



Influence of the gasification agent type on the combustible fraction of sewage sludge gasification process gas and the effectiveness of NO_x emission reduction

Sylwia KUBICKA¹, Sebastian WERLE²

¹ Instytut Techniki Ciepłej, ul. Konarskiego 22, tel.: 32 2372983, fax: 32 237-28 72

² Instytut Techniki Ciepłej, ul. Konarskiego 22, tel.: 32 237-2983, fax: 32 237-28 72,
e-mail: Sebastian.werle@polsl.pl

Abstract

Reburning potential of combustible fraction of the sewage sludge gasification process syngas depending on the gasification agent (air, oxygen, steam, their mixtures, CO₂ and hydrogen) was defined. The numerical simulations of the co-combustion process of two types of the sewage sludge gasification gas in coal-fired boiler was performed. Chemkin program was used.

Keywords: combustible, reburning, co-combustion process

Streszczenie

Wpływ czynnika zgazowującego na skład gazu ze zgazowania frakcji palnej osadów ściekowych oraz na efektywność obniżenia emisji tlenków azotu

W pracy został określony potencjał reburningowy gazu ze zgazowania frakcji palnej osadów ściekowych w zależności od zastosowanego czynnika zgazowującego, tj. powietrza, tlenu, pary wodnej, mieszaniny pary wodnej z powietrzem, dwutlenku węgla oraz wodoru. Dokonano symulacji numerycznych procesu współspalania gazu ze zgazowania dwóch rodzajów osadów ściekowych w kotle opalanym węglem kamiennym. Wykorzystano program Chemkin stosując model reaktora tłokowego.

Słowa kluczowe: zgazowanie, reburning, współspalanie.

1. Wstęp

Wraz z obowiązkiem budowy nowych oraz modernizacji już istniejących oczyszczalni ścieków w miastach o RLM>20000 oraz zwiększającą się liczbą mieszkańców korzystających z usług odprowadzania ścieków z gospodarstw domowych rośnie liczba powstałych osadów ściekowych.

W związku z faktem, iż wraz z dniem 01.01.2013 r. zgodnie z zapisami Dyrektywy 99/31/EC w sprawie składowania odpadów wprowadzony zostanie zakaz składowania osadów o cieple spalania powyżej 6 MJ/kg można powiedzieć, że możliwe będą dwa sposoby wykorzystania osadów ściekowych. Pierwszy z nich to ich przyrodnicze wykorzystanie, natomiast drugi to termiczne przekształcanie.

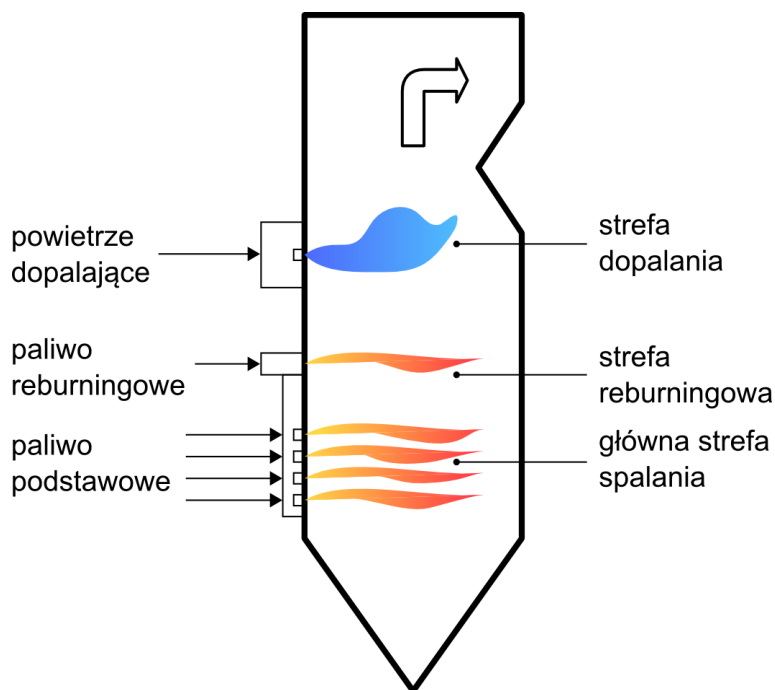
Przyrodnicze wykorzystanie osadów polega na ich stosowaniu w celu nawożenia gleb i roślinności, rekultywacji terenów oraz do produkcji kompostu. Natomiast poprzez termiczne przekształcanie osadów ściekowych należy rozumieć ich spalanie, pirolizę lub zgazowanie.

Oba warianty wykorzystania osadów mają swoje wady i zalety, oba spotykają się z brakiem akceptacji społecznej. Jednak biorąc pod uwagę fakt, iż nowo powstałe instalacje termicznego przekształcania osadów wyposażone są w systemy oczyszczania spalin o wysokiej sprawności, obawy w stosunku do drugiej metody wydają się być nieuzasadnione [1].

Wśród termicznych metod utylizacji osadów ściekowych bardzo obiecującym procesem jest ich zgazowanie. W porównaniu z procesem spalania, zgazowywanie wskutek niepełnego przekształcenia substancji organicznej zawartej w osadach nie prowadzi do powstawania nadmiernych ilości szkodliwych substancji zanieczyszczających atmosferę, a gaz otrzymany w wyniku tego procesu może być wykorzystany jako gaz palny do produkcji ciepła i energii elektrycznej. Zgazowanie, oprócz wspomnianego wcześniej uniknięcia emisji substancji zanieczyszczających atmosferę, może przyczynić się również do redukcji tlenków azotu powstałych wskutek spalania określonego paliwa poprzez wykorzystanie gazu ze zgazowania jako paliwa reburningowego.

Reburning to jeden z pierwotnych sposobów ograniczania emisji tlenków azotu, który umożliwia wykorzystanie gazu ze zgazowania danego paliwa.

Istota tej metody polega na doprowadzeniu do komory spalania, w której spalane jest paliwo podstawowe (najczęściej węgiel) paliwa dodatkowego, zwanego paliwem reburningowym. 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 [2]. Idea reburningu przedstawiona została na rys. 1.1. Odpowiednim paliwem reburningowym jest paliwo, które zawiera dużo części lotnych oraz jest bardzo reaktywne. Do takich paliw zaliczyć można m.in. gaz ziemny i koksowniczy, lekki i ciężki olej opałowy, węgiel brunatny oraz biomasę (w tym osady ściekowe) [4 - 8].



Rys. 1.1. Podział komory spalania na strefy w procesie reburningu [3].

W pracy został określony potencjał reburningowy gazu ze zgazowania osadów ściekowych w zależności od zastosowanego czynnika zgazowującego, tj. powietrza, tlenu, pary wodnej, mieszaniny pary wodnej z powietrzem, dwutlenku węgla oraz wodoru. Dokonano symulacji numerycznych procesu współspalania gazu ze zgazowania dwóch rodzajów osadów ściekowych w kotle opalanym węglem kamiennym. Wykorzystano program Chemkin stosując model reaktora tłokowego. Założono, iż udział objętościowy dodawanego gazu wynosi 7,5 i 12,5% w stosunku do masy spalin. Skład spalin zestawiono w tabeli 1.1. Sprawdzone wpływy reakcji między gazem ze zgazowania osadów ściekowych i spalinami pochodzącymi ze spalania węgla kamiennego na obniżenie emisji tlenków azotu. Wyniki obliczeń pokazują, jaki czynnik zgazowujący ma największy wpływ na redukcję tlenków azotu. Wpływ konkretnego czynnika zgazowującego ukazany został przez zależność pomiędzy względną ilością tlenu azotu w spalinach, temperaturą T (600-1400K) i stosunkiem nadmiaru powietrza λ (1-2, co 0,1).

Tabela 1.1. Skład spalin powstałych ze spalania węgla kamiennego.

Składnik, % wag.	$\lambda=1,0$	$\lambda=1,1$	$\lambda=1,2$	$\lambda=1,3$	$\lambda=1,4$	
N ₂	0,8074	0,8058	0,8044	0,8033	0,8023	
O ₂	0,0000	0,0193	0,0355	0,0491	0,0607	
CO ₂	0,1919	0,1741	0,1594	0,1469	0,1363	
H ₂ O	0,0792	0,0718	0,0657	0,0606	0,0562	
NO, ppm	300	300	300	300	300	
SO ₂	0,00055	0,0005	0,00046	0,00042	0,00039	
Składnik, % wag.	$\lambda=1,5$	$\lambda=1,6$	$\lambda=1,7$	$\lambda=1,8$	$\lambda=1,9$	$\lambda=2,0$
N ₂	0,8015	0,8007	0,8001	0,7995	0,799	0,7985
O ₂	0,07082	0,07962	0,08738	0,09426	0,1004	0,1059
CO ₂	0,1271	0,119	0,1119	0,1056	0,1	0,09497
H ₂ O	0,05241	0,04909	0,04617	0,04357	0,04125	0,03917
NO, ppm	300	300	300	300	300	300
SO ₂	0,0003661	0,0003429	0,0003225	0,0003044	0,0002882	0,0002736

Obliczenia składu gazu ze zgazowania osadów ściekowych

Analiza różnych czynników zgazowujących wymusiła odejście od standardowych obliczeń zapotrzebowania tlenu do procesu zgazowania stosowanych w termodynamice technicznej, które polegały na obliczeniu rzeczywistej ilości powietrza (n_a'). W związku z tym, że w pracy analizowane zostały różne nośniki tlenu obliczenia zostały wykonane za pomocą równań reakcji chemicznych dominujących podczas zgazowania, tj. określenia odpowiednich współczynników stechiometrycznych (tabela 2.1). Założono, iż analizowane wysuszone mechanicznie osady pochodzące z dwóch polskich oczyszczalni ścieków są substancją bezpopiołową. Założenie to poczyniono z uwagi na brak możliwości analizy stałych produktów zgazowania w programie Gaseq. Skład osadów przedstawiono w tabeli 2.2. Posługując się obliczonymi ilościami kmoli pierwiastków potrzebnych do procesu zgazowania i wykorzystaniu tych wartości w programie Gaseq, przy założeniu równowagi stężeń przy określonej temperaturze oraz ciśnieniu i po nieskończone długim czasie przebywania reagentów, obliczono skład gazu ze zgazowania osadów ściekowych. Założono ponadto, iż spalanie jest całkowite i zupełne, początkowa zawartość NO w spalinach wynosi 300 ppm, w skład powstałych NO_x nie wchodzi inne tlenki azotu niż NO, zaś parametry procesu wynoszą: p=1 bar, T=600-1400 K, $\tau=0-0,4$ s.

Tabela 2.1. Dominujące reakcje zgazowania podczas zastosowania różnych czynników zgazowujących oraz obliczona na tej podstawie ilość kmoli pierwiastków potrzebnych do zgazowania 1kg osadów o składzie jak w tabeli 2.2.

Czynnik zgazowujący	Reakcja dominująca
Powietrze	$1 \cdot C + 0,5 \cdot O_2 + 1,88 \cdot N_2 = 1 \cdot CO + 1,88 \cdot N_2$ $0,03495 \cdot C + 0,017475 \cdot O_2 + 0,065706 \cdot N_2 = 0,03495 \cdot CO + 0,065706 \cdot N_2$
Tlen	$1 \cdot C + 0,5 \cdot O_2 = 1 \cdot CO$ $0,03495 \cdot C + 0,017475 \cdot O_2 = 0,03495 \cdot CO$
Para wodna	$1 \cdot C + 1 \cdot H_2O = 1 \cdot CO + 1 \cdot H_2$ $0,03495 \cdot C + 0,03495 \cdot H_2O = 0,03495 \cdot CO + 0,03495 \cdot H_2$
Mieszanina pary wodnej i powietrza	$C + a \cdot (O_2 + 3,76 \cdot N_2) + b \cdot H_2O \rightarrow CO + a \cdot 3,76 \cdot N_2 + b \cdot H_2$ $C + \frac{1}{4} \cdot (O_2 + 3,76 \cdot N_2) + \frac{1}{2} \cdot H_2O \rightarrow CO + 0,94 \cdot N_2 + \frac{1}{2} \cdot H_2$ $0,03495 \cdot C + 0,008738 \cdot O_2 + 0,032853 \cdot N_2 + 0,017475 \cdot H_2O \rightarrow$ $\rightarrow 0,03495 \cdot CO + 0,032853 \cdot N_2 + 0,017475 \cdot H_2$
Dwutlenek węgla	$1 \cdot C + 1 \cdot CO_2 = 2 \cdot CO$ $0,03495 \cdot C + 0,03495 \cdot CO_2 = 0,0699 \cdot CO$
Wodór	$1 \cdot C + 2 \cdot H_2 = 1 \cdot CH_4$ $0,03495 \cdot C + 0,0699 \cdot H_2 = 0,03495 \cdot CH_4$

Tabela 2.2. Porównanie składu analizowanych osadów ściekowych.

Składnik	Jednostka	Osad A	Osad B
c	% wag.	41,94	57,14
h		4,92	5,30
o		22,89	23,76
n		4,25	4,50
w		26,00	9,30

2. Rezultaty

Wyniki obliczeń składu gazu ze zgazowania osadów A i B, dla różnych czynników zgazowujących zestawione zostały w tabeli 3.1 oraz tabeli 3.2.

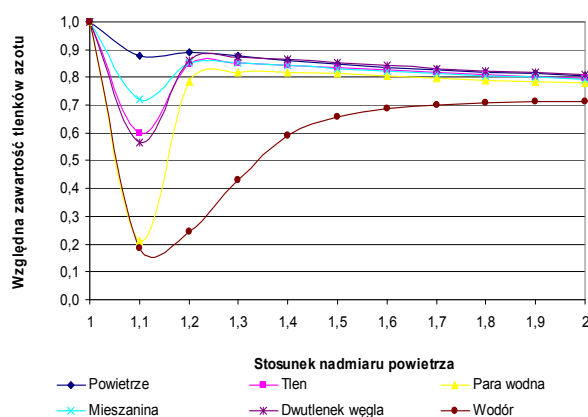
Tabela 3.1. Skład gazu ze zgazowania osadu A.

Czynnik zgazowujący	Składnik, udział molowy						
	CH ₄	CO	CO ₂	H ₂	N ₂	H ₂ O	O ₂
Powietrze	0,000004	0,15862	0,08887	0,16176	0,47603	0,11472	0,02525 · 10 ⁻¹⁵
Tlen	0,00003	0,29661	0,16622	0,30247	0,02010	0,21456	0,02526 · 10 ⁻¹⁵
Para wodna	0,00010	0,24244	0,07392	0,48328	0,01374	0,18651	0,007476 · 10 ⁻¹⁵
Mieszanina	0,00003	0,19902	0,07870	0,29930	0,27315	0,14981	0,01258 · 10 ⁻¹⁵
Dwutlenek węgla	0,00005	0,47628	0,15653	0,24958	0,01374	0,10382	0,008686 · 10 ⁻¹⁵
Wodór	0,04822	0,21503	0,00028	0,72383	0,01145	0,00119	0,01357 · 10 ⁻²⁰

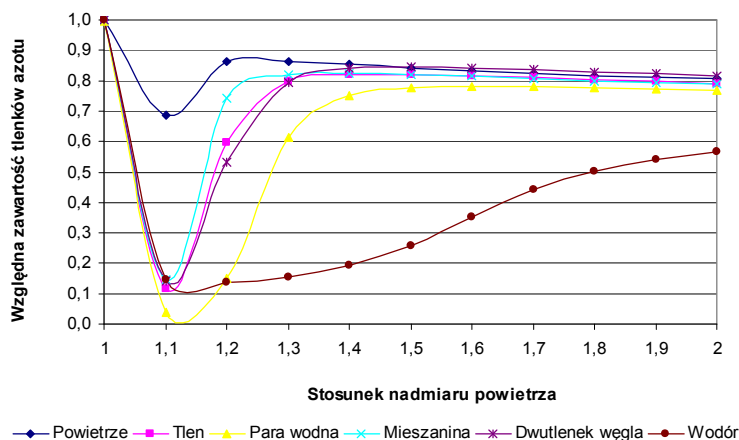
Tabela 3.2. Skład gazu ze zgazowania osadu B.

Czynnik zgazowujący	Składnik, udział molowy						
	CH ₄	CO	CO ₂	H ₂	N ₂	H ₂ O	O ₂
Powietrze	0,000007	0,21389	0,06554	0,13389	0,53475	0,05193	0,07551 · 10 ⁻¹⁶
Tlen	0,00007	0,45059	0,13808	0,28201	0,01987	0,10939	0,07552 · 10 ⁻¹⁶
Para wodna	0,00029	0,31897	0,05150	0,51209	0,01251	0,10465	0,02096 · 10 ⁻¹⁶
Mieszanina	0,00006	0,26295	0,05562	0,29272	0,31027	0,07838	0,03598 · 10 ⁻¹⁶
Dwutlenek węgla	0,00008	0,63014	0,11097	0,20140	0,01251	0,04490	0,02494 · 10 ⁻¹⁶
Wodór	0,22844	0,16543	0,00002	0,59271	0,01329	0,00011	0,016 · 10 ⁻²²

Analizując zależność względnej zawartości tlenków azotu od stosunku nadmiaru powietrza (Rys. 3.1) zauważyć można, że zgazowując osady ściekowe za pomocą wodoru otrzymać można największą redukcję NO_x w procesie reburningu, która sięga ponad 80%. Na drugim miejscu znajduje się para wodna, dzięki której następuje 79% redukcja NO_x. Największa redukcja tlenków azotu zachodzi podczas zgazowania osadów przy λ=1,1. Wyjątek stanowi zgazowanie powietrzem, podczas którego największa redukcja w temperaturze 900 K zachodzi przy λ=2.



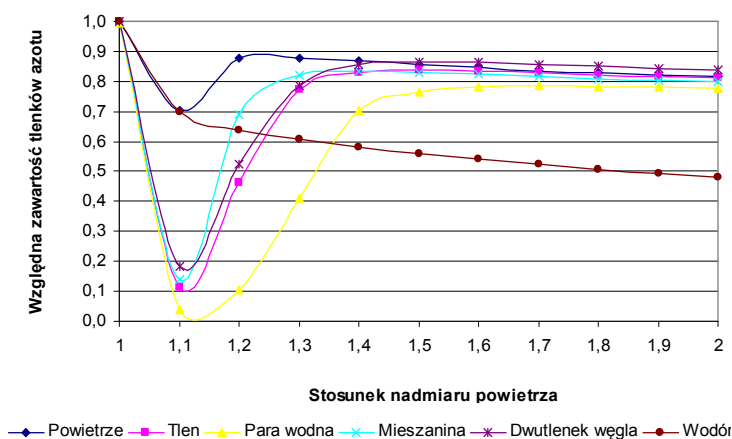
Rys. 3.1. Wykres zależności względnej zawartości tlenków azotu od stosunku nadmiaru powietrza przy T=900 K oraz τ=0,4 s. Porównanie wpływu różnych czynników zgazowujących na efektywność redukcji NO_x z wykorzystaniem gazu ze zgazowania osadu A przy jego 7,5% udziale objętościowym.



Rys. 3.2. Wykres zależności względnej zawartości tlenków azotu od stosunku nadmiaru powietrza przy $T=900$ K oraz $\tau=0,4$ s. Porównanie wpływu różnych czynników zgazowujących na efektywność redukcji NO_x z wykorzystaniem gazu ze zgazowania osadu A przy jego 12,5% udziale objętościowym.

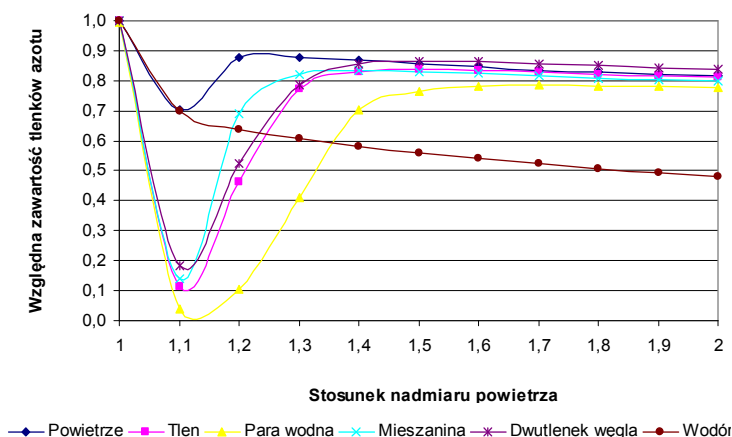
Zwiększając udział objętościowy gazu ze zgazowania (Rys.3.2) zwiększa się stopień redukcji – najwięcej tlenków azotu zostanie zredukowanych zgazowując osady parą wodną (96%), jednak zwiększając ilość powietrza doprowadzanego do komory spalania redukcja za pomocą gazu ze zgazowania powstałego przy użyciu pary wodnej jako czynnika zgazowującego jest mniej intensywna. Najmniej podatnym czynnikiem na zwiększanie stosunku nadmiaru powietrza jest wodór, który przy optymalnej wartości $\lambda=1,1$ powoduje 90% redukcję, a przy $\lambda=2$ – 40%.

Jak to zostało przedstawione na rysunku 3.3 gaz ze zgazowania osadu B o 7,5% udziale w spalinach, charakteryzuje się największą intensywnością redukcji tlenków azotu podczas zgazowania parą wodną przy $\lambda=1,1$ – ok. 85%. W porównaniu do tego samego udziału objętościowego gazu ze zgazowania osadu A, zmianę można zauważyć w przebiegu linii charakteryzującej zawartość tlenków azotu przy wykorzystaniu do zgazowania wodoru. W tamtym przypadku względna zawartość tlenków azotu malała do $\lambda=1,1$ (80%), a następnie rosła, natomiast w tym przypadku sukcesywnie maleje i przy $\lambda=2$ wynosi 50%.

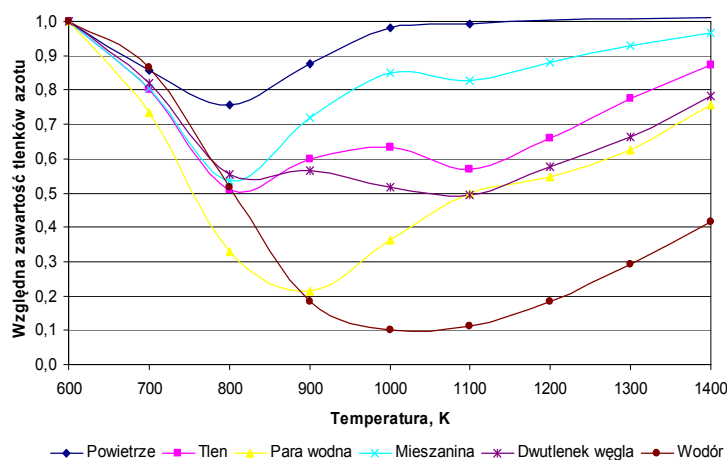


Rys. 3.3. Wykres zależności względnej zawartości tlenków azotu od stosunku nadmiaru powietrza przy $T=900$ K oraz $\tau=0,4$ s. Porównanie wpływu różnych czynników zgazowujących na efektywność redukcji NO_x z wykorzystaniem gazu ze zgazowania osadu B przy jego 7,5% udziale objętościowym.

Podczas zwiększania udziału objętościowego gazu ze zgazowania osadu B (rysunek 3.4) zwiększa się efektywność redukcji NO_x . W przypadku zgazowania osadu parą wodną zachodzi 96% redukcja. Bardzo dużym potencjałem odznacza się również zgazowanie tlenem, dzięki któremu można osiągnąć 90% obniżenie ilości tlenków azotu w spalinach. Natomiast zwiększając udział objętościowy gazu efektywność redukcji za pomocą wodoru nie zmienia się znacznie - przy $T=1400\text{ K}$ osiąga wartość ok. 53%.



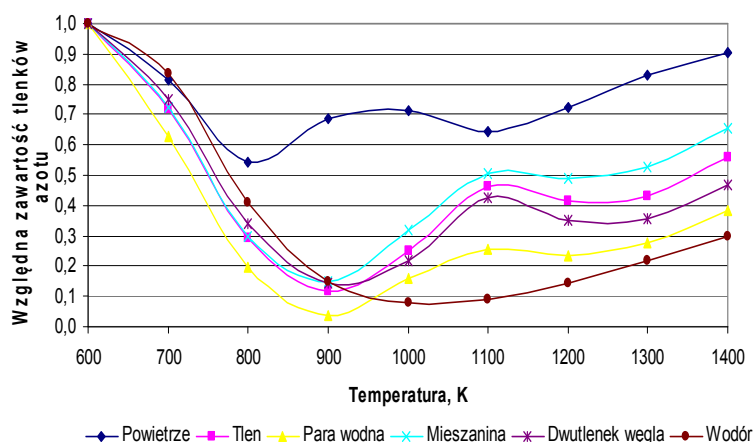
Rys. 3.4. Wykres zależności względnej zawartości tlenków azotu od stosunku nadmiaru powietrza przy $T=900\text{ K}$ oraz $\tau=0,4\text{ s}$. Porównanie wpływu różnych czynników zgazowujących na efektywność redukcji NO_x z wykorzystaniem gazu ze zgazowania osadu B przy jego 12,5% udziale objętościowym.



Rys. 3.5. Wykres zależności względnej zawartości tlenków azotu w funkcji temperatury przy $\lambda=1,1$ oraz $\tau=0,4\text{ s}$. Porównanie wpływu różnych czynników zgazowujących na efektywność redukcji NO_x z wykorzystaniem gazu ze zgazowania osadu A przy jego 7,5% udziale objętościowym.

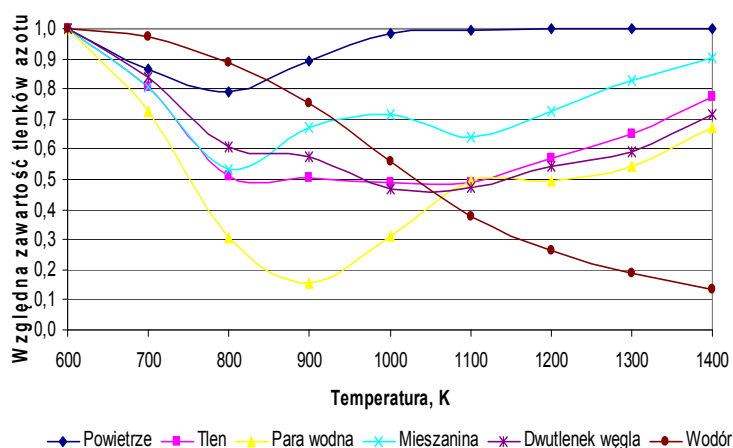
Analizując rysunek 3.5 zauważyć można, że największa redukcja NO_x zachodzi przy zgazowaniu osadu wodorem w temperaturze 1000 K – 90%. W 900 K największą efektywnością pod względem zmniejszania zawartości tlenków azotu charakteryzuje się para wodna – 80%. Paliwa reburningowe, które powstały wskutek zgazowania innymi czynnikami charakteryzują się największą redukcją w około 800 K . Zwiększając udział objętościowy osadu A (rys.3.6) zmienia się optymalna temperatura, w której proces reburningu zachodzi najefektywniej. Zgazowując osad A zarówno parą wodną, tlenem, dwutlenkiem węgla, jak i mieszaniną pary wodnej i powietrza, największa redukcja zachodzi przy 900 K , zaś w przypadku zgazowania tlenem – w 800 K , a optymalna temperatura dla paliwa reburningowego powstałego w wyniku zgazowania wodorem to $1000 - 1100\text{ K}$.

W przypadku zgazowania parą wodną zachodzi 96% redukcja tlenków azotu.

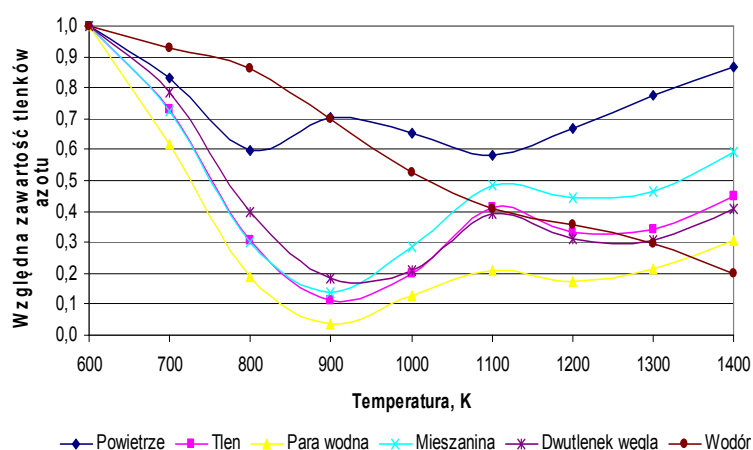


Rys. 3.6. Wykres zależności względnej zawartości tlenków azotu w funkcji temperatury przy $\lambda=1,1$ oraz $\tau=0,4$ s. Porównanie wpływu różnych czynników zgazujących na efektywność redukcji NO_x z wykorzystaniem gazu ze zgazowania osadu A przy jego 12,5% udziale objętościowym.

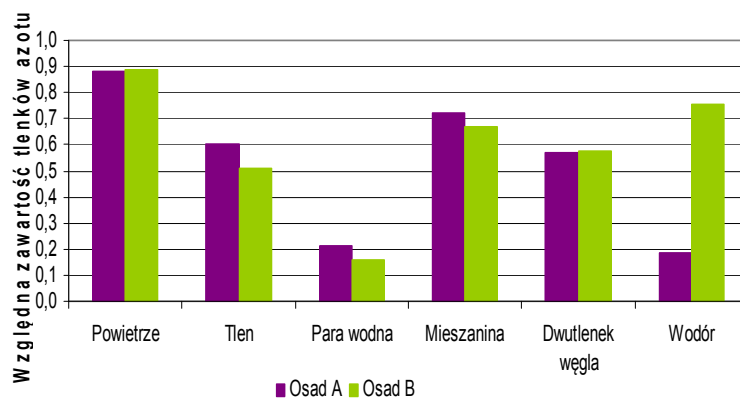
Przy 7,5% udziale gazu ze zgazowania osadu B zauważyć można, że największa redukcja zachodzi podczas zgazowania osadów wodorem – 87% przy 1400 K (Rys.3.7). W temperaturze 900 K najwięcej NO_x zostanie zredukowanych za pomocą gazu ze zgazowania parą wodną – ok.85%. Zwiększając udział objętościowy gazu ze zgazowania osadu B do 12,5% (Rys.3.8) zwiększa się stopień redukcji NO_x oraz zmienia się wartość optymalnej temperatury dla gazu ze zgazowania osadu tlenem, parą wodną, mieszaniną pary wodnej i powietrza oraz CO_2 . Przebieg linii pokazującej zmianę zawartości tlenków azotu z wykorzystaniem do procesu zgazowania wodoru jest podobny jak w przypadku 7,5% udziału gazu ze zgazowania osadu B, jednak uzyskuje się mniejszą redukcję niż w przypadku 7,5% udziału – do 80% przy $T=1400$ K.



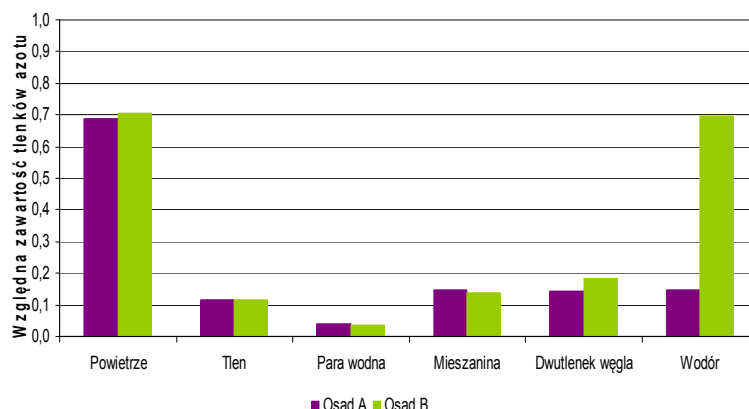
Rys. 3.7. Wykres zależności względnej zawartości tlenków azotu w funkcji temperatury przy $\lambda=1,1$ oraz $\tau=0,4$ s. Porównanie wpływu różnych czynników zgazujących na efektywność redukcji NO_x z wykorzystaniem gazu ze zgazowania osadu B przy jego 7,5% udziale objętościowym.



Rys. 3.8. Wykres zależności względnej zawartości tlenków azotu w funkcji temperatury przy $\lambda=1,1$ oraz $\tau=0,4$ s. Porównanie wpływu różnych czynników zgazowujących na efektywność redukcji NO_x z wykorzystaniem gazu ze zgazowania osadu B przy jego 12,5% udziale objętościowym.



Rys. 3.9. Porównanie wpływu różnych czynników zgazowujących na efektywność redukcji tlenków azotu z wykorzystaniem 7,5% udziału objętościowego gazu ze zgazowania obu rodzajów osadów ściekowych przy $T=900$ K oraz $\lambda=1,1$.



Rys. 3.10. Porównanie wpływu różnych czynników zgazowujących na efektywność redukcji tlenków azotu z wykorzystaniem 12,5% udziału objętościowego gazu ze zgazowania obu rodzajów osadów ściekowych przy $T=900\text{ K}$ oraz $\lambda=1,1$.

Analizując dane przedstawione na rysunku 3.9, uzyskane dla temperatury 900 K i stosunku nadmiaru powietrza wynoszącego $\lambda=1,1$, można stwierdzić, że największym potencjałem redukcyjnym gazu ze zgazowania osadu A charakteryzuje się wodór (82%). Na drugim miejscu znajduje się para wodna (79%). Sytuacja zmienia się, gdy analizie zostanie poddany osad B, w którego przypadku największa redukcja zachodzi, gdy do zgazowania zostanie użyta para wodna (84%).

Najmniejszym potencjałem redukcyjnym przy danych parametrach charakteryzuje się powietrze - 13%, w przypadku gazu ze zgazowania osadu A oraz 11%, w przypadku gazu ze zgazowania osadu B. Analizując zależność przedstawioną na rysunku 3.10 zauważyć można, że przy 12,5% udziale gazu ze zgazowania osadów znacząco zmniejszyła się ilość tlenków azotu poprzez wykorzystanie do zgazowania tlenu, mieszaniny bądź dwutlenku węgla, jednak największy wpływ na obniżenie zawartości tlenków azotu ma para wodna – 96%. Porównując dany przypadek z przypadkiem, w którym analizowany był 7,5% udział gazu ze zgazowania można zauważyć, że zmiana w redukcji NO_x za pomocą gazu, do którego produkcji wykorzystano wodór, jest nieznaczna (około 10%).

3. Podsumowanie i wnioski

Analiza różnych czynników zgazowujących i ich wpływu na efektywność redukcji tlenków azotu wykazała, że wraz ze zwiększaniem udziału objętościowego gazu ze zgazowania maleje ilość NO_x w spalinach. Wykresy przedstawione zostały dla $T=900\text{ K}$ lub dla $\lambda=1,1$. Wynika z nich, że oprócz 7,5% udziału objętościowego gazu ze zgazowania osadu A, najlepszym czynnikiem do zgazowania pod względem przyszłej przydatności w procesie reburningu jest para wodna. Wraz ze zwiększeniem udziału gazu wprowadzanego do kotła, można zauważyć również mniejszą wrażliwość na wzrost ilości doprowadzonego powietrza, bądź też temperatury w kotle.

Najważniejszym pod względem redukcji składnikiem gazu ze zgazowania jest metan, ponieważ to dzięki niemu powstają rodniki węglowodorowe, które redukują tlenki azotu powstałe w procesie spalania paliwa podstawowego.

Najmniejszą efektywnością w redukcji tlenków azotu charakteryzował się gaz ze zgazowania powstały wskutek zgazowania osadów powietrzem, co może być przyczyną tego, że największą efektywność uzyskuje się przy innej wartości stosunku nadmiaru powietrza oraz przy innych wartościach temperatury. Innym powodem może być najniższa zawartość metanu w gazie powstałym z jego użyciem.

Podsumowując, zgazowanie jest procesem, w którym możliwe jest właściwe zagospodarowanie osadów ściekowych. Jest to zgodne z aktualnymi trendami dotyczącymi ich zagospodarowania, które zmierzają do zwiększenia ilości osadów poddanych termicznej utylizacji (Krajowy Plan Gospodarki Odpadami). Jednak wybierając konkretny rodzaj czynnika zgazowującego i zakładając współspalanie gazu w kotle, należy mieć na

uwadze parametry procesu spalania paliwa podstawowego w kotle. Większość z analizowanych czynników zgazowujących osiąga znaczną skuteczność w redukcji tlenków azotu przy $T=900\text{ K}$ oraz $\lambda=1,1$. Innym ważnym parametrem podczas wyboru czynnika zgazowującego są jego dostępność oraz opłacalność ekonomiczna jego wykorzystania.

Literatura

- [1] Bień J., Osady ściekowe: teoria i praktyka, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007
- [2] Poskart M., Szecówka L., Radomia H., Wpływ współspalania biopaliw stałych, ciekłych i gazowych w procesie reburningu na stężenie NO_x , Energetyka i Ekologia, nr 6 (Grudzień 2006), str. 950-952
- [3] http://www.is.pw.edu.pl/plik/286/UOGiP_wyk_9.pdf
- [4] Werle S., Określenie potencjału reburningowego gazu generatorowego ze zgazowania osadów ściekowych, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, nr 3 (2010), str. 9-18
- [5] Werle S., Modeling of the reburning process using sewage sludge-derived syngas. Waste Management, 32 (2012). str. 753-758
- [6] Werle S., *Estimation of reburning potential of syngas from sewage sludge gasification process*. Chemical and Process Engineering, 4 (2011), str. 411-421
- [7] Werle S., Analysis of the possibility of the sewage sludge thermal treatment. Ecological Chemistry and Engineering A, 19 (2012), str. 137-144
- [8] Werle S., A reburning process using sewage sludge-derived syngas. Chemical Papers, 2 (2012), str. 99-107