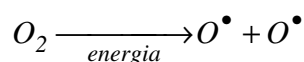


dr hab. inż. Grzegorz Wielgosiński, prof. PŁ
Politechnika Łódzka
Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska

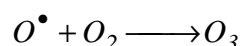
Wykorzystanie ozonu do dezynfekcji pomieszczeń

Ozon (O_3) jest alotropową odmianą tlenu składającą się z trójatomowych cząsteczek. Posiada silne właściwości aseptyczne i toksyczne, w związku z czym od lat stosowany jest przy dezynfekcji wody. W warunkach naturalnych gromadzi się w stratosferze tworząc tzw. warstwę ozonową, która pełni ważną rolę w pochłanianiu części promieniowania ultrafioletowego dochodzącego ze Słońca do Ziemi. W warunkach normalnych ozon jest niebieskim gazem, o większej gęstości od powietrza. W temperaturze od -193°C do -111°C jest fioletową cieczą.

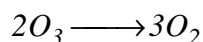
Ozon powstaje w naturalny sposób w wyniku działania promieniowania ultrafioletowego Słońca, (reakcja fotochemiczna) oraz uderzenia pioruna (reakcja bioelektryczna). Dostarczenie energii do cząsteczki tlenu (O_2) powoduje jej rozpad z wydzieleniem dwóch aktywnych atomów tlenu:



Aktywny, atomowy tlen atakuje następnie cząsteczkę tlenu, przyłączając się do niej. W ten sposób tworzy się cząsteczka trójatomowa ozonu:



Cząsteczka ozonu nie jest trwała i stosunkowo szybko rozkłada się z wydzieleniem tlenu cząsteczkowego:



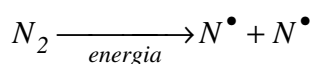
Ze względu na fakt, że ozon w stosunkowo krótkim czasie przechodzi z powrotem w tlen, ozon nie może być magazynowany i dostarczany w zbiorniku czy butli. Musi być on wytworzony na miejscu wykorzystania przez odpowiedni generator ozonu.

Istnieją dwa sposoby sztucznego wytwarzania ozonu (obydwa wykorzystują zasadę, na jakiej ozon powstaje w naturze): za pomocą promieni ultrafioletowych (światła UV) lub przy użyciu wyładowań koronowych. Zjawiskowo oba sposoby wytwarzania ozonu opierają się o tę samą zasadę. Doprowadza się duże porcje energii; w wyniku tego procesu następuje rozerwanie wiązań w tlenie i utworzenie rodników tlenu, co dalej prowadzi do powstania molekuł ozonu.

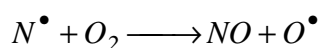
Wyładowania koronowe wytwarzają ozon przez przyłożenie wysokiego napięcia do metalowej siatki umieszczonej pomiędzy dwoma dielektrykami. Wysokie napięcie (często ponad 3 kV) przechodzi przez dielektryk do uziemionego ekranu wytwarzając wyładowanie, które rozszczepia cząsteczki tlenu. Natomiast promieniowanie ultrafioletowe (UV) generuje ozon, gdy światło o długości fali 254 nm, wytworzone przez lampę UV, uderza w cząsteczki tlenu rozrywając ich wiązania. Uwolnione atomy łączą się z innymi cząsteczkami tlenu wytwarzając ozon. Sztucznie wytwarzany ozon jest tak samo skuteczny, jak występujący naturalnie pod warunkiem, że jego stężenie jest dokładnie kontrolowane. Do wytworzenia ozonu, w praktyce częściej wykorzystuje się wyładowania koronowe ze względu na większą ilość zalet tego sposobu. Metoda ta jest bardziej wydajna ekonomicznie (a więc są niższe koszty produkcji) a także elementy wytwarzające ozon są bardziej trwałe. Gazem zasilającym może być powietrze atmosferyczne lub czysty tlen. Wyższe stężenia ozonu można osiągnąć tylko, gdy użyty zostanie czysty tlen jako gaz źródłowy, na przykład z butli tlenowych. Ze względów ekologicznych oraz bezpieczeństwa zdecydowanie lepszym rozwiązaniem jest wytwarzanie ozonu z czystego tlenu niż z powietrza.

Ozon jest silnym utleniaczem, dzięki czemu posiada bardzo silne właściwości bakterio- i wirusobójcze. Jego działanie bakteriobójcze jest około 50 razy skuteczniejsze i 3000 razy szybsze niż chloru. Wykorzystywany jest do wyjaławiania wody pitnej (ozonowanie), pomieszczeń (szczególnie w szpitalach: lampa ozonowa, zamgławianie), samochodów (szczególnie układów klimatyzacji). Ozon jest jednym z najskuteczniejszych znanych środków dezynfekcyjnych. Działanie bakteriobójcze wykazuje on już w bardzo niskim stężeniu - ok. 13 µg/dm³. Jako środek dezynfekcyjny ozon nie jest jednak pozbawiony wad. Jego podstawową wadą jest nietrwałość, a co za tym idzie, np. ryzyko wtórnego skażenia uprzednio zdezynfekowanej wody.

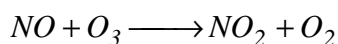
W przypadku wytwarzania ozonu z powietrza, obecny w nim azot (ok. 78% N₂ przy ok. 21% O₂) również ulega rozkładowi (analogicznie jak tlen) pod wpływem dostarczonej energii:

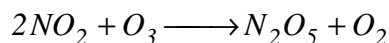


Wytworzony w ten sposób aktywny atom azotu może reagować z cząsteczką tlenu dając w efekcie tlenek azotu NO:

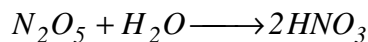


Powstały w tej reakcji tlen może brać udział w powstawaniu ozonu, natomiast tlenek azotu łatwo ulega utlenieniu za pomocą ozonu do dwutlenku azotu i dalej do pięciotlenku azotu:





Pięciotlenek azotu (N_2O_5) łatwo wiąże się z wodą dając w efekcie kwas azotowy (HNO_3):



który wykazuje sine właściwości żrące i korozyjne.

Tlenki azotu, do których zaliczamy wspomniany już tlenek azotu (NO), a także dwutlenek azotu (NO_2) i pięciotlenek azotu (N_2O_5) to jedne z najgroźniejszych czynników zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego. Są dziesięciokrotnie bardziej szkodliwe od tlenku węgla i kilkakrotnie od dwutlenku siarki. W powietrzu atmosferycznym odpowiadają za powstanie tak zwanego smogu, który jest szczególnie niebezpieczny dla ludzi i zwierząt. Powstający w ozonatorach zasilanych powietrzem, wyniku wyładowań koronowych tlenek azotu jest gazem nie wykazującym działania toksycznego, przeciwnie w naszym organizmie pełni wiele pożytecznych funkcji. Ulega on jednak utlenieniu (zarówno powietrzem, jak i zdecydowanie szybciej ozonem) do dwutlenku azotu, który posiada silne właściwości toksyczne. Dwutlenek azotu to brunatny gaz o ostrym zapachu. Wchłonięty przez układ oddechowy do naszego organizmu wiąże się z zawartą w krwi hemoglobina tworząc methemoglobinę i uniemożliwiając transport tlenu za pomocą krwi do komórek. W konsekwencji dochodzi do niedotlenienia ośrodkowego układu nerwowego i często także do śmierci. Jego stężenie śmiertelne (drogą inhalacji) wynosi 383 mg/m^3 (w ciągu 1 minuty).

Tlenek azotu i jego wersja utleniona - dwutlenek azotu powstają praktycznie w wszystkich procesach spalania (np. w piecach domowych, samochodach, elektrowniach) i tym samym są jednym z najgroźniejszych składników tzw. smogu, czyli ponadnormatywnego zanieczyszczenia powietrza zarówno w okresach zimowych (tzw. smog londyński) jak i letnich (tzw. smog kalifornijski). Podczas pamiętnego smogu w 1952 roku w Londynie z ciągu 5 dni zmarło aż 12 000 mieszkańców.

Tlenek azotu praktycznie nie rozpuszcza się w wodzie natomiast zarówno dwutlenek azotu jak i pięciotlenek azotu w wodzie rozpuszczają się doskonale. Produktem takiego rozpuszczania jest kwas azotowy, jeden z najbardziej agresywnych kwasów. Emisja tlenków azotu do atmosfery jest źródłem tzw. kwaśnych deszczy, czyli deszczy, w których zostały zaabsorbowane tlenki azotu (również tlenki siarki). Ich wysoka kwasowość (odczyn pH poniżej 4) powoduje niszczenie roślin, zakwaszenie gleb oraz korozję, zarówno elementów metalowych jak elementów budowlanych (betonu, cegły czy kamienia).

Wykorzystywanie generatorów ozonu do dezynfekcji pomieszczeń jest skuteczną metodą walki z zakażeniami bakteriologicznymi oraz wirusowymi. Podczas samej operacji ozonowania wykonujący ją pracownicy wyposażeni są w odpowiednie środki ochronne

(kombinezony, maski czasami aparaty tlenowe) i powstający ozon oraz dodatkowo powstające w generatorach ozonu zasilanych powietrzem tlenki azotu nie stanowią istotnego zagrożenia. Jednakże ozon w stosunkowo krótkim czasie ulega rozkładowi, natomiast dwutlenek azotu nie rozkłada się tak szybko i może stanowić zagrożenie zdrowotne dla osób korzystających z tych pomieszczeń. Dwutlenek azotu może adsorbować się na elementach wyposażenia pomieszczeń (wykładziny, meble tapicerowane, zasłony itp.) i oddziaływać toksycznie jeszcze przez pewien czas po zakończeniu procesu ozonowania pomieszczenia. Dodatkowo w przypadku większej wilgotności powietrza w dezynfekowanym pomieszczeniu powstające: dwutlenek azotu jak i pięciotlenek azotu mogą absorbować się w kropelkach wilgoci, w wyniku czego powstanie aerozol kwasowy, który może uszkodzić elementy wyposażenia pomieszczenia oraz stworzyć silnie kwaśną warstwę na powierzchniach np. mebli co przy kontakcie ze skórą człowieka może powodować trudno gojące się oparzenia chemiczne.

Reasumując ozonowanie pomieszczeń, jako metoda ich dezynfekcji i unieszkodliwiania zarówno bakterii chorobotwórczych jak i wirusów jest skuteczną i dobrą metodą, jednak pod warunkiem stosowania ozonatorów zasilanych czystym tlenem, a nie powietrzem, gdyż w tym drugim przypadku występuje spore ryzyko nieoczekiwanych negatywnych oddziaływań zdrowotnych dla użytkowników tych pomieszczeń.



dr hab. inż. Grzegorz Wielgosiński, prof. PŁ

Łódź, czerwiec 2020