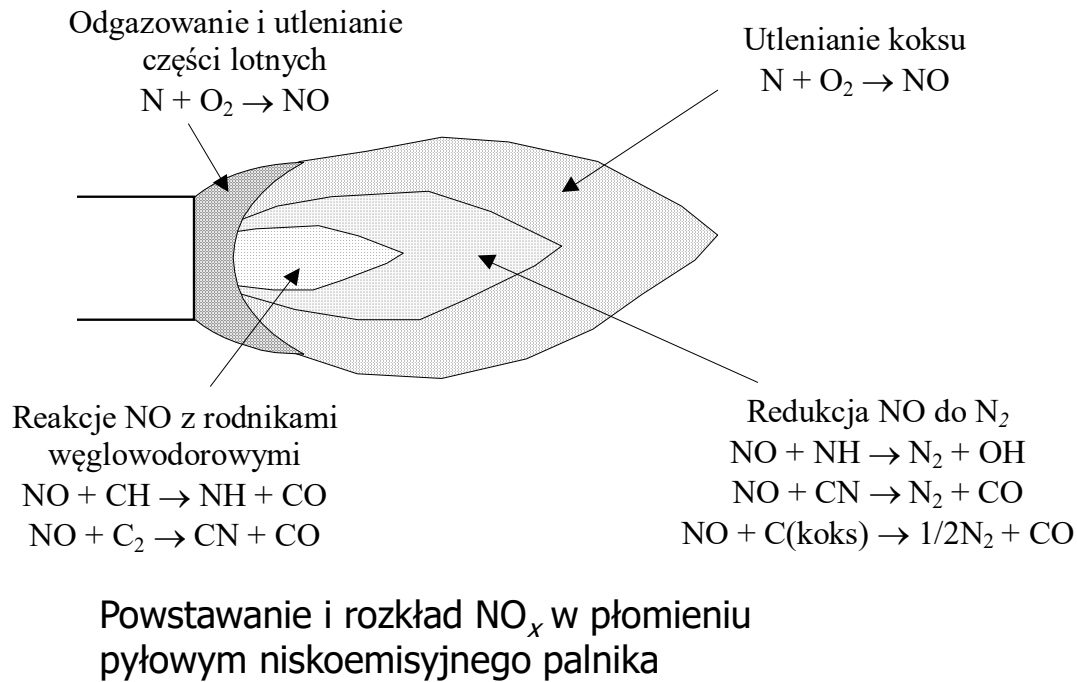
Palnik IFSB opracowany w IFRF Ijmuiden z wewnętrznym stopniowaniem paliwa



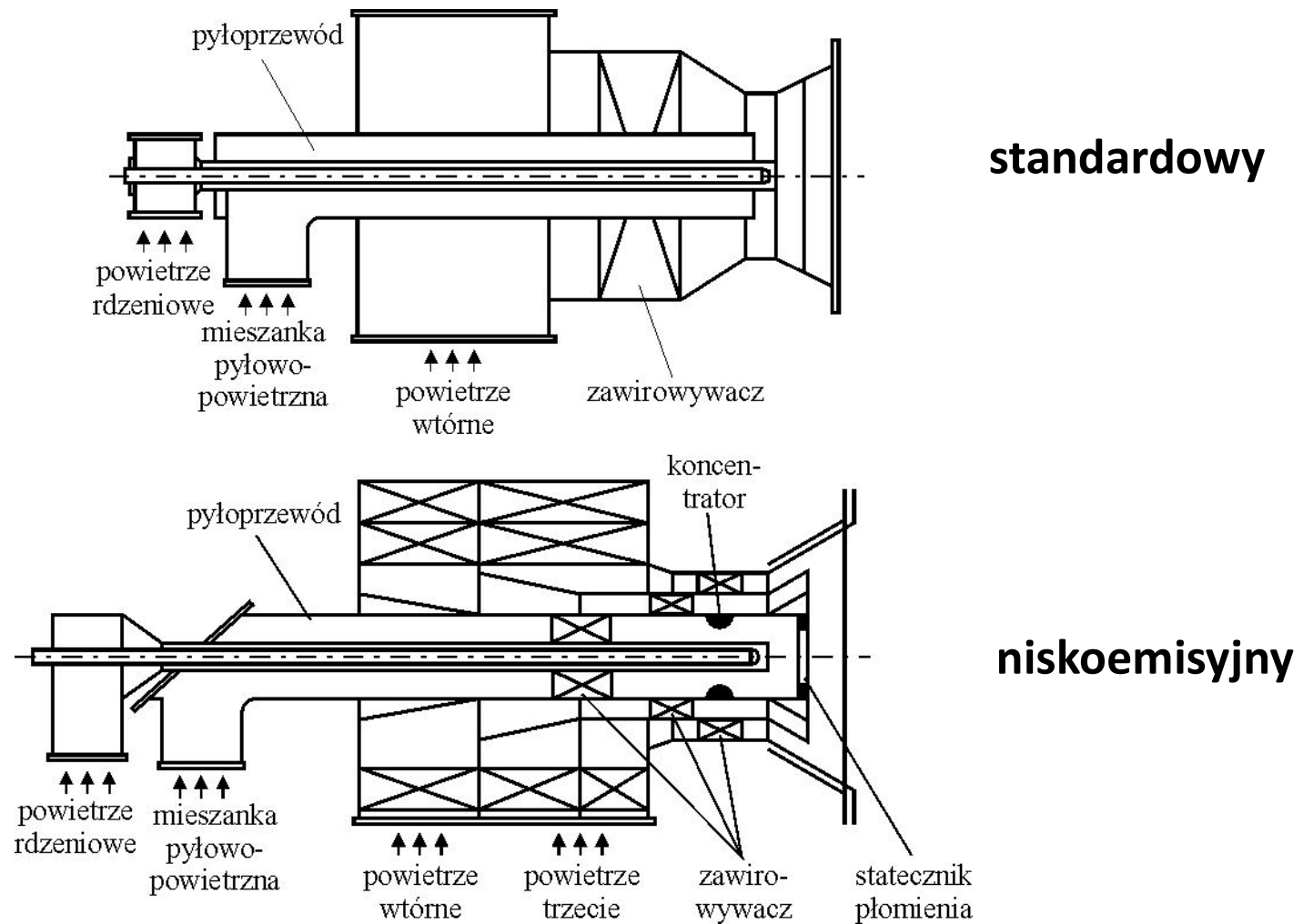
Palnik MSM firmy Steinmüller z zewnętrznym stopniowaniem paliwa



Palniki niskoemisyjne



Niskoemisyjne wirowe palniki pyłowe



Przykłady wykorzystania techniki
niskoemisyjnego spalania
w różnych palnikach

Palniki gazowe i olejowe

- stopniowe, kontrolowane podawanie powietrza,
- strefa płomienia z niedomiarem utleniacza
- strefy recyrkulacji (recyrkulacja wewnętrzna i zewnętrzna)
- stabilizacja płomienia (niezbędna przy głębszym stopniowaniu powietrza)

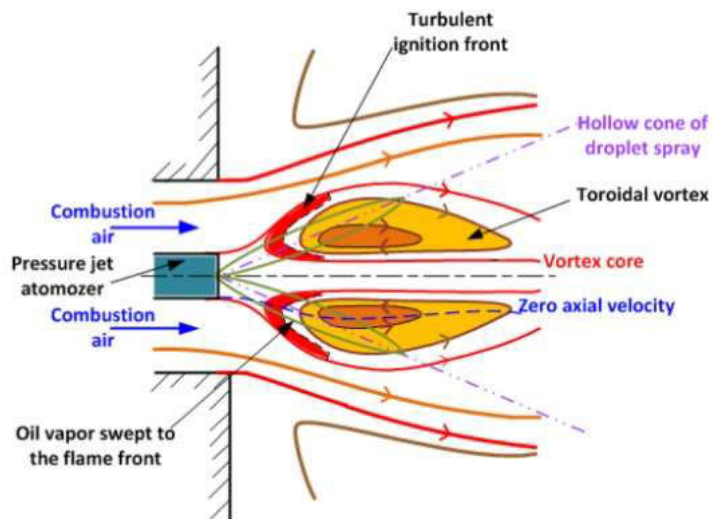
Palniki olejowe



Schemat etapów spalania.

Rozpylony olej odparowuje po wejściu do strefy wysokiej temperatury i lżejsze frakcje szybko ulegają zapłonowi i spaleni. Cięższe opary „krakują” (rozpadają się) wydzielając lżejsze opary i wolny węgiel, który jest przenoszony dalej w płomieniu i spalany.

Oil Burners Stabilized by Swirl

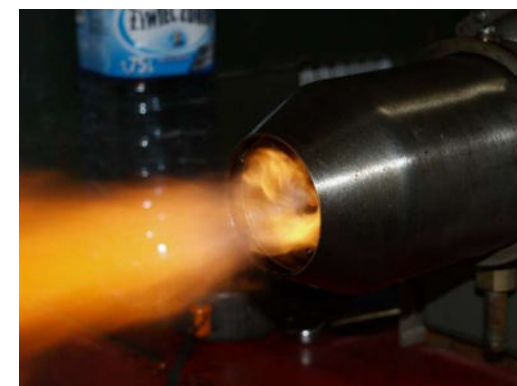
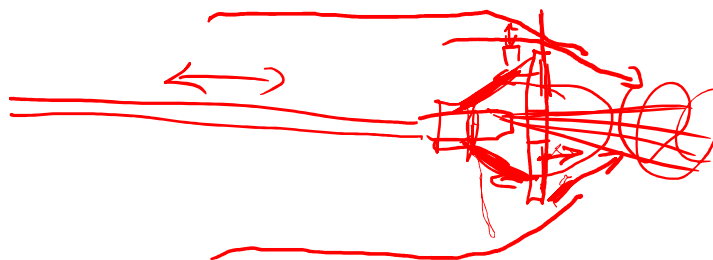


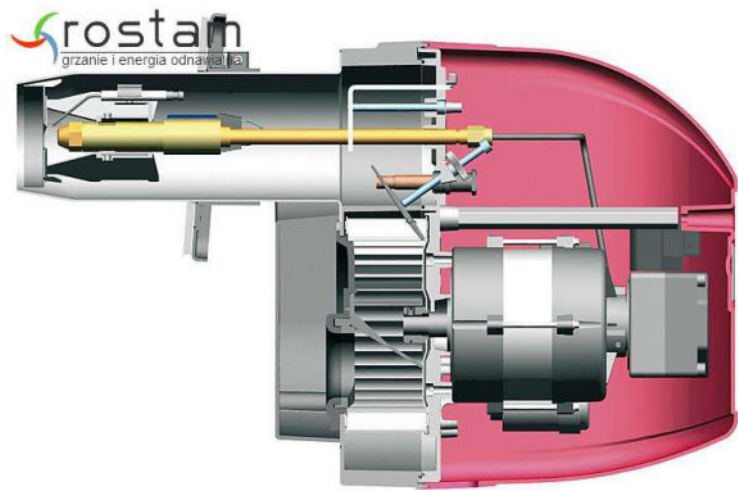
Widok wnętrza palnika
mazutowego podczas pracy



Różne zabiegi stosowane w palikach:

- zawirowanie strug,
- recyrkulacja spalin,
- stopniowanie powietrza,
- różne prędkości strumieni.





Palniki gazowe

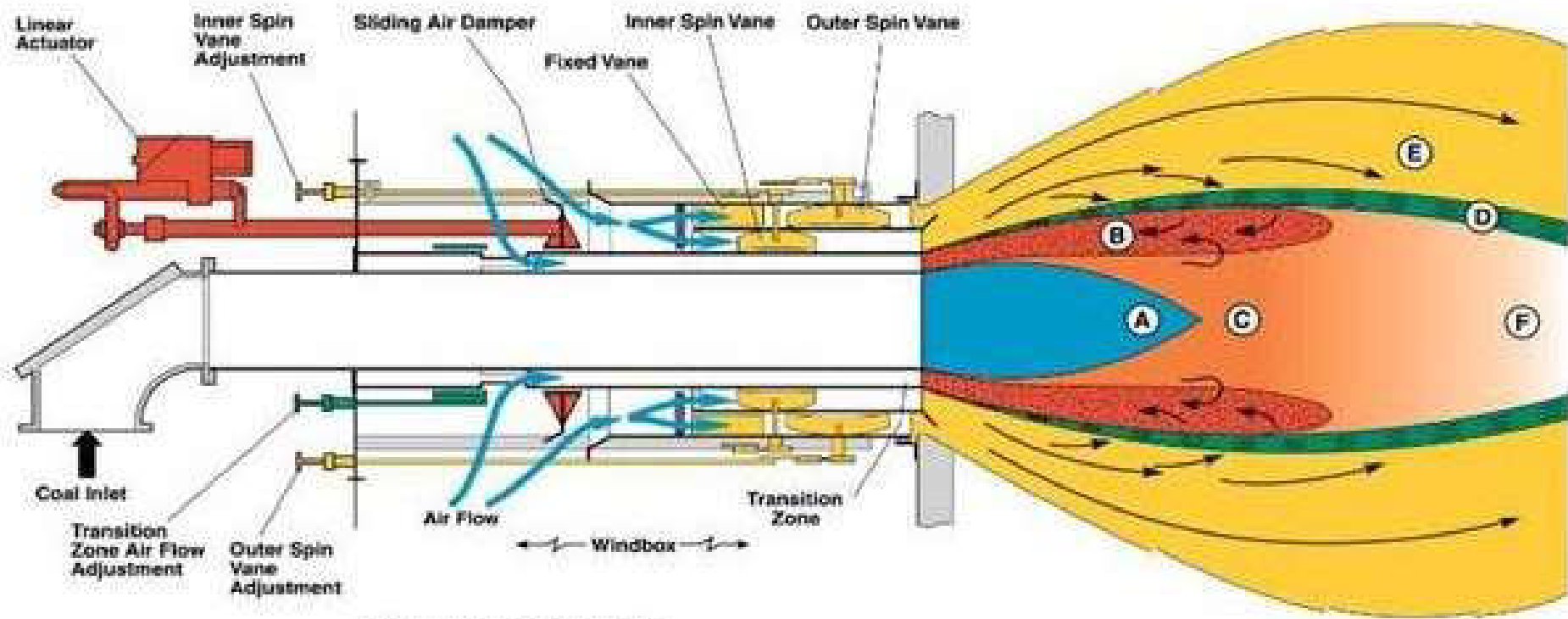


Palniki pyłowe

- stopniowe, kontrolowane podawanie powietrza,
- strefa płomienia z niedomiarem utleniacza
- część powietrza wtórnego podawana jako OFA
- strefy recyrkulacji
- stabilizacja płomienia

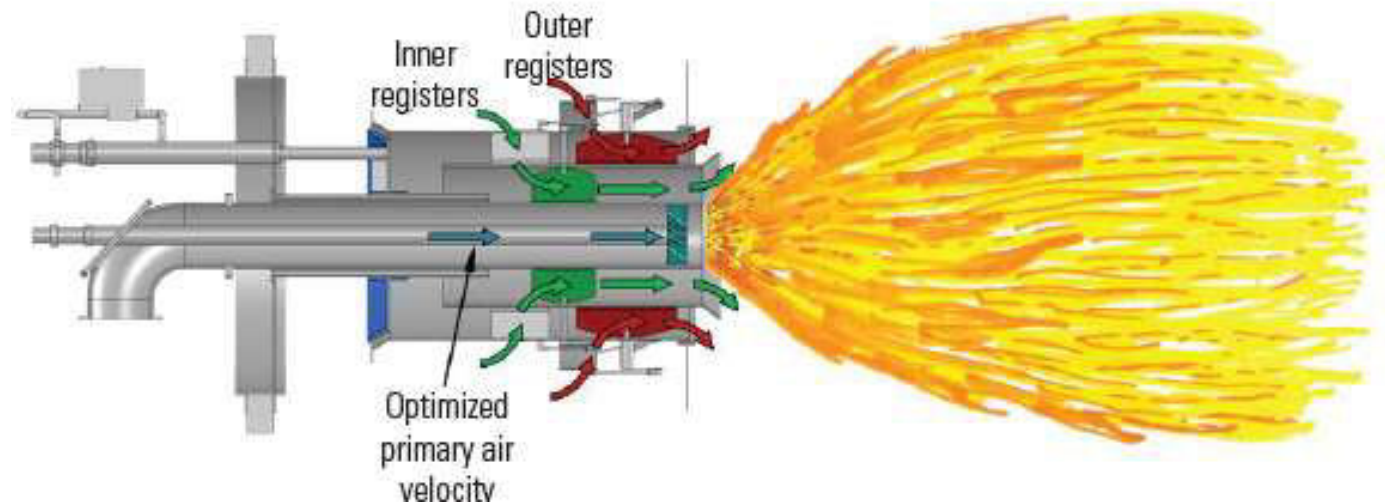
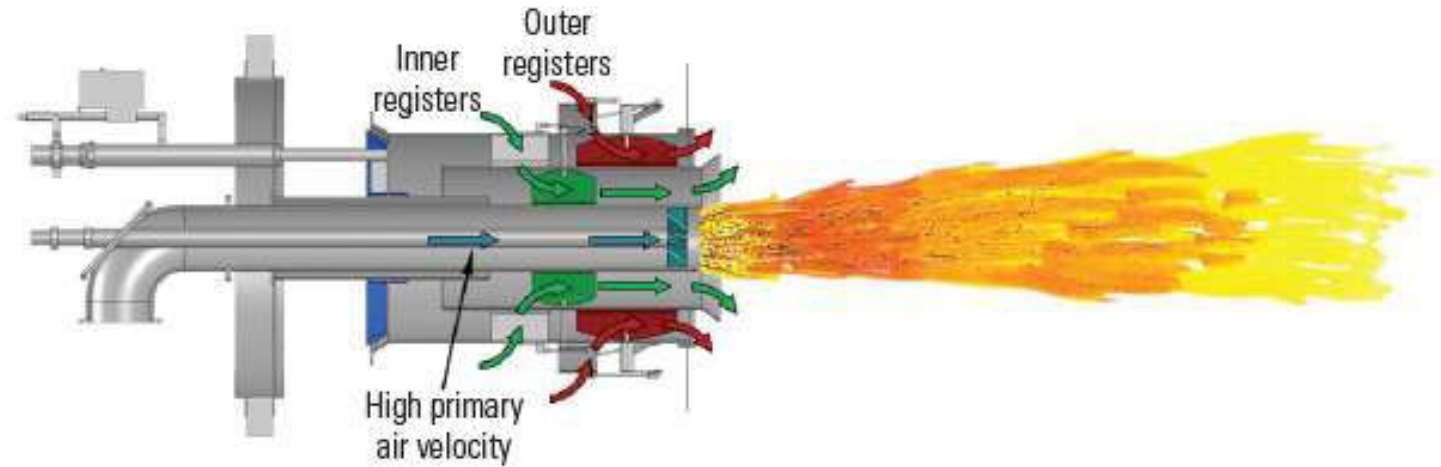
Low NO_x DRB-4Z™ Burner Combustion Zones

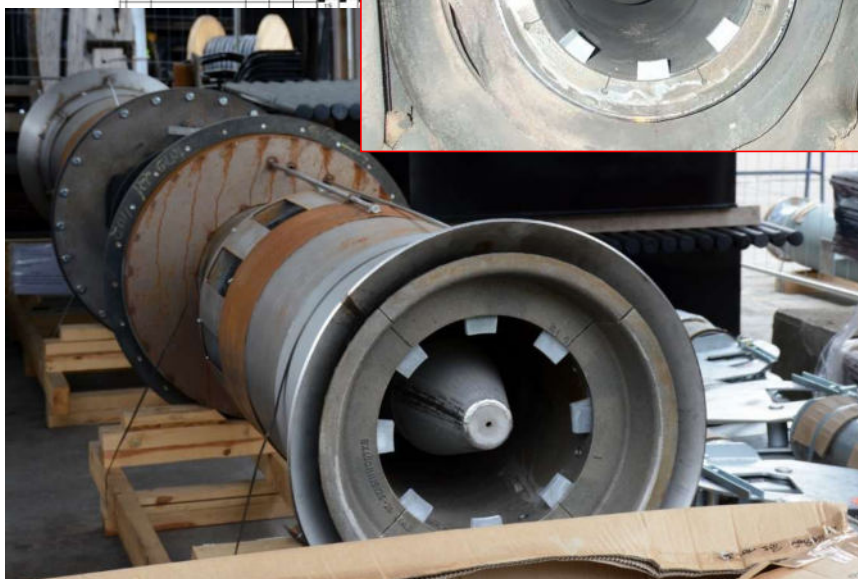
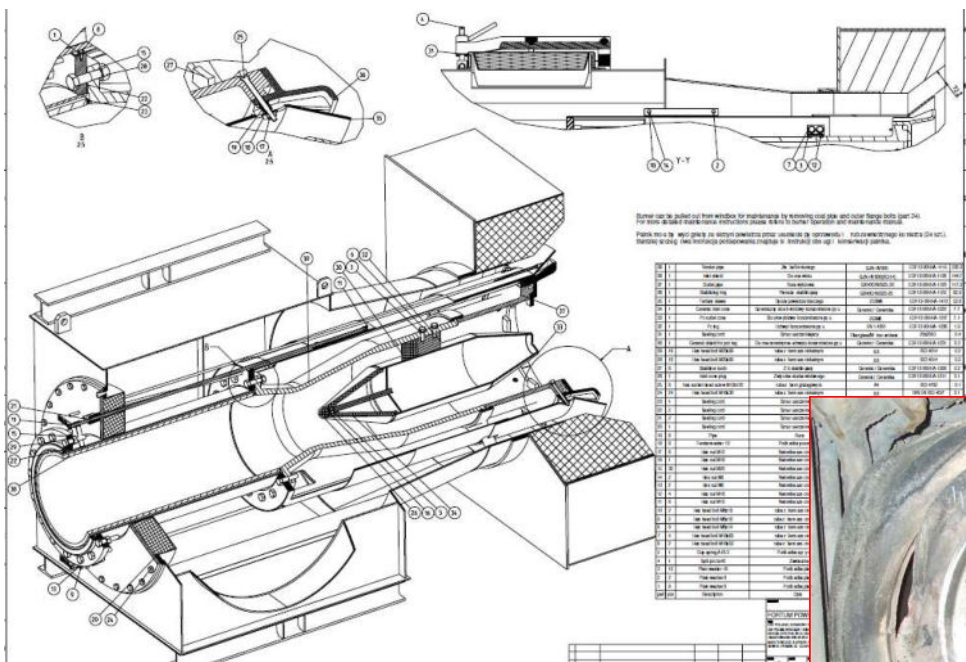
Maximum NO_x reduction at the burner



- A. Oxygen lean devolatilization
- B. Recirculation of products
- C. NO_x reduction zone
- D. High temperature flame sheet
- E. Controlled mixing of secondary combustion air
- F. Burnout zone

Wpływ prędkości powietrza pierwotnego





Pyłowe palniki strumieniowe

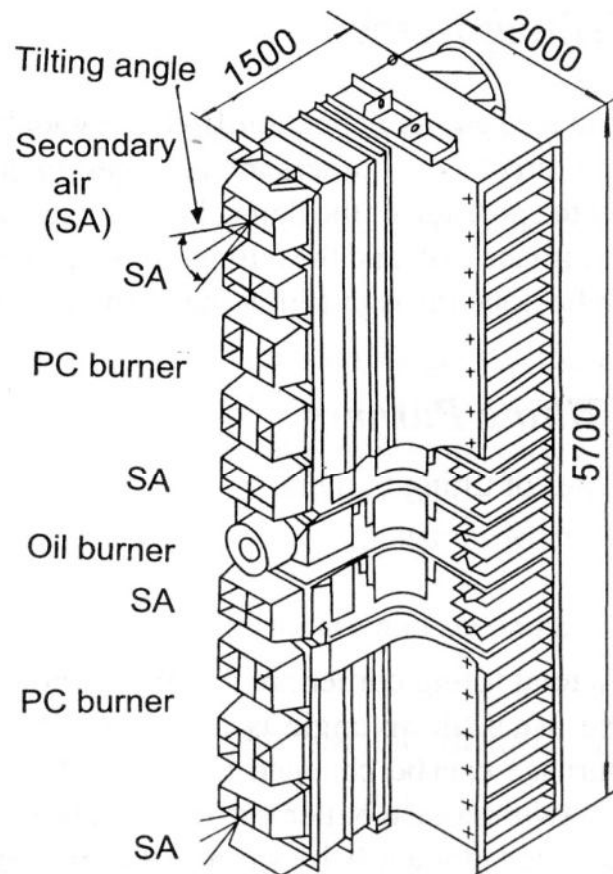
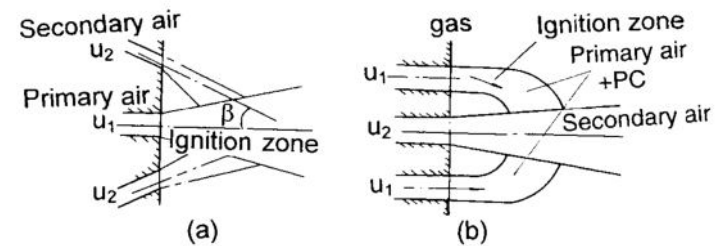
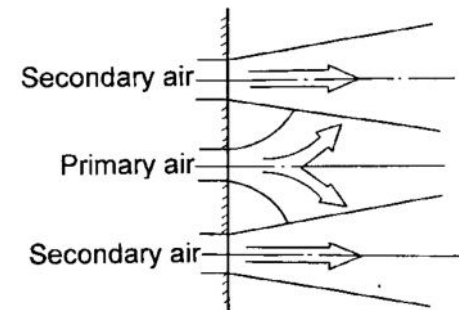
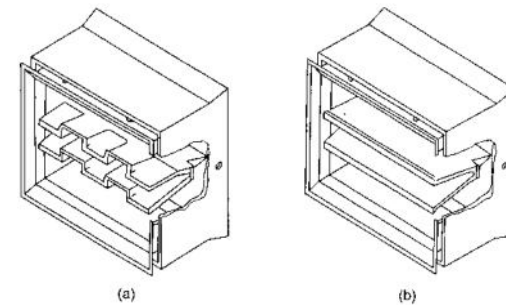
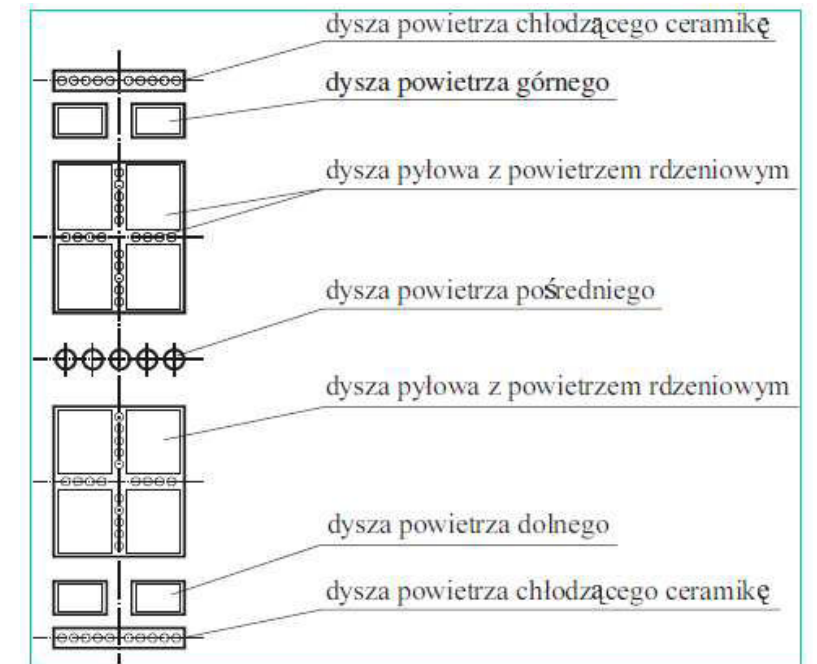
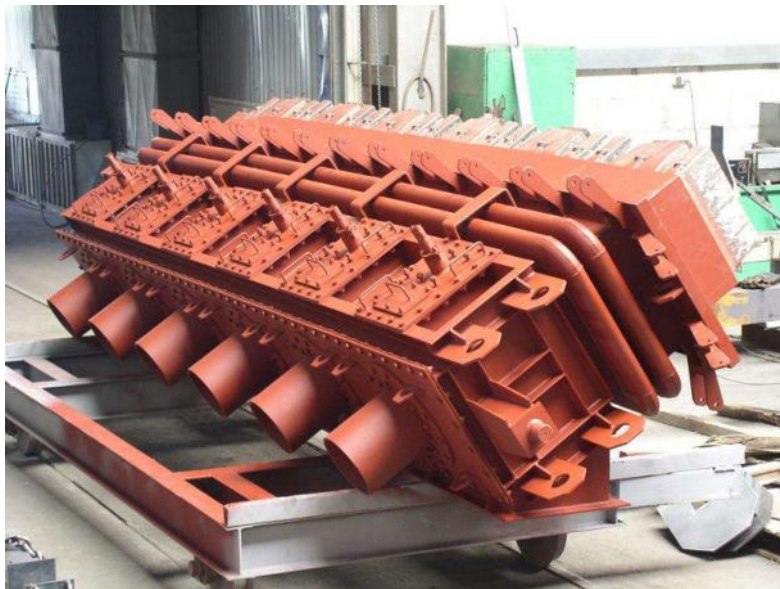


FIGURE 10-9. Design of a long tilting nozzle tangential burners



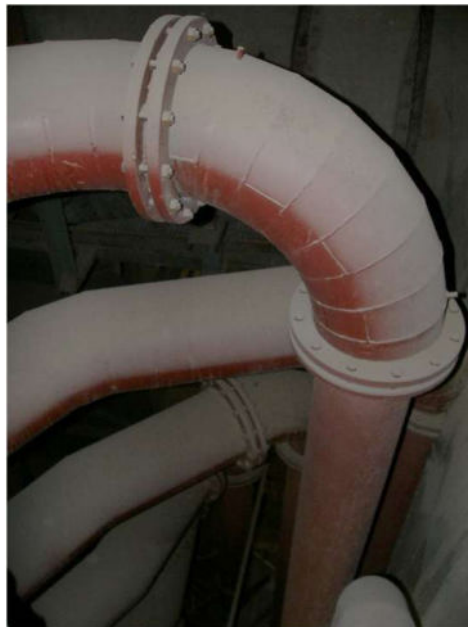
„Naroże” palnikowe

- stopniowanie powietrza (w pionie i w poziomie)
- stopniowanie paliwa (zmienna koncentracja)
- różne prędkości
- stabilizacja





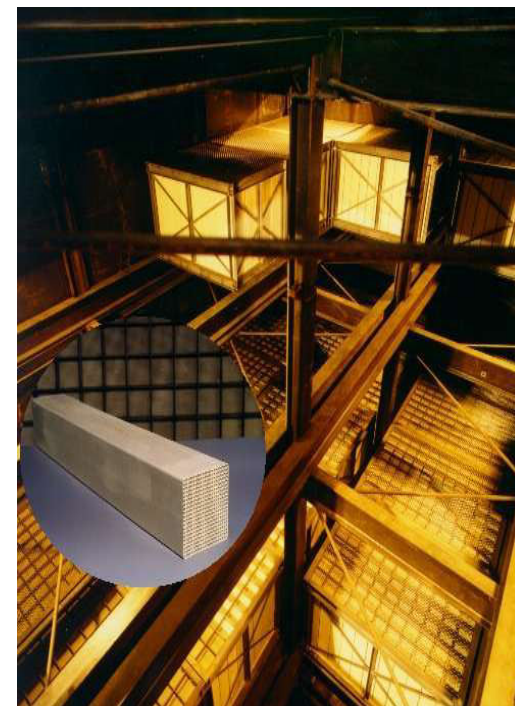
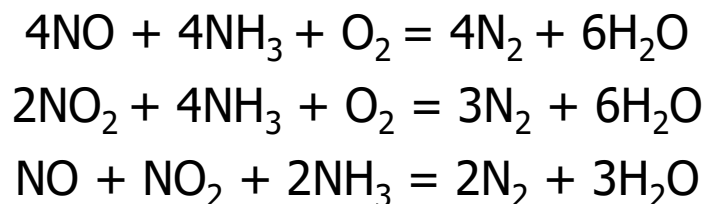
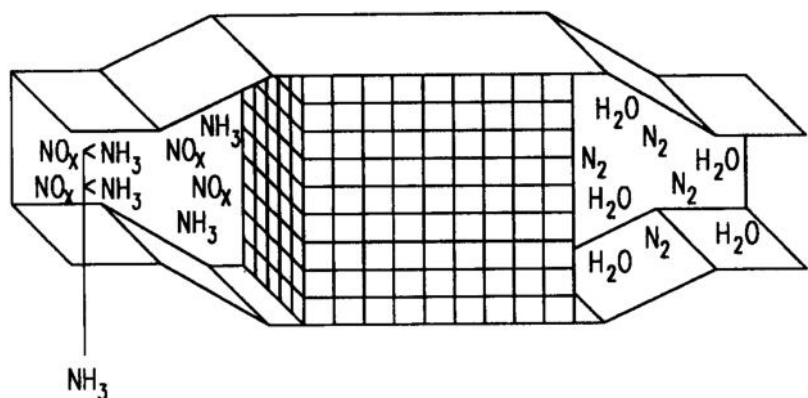
- stopniowanie powietrza
- zmienna koncentracja pyłu
- powietrze OFA/SOFA
- recyrkulacja (różne prędkości)
- stabilizacja



Wykorzystanie metod wtórnej redukcji emisji NO_x

Metody wtórne - technologia SCR

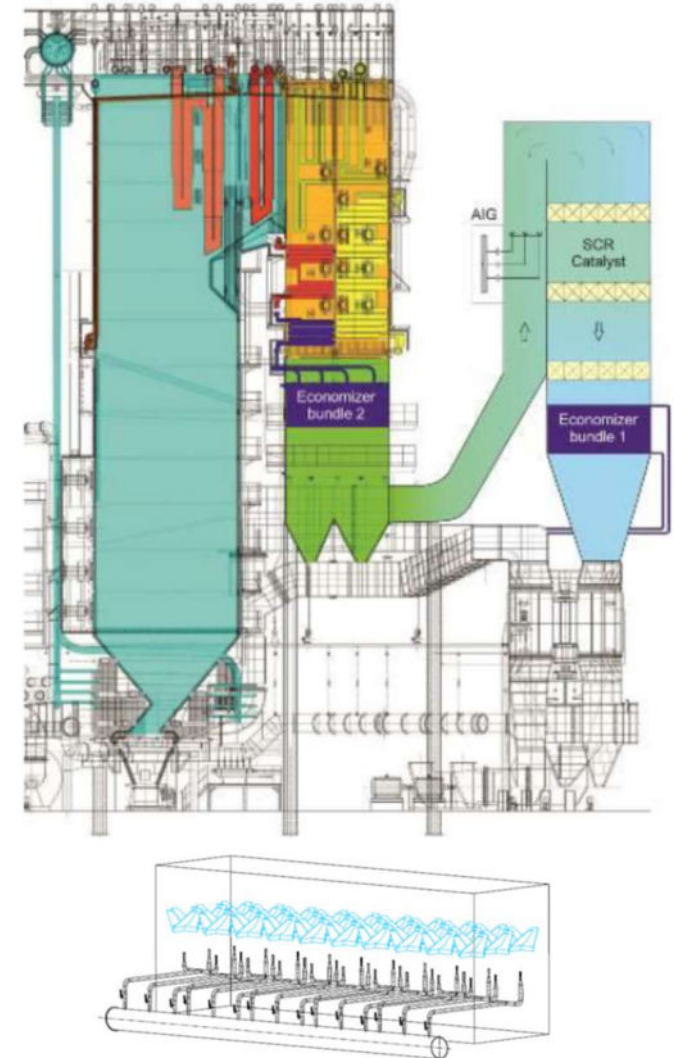
- Technologia SCR polega na przekształcaniu (redukowaniu) tlenków azotu w nietoksyczny azot i parę wodną w katalizatorze wykorzystującym amoniak jako reduktor.
- Jako czynnik redukcyjny stosuje się amoniak lub mocznik



Selektywna redukcja NO amoniakiem „na katalizatorze wanadowym” przebiega efektywnie w obecności tlenu w spalinach w temperaturze 330–430 °C, a jej skuteczność w warunkach przemysłowych przekracza 90%.

Metody wtórne - technologia SCR

- Bez jednorodnej dystrybucji reagenta katalizator nie mógłby spełniać swojego zadania.
- System wtrysku reagenta musi zapewniać dobre rozprowadzenie amoniaku i mieszanie go z NOx.
- W trakcie eksploatacji katalizatory ulegają zużyciu (dezaktywacji). Dezaktywacja katalizatora może prowadzić do przedwczesnej i kosztownej wymiany systemu SCR.



Metody wtórne - technologia SCR

- Bezwodny amoniak można przechowywać w postaci cieczy pod ciśnieniem około 10 barów w zbiornikach stalowych. Jest klasyfikowany jako niebezpieczny przy wdychaniu, ale można go bezpiecznie przechowywać i obchodzić się z nim przy przestrzeganiu odpowiednich przepisów i standardów.
- Jego zaletą jest to, że nie wymaga dalszej konwersji, aby działać w SCR i jest zwykle preferowany w dużych przemysłowych instalacjach SCR.
- Wodny amoniak musi najpierw zostać odparowany przed użyciem, ale jego przechowywanie i transport jest znacznie bezpieczniejsze niż bezwodny amoniak.
- Mocznik jest najbezpieczniejszy do przechowywania, ale wymaga konwersji do amoniaku poprzez rozkład termiczny przez wykorzystanie jako skuteczny reduktor.

Metody wtórne - technologia SCR

Problemy eksploatacyjne:

- optymalna temperatura pracy
- dezaktywacja chemiczna
- zanieczyszczenie popiołem (konieczność stosowania np. zdmuchiwalczy)
- instalacja przygotowania amoniaku bezpośrednio przed wtryskiem do kanału spalin (odparowanie wody amoniakalnej lub wodnego roztworu mocznika)



Katalizatory SCR mają typową żywotność około 16000 - 40000 godzin (2-5 lat) w elektrowniach opalanych węglem, w zależności od składu spalin oraz do 80000 godzin (9 lat) w elektrowniach gazowych.

Proces odświeżania katalizatora SCR

1 etap: Czyszczenie mechaniczne



3 etap: Saturacja



2 etap: Czyszczenie chemiczne

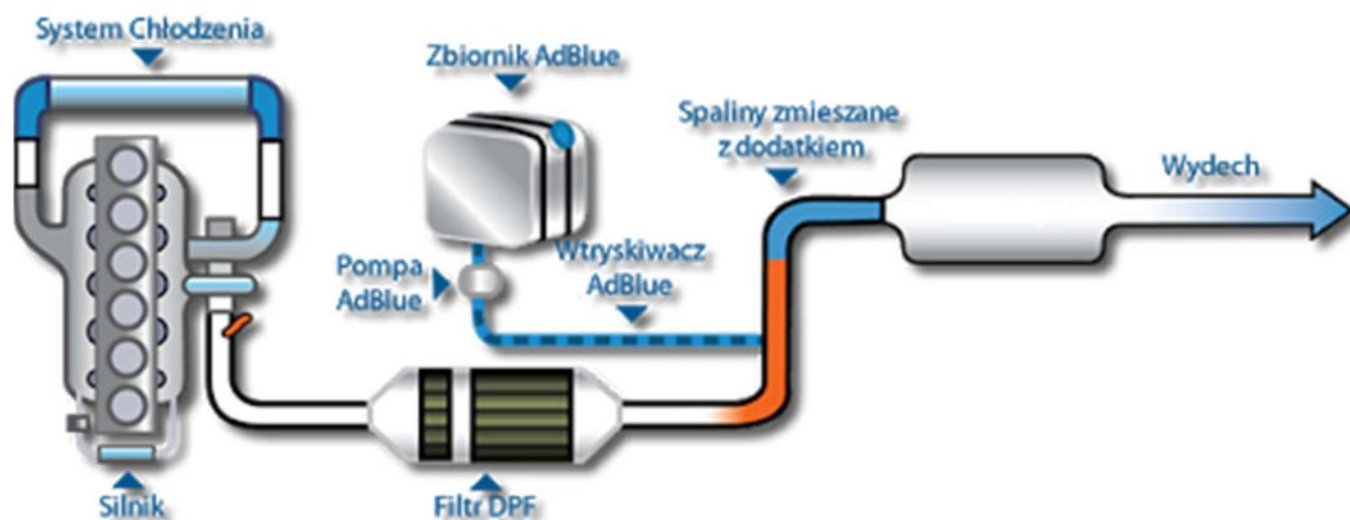


4 etap: Suszenie katalizatora



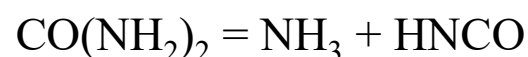
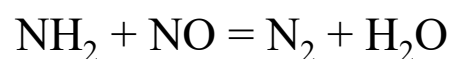
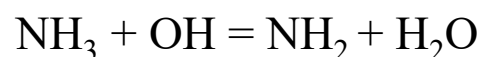
Metoda SCR w motoryzacji

- zastosowanie w silnikach wysokoprężnych
- roztwór **AdBlue®** (32,5% mocznika + 67,5% oczyszczonej wody) jest wstrzykiwany do katalizatora SRC. W katalizatorze dochodzi do reakcji, która przekształca NOx do H₂O i N₂.
- Aby pracować z optymalną wydajnością, gaz dostarczany do katalizatora SCR musi być w **odpowiedniej temperaturze**. Oznacza to, że wydech musi być **dostatecznie rozgrzany!** Umieszczenie katalizatora na linii wydechu nie jest przypadkowe...

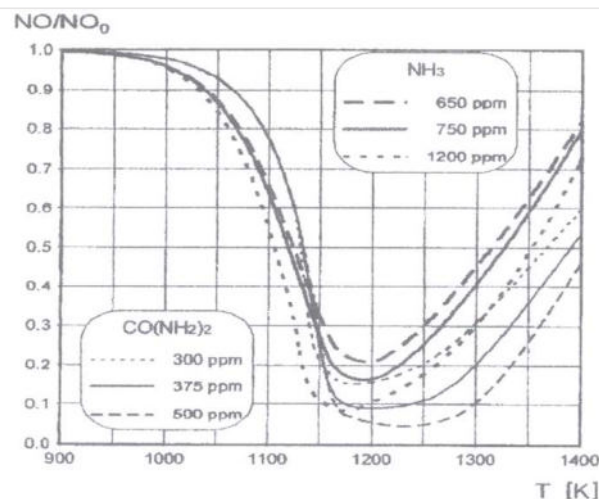


Selektywna niekatalityczna redukcja NO_x – SNCR

Reakcje redukcji:

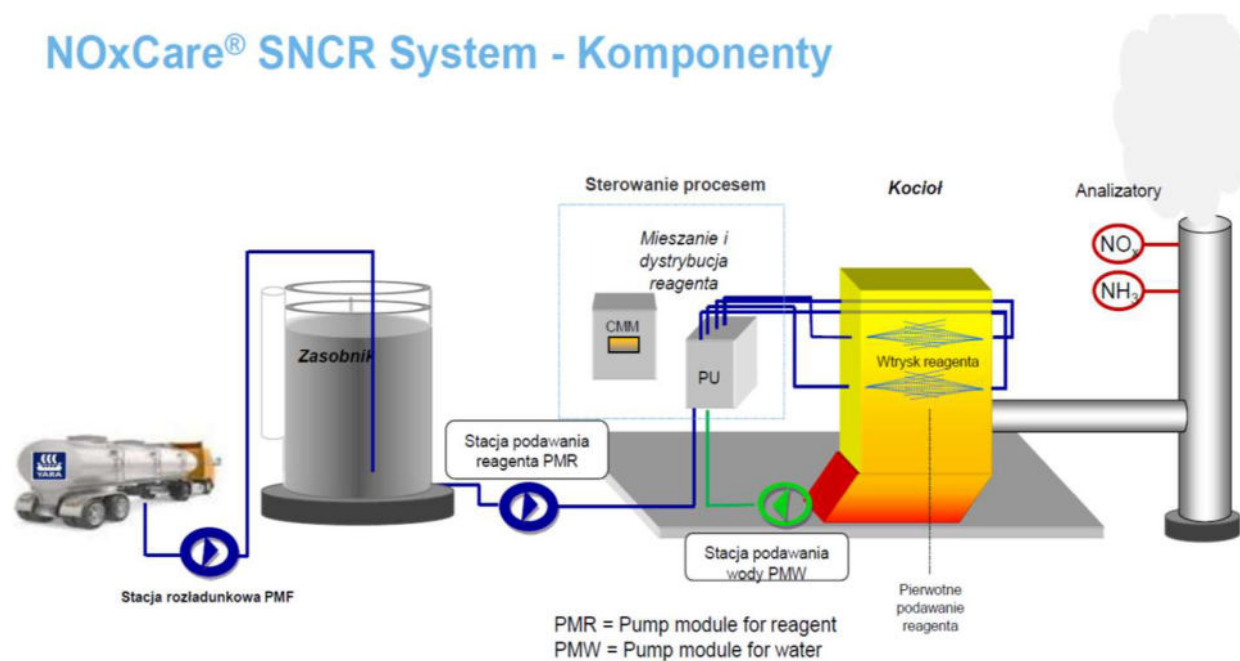


– czynnikiem redukującym mogą być amoniak lub mocznik



Rys. 02. Wpływ stężenia amoniaku i mocznika na redukcję NO w zależności od temperatury. Stężenie początkowe NO = 500 ppm, czas reakcji 1s, skład spalin $\text{O}_2 = 6\%$ obj., $\text{CO}_2 = 8\%$, CO = 100 ppm reszta woda i azot, wg [14].

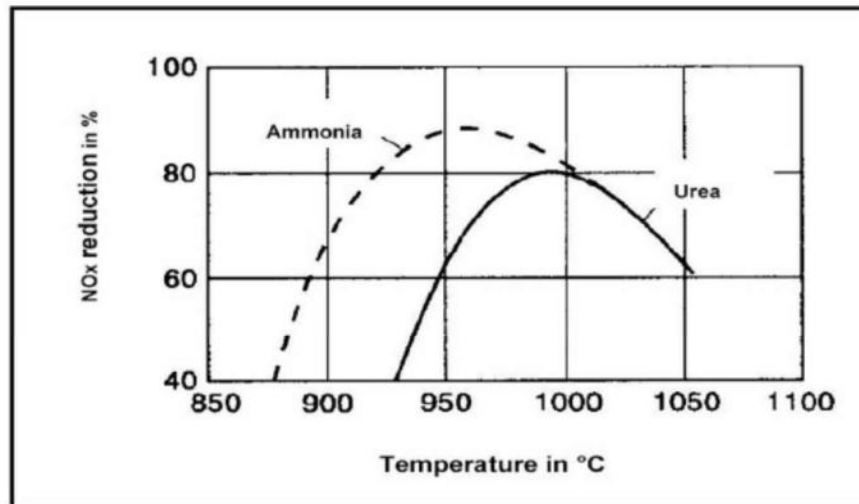
NOxCare® SNCR System - Komponenty



SNCR - Stosowane Reagenty

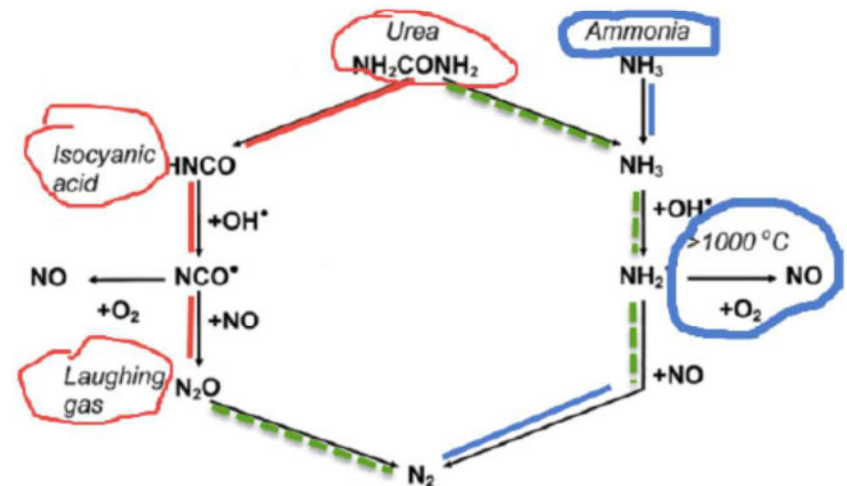
Ammonium hydroxide (NH_4OH) – Woda Amoniakalna

- Bezpośrednia reakcja
- Niezbędny czas reakcji jest krótszy
- Wyższe poziomy redukcji
- Niższy poślizg NH_3
- Wyższa wydajność reakcji chemicznej – niższe zużycie

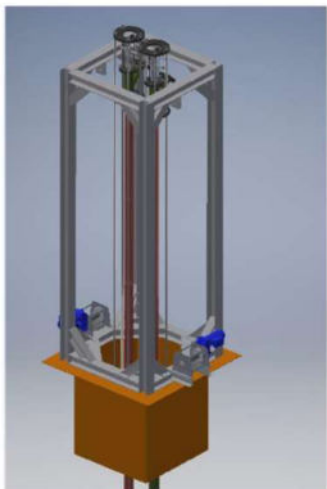


Urea solution ($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$)

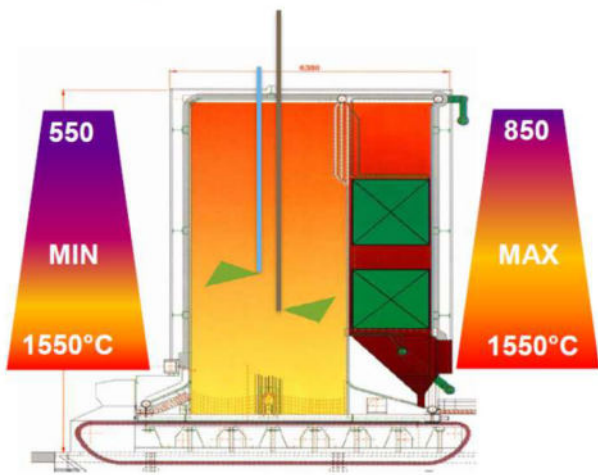
- Reakcja bardziej złożona, mocznik rozkłada się wielokierunkowo
- Powstawanie podtlenku azotu – gaz cieplarniany
- Niższy stopień redukcji
- Wyższy poślizg NH_3
- Dodatkowa emisja CO
- Potrzeba stosowania ogrzewania przy niskich temperaturach



SNCR



ACL zabudowane na ścianach bocznych
kotła długość w kotle około 13 m



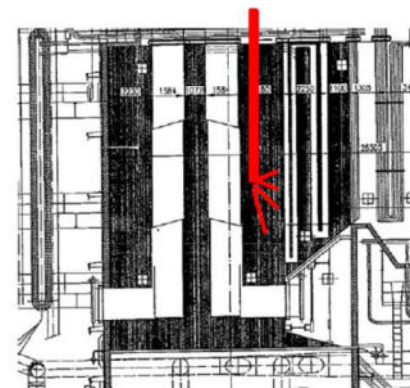
UDL (Urea Decomposition Lance) - schemat zabudowy w obszarze pomiędzy przegrzewaczami pary



SNCR

UDL (Urea Decomposition Lance)

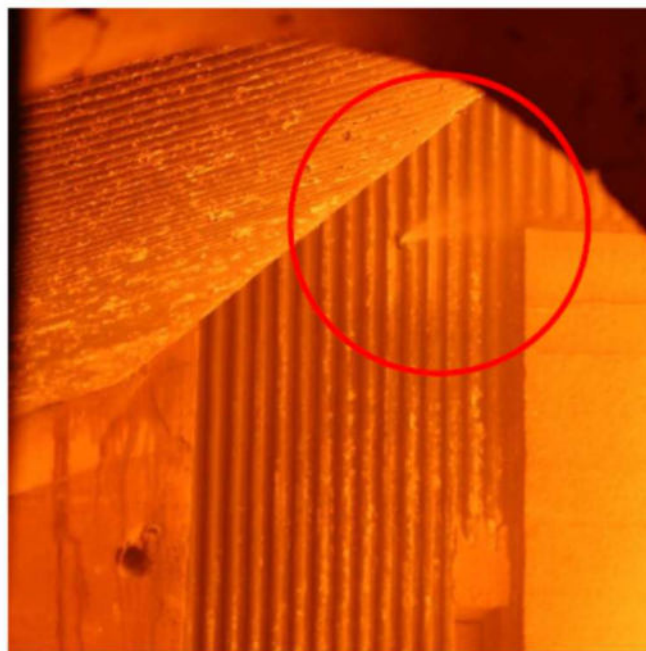
- Opatentowana technologia odparowywania i rozkładu mocznika wewnątrz lancy, pozwalająca unikając ryzyka korozji wewnątrz kotła podawać reagent w postaci mocznika w pobliże rur przegrzewaczych.



Wtrysk reagenta realizowany różnymi dyszami - przykłady



Wtrysk realizowany
dyszą trójotworową



Wtrysk realizowany
dyszą dwuotworową



Wtrysk realizowany
dyszą jednootworową

Problematyka redukcji emisji zanieczyszczeń w instalacjach spalających odpady i utylizujących gazy procesowe

- **HCl i HF** są agresywnymi, silnie kwaśnymi składnikami spalin, wykazują działanie duszące i żrące
- Ich udział w spalinach jest ściśle związany ze składem chemicznym paliwa
- Do ograniczania emisji stosuje się zwykle **metody sorpcyjne**.
- Do spalin dodawany jest **sorbent** np. w postaci pylistego wodorotlenku wapnia **Ca(OH)₂** i węgla aktywnego. Sorbent wiąże się z kwaśnymi składnikami spalin. Następnie gazy oczyszczane są dodatkowo np. poprzez suchy filtr tkaninowy. Zużyty sorbent magazynowany jest w zbiornikach usytuowanych pod filtrem.
- Końcowy etap polega na oczyszczaniu mokrym przez tzw. płuczkę mokrą. Urządzenie składa się z kolumny schładzającej, zraszanej strumieniem roztworu **NaOH** i wody oraz kolumny absorpcyjnej z dwiema warstwami fluidalnymi. Jest to końcowe oczyszczanie spalin z pozostałości SO₂ oraz innych zanieczyszczeń. Ociekająca z obu kolumn woda trafia do zbiornika, skąd ponownie pompowana jest na kolumny oraz do chłodnicy spalin.

Redukcja emisji HF i HCl





Warunki dopalania gazów procesowych

Kluczowe wymagania dla komór dopalania, obowiązujące np. w instalacjach, gdzie dopala się odpady, VOC, gazy procesowe

- **Temperatura**
 - $\geq 850^{\circ}\text{C}$ – dla większości odpadów i zanieczyszczeń organicznych.
 - $\geq 1100^{\circ}\text{C}$ – jeżeli odpady zawierają związki chlorowcoorganiczne (np. PVC, PCB, pestycydy).
- **Czas przebywania spalin**
 - Minimum 2 sekundy w komorze dopalania przy wymaganej temperaturze.
- **Tlen**
 - Konieczne zapewnienie co najmniej 6% O_2 w strefie dopalania, z możliwością kontroli i pomiaru.

