

Mirosław Dors, Tadeusz Czech, Jerzy Mizeraczyk, Andrea Cortiana, Massimo Rea

## Usuwanie $\text{NO}_x$ z gazów odlotowych podczas impulsowego wyładowania koronowego w mokrym elektrofiltrze

Prace laboratoryjne oraz testy wykonane w stacjach pilotowych wykazały, że zastosowanie impulsowego wyładowania koronowego do usuwania  $\text{NO}_x$  i  $\text{SO}_2$  z gazów odlotowych może być bardzo efektywne. Impulsowe wyładowanie koronowe jest źródłem niskotemperaturowej plazmy, w której elektrony, w obecności amoniaku jako neutralizatora, inicjują przemianę  $\text{NO}_x$  lub  $\text{SO}_2$  w stałe azotany lub siarczany [1,2]. Związki te mogą być następnie usuwane w konwencjonalny sposób w elektrofiltrach. Efektywność usuwania  $\text{NO}_x$  i  $\text{SO}_2$  zależy od wielu parametrów, m.in. od składu, temperatury i wilgotności gazu roboczego, czasu przebywania gazu roboczego w wyładowaniu oraz energii elektrycznej wydzielonej w gazie roboczym.

Za proces usuwania  $\text{NO}_x$  lub  $\text{SO}_2$  odpowiedzialne są rodniki OH, których zawartość w gazie roboczym zależy od jego wilgotności oraz ilości i energii elektronów wytworzonych podczas wyładowania koronowego [3]. Zawartość rodników OH w gazie roboczym można zwiększyć, inicjując wyładowanie koronowe do elektrody pokrytej warstwą wody. Wówczas powierzchnia wody bierze udział w wyładowaniu koronowym, wskutek czego produkcja rodników OH wzrasta. Metoda ta może być zastosowana praktycznie w tzw. elektrofiltrach mokrych, w których omywanie elektrody bieiernej przez wodę jest wykorzystywane do usuwania pyłów.

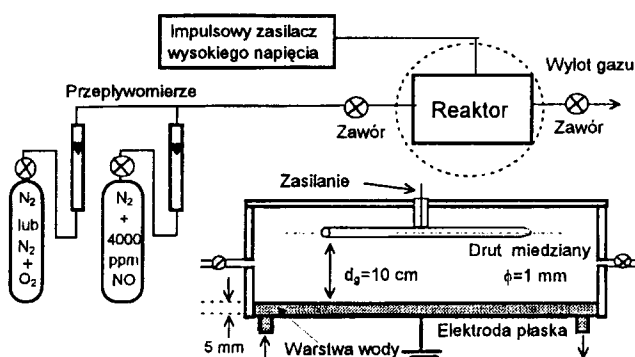
Celem niniejszej pracy było określenie możliwości usuwania NO z wilgotnych mieszanin gazowych ( $\text{N}_2+\text{NO}$  i  $\text{N}_2+\text{O}_2+\text{NO}$ ) za pomocą strimerowego impulsowego wyładowania koronowego (SIWK) odbywającego się do powierzchni wody omywającej płaską elektrodę reaktora (geometria typu drut-płaszczyzna), symulującego jeden segment elektrofiltru. Mieszanki  $\text{N}_2+\text{NO}$  i  $\text{N}_2+\text{O}_2+\text{NO}$  symulowały w tych badaniach gazy odlotowe. Wskaźnikiem ubytku NO z gazu roboczego był wzrost kwasowości wody. Celem przeanalizowania procesów chemiczno-plazmowych, zachodzących podczas SIWK w powyższych mieszaninach, wykonano komputerową symulację przemian tlenków azotu. Wyniki eksperymentalne porównano z wynikami symulacji komputerowej.

### Aparatura i metodyka pomiarów

#### Reaktor

Reaktor, przypominający jeden segment elektrofiltru, miał geometrię typu drut-płaszczyzna (rys.1). Elektroda drutowa wykonana była z miedzi, natomiast elektroda płaska ze stali

nierdzewnej. Odległość pomiędzy elektrodami wynosiła 10 cm. Elektroda płaska była omywana wodą krążącą w układzie zamkniętym. Warstwa wody pokrywająca elektrodę płaską wynosiła około 5 mm. Odczyn wody mierzono za pomocą pH-metru. Wymiary geometryczne reaktora i elektrod zestawiono w tabeli 1.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego

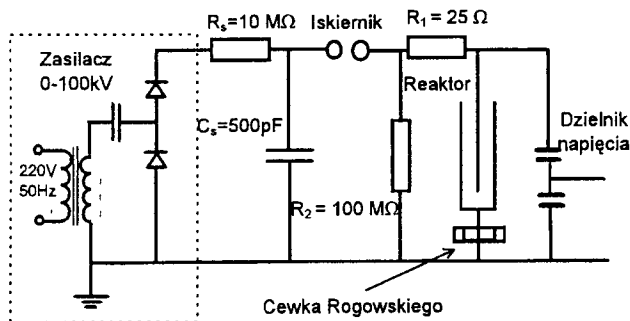
Tabela 1. Wymiary reaktora i elektrod

Długość	30 cm
Szerokość	10 cm
Wysokość	12 cm
Średnica elektrody drutowej	1 mm
Długość elektrody drutowej	20 cm
Powierzchnia elektrody płaskiej	30 cm × 10 cm

Gazem roboczym był  $\text{N}_2$  lub mieszaniny  $\text{N}_2$  z dodatkiem NO (500 ppm),  $\text{N}_2+\text{O}_2$  (80%+20%) oraz  $\text{N}_2+\text{O}_2$  (80%+20%) z dodatkiem NO (500 ppm). Pomiary wykonano bez przepływu gazu roboczego. Temperatura gazu roboczego wynosiła 20 °C. Z uwagi na obecność wody w reaktorze przyjęto, że gaz roboczy był wilgotny (stężenie pary wodnej (2%) odpowiadało prężności nasyconej pary wodnej w temp. 20 °C).

#### Układ elektryczny

Układ elektryczny do wytwarzania impulsów wysokiego napięcia przedstawiono na rysunku 2. Zasadniczym elementem układu był kondensator ( $C_s$ ) o pojemności 500 pF, który był ładowany przez rezystor ( $R_s$ ) o rezystancji 10 MΩ, a rozładowywany podczas SIWK poprzez iskiernik. Częstotliwość powtarzania impulsów wynosiła 25 Hz. Pomiar impulsu napięciowego wykonano za pomocą dzielnika pojemnościowego. Natężenie impulsu prądowego mierzono cewką



Rys. 2. Schemat układu elektrycznego

Rogowskiego typu PEARSON 4100. Impulsy napięciowy i prądowy były rejestrowane na oscyloskopie analogowym o częstotliwości 300 MHz i częstotliwości próbkowania 1 GS/s. Dzięki temu możliwe było wyznaczenie energii impulsu SIWK, pojemności elektrycznej reaktora oraz natężeń prądów – pojemnościowego i wyładowania koronowego. Typowe parametry impulsów napięciowych i prądowych przedstawiono w tabeli 2. Ze względu na generowanie silnych zakłóceń elektromagnetycznych, układ zasilania i reaktor umieszczono w ekranowanym pomieszczeniu.

Tabela 2. Parametry impulsów napięciowych i prądowych

Gęstość energii strimerów	0,3-1,0 J/m
Częstość powtarzania impulsów	25 Hz
Maksymalna amplituda impulsu napięciowego	60 kV
Czas narastania impulsu napięciowego	1-2 kV/ns
Maksymalna amplituda impulsu prądowego	60 A/m
Czas trwania impulsu prądowego	40-50 ns

### Pomiar energii impulsu

Średnia energia elektryczna wydzielona podczas impulsowego wyładowania koronowego w czasie ( $t$ ) jest iloczynem częstotliwości impulsów, czasu trwania wyładowania i średniej energii strimerów ( $E_{imp}$ ), którą można wyznaczyć z równania:

$$E_{imp} = \int V(t) I(t) dt \quad (1)$$

gdzie  $V(t)$  i  $I(t)$  są odpowiednio napięciem i natężeniem prądu wyładowania koronowego. Typowe przykłady przebiegów czasowych mierzonego napięcia i natężenia prądu przedstawiono na rysunku 3 (impuls prądowy składa się z prądu pojemnościowego oraz prądu wyładowania koronowego).

W tabeli 3 przedstawiono uśrednioną (z kilkunastu impulsów) energię pojedynczego impulsu SIWK dla różnych mieszanin gazowych. Ze względu na dużą elektrojemność  $O_2$  natężenie prądu SIWK i energia impulsu dla mieszanin gazowych zawierających tlen były mniejsze niż dla mieszanin beztlenowych.

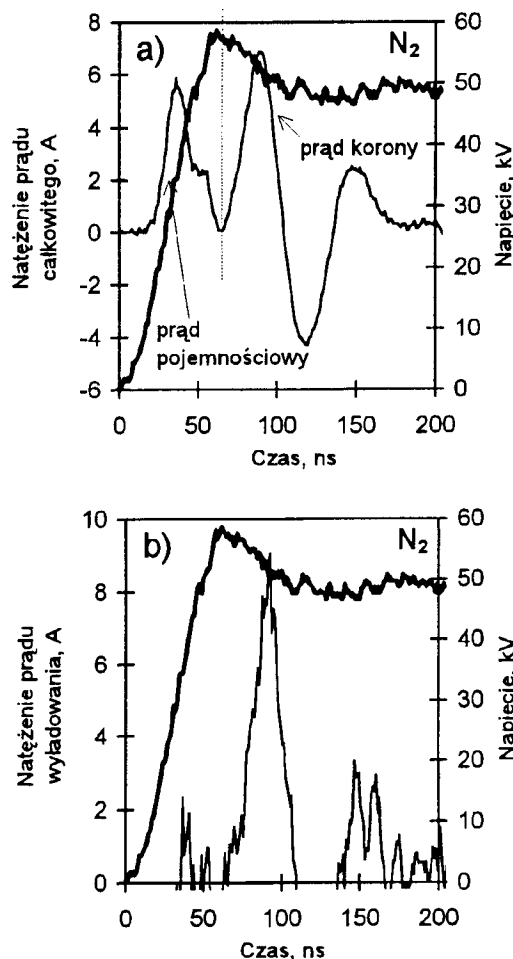
Tabela 3. Uśrednione energie impulsu elektrycznego w badanych mieszaninach gazowych

Mieszanina gazowa	Energia impulsu
$N_2 + H_2O$	195 mJ
$N_2 + H_2O + O_2$	65 mJ
$N_2 + H_2O + 500 \text{ ppm NO}$	120 mJ
$N_2 + H_2O + 1000 \text{ ppm NO}$	65 mJ

### Uproszczony model przemian tlenków azotu

W celu przeanalizowania procesów tworzenia i rozkładu tlenków azotu, których rezultatem było obniżenie pH wody w reaktorze, zaproponowano uproszczony model przemian tlenków azotu, uwzględniający wyłącznie reakcje rodnikowe zachodzące w czasie oddziaływania SIWK na gaz roboczy. Model wyładowania koronowego oparty został na wynikach pomiarów jego parametrów elektrycznych (tab.2). W modelu przemian tlenków azotu uwzględniono znane z literatury reakcje chemiczne zachodzące w symulatorach gazów odlotowych.

Modelowanie wykonano na mieszaninach o takim samym składzie jak mieszaniny użyte w badaniach. W modelu przyjęto, że gaz roboczy zostaje poddany działaniu SIWK w określonym czasie ( $t$ ) w reaktorze o geometrii typu drut-płyta. Wyładowanie koronowe opisano jako ciąg impulsów prądowych o jednakowym natężeniu. Każdy impuls prądowy powoduje wytworzenie w plazmie takiej samej ilości elektronów ( $n_e$ ). Przyjęto, że ilość elektronów w czasie trwania impulsu jest stała, natomiast po impulsie wynosi zero. Zgodnie z tabelą 2 przyjęto, że czas trwania każdego impulsu prądowego wynosi 40 ns, a częstotliwość powtarzania impulsów prądowych – 25 Hz. Zawartość elektronów ( $n_e$ ), potrzebną do wykonania obliczeń ustalono tak, aby zakwaszenie wody (pH), obliczone na podstawie przyjętego modelu, było najbliższe zakwaszeniu zmierzonemu doświadczalnie.

Rys. 3. (a) Napięcie pracy (linia grubsza) i natężenie prądu całkowitego (linia cieńsza) oraz (b) natężenie prądu wyładowania koronowego w  $N_2$  w funkcji czasu

W czasie trwania impulsu prądowego, na skutek zderzeń elektronów ze składnikami mieszaniny gazowej (tzw. reakcje pierwotne), powstają aktywne chemicznie cząstki:  $N_2(A)$ ,  $N$ ,  $N(^2D)$ ,  $O$ ,  $O(^1D)$ ,  $OH$ ,  $H$ . W rozpatrywanych mieszaninach gazowych stężenia  $N_2$ ,  $O_2$  i  $H_2O$  były dużo większe od stężeń pozostałych związków gazowych. Dlatego w niniejszym modelu przyjęto, że cząstki o dużej aktywności chemicznej powstają jedynie podczas zderzeń elektronów z cząsteczkami  $N_2$ ,  $O_2$  i  $H_2O$ . Aktywne chemicznie cząstki reagują w czasie trwania impulsu i w przerwie między impulsami z głównymi składnikami mieszaniny gazowej,  $NO$  oraz produktami jego przemian, np. z  $NO_2$ ,  $N_2O$ ,  $NO_3$ ,  $HNO_3$  (tzw. reakcje wtórne).

Współczynniki szybkości reakcji pierwotnych zależą od natężenia pola elektrycznego ( $E$ ) wyładowania koronowego. Zależność współczynnika szybkości reakcji od natężenia pola można wyrazić równaniem [4]:

$$k_i = 10^{-A-B/(E/N)} \quad (2)$$

gdzie:

$k_i$  – współczynnik szybkości danej reakcji pierwotnej,  $cm^{-3}/s$ ,  
 $A$  i  $B$  – współczynniki,

$E$  – natężenie pola elektrycznego,  $V/cm$ ,

$N$  – zawartość cząsteczek w gazie o temperaturze  $100^\circ C$  i pod ciśnieniem 1 at,  $cm^{-1}$ .

W modelu przyjęto, że wyładowanie koronowe generowane jest w reaktorze o geometrii typu drut–płyta. Natężenie pola elektrostatycznego w takiej geometrii jest funkcją odległości ( $x$ ) od drutu [5]:

$$E(x) = E_{max} \frac{r_w}{x + r_w - \frac{x^2}{2d_g}} \quad (3)$$

$$E_{max} = \frac{V \sqrt{\left(\frac{d_g}{r_w}\right)^2 + \frac{2d_g}{r_w}}}{d_g \ln \left[ 1 + \frac{d_g}{r_w} + \sqrt{\left(\frac{d_g}{r_w}\right)^2 + \frac{2d_g}{r_w}} \right]} \quad (4)$$

gdzie:

$V$  – różnica potencjałów między drutem i płytą,  $V$ ,

$r_w$  – promień drutu,  $cm$ ,

$d_g$  – odległość między drutem i płytą,  $cm$ .

W modelu przyjęto uproszczenie, że natężenie pola między elektrodami podczas wyładowania koronowego jest takie samo jak w warunkach statycznych. Konsekwencją tego założenia jest uzależnienie współczynników szybkości reakcji pierwotnych (2) od odległości ( $x$ ) od drutu. W celu uproszczenia obliczeń założono, że współczynniki szybkości reakcji są wartościami stałymi w obszarze między elektrodami i są równe średnim wartościom odpowiednich współczynników szybkości obliczonych wg równania:

$$k_{is} = \frac{1}{d_g} \int_0^{d_g} k_i(x) dx \quad (5)$$

Wartości współczynników szybkości reakcji wtórnych, które nie zależą od natężenia pola elektrycznego przyjęto z literatury [6–8].

Szybkości przemian, jakim podlegają rodniki i cząsteczki biorące udział w przyjętych reakcjach, opisuje układ równań różniczkowych, który pozwala na wyznaczenie stężeń poszczególnych składników analizowanego gazu roboczego.

Przykładowe równanie różniczkowe dla cząsteczki  $N_2O$  ma postać:

$$\begin{aligned} d[N_2O]/dt = & k_{38} [N] [NO_2] + \\ & + k_{42} [N_2(A)] [O_2] - k_{48} [N(^2D)] [N_2O] + \\ & - k_{53} [O(^1D)] [N_2O] - k_{54} [O(^1D)] [N_2O] \end{aligned} \quad (6)$$

gdzie:

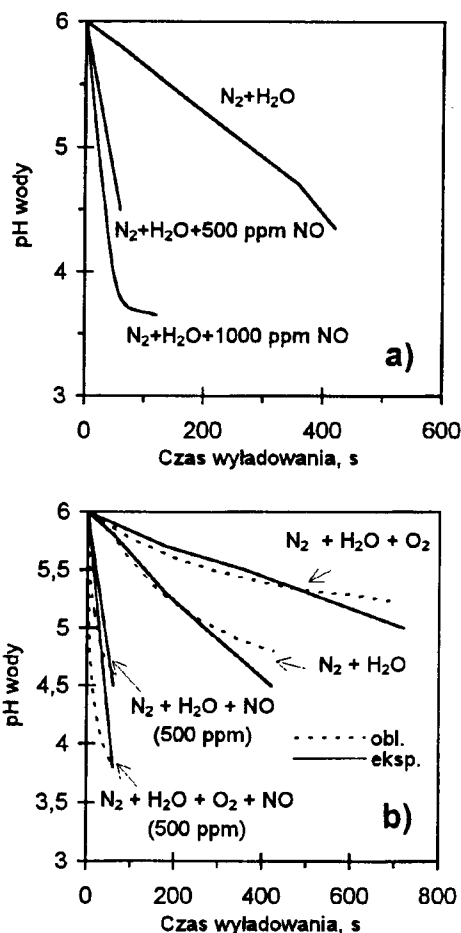
$k_{38}$ ,  $k_{42}$ ,  $k_{48}$ ,  $k_{53}$ ,  $k_{54}$  – współczynniki szybkości reakcji o numerze przyjętym w modelu,  $cm^{-3}/s$ ,

$[N]$ ,  $[N(^2D)]$ ,  $[NO_2]$ ,  $[N_2O]$ ,  $[O(^1D)]$ ,  $[O_2]$ ,  $[N_2(A)]$  – stężenia składników mieszaniny gazowej związanych z produkcją i rozkładem  $N_2O$ ,  $cm^{-3}$ .

Ponieważ układ równań różniczkowych pozwalał wyznaczyć również stężenie gazowego  $HNO_3$ , dlatego też możliwe było obliczenie stopnia zakwaszenia wody pokrywającej elektrodę płytową. Przyjęto, że gazowy  $HNO_3$  wyprodukowany podczas wyładowania zostaje całkowicie zaabsorbowany w fazie wodnej.

## Dyskusja wyników

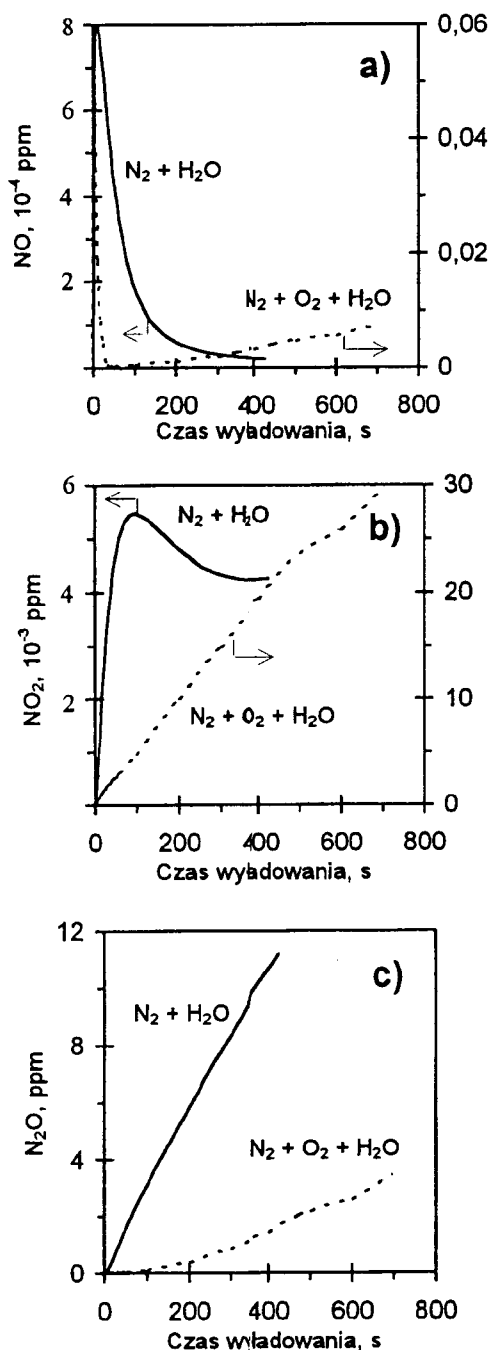
Wyniki badań eksperymentalnych wykazały, że pH wody malało wraz ze wzrostem czasu trwania SIWK (rys.4) i początkowego stężenia  $NO$  w gazie roboczym (rys.4a), co oznacza, że w czasie trwania SIWK następowało usuwanie  $NO$ . Rola  $O_2$  w procesie zakwaszenia wody zależała od obecności  $NO$  w gazie roboczym (rys.4b).



Fys. 4. (a) Wpływ czasu trwania SIWK na pH wody w mieszaninie nie zawierającej tlenu dla różnych zawartości początkowych  $NO$ , (b) doświadczalne i obliczeniowe pH wody w funkcji czasu oddziaływania wyładowania koronowego na badane mieszaniny

Jeżeli gaz roboczy nie zawierał NO, to obecność O<sub>2</sub> spowalniała proces zakwaszenia wody. Odwrotnie było w przypadku, kiedy NO był składnikiem gazu roboczego – wówczas obecność tlenu przyspieszała proces zakwaszenia wody. Na rysunku 4b przedstawiono również obliczoną zależność pH wody od czasu wyładowania. Jak widać, istnieje zgodność zmierzonych i obliczonych zmian pH w czasie wyładowania.

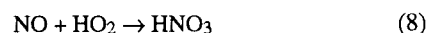
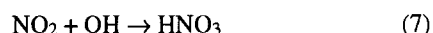
Z analizy modelu komputerowego wynika, że wzrost stopnia zakwaszenia wody był wynikiem przemiany NO w NO<sub>2</sub> (rys.5) i HNO<sub>3</sub>. Wytworzony NO<sub>2</sub> częściowo rozkładał się do N<sub>2</sub>O. Oznacza to, że usuwaniu NO towarzyszyło powstawanie N<sub>2</sub>O. Z modelu wynika, że SIWK również powodował powstawanie NO (rys.5), a obecność O<sub>2</sub> w gazie roboczym zwiększała wielokrotnie ten efekt.



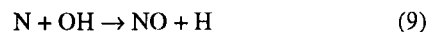
Rys. 5. Obliczone stężenia NO (a), NO<sub>2</sub> (b) i N<sub>2</sub>O (c) w badanych mieszaninach w funkcji czasu oddziaływania wyładowania koronowego (stężenie H<sub>2</sub>O – 2%)

Konsekwencją tego powinno być większe zakwaszenie wody. Wyniki eksperymentalne potwierdzają ten wniosek dla przypadku, kiedy mieszanina N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O+O<sub>2</sub> zawierała NO (500 ppm). Wówczas zakwaszenie wody było większe niż w przypadku mieszaniny nie zawierającej tlenu (N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O) z dodatkiem 500 ppm NO (rys.4b). Zakwaszenie wody w przypadku mieszaniny zawierającej tlen (N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O+O<sub>2</sub>), natomiast nie zawierającej NO, zarówno zmierzone jak obliczone, było mniejsze niż w przypadku mieszaniny nie zawierającej tlenu (rys.4b). Wynikało to z około trzykrotnie mniejszej energii SIWK w mieszaninie N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O+O<sub>2</sub> nie zawierającej NO. W modelu fakt ten uwzględniono przyjmując, że zawartość elektronów w mieszaninie N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O+O<sub>2</sub> była odpowiednio mniejsza.

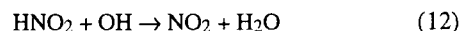
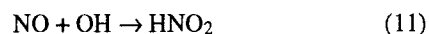
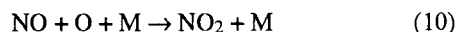
Widoczne na rysunkach 4a i 4b zmniejszanie pH wody było wynikiem jej zakwaszenia przez HNO<sub>3</sub> powstający w czasie wyładowania koronowego. HNO<sub>3</sub> powstawał w wyniku reakcji z udziałem NO i NO<sub>2</sub>:



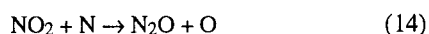
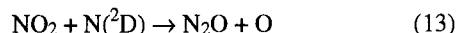
Obliczone stężenia NO, NO<sub>2</sub> i N<sub>2</sub>O przedstawiono na rysunkach 5 i 6. W mieszaninie N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O stężenie NO (rys.5a) najpierw gwałtownie rosło, a następnie malało wraz ze wzrostem czasu wyładowania. Wzrost stężenia NO był wynikiem reakcji pomiędzy rodnikami N i OH powstającymi w wyniku zderzeń elektronów z cząsteczkami N<sub>2</sub> i H<sub>2</sub>O:



Za zmniejszanie się stężenia NO odpowiedzialne były następujące reakcje utleniania NO do NO<sub>2</sub>:

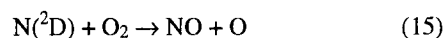


W wyniku reakcji (10)–(12) zwiększało się stężenie NO<sub>2</sub> (rys.5b), jednakże powstawaniu NO<sub>2</sub> towarzyszył jego rozkład do HNO<sub>3</sub> wg reakcji (7) oraz do N<sub>2</sub>O wg reakcji:

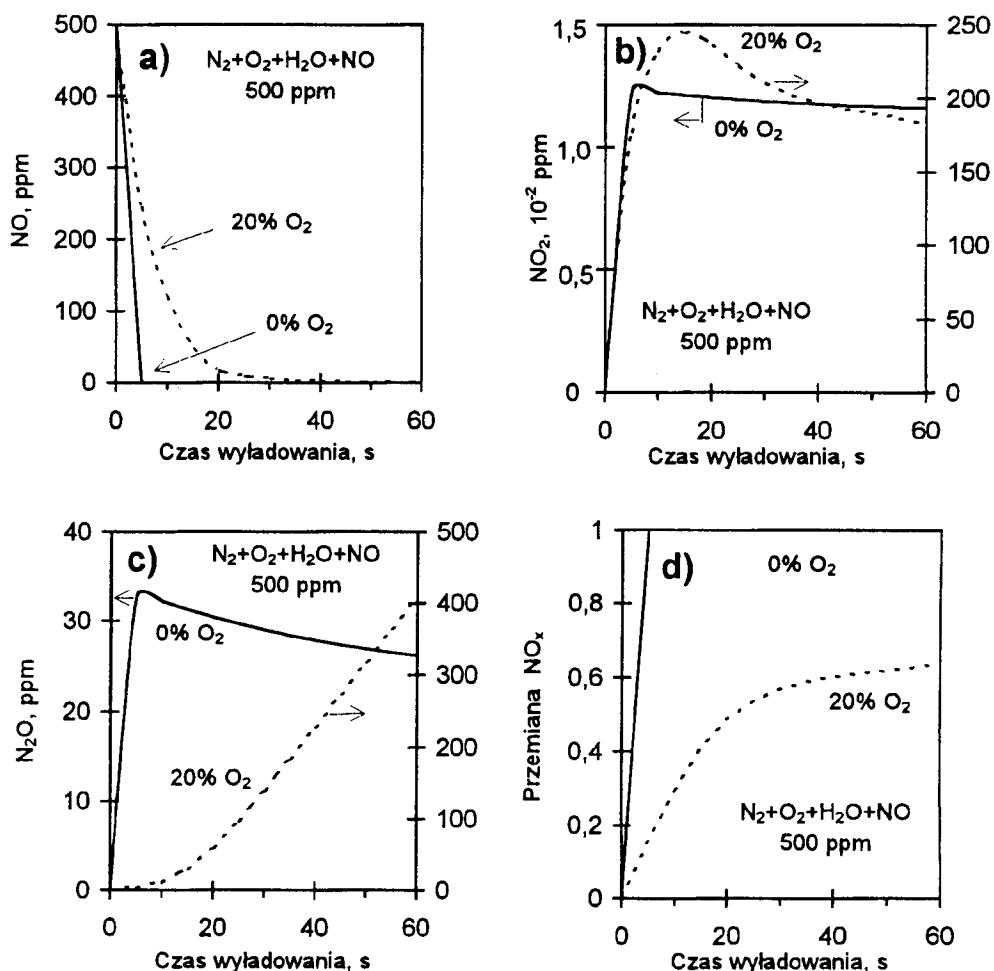


Po obniżeniu stężenia NO poniżej pewnej wartości rozkład NO<sub>2</sub> następował szybciej niż jego powstawanie, co objawiało się zmniejszeniem stężenia NO<sub>2</sub>. Wskutek rozkładu NO<sub>2</sub> rosły stężenia N<sub>2</sub>O (rys.5c) oraz HNO<sub>3</sub>. Zwiększanie się stężenia HNO<sub>3</sub> powodowało w konsekwencji zakwaszenie wody do pH=4,8 po czasie wyładowania 420 s.

W mieszaninie N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O stężenie NO najpierw gwałtownie rosło, potem malało, a następnie znów wolno rosło (rys.5a). Podobnie jak w mieszaninie N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O, zmiany stężenia NO były wynikiem reakcji (9)–(11). Za wzrost stężenia NO po czasie 50 s odpowiedzialna była reakcja:

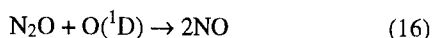


Na skutek wzrostu stężenia NO rosło stężenie NO<sub>2</sub> (rys.5b), który powstawał w wyniku utleniania NO wg reakcji (10)–(12). Obecność O<sub>2</sub> w mieszaninie N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O sprawiła, że

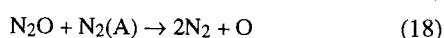
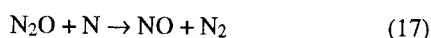


Rys. 6. Wpływ tlenu na wyznaczone stężenia NO, NO<sub>2</sub> i N<sub>2</sub>O oraz stopień przemiany NO<sub>x</sub> w mieszaninie N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O+NO (500 ppm NO, 2% H<sub>2</sub>O) w funkcji czasu oddziaływania SIWK dla różnych zawartości tlenu (linia ciągła – 0%, linia przerywana – 20%)

stężenia NO i NO<sub>2</sub> były kilkakrotnie większe niż w mieszaninie N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O. Wyjątek stanowił N<sub>2</sub>O (rys.5c), którego stężenia w mieszaninie zawierającej tlen były mniejsze niż w mieszaninie N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O, na skutek reakcji:



Wartości pH wody w przypadku mieszaniny N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O (rys.4b), zarówno zmierzone jak obliczone, były mniejsze niż w przypadku mieszaniny N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O, mimo iż powstawanie NO i NO<sub>2</sub> było kilkakrotnie większe. Wynikało to z około trzykrotnie mniejszej energii SIWK w mieszaninie N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O. W mieszaninie N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O, z dodatkiem 500 ppm NO, następował szybki zanik NO (rys.6a) w wyniku jego utleniania do NO<sub>2</sub> wg reakcji (10)–(12). Odpowiadało temu gwałtowne zwiększenie, a później – na skutek braku NO – powolne zmniejszanie się stężenia NO<sub>2</sub> (rys.6b). Ponieważ powstawaniu NO<sub>2</sub> towarzyszył jego rozkład do N<sub>2</sub>O, to – podobnie do zmian stężenia NO<sub>2</sub> – zmieniało się stężenie N<sub>2</sub>O (rys.6c). Nieco szybsze zmniejszanie się stężenia N<sub>2</sub>O w porównaniu do NO<sub>2</sub> było wynikiem reakcji:



Niewielkie stężenie NO<sub>2</sub> (około 0,012 ppm – rys.6b) oraz duże zakwaszenie wody (pH=4,5 – rys.4b) świadczyły o tym, że większość NO uległa utlenieniu do HNO<sub>3</sub> wg reakcji (8).

W mieszaninie zawierającej tlen (N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O) z dodatkiem 500 ppm NO stężenie NO malało wolniej, niż w mieszaninie nie zawierającej tlenu, ze względu na powstawanie NO wg reakcji (15) (rys.6a). Stężenie NO<sub>2</sub> po początkowym wzroście malało na skutek zmniejszenia się stężenia NO poniżej pewnej wartości, po przekroczeniu której rozkład NO<sub>2</sub> następował szybciej niż jego powstawanie (rys.6b). Obecność O<sub>2</sub> sprawiała, że powstawanie NO<sub>2</sub> w wyniku utlenienia NO było wielokrotnie większe niż w mieszaninie nie zawierającej tlenu. W rezultacie stopień zakwaszenia wody w mieszaninie zawierającej tlen był większy. Zmierzona i obliczona wartość pH wody w mieszaninie N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O z dodatkiem 500 ppm NO wynosiła 3,8 i była o 0,7 mniejsza niż w mieszaninie nie zawierającej tlenu. Z obliczeń wynika, że stopień przemiany NO<sub>x</sub> w mieszaninie nie zawierającej tlenu osiągał 100% stosunkowo krótkim czasie (rys.6d). Dodatek O<sub>2</sub> zmniejszał istotnie ten stopień przemiany z uwagi na powstawanie NO.

## Wnioski

♦ Strimerowe impulsowe wyładowanie koronowe do powierzchni wody w środowisku N<sub>2</sub> oraz w mieszaninach N<sub>2</sub> z dodatkiem NO (500 ppm), N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub> (80%+20%) i N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub> (80%+20%) z dodatkiem NO (500 ppm), powodowało zakwaszenie wody na skutek przemiany NO w HNO<sub>3</sub>, przy czym obecność O<sub>2</sub> w mieszaninie roboczej zwiększała ten efekt na skutek wzrostu zawartości NO.

♦ Stopień przemiany NO pod wpływem SIWK wynosił 100%, bez względu na zawartość O<sub>2</sub> w mieszaninie roboczej, natomiast stopień przemiany NO<sub>x</sub> zależał od stężenia O<sub>2</sub> w mieszaninie roboczej. W przypadku mieszaniny roboczej nie zawierającej tlenu może on wynosić 100%, natomiast w obecności 20% O<sub>2</sub> – około 60%.

♦ Rozkładowi NO towarzyszyło powstawanie N<sub>2</sub>O, przy czym obecność O<sub>2</sub> w mieszaninie roboczej może ten efekt nieco zmniejszyć, na skutek reakcji rodników tlenowych z N<sub>2</sub>O.

♦ Przedstawione rezultaty prac wskazują na możliwość zastosowania strimerowego impulsowego wyładowania koronowego do usuwania NO z gazów odlotowych w mokrych elektrofiltrach.

## LITERATURA

1. J. S. CHANG: Mechanism of NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> aerosol particle formation by streamer corona discharges. Proc. Third Inter. Confer. on Electrostatic Precipitation. University of Padova, Padova 1987, pp. 653–665.
2. G. DINELLI, L. CIVITANO, M. REA: Industrial experiments on pulse corona simultaneous removal of NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> from flue gas. IEEE Transactions on Industry Applications, 1990, Vol. 26, No. 3, pp. 535–541.
3. E. SANI, F. MATTACHINI, K. YAN, L. GALLIMBERTI, M. REA, U. TROMBONI, F. POLETTI, J. LEOHARDT, R. RUDOLF, E. MARODE, P. SEGUR: General purpose plasma catalysis pilot plant for gaseous pollutants removal: Power supply and reactor design. Proc. Eleventh Inter. Conference on Gas Discharges and Their Applications. Tokyo 1995, pp. 430–433.
4. N. L. ALEKSANDROV, F. I. WYSIKAILO, R. S. ISLAMOV, I. W. KOCHETOV, A. P. NAPARTOVICH, W. G. PEVLOV: Calculation model of discharge in a mixture of N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>=4:1. Teplofizika Wysokich Temperatur, 1981, Vol. 19, No. 3, pp. 485–489.
5. Y. L. M. CREYGHTON: Pulsed positive corona discharges: Fundamental study and application to flue gas treatment – thesis. CIP Data Koninklijke Bibliotheek, Den Haag 1994.
6. R. ATKINSON, D. L. BAULCH, R. A. COX, R. F. HAMPSON JR., J. A. KERR, J. TROE: Evaluated kinetic and photochemical data for atmospheric chemistry: Supplement III. Journal Phys. Chem., Ref. Data, 1989, Vol. 18, No. 2, pp. 881–1108.
7. A. C. GENTILE: Kinetic processes and plasma remediation of toxic gases – thesis. University of Illinois at Urbana-Champaign, USA 1995.
8. H. MÄTZING: Chemical kinetics of flue gas cleaning by irradiation with electrons. Advances in Chemical Physics, Vol. 58, pp. 315–402.

## NO<sub>x</sub> Removal from Flue Gases During Corona Discharge in a Wet Electrostatic Precipitator

*The objective of the study was to remove NO<sub>x</sub> from simulated flue gases (gas mixtures: N<sub>2</sub>+NO and N<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>+NO) by a pulsed streamer corona discharge (PSCD) performed in a wire-to-plate type reactor in which the plate was irrigated with water, similarly as in wet electrostatic precipitators. NO reduction in the gas mixtures was indicated by a change in the acidity of water. In order to analyse the chemical-plasma processes occurring in the PSCD, a computer modelling of nitrogen oxides conversion*

*was carried out. The modelling showed that the increased water acidity was due to the conversion of NO into NO<sub>2</sub>, and then into HNO<sub>3</sub>, which was absorbed by water. The presence of O<sub>2</sub> in the gas mixture raised the water acidity due to the increased production of NO and NO<sub>2</sub>. The results obtained showed that the removal of NO from flue gas simulators by the pulsed streamer corona discharge in a wet electrostatic precipitator was feasible.*