

Sebastian WERLE¹ i Ryszard K. WILK¹

OGRANICZENIE EMISJI TLENKÓW AZOTU POPRZEZ ZINTEGROWANIE UKŁADU: REAKTOR ZGAZOWANIA - KOCIOŁ WĘGLOWY*

NITROGEN OXIDES EMISSION REDUCTION THROUGH SYSTEM INTEGRATION: GASIFIER REACTOR - COAL FIRED BOILER

Abstrakt: Proces spalania jest głównym powodem tworzenia się tlenków azotu. Techniki ograniczania emisji tlenków azotu z procesu spalania obejmują metody pierwotne (w trakcie spalania) i metody wtórne (po procesie spalania). Reburning jest jedną z najatrakcyjniejszych technik ograniczania emisji tlenków azotu. W ostatnich latach technika ta została zaimplementowana w wielu dużych instalacjach kotłów energetycznych. Niemniej jednak, problem emisji tlenków azotu to nie tylko problem dużej, ale także małej - komunalnej energetyki. W Polsce, z uwagi na pozycję, jaką zajmuje węgiel w produkcji finalnych postaci energii, kotły węglowe małej mocy są bardzo popularnymi jednostkami wytwórczymi. Jednocześnie Polska boryka się z problemem unieszkodliwiania osadów ściekowych i koniecznością rozwoju termicznych metod obróbki tego materiału. Chcąc połączyć te dwa aspekty, postuluje się wykorzystać proces zgazowania osadów ściekowych i produkowany gaz wykorzystać jako paliwo reburningowe w kotle węglowym małej mocy. Wyniki pokazują wpływ dodatku paliwa na obniżenie emisji tlenków azotu.

Słowa kluczowe: NO_x, reburning, kocioł węglowy, zgazowanie osadów ściekowych

Emisja tlenków azotu w procesie spalania jest czynnikiem wywołującym zjawisko miejskiego smogu. Pojęcie „tlenki azotu” odnosi się do tlenku azotu (NO), ditlenku azotu (NO₂) i podtlenku azotu (N₂O). NO i NO₂ są zwane NO_x. Spalanie paliw kopalnych a w szczególności węgla, ropy naftowej i gazu jest powszechnie wykorzystywanym procesem do generowania użytecznych postaci energii. Niesie jednak za sobą ryzyko nadmiernej emisji tlenków azotu. Istnieją dwie podstawowe grupy metod ograniczania emisji tlenków azotu z procesu spalania:

1. Metody pierwotne

2. Metody wtórne

Metody pierwotne ograniczania emisji NO_x realizuje się poprzez [1-3]:

1) stopniowe spalanie (stopniowanie paliwa lub stopniowanie powietrza),

2) obniżanie temperatury w płomieniu,

3) dostarczanie amoniaku lub mocznika do komory spalania.

Główną metodą wtórną metody redukcji NO_x jest selektywna redukcja katalityczna (SCR) [4-6].

Niemniej jednak ostatnie lata cechuje intensywny rozwój metod pierwotnych. Reburning (stopniowanie paliwa) jest jedną z najatrakcyjniejszych technik ograniczania emisji tlenków azotu [7]. Obecnie technika ta została zaimplementowana w wielu dużych instalacjach kotłów energetycznych [8]. Problem emisji NO_x nie odnosi się tylko do tzw. „węglowej” energetyki zawodowej, ale także do komunalnej. Kotły węglowe małej

¹ Instytut Techniki Ciepłej, Politechnika Śląska, ul. Konarskiego 22, 44-100 Gliwice, tel. 32 237 29 83, fax 32 237 28 72, email: sebastian.werle@polsl.pl

*Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'13, Jarnołtówek, 23-26.10.2013

mocy są bowiem bardzo popularnymi jednostkami wytwórczymi w Polsce. Jednocześnie zobowiązania prawne wymagają, by w Polsce nastąpił rozwój termicznych metod unieszkodliwiania osadów ściekowych. Chcąc zatem połączyć te dwa aspekty, postuluje się wykorzystać proces zgazowania osadów ściekowych i produkowany gaz użyć jako paliwo dodatkowe, podawane do kotła węglowego małej mocy celem obniżenia emisji tlenków azotu. Wyniki pokazują wpływ dodatku paliwa na obniżenie emisji NO_x .

Zagazowanie osadów ściekowych - produkcja paliwa reburningowego

Przedmiot badań stanowiły osady ściekowe, które pochodziły z oczyszczalni ścieków zlokalizowanej w Polsce. Właściwości osadów ściekowych zostały przedstawione w tabeli 1. Osad pochodził z oczyszczalni mechaniczno-biologiczno-chemicznej z symultanicznym strącaniem fosforu. Po odwodnieniu osad był suszony w suszarce taśmowej przy użyciu gorącego powietrza o temperaturze 150°C . W końcowym efekcie powstały osad ma formę nieregularnie ciętych „makaroników” [9].

Właściwości osadów ściekowych [9]

Tabela 1

Table 1

Sewage sludge properties [9]

Parametr	Osad ściekowy
Analiza techniczna [% wag.] (stan roboczy)	
Wilgość	5,30
Części lotne	49,00
Popiół	44,20
Analiza elementarna [% wag.] (stan suchy)	
C	27,72
H	3,81
N	3,59
O (jako różnica)	18,84
S	1,81
F	0,003
Cl	0,03
Kaloryczność Wartość opałowa [MJ/kg (suchej masy)]	10,75

Proces zgazowania osadów ściekowych prowadzono w reaktorze ze złożem stałym zaprojektowanym w Instytucie Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej [10]. Badane osady poddawano procesowi zgazowania przy użyciu powietrza jako czynnika zgazowującego o zmiennej temperaturze, stosując ilości czynnika odpowiadające zakresowi stosunku nadmiaru powietrza (λ) od 0,12 do 0,27. Wpływ parametrów zgazowania na parametry gazu procesowego, przede wszystkim na jego skład oraz wartość opałową, omówiono szczegółowo w pracy [11].

Proces reburningu - stanowisko badawcze

Do badań wykorzystano kocioł węglowy o mocy 25 kW z podajnikiem automatycznym (rys. 1).



Rys. 1. Kocioł węglowy z podajnikiem automatycznym

Fig. 1. The coal-fired boiler with automatic feeder



Rys. 2. Modyfikacje w kotle - doprowadzenie dodatkowego paliwa

Fig. 2. Boiler modifications - additional fuel inlets

W kotle dokonano szeregu zmian konstrukcyjnych (rys. 2), których celem było przystosowanie kotła do badań procesu reburningu. Podstawowym elementem dodatkowym jest profil stalowy wyposażony w 20 otworów o średnicy 1 mm, przez które wprowadzano paliwo dodatkowe do komory spalania. Gaz ze zgazowania w ilości wynoszącej 5% całkowitej energii chemicznej paliwa jest wprowadzany bezpośrednio w strefę płomienia, wywołując strefę bogatą w paliwo (strefa reburningu). Dzięki temu zabiegowi w miejscu, w którym zostało doprowadzone dodatkowe paliwo, powstaje strefa redukcyjna. W strefie tej paliwo reburningowe ulega rozkładowi, którego produktami są rodniki węglowodorowe CH_i . Rodniki te przyczyniają się do redukcji tlenków azotu (powstałych wskutek spalania paliwa podstawowego) do azotu atmosferycznego.

Proces reburningu - właściwości paliwa podstawowego i dodatkowego

Paliwem podstawowym spalany w kotle jest węgiel kamienny, którego właściwości przedstawiono w tabeli 2. Paliwem dodatkowym jest gaz ze zgazowania osadów ściekowych. Właściwości gazu zestawiono w tabeli 3.

Właściwości paliwa podstawowego (węgiel kamienny)

Tabela 2

Characteristic of main fuel (hard coal)

Table 2

Analiza techniczna [%] (stan roboczy)	
Wilgość	9,30
Zawartość części lotnych	30,60
Popiół	4,30
Analiza elementarna [%] (stan suchy)	
C	72,36
H	4,34
N	1,35
O (jako różnica)	21,59
S	0,36
Kaloryczność	
Wartość opałowa [MJ/kg] (stan suchy)	29,20

Charakterystyka paliwa dodatkowego (gaz ze zgazowania osadów ściekowych)

Tabela 3

Characteristic of additional fuel (sewage sludge gasification gas)

Table 3

[% obj.]					Wartość opałowa [MJ/m ³ _n]
CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂	
28,50	5,00	1,00	15,00	50,50	4,49

Wyniki badań

W tabeli 4 zestawiono wyniki uzyskane podczas testów. Przeprowadzono dwa cykle badań: cykl 1 - spalanie paliwa podstawowego bez paliwa dodatkowego (brak reburningu) oraz cykl 2 - spalanie paliwa podstawowego wraz z paliwem dodatkowym (reburning).

Wyniki badań w obu analizowanych cyklach pomiarowych

Tabela 4

Main results achieved in both analyzed cases

Table 4

	Cykl 1	Cykl 2
Strumień masowy paliwa podstawowego [kg/h]	4,50	4,00
Strumień objętościowy paliwa dodatkowego [m ³ /h]	-	2,00
Skład spalin [% obj.] (6% O ₂)		
CO ₂	10,62	12,50
CO	0,035	0,70
O ₂	10,05	6,00
N ₂	79,30	80,80
NO _x [ppm]		
Zakres:	182,00-244,00	129,00-179,00
Średnio	213,00	154,00
Moc cieplna kotła [kW]	25,00	25,00

Analizując przedstawione wyniki, widać, iż osiągnięto 40-procentowe obniżenie stężenia tlenków azotu, stosując dodatek gazu ze zgazowania osadów ściekowych jako paliwa dodatkowego. Jednocześnie odnotować należy nieznaczny wzrost stężenia tlenu i ditlenku węgla. Ta współzależność między wzrostem stężenia CO i obniżeniem NO_x musi być kontrolowana w trakcie realizacji procesu stopniowania paliwa w kotle węglowym małej mocy.

Podsumowanie i wnioski

Spalanie węgla i stosowanie gazu ze zgazowania osadów ściekowych pozwala na ograniczenie stężenia tlenków azotu z procesu spalania węgla. Przeprowadzone badania potwierdzają tę tezę. Osiągane rezultaty pokazują, że możliwe jest ponad 40% ograniczenie stężenia NO_x. Reburning przy użyciu gazu ze zgazowania osadów ściekowych charakteryzuje się wieloma zaletami. Wykorzystywane obecnie w kraju technologie utylizacji węgla kamiennego, obok spalania w kotłach pyłowych, fluidalnych, rusztowych, obejmują także stosowane coraz częściej w ogrzewnictwie indywidualnym paleniska retortowe, które mają szczególne znaczenie w instalacjach małej mocy. Kotłów tych zainstalowano w Polsce już ponad 200 000, a liczba producentów szacuje się na około 200. Innowacyjność techniczna i produktowa w dziedzinie wytwarzania energii cieplnej dla celów bytowych jest ukierunkowana na wzrost sprawności ekologicznej oraz zmniejszenie uciążliwości dla środowiska. Wdrażanie nowoczesnych technologii i technik spalania w instalacjach małej mocy ukierunkowana powinna być na implementację rozwiązań stosowanych w przemysłowych technologiach spalania paliw stałych, czego przykładem mogą być sposoby ograniczania emisji NO_x, wśród których wymienić można reburning, uważany w powszechnej opinii specjalistów za efektywną oraz bardzo rozwojową metodę ograniczania emisji NO_x z procesów spalania. Zgazowanie osadów ściekowych i użycie powstałego gazu w kotłach retortowych małej i średniej mocy jako paliwa dodatkowego (reburningowego) jest okazją do spełnienia wielu zobowiązań jednocześnie. Z jednej strony przyczyni się do rozwoju termicznych metod utylizacji osadów ściekowych, a z drugiej strony da możliwość zaoszczędzenia spalanych paliw kopalnych przy

jednoczesnym wzroście udziału odnawialnych źródeł energii w produkcji ciepła i ograniczeniu negatywnych skutków ekologicznych.

Podziękowania

Niniejsza pracę sfinansowano częściowo ze środków badań statutowych Instytutu Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej.

Literatura

- [1] Wilk RK. Low-Emission Combustion. Gliwice: Wyd Politechniki Śląskiej; 2002.
- [2] Harding NS, Adams BR. Biomass and Bioenerg. 2000;19:429-445. DOI: 10.1016/S0961-9534(00)00054-4.
- [3] Khan AA, de Jong W, Jansens PJ, Spliethoff H. Fuel Process Technol. 2009;90:21-50. DOI: 10.1016/j.fuproc.2008.07.012.
- [4] Miller JA, Bowman CT. Progress in Energy and Combustion Sci. 1989;15:287-338. DOI: 10.1016/0360-1285(89)90017-8.
- [5] Magdziarz A, Werle S. Waste Manage. 2014;34:174-179. DOI: 10.1016/j.wasman.2013.10.033
- [6] Adams BR, Harding NS. Fuel Process Technol. 1998;54:249-263. DOI: 10.1016/S0378-3820(97)00072-6.
- [7] Dagaut P, Luche J, Cathonnet MR. Fuel. 2001;80:979-986. DOI: S0016-2361(00)00199-X.
- [8] Maly PM, Zamansky VM, Ho L, Payne R. Fuel. 1999;78:327-334. DOI: 10.1016/S0016-2361(98)00161-6.
- [9] Werle S. Environ Protect Eng. 2013;39(2):25-32. DOI: 10.5277/EPE130203.
- [10] Werle S, Wilk RK. Zgłoszenie patentowe nr P-397225 z dnia 2 grudnia 2011.
- [11] Werle S, Dudziak M. Przemysł Chem. 2013;92(7):1350-1353.

NITROGEN OXIDES EMISSION REDUCTION THROUGH SYSTEM INTEGRATION: GASIFIER REACTOR - COAL FIRED BOILER

Institute of Thermal Technology, Silesian University of Technology, Gliwice

Abstract: Nitrogen oxides can be formed in various combustion systems. Strategies for the control of NO_x emissions in hard coal boilers include the primary (during the combustion) and secondary measures (after combustion). Reburning is the one of the most attractive techniques for reducing NO_x emissions. In the last several years, reburning technology has been widely studied but almost only in power engineering big load boilers. Nevertheless, NO_x emission is an issue that needs to be considered for small capacity boilers. Poland is among the largest coal producing country in Europe. Due to this fact, coal fired boilers are very popular in power engineering and also in the municipal sector. Simultaneously, Poland is characterized by the lack of sewage sludge thermal treatment installation. The paper proposes to link those two Polish features so the aim of the work is an experimental investigation on the reburning process of sewage sludge gasification gas in a small capacity domestic coal-fired boiler. The results obtained show how the addition of the reburning fuel influences on NO_x reduction efficiency.

Keywords: NO_x, reburning, coal-fired boiler, sewage sludge gasification