

EFEKTYWNOŚĆ USUWANIA NO_x i SO_2 Z GAZÓW Z ZASTOSOWANIEM PODCHLORYNU SODU

Włodzimierz KORDYLEWSKI, Maciej JAKUBIAK, Michał HAJDUK
Politechnika Wrocławska, Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
e-mail: wlodzimierz.kordylewski@pwr.wroc.pl

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych w skali laboratoryjnej i pilotowej nad usuwaniem NO_x i SO_2 z powietrza oraz ze spalin z zastosowaniem podchlorynu sodu. W przypadku NO_x podchloryn sodu służył do utleniania NO do NO_2 , który był następnie absorbowany w roztworze NaOH, natomiast SO_2 było usuwane tylko w roztworze NaClO. W skali laboratoryjnej, z zastosowaniem płuczek dla roztworów NaClO i NaOH, uzyskano efektywność utleniania NO i usuwania NO_x z powietrza odpowiednio 90 i 60%. SO_2 było całkowicie wypłukiwane z gazu w roztworze NaClO. W skali pilotowej z zastosowaniem kolumn natryskowych dla roztworów NaClO i NaOH, efektywność utleniania NO i usuwania NO_x ze spalin była odpowiednio 60 i 30÷40%. Dwutlenek siarki był całkowicie usuwany ze spalin przez ich zraszanie roztworem podchlorynu sodu.

1. Wstęp

Rozporządzenie ministra środowiska z dnia 22.04.2011 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji określa limit emisyjny dla NO_x i SO_2 z „nowych” bloków energetycznych opalanych węglem o mocy $> 100 \text{ MW}_t$ na 200 mg/m^3 od 1 stycznia 2016 r. [1]. Ograniczona do ok. 50% skuteczność powszechnie stosowanych w krajowej energetyce metod pierwotnych de NO_x , zmusza rodzimych wytwórców energii do zastosowania wtórnych metod ograniczających emisji NO_x . Obecnie dostępne są tylko dwie takie metody: SNCR (ang. *selective non-catalytic reduction*) i SCR (ang. *selective catalytic reduction*). Pierwsza z nich, w połączeniu z metodami pierwotnymi, pozwala na obniżanie emisji poniżej $200 \text{ mgNO}_2/\text{m}^3$ przy relatywnie niewielkich nakładach inwestycyjnych, ale wiąże się z niebezpieczeństwem obecności amoniaku w spalinach [2]. Metoda SCR charakteryzuje się dużą niezawodnością oraz skutecznością de NO_x (do 90%), ale jej koszty inwestycyjne i eksploatacyjne są wysokie [2]. Dodatkowo, rozmiary instalacji SCR mogą powodować problemy z jej umiejscowieniem w istniejących zakładach energetycznych. Także w wielu wypadkach mogą wystąpić problemy z dopełnieniem emisyjnego standardu w odniesieniu do SO_2 ze względu na niedostateczną skuteczność instalacji mokrego odsiarczania (IOS).

Wymienione przyczyny skłaniają do szukania alternatywnego sposobu redukcji emisji NO_x , a także poprawy efektywności usuwania SO_2 ze spalin. Obiecująco przedstawiają się metody, w których znajdujący się w spalinach NO jest utleniany do wyższych tlenków azotu odznaczających dobrą rozpuszczalnością, dzięki temu możliwa jest ich absorpcja w mokrym skruberze. Jest to korzystna cecha, ponieważ umożliwia jednoczesne usuwanie NO_x , SO_2 , a także metalicznej rtęci (po jej uprzednim utlenieniu) w kotłach wyposażonych w instalacje mokrego odsiarczania spalin. Brane są pod uwagę silne utleniacze: ozon, perhydrol, związki manganu, chlor, chloryn i podchloryn sodu. Niniejsza praca poświęcona jest wynikom badań nad usuwaniem NO_x i częściowo SO_2 z gazu z zastosowaniem podchlorynu sodu. Celem

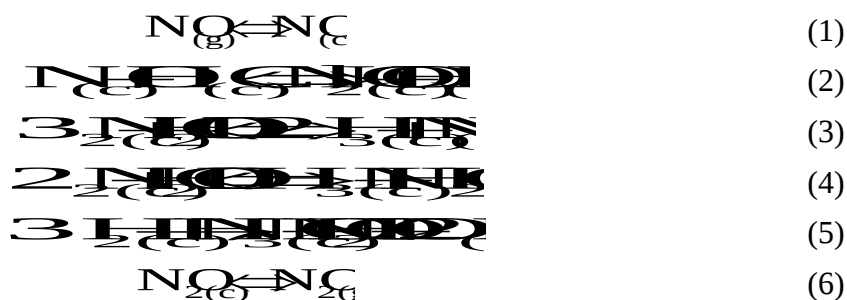
badan była ocena efektywności utleniania NO i usuwania SO₂ z gazu w roztworze NaClO oraz skuteczności usuwania NO₂ w roztworach alkalicznych.

2. Podchloryn sodu jako utleniacz NO i SO₂

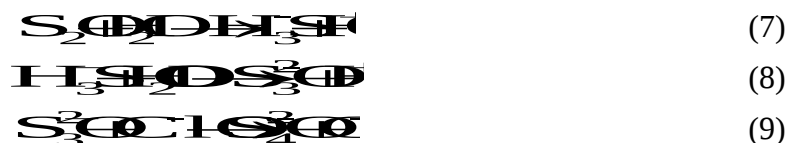
Podchloryn sodu (NaClO) jest związkiem chemicznym powszechnego użytku, o właściwościach odkażających i wybielających. Otrzymuje się go przez elektrolizę roztworu chlorku sodu (NaCl) lub jako produkt uboczny podczas wytwarzania wodorotlenku sodu. Ze względu na ograniczoną trwałość podchlorynu sodu, w handlu jest zwykle dostępny jego roztwór o stężeniu NaClO do 15% (mas.) ze stabilizującym dodatkiem wodorotlenku sodu NaOH [3].

Zdolności utleniające NaClO związane są głównie z obecnością HClO, ClO⁻ i Cl₂ w roztworach wodnych, których stężenie w roztworze jest związane z jego odczynem. Dla pH ≅ 6 występuje najwyższe stężenie kwasu chlorowego (I) (HClO), który jest najsilniejszym z wyżej wymienionych utleniaczy [4, 5].

W roztworze wodnym NO jest utleniany do NO₂ przez kwas chlorowy (I) w reakcji (2). Rozpuszczalny w wodzie ditlenek azotu tworzy kwas azotowy (III) i (V). Reakcja (5), w której HNO₂ ulega rozkładowi jest niepożądana, gdyż wiąże się z ponownym wydzielaniem NO. Reakcja (6) jest również niekorzystna, gdyż usunięcie NO₂ z gazu wymaga zastosowania węzła absorpcji.



Ditlenek siarki w roztworze wodnym podchlorynu sodu także ulega utlenianiu, co prowadzi do powstawania jonów SO₃²⁻ (8), które następnie są utleniane do jonów SO₄²⁻ (9) [6]. Jony SO₄²⁻ przechodzą w wodzie do kwasu siarkowego (VI). Proces utleniania SO₃²⁻ zachodzi pod wpływem jonów ClO⁻, które powstają w roztworze wodnym na skutek dysocjacji podchlorynu sodu.



Sumaryczną reakcję można, więc zapisać:

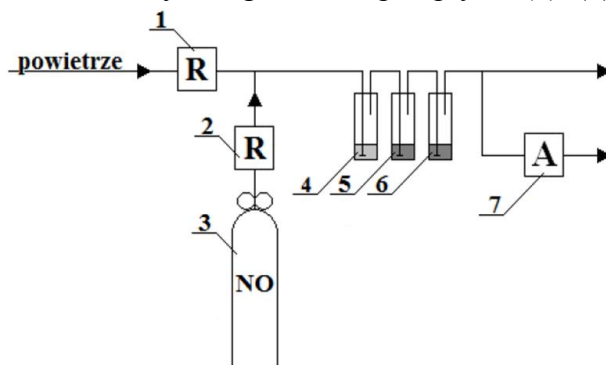


W roztworze podchlorynu sodu stabilizowanego wodorotlenkiem sodu dodatkowo będzie zachodzić neutralizacja kwasu siarkowego.

3. Wyniki badań laboratoryjnych z wykorzystaniem płuczek szklanych

3.1. Stanowisko badawcze

Schemat stanowiska laboratoryjnego przedstawiono na rysunku 1. Gazem nośnym dla NO było powietrze ze sprężarki (120 dm³/h). Udział pobieranego z butli (3) tlenu azotu (2,5% NO w N₂) był w powietrzu 215 ±5 ppm. Do regulacji strumieni objętości powietrza i gazu z butli (3) użyto elektronicznych regulatorów przepływu (1), (2) (AALBORG GFC17).

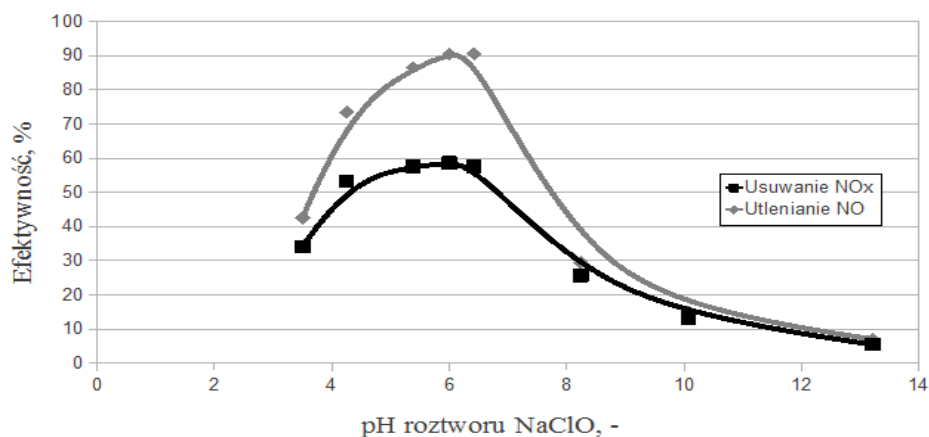


Rys. 1. Schemat stanowiska: 1, 2 – regulatory przepływu, 3 – butla ze sprężonym NO, 4 – płuczka z roztworem NaClO, 5, 6 – płuczki z roztworem NaOH, 7 – analizator spalin

Strumień powietrza nośnego z NO przepływał kolejno przez płuczki Dreshla (4, 5, 6). Pierwsza z nich (4), zawierająca roztwór podchlorynu sodu, służyła za reaktor utleniający, dwie kolejne (5, 6) służyły do absorpcji NO₂ w 10% roztworze NaOH oraz do ochrony cel elektrochemicznych analizatora spalin (7) przed działaniem chloru. Do pomiaru stężenia NO i NO₂ w powietrzu nośnym za płuczkami użyto analizatora spalin Testo XL350.

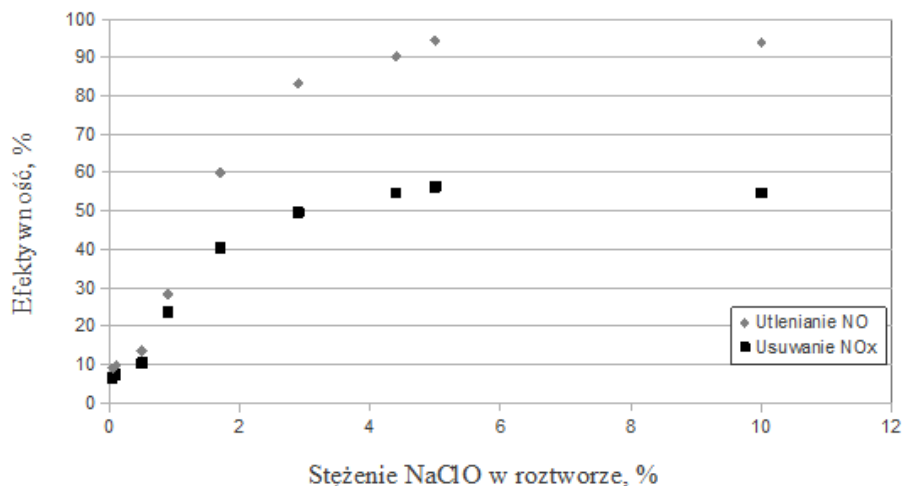
3.2. Wpływ pH roztworu i stężenia NaClO na utlenianie i usuwanie NO_x z gazu

Odczyn roztworu NaClO jest ważnym czynnikiem wpływającym na efektywność utleniania NO, ponieważ produkty dysocjacji zależą od pH [4, 5]. Roztwór NaClO o pH ≥ 13 praktycznie nie utleniał NO (< 5% efektywności). Efektywność utleniania NO wyraźnie się poprawiła dopiero, kiedy pH zmniejszono zakwaszając go 5% kwasem solnym. Na rysunku 2 pokazano, że efektywność utleniania NO i usuwania NO_x z powietrza nośnego z zastosowaniem 1 M roztworu podchlorynu sodu osiągnęła maksimum dla pH ≈ 6.



Rys. 2. Wpływ pH roztworu NaClO na efektywność utleniania NO i usuwania NO_x

Zbadano także wpływ stężenia NaClO w roztworze na efektywności utleniania NO i usuwania NO_x dla pH ≈ 6 stwierdzając, że dla 5% (mas.) roztworu uzyskuje się już ustalone warunki usuwania NO_x (rys. 3). Wyniki te pozwalają stwierdzić, że przepuszczając gaz zawierający NO_x przez płuczkę z roztworem NaClO o stężeniu ≥ 5% i pH ≈ 6 efektywność utleniania NO i usuwania NO_x będą wynosiły odpowiednio ok. 90 i 60%.

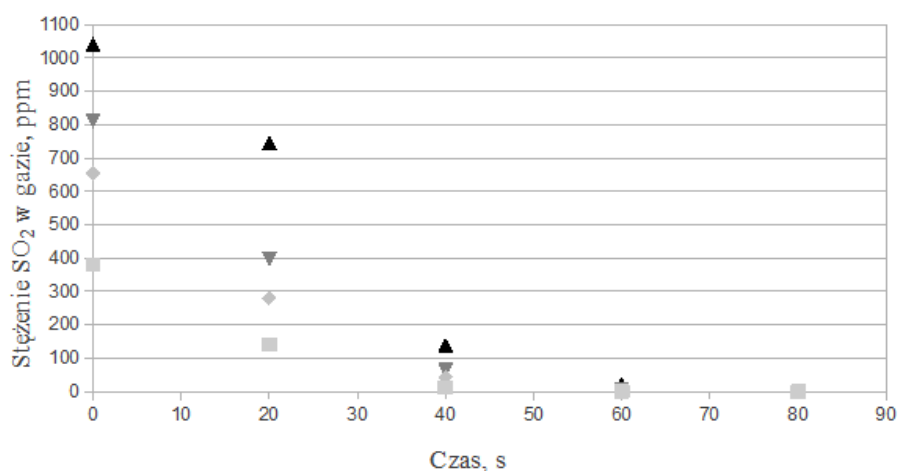


Rys. 3. Wpływ stężenia roztworu NaClO na efektywność utleniania NO i usuwania NO_x

3.3. Usuwanie SO₂ z gazu nośnego z zastosowaniem roztworu NaClO

Badania wykonano na stanowisku pokazanym na rysunku 1, z tą różnicą, że butlę ze sprężonym NO (3) zastąpiono butlą z SO₂, a absorpcja SO₂ zachodziła w pojedynczej płuczce barbotażowej wypełnionej 100 ml 5% roztworu NaClO. Strumień objętości powietrza (120 dm³/h) będący nośnikiem SO₂ był stabilizowany elektronicznym regulatorem przepływu. Udział SO₂ w gazie przed płuczką zmieniano w zakresie 380-1042 ppm. [SO₂] gazie mierzono analizatorem spalin Testo S350. Mierzono także pH roztworu NaClO.

Na rysunku 4 przedstawiono zmiany w czasie udziału SO₂ w powietrzu nośnym za płuczką dla czterech początkowych udziałów [SO₂]. Otrzymane wyniki wskazują na dużą skuteczność usuwania SO₂ z gazu roztworem podchlorynu sodu. W czasie przepływu gazu z udziałem SO₂ przez płuczkę rejestrowano nieznaczny spadek wartości pH roztworu.

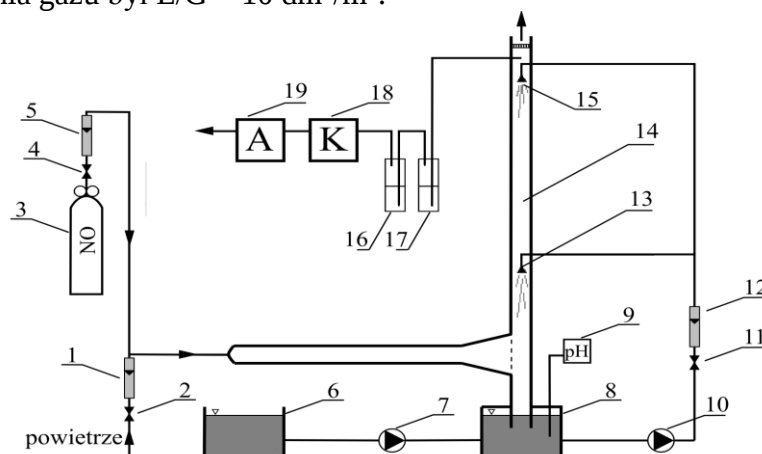


Rys. 4. Stężenie SO₂ w powietrzu nośnym z płuczką w funkcji czasu

4. Badania laboratoryjne z wykorzystaniem kolumny natryskowej

Badania przeprowadzono na stanowisku laboratoryjnym (Rys. 5), w którym utlenianie NO_x zachodziło w kolumnie natryskowej (14) ($L = 4 \text{ m}$, $D_{\text{wew}} = 60 \text{ mm}$) z dwoma poziomami zraszania gazu (13 i 15). Gazem nośnym było powietrze ($10 \text{ m}^3/\text{h}$), do którego dodawano NO z butli (3) dla zapewnienia jego początkowego udziału ok. 200 ppm. Udziały NO i NO_2 w gazie nośnym mierzono analizatorem spalin Testo XL350 (19).

Utleniaczem był 5% (mas.) roztwór podchlorynu sodu, którego pH obniżano od początkowej wartości 13,8 do ok. 6 dozując do niego 35% kwas siarkowy ze zbiornika (6). Roztwór NaClO przepływał w układzie zamkniętym absorbera (zbiornik (8) → kolumna natryskowa (14) → zbiornik (8)) z użyciem pompy (10). Stosunek strumienia roztworu NaClO do strumienia gazu był $L/G = 10 \text{ dm}^3/\text{m}^3$.



Rys. 5. Schemat stanowiska badawczego z absorberem natryskowym: 1, 5, 12 – rotametry, 2, 4, 11 – zawory regulacyjne, 3 – butla ze sprężoną mieszaniną (N_2 i 2,5% NO), 6 – zbiornik z roztworem H_2SO_4 , 7 – pompa dozująca kwas, 8 – zbiornik z roztworem NaClO , 9 – miernik pH z elektrodą, 10 – pompa obiegowa utleniacza, 13, 15 – rozpylacze, 14 – kolumna natryskowa, 16, 17 – płuczki z roztworem NaOH , 18 – kondycjoner, 19 – analizator spalin

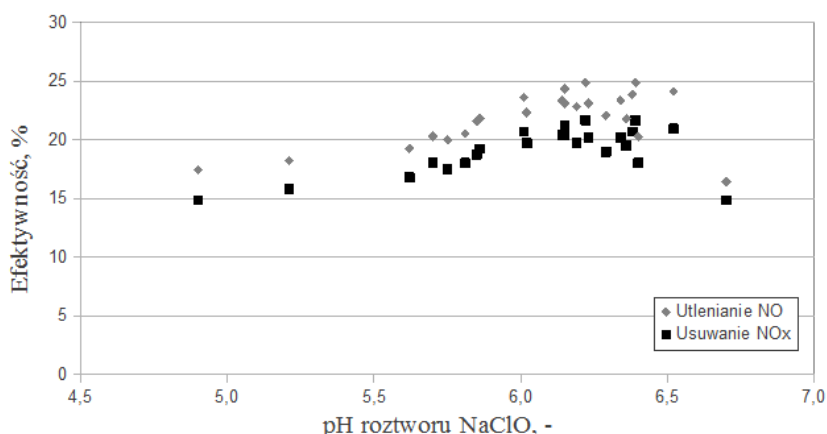
4.1. Wpływ pH roztworu NaClO na efektywność utleniania NO i usuwania NO_x z gazu

Na rysunku 6 pokazano, jak wpływa pH roztworu podchlorynu sodu na efektywność utleniania NO w przepływającym przez kolumnę natryskową gazie i usuwania NO_x w płuczkach z 0,1 M roztworem NaOH . Potwierdza się konieczność zakwaszania użytego do utleniania NO roztworu NaClO i obniżenia jego pH do ok. 6. Efektywność utleniania NO i usuwania NO_x w tych warunkach była jednak znacznie niższa, niż kiedy oczyszczanie gazu z NO_x realizowano tylko w płuczkach (p. 3.2) i wynosiła odpowiednio ok. 25 i 20%.

Prawdopodobnym powodem znacznie mniejszej efektywności usuwania NO_x w aparacie natryskowym, w porównaniu do skuteczności stwierdzonej z zastosowaniem płuczek była niestabilność NaClO . Podchloryn sodu w kontakcie z metalami ulega rozkładowi z wydzielaniem chloru i traci zdolność utleniania, z tego powodu instalacje wykorzystujące podchloryn do dezynfekcji wykonywane są ze specjalnych materiałów. Dotyczy to także pomp, tymczasem użyta w badaniach pompa obiegowa była typowa, czyli wykonana ze stali.

Generalnie, napotkano duże trudności w realizacji badań. Dotyczyło to szczelności instalacji (podchloryn charakteryzuje się intensywnym zapachem), wydobywania się chloru podczas zakwaszania i korozji elementów pompy. Cechą charakterystyczną była nieprzewidywalność działania podchlorynu, jako czynnika utleniającego NO. Bywały serie

prób, w których wyniki były lepsze niż pokazano na rysunku 6, ale były one niepowtarzalne. Takie zachowanie tłumaczono niestabilnością podchlorynu sodu.

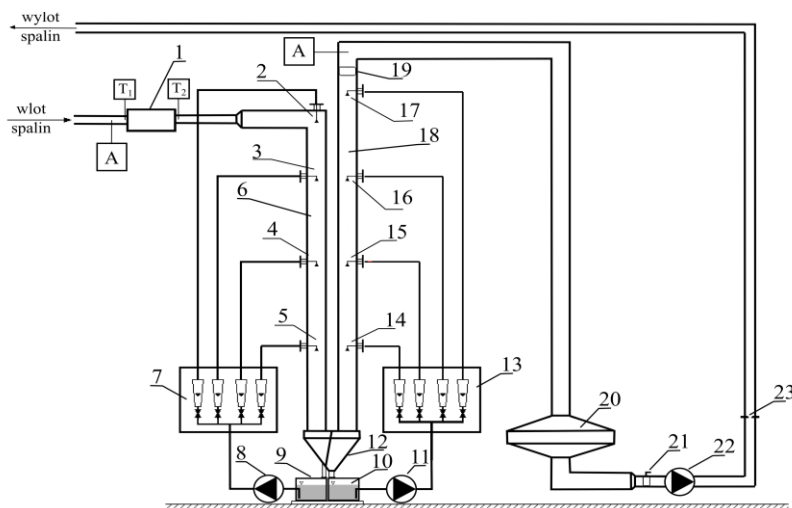


Rys. 6. Efektywność utleniania NO i usuwania NO_x w funkcji pH roztworu NaClO w kolumnie natryskowej

5. Wyniki badań w skali pilotowej

5.1. Opis instalacji i metodyka badawcza

Instalacja pilotowa składała się z trzech połączonych kolumn natryskowych wykonanych z rur stalowych ($D_w = 280$ mm) wysokości ok. 6 m, do których były pobierane spaliny ($160 \text{ m}^3/\text{h}$) zza elektrofiltrowi kotła OP-430 przez wentylator (22) (rys. 7). Temperatura spalin była regulowana w zakresie 20-90 °C dzięki chłodnicy (1).

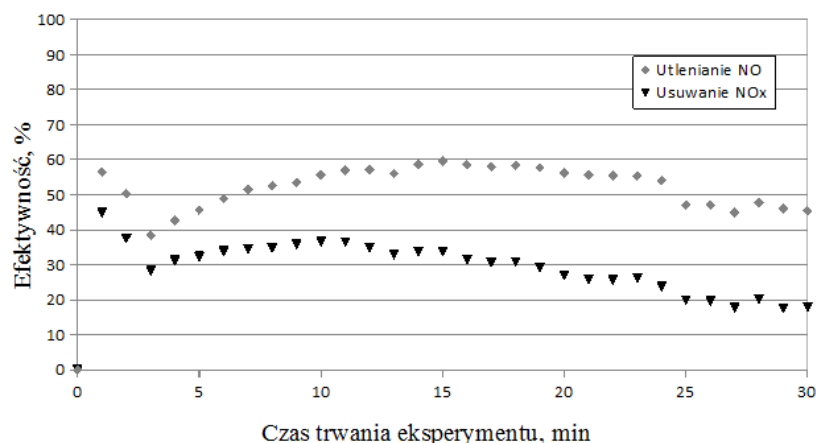


Rys. 7. Schemat instalacji pilotowej: 1 – chłodnica spalin, 2, 3, 4, 5 – rozpylacze utleniacza, 6 – kolumna utleniająca, 7, 13 – baterie rotametrów, 8 – pompa obiegowa utleniacza, 9 – zbiornik z roztworem NaClO, 10 – zbiornik z roztworem NaOH, 11 – pompa obiegowa absorbentu, 12 – lej zbiorczy, 14, 15, 16, 17 – rozpylacze absorbentu, 18 – kolumna absorpcyjna, 19 – odkraplacz, 20 – filtr tkaninowy, 21 – przepustnica kanałowa, 22 – wentylator, 23 – zwężka pomiarowa, A – analizator spalin, $T_1 \div T_2$ – mierniki temperatury

Roztwór podchloryny sodu mógł być wprowadzany do kolumny zraszającej w układzie zamkniętym lub otwartym. W obiegu zamkniętym ((zbiornik (9) → pompa obiegowa (8) → kolumna utleniająca (6) → zbiornik (9)) utlenianie NO w spalinach zachodziło we współprądzie w kolumnie (6), gdzie roztwór podchlorynu sodu był wtryskiwany na 4 poziomach rozpylaczami (2, 3, 4, 5). pH roztworu mierzono laboratoryjnym pH-metrem CP-505 firmy Elmetron z elektrodą EPS-1 i czujnikiem temperatury CT2B-121. W badaniach z obiegiem otwartym roztwór NaClO był tłoczony membranową pompą dozymetryczną (Grundfos model: DMX 27-10 o $Q_{\max} = 27 \text{ dm}^3/\text{h}$) do kolumny (6) przez rozpylacz (2). Udziały NO i NO₂ w spalinach mierzono za kolumną (18) analizatorem Testo XL350 (A).

5.2. Efektywność utleniania NO i usuwania NO_x ze spalin w obiegu zamkniętym roztworu podchlorynu sodu

W serii pomiarów, których wyniki przedstawiono na rysunku 8 nie zraszano spalin w kolumnie absorbującej (18) roztworem NaOH, lecz pobierano je do analizatora spalin przez dwie płuczki z 0,1 M roztworem NaOH. W ten sposób można było ocenić efekt zmiany skali w stosunku do działania kolumny natryskowej opisanej w p. 4.1. Stężenie NO na wlocie było 562 mg/m^3 (dla 6% O₂), a stosunek L/G w kolumnie utleniającej (6) był $10 \text{ dm}^3/\text{m}^3$.



Rys. 8. Zmiany efektywności utleniania NO i usuwania NO_x ze spalin w funkcji czasu (pH roztworu ok. 12)

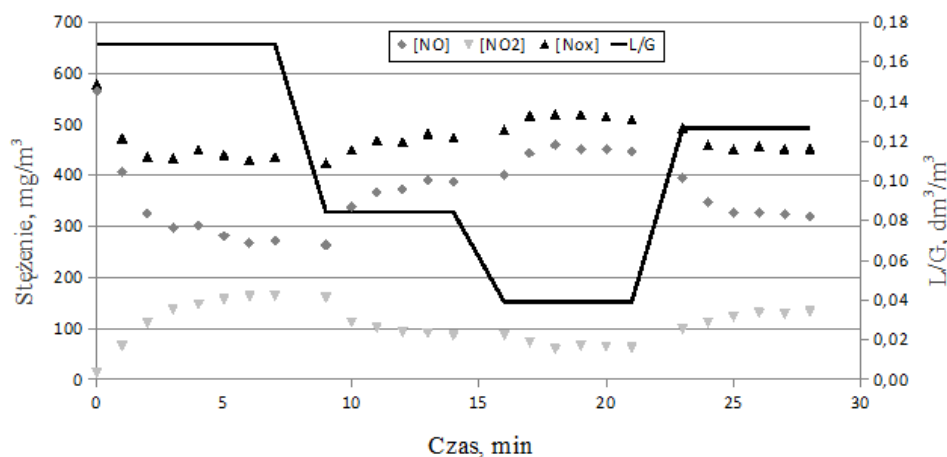
Efektywność utleniania NO sięgała 60%, a usuwania NO_x nie przekraczała 40%. Niestety wraz z wydłużaniem się okresu doświadczenia efektywność utleniania NO i usuwania NO_x malały, czego przyczyną była degradacja podchlorynu sodu w roztworze. Podczas ciągłej pracy instalacji przez ponad 1 godzinę obserwowano zmniejszanie się pH roztworu NaClO od 12 do ok. 7. W innych próbach użyto roztwór podchlorynu sodu z wstępnie obniżonym pH = 5,5, ale wyniki nie były lepsze od pokazanych na rysunku 8.

5.3. Efektywność utleniania NO i usuwania NO_x ze spalin w obiegu otwartym utleniacza

Identyfikując niezadowalające wyniki usuwania NO_x ze spalin z użyciem podchlorynu sodu w układzie zamkniętym, jako efekt degradującego oddziaływania na niego metalu, wykonano badania w układzie otwartym: 5% (mas.) roztwór podchlorynu sodu był rozpylany przez dyszę umieszczoną na górze pierwszej kolumny (punkt 2 na rys. 7). W ten sposób zminimalizowano destabilizujący wpływ metalu na podchloryn sodu, który był tłoczony ze

zbiornika membranową pompą dozymetryczną do dyszy rozpylającej. Pobierane za kolumną (18) spaliny do analizy przepływały do analizatora spalin przez dwie płuczki z 0,1 M roztworem wodorotlenku sodu celem wychwytu NO_2 .

Na rysunku 9 pokazano zmiany czasowe stężenia NO , NO_2 i NO_x oraz stosunku L/G , które zmieniało się w zakresie od 0,04 do 0,17 dm^3/m^3 . Mimo bardzo małych wydatków roztworu NaClO zmiany stężeń NO i NO_2 w spalinach były znaczące.

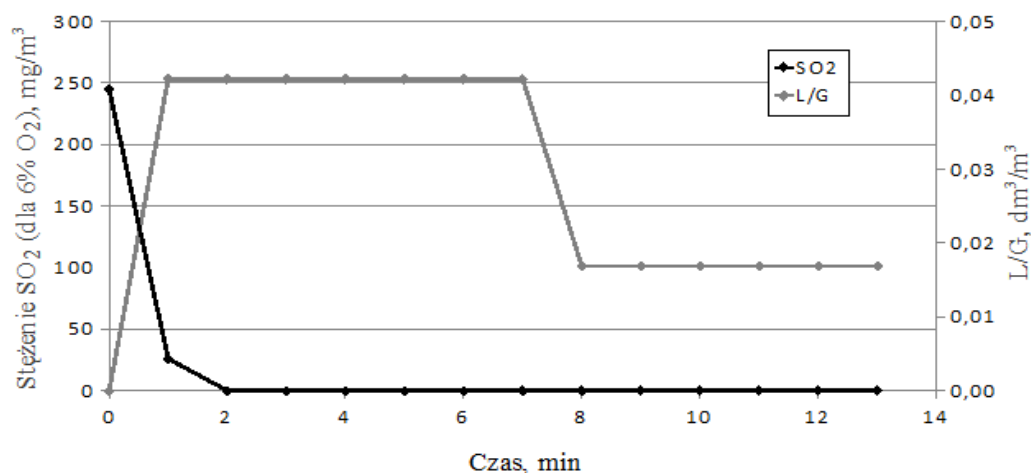


Rys. 9. Zmiany stężeń NO , NO_2 , NO_x i L/D w funkcji czasu (pH utleniacza ≈ 12)

Obliczona na tej podstawie efektywność utleniania NO i usuwania NO_x była odpowiednio 60 i 32% dla $\text{L/G} = 0,17 \text{ dm}^3/\text{m}^3$.

5.4. Usuwanie SO_2 ze spalin w obiegu otwartym roztworu podchlorynu sodu

Badano także zmiany stężenia SO_2 w spalinach przepływających przez kolumnę (6), do której wtryskiwano współprądowo roztwór NaClO pojedynczą dyszą (2) (rys. 7). Stężenie SO_2 mierzono za kolumną (18), do której nie podawano roztworu NaOH . Tak, jak w przypadku badań laboratoryjnych „na płuczkach”, także w badaniach pilotowych stwierdzono bardzo wysoką skuteczność usuwania SO_2 ze spalin z zastosowaniem podchlorynu sodu (rys. 10). Nawet dla bardzo małych strumieni roztworu NaClO ($\text{L/G} < 0,02$) stężenie SO_2 mierzone w spalinach za kolumną (18) praktycznie malało do zera.



Rys. 10. Zmiany stężenia SO_2 w spalinach zależnie od stosunku L/G

6. Bezpieczeństwo pracy z podchlorynem sodu

Roztwór NaClO ma ograniczoną trwałość pogarszającą się wraz ze wzrostem temperatury i pod działaniem promieniowania UV. W temperaturze 25°C intensywnie uwalnia się tlen, w 35°C uwalnia się chlor, a w 100°C wydzielą się tlenek chloru [3]. Gazowy Cl₂ uwalnia się także podczas kontaktu podchlorynu z kwasami oraz jonami metali (np. żelaza). Roztwór NaClO pozostawiony na kilka tygodni w temperaturze pokojowej ulega rozkładowi na chlorek sodu oraz tlen. Podchloryn sodu ma silne właściwości korozyjne, co uniemożliwia stosowanie stali nierdzewnej (na przykład podczas realizacji badań uszkodzeniu uległ wirnik pompy) [4]. Do transportu i magazynowania roztworów podchlorynu sodu stosuje się rurociągi, pompy i armaturę z materiałów nieżelaznych. Magazynowanie podchlorynu jest dopuszczalne tylko w zbiornikach wykonanych ze specjalnych tworzyw sztucznych.

Użycie podchlorynu sodu do usuwania NO ze spalin wymaga stosowania środków ostrożności. Optymalne właściwości utleniające NaClO w roztworze występują dla pH $\approx$ 6 [5], natomiast komercyjnie dostępny podchloryn ma pH $\approx$ 13. Powoduje to, że dla zapewnienia skutecznego działania instalacji deNO_x konieczne jest zakwaszenie roztworu podchlorynu sodu. To z kolei wiąże się z wydzielaniem znacznych ilości chloru, który musi być bezpiecznie odprowadzany lub unieszkodliwiany. Gazowy chlor będzie także uwalniany w wyniku kontaktu podchlorynu ze strumieniem gorących spalin, dlatego przyszła instalacja deNO_x wykorzystująca podchloryn do utleniania NO powinna być zaprojektowana do pracy w warunkach podciśnienia. Należy uzupełnić, że ze względu na utleniający i żrący charakter, podchloryn sodu wpisany jest na listę substancji niebezpiecznych [7].

7. Podsumowanie

Wnioski wynikające ze zrealizowanych badań nad usuwaniem NO_x i SO₂ z gazu nośnego (powietrze, spaliny) w instalacjach badawczych różnej skali z użyciem podchlorynu sodu nie są niestety pozytywne. Co prawda, w skali laboratoryjnej uzyskano w sposób powtarzalny efektywność utleniania NO 90%, ale efektywność usuwania NO_x była tylko 60%, czego nie można uznać za zadowalające rezultat dla metody wtórnej deNO_x. Przyczyną niedostatecznej skuteczności usuwania NO_x była konwersja NO tylko do NO₂, który nie jest tak efektywnie absorbowany, jak wyższe tlenki azotu, a ponadto prowadzi do powstania niestabilnych azotynów w roztworach alkalicznych.

Badania wykonane z użyciem kolumn zraszających w małej i w pilotowej skali dały jeszcze gorsze wyniki, ponieważ efektywność usuwania NO_x sięgała 30-40%, a w miarę działania instalacji obserwowano stopniową degradację utleniających zdolności roztworu podchlorynu. Efekt degradacji podchlorynu sodu wiązano ze stalową konstrukcją kolumn i pompy obiegowej. W tych warunkach pozytywny efekt zakwaszania obniżający pH roztworu podchlorynu sodu był słabo widoczny.

Podchloryn sodu okazał się natomiast bardzo skutecznym czynnikiem w usuwaniu dwutlenku siarki ze spalin. Można, więc go rozpatrywać, jako czynnik poprawiający skuteczność istniejących IOS. W tym przypadku nietrwałość podchlorynu sodu nie jest całkowicie dyskredytującą wadą, ponieważ komercyjnie dostępny NaClO ma duży udział stabilizującego NaOH, który skutecznie wiąże SO₂.

Należy jeszcze zwrócić uwagę na problem bezpieczeństwa eksploatacji instalacji deNO_x, w której stosowany jest podchloryn sodu: jest to bowiem związek nietrwały, korozyjny i niebezpieczny. Z ekonomicznego punktu widzenia trudno go także określić, jako

perspektywiczny w oczyszczaniu spalin kotłowych, ponieważ jest droższy od amoniaku oraz od typowych sorbentów stosowanych w odsiarczaniu spalin.

Wyniki prezentowane w publikacji zostały uzyskane w badaniach współfinansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Umowy SP/E/1/67484/10 – Projekt Strategiczny – Zaawansowane technologie pozyskiwania energii: Opracowanie technologii dla wysokosprawnych „zero-emisyjnych” bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO₂ ze spalin.

Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22.04.2011 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji
2. Krotla K., Wala T., Brudziana P.: Porównanie nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacji urządzeń typu SCR w zależności od stopnia redukcji NO_x, IX Conference Research and Development in Power Engineering – RDPE, Warszawa, 8-11 grudzień 2009
3. Karta charakterystyki substancji niebezpiecznej: Podchloryn sodu 10%, CHEMPUR S.A., 2010
4. White G.C., White's handbook of chlorination and alternative disinfectants, WILEY, Canada, 2010
5. Luke C., Chung-Hao H., Chen-Lu Y.: Oxidation and absorption of nitric oxide in a packed tower with sodium hypochlorite aqueous solutions, Environ. Prog., 2005, Vol. 24, 279-288
6. Nisiba Y., Ota K., Inaba H.: Desulfurization of gases containing sulfur compounds using alkaline hypochlorite solutions, US Patent 3873672, 1975.
7. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 28 września 2005 r. w sprawie wykazu substancji niebezpiecznych wraz z ich klasyfikacją i oznakowaniem