

Tomasz KIELBASA\*

## **DEZODORYZACJA GAZÓW ODLOTOWYCH EMITOWANYCH NA TERENIE OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW METODĄ FOTOKATALITYCZNEGO UTLENIANIA**

Emisja związków odorotwórczych na terenie oczyszczalni ścieków jest zagadnieniem bardzo złożonym, a przez to kontrola oddziaływania zapachowego w obrębie obiektu, jak i poza nim jest trudna w zastosowaniu praktycznym. Wzrastająca świadomość społeczna w zakresie ochrony środowiska oraz urbanizacja terenów podmiejskich, przyczyniają się do wzrostu skarg zgłaszanych na zapachową jakość powietrza z obiektów gospodarki komunalnej. Problem emisji zapachu z terenów oczyszczalni ścieków powinien być zagadnieniem priorytetowym dla eksploatatorów. Ograniczanie oddziaływania zapachowego może być realizowane poprzez zapobieganie emisji lub dezodoryzację gazów odlotowych. Klasyczne metody dezodoryzacji bardzo często wymagają dużych nakładów finansowych, które rosną wraz z kosztami utrzymania personelu czy zakupu chemikaliów. Proces obróbki odorów pozwalający na ograniczenie kosztów inwestycyjnych, jak i eksploatacyjnych przy zachowaniu dużej niezawodności jest charakterystyczny dla nowej metody eliminacji odorów z gazów odlotowych.

W niniejszym artykule przedstawiono proces fotokatalitycznego utleniania odorów w urządzeniu PCO (*ang. photocatalytic oxidation*) polegający na wykorzystaniu czynników utleniających generowanych in situ poprzez wiele reakcji fizykochemicznych oraz wykorzystanie konwertera katalitycznego wspomagającego procesy utleniania związków zapachowych.

### **1. WPROWADZENIE**

Minimalizowanie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków na tereny przyległe jest zagadnieniem o rosnącym znaczeniu zarówno dla społeczeństwa, jak i eksploatatorów. Jedną z głównych przyczyn skarg zgłaszanych przez ludność na zapachową jakość powietrza są oczyszczalnie ścieków [5, 13, 14]. Brak uwarunkowań prawnych ograniczających emisję związków odorotwórczych dodatkowo nie sprzyja

---

\* Politechnika Białostocka, Katedra Systemów Inżynierii Środowiska ul. Wiejska 45E, 15–351 Białystok, t.kielbasa@pb.edu.pl.

rozwiązaniu problemu zapachowej jakości powietrza w Polsce [8]. W konsekwencji kontrola emisji odorantów, która spełni wymagania zapachowej jakości powietrza stawiane przez społeczeństwo powinna być zagadnieniem priorytetowym związanym z eksploatacją oczyszczalni ścieków [10].

Złożoność takich obiektów jak oczyszczalnie ścieków ze względu na ilość i różnorodność potencjalnych źródeł emisji, utrudnia efektywną kontrolę zapachowej jakości powietrza w obrębie, jak i poza zakładem. W trakcie transportu ścieków surowych, procesów technologicznych oczyszczania ścieków czy zagospodarowania osadów, dochodzi do emisji odorów, jak i innych zanieczyszczeń powietrza [5, 14]. Czynniki przyczyniające się do powstawania problemów z zapachowym oddziaływaniem obiektów obejmują: postępujący proces urbanizacji terenów podmiejskich, w następstwie którego zmniejsza się odległość źródeł emisji odorów do terenów zamieszkałych, przyłączanie do istniejącego systemu kanalizacyjnego nowych obiektów przemysłowych, jak i mieszkalnych, procesy technologiczne oczyszczania ścieków i zagospodarowania powstających w ich wyniku odpadów, rosnąca świadomość społeczna w zakresie ochrony środowiska [10].

Ograniczanie zapachowego oddziaływania oczyszczalni ścieków może być realizowane poprzez zapobieganie emisji odorantów i/lub dezodoryzację gazów odlotowych. W sytuacji kiedy mamy do czynienia z nową inwestycją, pod uwagę powinny być brane takie czynniki, jak wybór technologii i projektowanych urządzeń pod kątem potencjalnej emisji zapachu, jak również hermetyzacja obiektu, która niejednokrotnie stanowi poważny koszt inwestycyjny w przypadku już istniejących obiektów. Drugą możliwością jest dezodoryzacja gazów odlotowych, która może polegać na: usuwaniu, przekształcaniu, maskowaniu lub neutralizowaniu związków mających negatywne oddziaływanie zapachowe [8, 10,13].

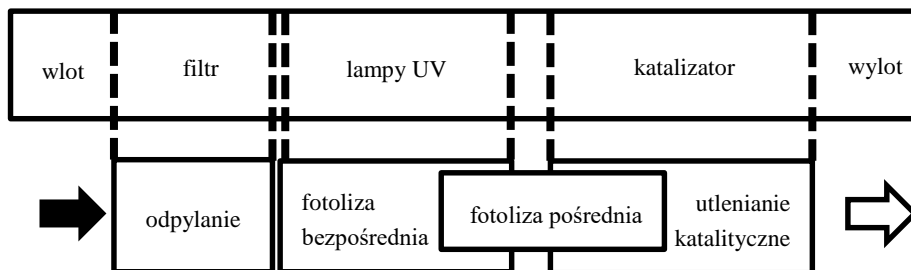
Popularne techniki usuwania odorantów z gazów odlotowych obejmują takie metody jak: absorpcja w wodzie, absorpcja z reakcją chemiczną, ozonowanie, utlenianie termiczne, adsorpcja, metoda kondensacyjna czy metody biologiczne [8]. Wymagania stawiane metodom oczyszczania gazów ze związków o charakterze zapachowym to wysoka skuteczność dezodoryzacji w połączeniu z niskim kosztem inwestycyjnym oraz eksploatacyjnym. W praktyce spełnienie wszystkich wymienionych warunków przy obecnym stanie wiedzy wydaje się być niemożliwe, stąd tendencja do poszukiwania alternatywnych metod unieszkodliwiania substancji o charakterze zapachowym [14]. W niniejszym artykule przedstawiono nową technikę fotokatalitycznej dezodoryzacji gazów odlotowych realizowaną w urządzeniu PCO, polegającą na wykorzystaniu czynników utleniających generowanych in situ poprzez wiele reakcji fizykochemicznych oraz wykorzystanie konwertera katalitycznego wspomagającego procesy utleniania związków zapachowych.

## 2. OPIS PROCESU FOTOKATALITYCZNEGO UTLENIANIA

Jedną z obiecujących metod niszczenia związków o potencjale zapachowym jest proces fotokatalitycznego utleniania nazywany również fotojonizacją [12, 15]. Metoda fotokatalitycznego utleniania znalazła dotychczas zastosowanie w usuwaniu takich związków uciążliwych zapachowo jak: siarkowodór, amoniak, metanotiol, siarczek dimetylu, disulfid dimetylowy, 2-metylobutan, propanon, siarczek dimetylu, dwusiarczek węgla, 2-metylofuran, n-butanol, disiarczek dimetylu, fenylometanol [1–4, 11]. Produktami końcowymi fotokatalitycznego utleniania są: dwutlenek węgla, azot, siarka i woda [2].

Metoda PCO jest procesem dwuetapowym obejmującym wykorzystanie światła na bazie UV oraz utleniania katalitycznego. Uproszczony schemat oczyszczania gazów odlotowych oraz budowę urządzenia PCO przedstawiono kolejno na rys. 1 oraz 2.

Zanieczyszczony gaz poprzez wlot wprowadzany jest do urządzenia za pomocą wentylatora. Przechodzi przez filtr tkaninowy mający za zadanie ochronę przed zanieczyszczeniem pyłowymi elementami aparatu. Następnie gazy traktowane są światłem ultrafioletowym w komorze lamp UV i w dalszej kolejności trafiają na złożę z tzw. konwerterem katalitycznym. Oczyszczone powietrze odprowadzane jest za pomocą wentylatora na zewnątrz urządzenia.



Rys. 1. Uproszczony schemat dezodoryzacji gazów w urządzeniu PCO (źródło: opracowanie własne)

Promieniowanie ultrafioletowe oraz różnego rodzaju czynniki o charakterze utleniającym znalazły szerokie zastosowanie w oczyszczaniu wody, w tzw. metodach zaawansowanego utleniania chemicznego (*ang. advanced oxidation processes, AOT*) w wyniku, których zanieczyszczenia występujące w fazie ciekłej rozkładane są do prostych związków takich, jak dwutlenek węgla, woda oraz sole mineralne [9, 15]. Promieniowanie UV posiada właściwości utleniania związków odorotwórczych poprzez mechanizm bezpośredniej fotolizy, w wyniku której może nastąpić: rozerwanie wiązań cząsteczkowych, całkowita degradacja substancji organicznych lub ich przekształcenie oraz pośrednio poprzez inicjowanie powstawania takich czynników utleniających, jak wolne rodniki np. rodniki hydroksylowe, anionorodniki ponadtlenkowe ( $O_2^{\cdot -}$ ), rodniki

związków organicznych oraz reaktywne formy tlenu np. ozon, tlen singletowy [1, 6, 12].

Zakres długości fali wytwarzanej przez sekcję lamp UV stosowanej w metodzie PCO jest objęty tajemnicą handlową. Jednak pewnych wskazówek odnośnie zakresu pracy lamp UV dostarcza praca Wang i in. [15], w której badano zastosowanie fotoutleniania związków organicznych w fazie gazowej światłem UV. Długość fali 185 nm generuje w układzie ozon, który w powietrzu jest prekursorem powstawania rodników hydroksylowych. W wyniku absorpcji przez wodę fali o długości od 175–190 nm powstają między innymi reaktywne formy tlenu oraz wspomniane rodniki hydroksylowe. Fala o długości 254 nm rozkłada ozon do cząsteczki tlenu oraz tlenu atomowego. Razem wymienione czynniki będą stanowiły potencjał utleniający dla reakcji fotolizy pośredniej i późniejszego utleniania katalitycznego.

Zastosowanie drugiego etapu oczyszczania gazów z tzw. konwerterem katalitycznym pozwala na wydłużenie czasu kontaktu czynników utleniających ze związkami o charakterze zapachowym, w konsekwencji zachodzą dalsze reakcje chemiczne, które dodatkowo są wspomagane przez utlenianie katalityczne. Zastosowanie katalizatora stanowi pewnego rodzaju rezerwar w sytuacjach nagłego wzrostu stężenia związków odorotwórczych w oczyszczanych gazach oraz zapobiega emisji ozonu do atmosfery. Spośród możliwych do zastosowania katalizatorów, stosowane są takie rozwiązania jak: powlekany węgiel aktywny lub niepowlekany (bez właściwości adsorpcyjnych) oraz tlenki metali. Wybór stosowanego konwertera katalitycznego uzależniony jest od stopnia obciążenia gazów odlotowych odorami oraz parametrów fizycznych strumienia gazów odlotowych [2, 16].

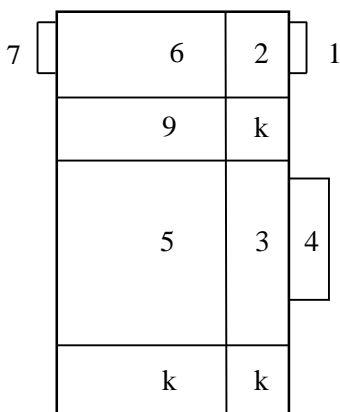
Zaletami stosowania techniki fotokatalitycznego utleniania są: możliwość dezodoryzacji gazów o wysokim stężeniu odorantów np. kilkaset ppm siarkowodoru, brak spadku efektywności oczyszczania gazów przy znacznych wahaniami stężeń odorantów [1], brak wpływu temperatury oraz wilgotności względnej na proces oczyszczania gazów, rozsądne koszty kapitałowe oraz operacyjne, stabilność procesu dzięki zastosowaniu metod fizyko-chemicznych, brak stosowania chemikaliów czy wody, stosunkowo niskie zapotrzebowanie energetyczne biorąc pod uwagę stosowanie lamp UV, możliwość okresowej pracy instalacji, niskie nakłady roboczogodzin przeznaczonych na konserwację oraz interwencje operatora, możliwość odzyskania ciepła generowanego przez promieniowanie UV, stosunkowo niewielki ślad węglowy instalacji (*ang. carbon footprint*) [11, 12, 17].

### 3. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA URZĄDZENIA PCO

Urządzenie PCO charakteryzuje się budową modułową, co zapewnia dużą elastyczność w dobrze konfiguracji poszczególnym elementom pod kątem charakterystyki

oczyszczanych gazów. Budowę urządzenia oraz zdjęcie aparatu PCO przedstawiono kolejno na rys. 2 oraz 3.

Urządzenia wykonane są z stali nierdzewnej, o podwójnych izolowanych ściankach, co pozwala pracować urządzeniu PCO w zakresie temperatur od  $-30$  do  $50$  °C [12, 17]. Wydajność projektowanych instalacji w zależności od potrzeb może wynosić od ok.  $130$  m<sup>3</sup>/h do nawet  $57000$  m<sup>3</sup>/h. Obserwowane skuteczności redukcji zanieczyszczeń o charakterze zapachowym wahają się od 45% dla n-butanolu do blisko 100% dla siarczku dimetylu, 2-metylofuranu, fenylometanolu. Najszerszej zbadanym odorantem jest siarkowodór, dla którego skuteczność dezodoryzacji wynosi od 99 do 100% [1, 3, 12]. Dla małych aparatów do ok.  $3400$  m<sup>3</sup>/h emisja hałasu jest niewielka, ze względu na umieszczenie wentylatora w górnej izolowanej komorze. Jeśli zachodzi taka potrzeba istnieje możliwość montażu dodatkowych elementów redukujących emisję hałasu. Celem maksymalnego wyeliminowania niezorganizowanej emisji odorów układ pracuje w warunkach podciśnienia. Nakład czasu pracy operatora związany z konserwacją oraz kontrolą urządzenia został sprowadzony do minimum [12]. Kontrola konserwacyjna aparatu obejmuje sprawdzenie stanu: filtra przeciwpyłowego, lamp UV, katalizatora powinna po upływie 6 miesięcy. Natomiast ewentualna wymiana ww. elementów po upływie ok.  $9000$  h pracy lub jednym roku. Z pozostałych czynności kontrolno-konserwacyjnych należy wymienić cotygodniową kontrolę ogólnego stanu aparatu, pracy wentylatora oraz wskazań manometrów modułów [7].



Rys. 2. Schemat budowy urządzenia PCO. 1 – Wlot zanieczyszczzonego gazu, 2 – filtr przeciwpyłowy, 3 – komora lamp UV, 4 – panel zasilająco-sterujący, 5 – katalizator, 6 – wentylator, 7 – wylot oczyszczonych gazów, k – otwory konserwacyjno-kontrolne (źródło opracowanie własne na podstawie [7])



Rys. 3. Instalacja PCO dezodoryzująca gazy odlotowe emitowane w punkcie podnoszenia ścieków surowych (fot. T. Kielbasa)

#### 4. PODSUMOWANIE

Kontrola oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków jest zagadnieniem złożonym. W związku ze wzrostem ilości skarg społeczeństwa na zapachową jakość powietrza jest to aktualny problem wielu eksploatorów wspomnianych obiektów. Ograniczanie emisji związków odorotwórczych może być realizowane na drodze dezodoryzacji gazów odlotowych. Współcześnie stosowane metody eliminacji odorów z fazy gazowej stanowią kompromis pomiędzy kosztami inwestycyjnymi, eksploatacyjnymi oraz stopniem redukcji niepożądanych substancji o charakterze zapachowym. W związku z powyższym istnieje potrzeba poszukiwania alternatywnych metod dezodoryzacji gazów. Ostatnimi czasy, obserwuje się wzrost zainteresowania wykorzystaniem metod fotokatalitycznych do dezodoryzacji gazów odlotowych, które mogą stanowić alternatywę dla obecnie popularnych metod [12, 14, 15]. Jedną z obiecujących technik jest fotokatalityczne utlenianie realizowane w aparatach PCO. Metoda ta jest procesem dwuetapowym opartym o wykorzystanie promieniowania UV generującego potencjał utleniający w postaci takich czynników, jak: wolne rodniki oraz reaktywne formy tlenu oraz utleniania katalitycznego. Zaletami metody jest wysoka efektywność

oczyszczania gazów z substancji o charakterze zapachowym, przy zachowaniu stosunkowo niskich kosztów inwestycyjnych oraz eksploatacyjnych. Dodatkowo na korzyść tej techniki przemawiają brak stosowania chemikaliów i wody do prowadzenia procesu oraz niskie nakłady roboczogodzin związanych z eksploatacją oraz konserwacją urządzeniem PCO. Wyniki prezentowane w literaturze przedmiotu zdają się potwierdzać przydatność metody fotokatalitycznego utleniania do dezodoryzacji gazów odlotowych z takich obiektów jak oczyszczalnie ścieków.

#### LITERATURA

- [1] AUGUSTIN O., BARTKOWSKA I., DZIENIS L., *Odour control by photo catalytic ionisation: initial successful applications*, [w:] Moving forward wastewater biosolids sustainability: technical, managerial, and public synergy, pod red. R.J. LeBlanc, P.J. Laughton, T. Rajesh, GMSC, New Brunswick 2007, 1045–1050.
- [2] AUGUSTIN O., *New new off-gas treatment technologies based on photo-catalytical treatment and ionization discussion of first positive results from Europe*, Proceedings of the Water Environment Federation, Residuals and Biosolids Management, 2005, 1132–1140.
- [3] AUGUSTIN O., *Odour control and off-Gas treatment based on Photo-Catalytical Oxidation*, 4<sup>th</sup> CIWEM Annual Conference, Newcastle Upon Tyne 2006.
- [4] BARTKOWSKA I., WAWRENTOWICZ D., *Analiza skuteczności dezodoryzacji powietrza metodą fotokatalitycznego utleniania*, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2014, 27–29.
- [5] BELGIORNO V., NADDEO V., ZARRA T., *Odour Impact Assessment Handbook*, Chichester: John Wiley a. Sons, 2013, 125–168, 205–216.
- [6] DĄBROWSKA D., KOT-WASIK A., NAMIEŚNIK J., *Degradacja związków organicznych w środowisku*, [w:] Nowe horyzonty i wyzwania w analityce i monitoringu środowiskowym, pod red. J. Namieśnik, W. Chrzanowski, P. Szpinek, Centrum Doskonałości Analityki i Monitoringu Środowiskowego, Gdańsk 2003, 702–707.
- [7] *Dokumentacja urządzenia do dezodoryzacji powietrza w pompowni ścieków p2 w Elku* dostarczona przez: BSK BIOGEST Spółka z o.o.
- [8] KOŚMIDER J., MAZUR-CHRZANOWSKA B., WYSZYŃSKI B., *Odory*, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2002, druk na żądanie wersja II, 156–179, 206–211.
- [9] NAWROCKI J., *Zaawansowane procesy utleniania w oczyszczaniu wody*, Ochrona Środowiska, 1999, Vol. 74, No. 3, 31–36.
- [10] *Odor Control Chapter 13*, Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants; Management and Support Systems; Manual of Practice No 11, Water Environment Federation, 2007, 1–47.
- [11] PARKER R., HARSHMAN J., MORANO D., *Pilot Test of a UV-enhanced Biological Odor Control System*, Proceedings of the Water Environment Federation, Odors Air Pollutants, 2014, 1–10
- [12] PRIDE C., *Photoionisation: A Superior Odor-Control Technology*, Proceedings of the Water Environment Federation, 2014, 1–11
- [13] SOBCZYŃSKI P., SÓWKA I., NYCH A., *Emisja siarkowodoru jako wskaźnik uciążliwości zapachowej oczyszczalni ścieków*, [w:] Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska. Tom 4, pod red. T.M. Traczewskiej i B. Kaźmierczaka, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2014, 760–769.
- [14] SZYŃKOWSKA M.-I., ZWOŹDZIAK J., *Współczesna problematyka odorów*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2010, 14–33, 166–167.

- [15] WANG J.-H., RAY M.-B., *Application of ultraviolet photooxidation to remove organic pollutants in the gas phase*, Separation and Purification Technology, 2005, Vol. 19, 11–20.
- [16] [www.biogest.pl/index.php?page=dezodoryzacja-powietrza](http://www.biogest.pl/index.php?page=dezodoryzacja-powietrza) data wizyty: 01-02-2016.
- [17] [www.neutralox.de/en/photoionisation.php](http://www.neutralox.de/en/photoionisation.php) data wizyty: 01-02-2016.

#### OFF-GAS DEODORIZATION EMITTED FROM WASTEWATER TREATMENT PLANT BASED ON PHOTOCATALYTICAL OXIDATION

Odor emissions in wastewater treatment plants is a very complex and therefore odors control within the facility and beyond it is difficult in practical application. Increasing public attention to environmental protection problems and urbanization of suburban areas, contribute to the growth of complaints on air quality in the context of odor. Reducing negative impact can be realized by preventing the emission of waste gases or deodorization. Classical methods often require immense maintenance demand and may cause health hazards due chemical applied. Low investment and operating costs while maintaining high reliability is a characteristic of the new odor control method. This article present the process of photocatalytic oxidation of odor in the unit PCO (Photocatalytic oxidation) based on the use of the oxidizing agents generated in situ by many physical and chemical reactions and the use of a catalytic converter supporting processes of oxidation of aromatic compounds.