

dr inż. Marek Woliński¹

Przyjęty/Accepted/Принята: 11.05.2016;

Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 07.06.2016;

Opublikowany/Published/Опубликована: 30.06.2016;

Zagrożenia wybuchowe w oczyszczalni ścieków: powstawanie i zapobieganie

Explosion Hazards in Wastewater Treatment Plant: Origin and Prevention

Угрозы взрыва на очистном заводе: формирование и предупреждение

ABSTRAKT

Cel: Artykuł podejmuje temat rozpoznania źródeł zagrożeń wybuchem związanych z eksploatacją oczyszczalni ścieków oraz środków i rozwiązań stosowanych w celu ich minimalizacji.

Wprowadzenie: Postępowi urbanizacji towarzyszy wzrost zapotrzebowania na wodę o odpowiedniej jakości, zużywaną do celów bytowych. Rośnie również ilość odprowadzanych ścieków komunalnych. Zapewnienie dostaw wody o wymaganej ilości i jakości wiąże się z koniecznością uzdatniania wody pobieranej z rzeki czy jeziora. Swego rodzaju wstępem do procesów uzdatniania wody dla kolejnego odbiorcy jest oczyszczanie ścieków zrzucanych przez poprzedniego odbiorcę z nurtem rzeki. Oczyszczanie ścieków prowadzi się metodami mechanicznymi, fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi. Ścieki komunalne, z uwagi na swój skład, stanowią (przy wszystkich tych metodach oczyszczania) znakomite środowisko do rozwoju procesów mikrobiologicznych, których efektem jest powstawanie gazów mogących tworzyć mieszaniny wybuchowe metanu i siarkowodoru.

Metodologia: W opracowaniu tematu wykorzystano analizę dostępnych informacji na temat procesów oczyszczania ścieków komunalnych, funkcjonowania oczyszczalni ścieków zagrożonych związanych z prowadzeniem procesów oczyszczania ścieków. Wykorzystano również informacje na temat wskaźników wybuchowości substancji powstających podczas oczyszczania ścieków komunalnych. Przypomniano regułę Le Chateliera umożliwiającą szacowanie dolnej granicy wybuchowości dla mieszanin wielu gazów palnych z powietrzem. Przedstawiono materiały źródłowe pomocne w ustalaniu przestrzeni zagrożonych wybuchem oraz efektywnych źródeł zapłonu w tych przestrzeniach.

Wnioski: Statystyki krajowe wskazują, że w związku z gospodarowaniem ściekami i dostawą wody każdego roku mają miejsce wybuchy z poszkodowanymi. W związku z powyższym oprócz typowych zagrożeń związanych z toksycznością gazów powstających w procesach oczyszczania ścieków komunalnych, należy również zwrócić uwagę na problem zagrożenia wybuchem. Szczególnie jest to istotne przy projektowaniu i eksploatacji oczyszczalni ścieków – aby funkcjonowała w sposób skuteczny i bezpieczny (zarówno dla otoczenia, jak i obsługujących ją pracowników). Kluczowe w tym zakresie jest wskazanie źródeł zagrożeń, określenie przestrzeni zagrożonych oraz wskazanie i egzekwowanie zasad prawidłowego postępowania (wykonywania pracy) w tych miejscach.

Słowa kluczowe: oczyszczalnia ścieków, zagrożenie wybuchem

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

Aim: The paper examines the sources of explosion hazard, which are related to the operation of wastewater treatment plant as well as the measures and solutions applied for the reduction of these hazards.

Introduction: Progress of urbanization is accompanied by an increased demand for water of proper quality water for living purposes. The amount of municipal waste also increases. Guaranteeing the supply of water in the required amount and of required quality is connected with proper treatment of water obtained from river or lakes. A certain kind of prelude to the process of water treatment for the next recipient is the treatment of wastewater discharged by a previous recipient (in accordance with the flow of the river).

Wastewater treatment is carried on using mechanical, physical, chemical and biological methods. Municipal waste, due to its composition, creates a perfect environment for the development of microbiological processes, resulting in gases which can create explosible atmospheres: methane and hydrogen sulfide.

Methodology: The analysis of available information on treatment processes of municipal waste used to write this article was applied as well as the analysis of information on the operation of wastewater treatment plant and hazards connected with water treatment processes. Information on indicators of explosive substances formed during wastewater treatment was also used. Le Chatelier's rule was referred to which allows the estimation of lower explosive limit for mixtures of many flammable gases with air. Source materials were presented which were helpful in determining explosion hazard zones as well as effective ignition sources in these zones.

Conclusion: National statistics show that every year several cases of explosions (with casualties) occur, in connection with wastewater treatment and water supply. Therefore, in addition to typical risks associated with toxic gases generated in the process of municipal wastewater treatment,

¹ Szkoła Główna Służby Pożarniczej/The Main School of Fire Service, Poland; m.wolinski@sgsp.edu.pl;

also the problem of hazardous areas must be taken into consideration when designing and operating wastewater treatment plants in order for them to function effectively and safely (both for the environment and for the personnel). A key factor in this matter is to identify sources of danger, determine endangered areas, indicate and properly enforce rules of conduct (work) in endangered areas.

Keywords: wastewater treatment plant, explosion hazard

Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Статья затрагивает вопрос изучения источников угроз взрыва, связанных с эксплуатацией очистных сооружений, а также средств и решений, используемых для минимизации этих угроз.

Введение: С прогрессом урбанизации связано увеличение спроса на воду соответствующего качества, употребляемой для бытовых целей. Также увеличивается объем сбрасываемых сточных вод. Обеспечение снабжения водой необходимого количества и качества связано с необходимостью обработки воды, поступающей из реки или озера. Своего рода началом процесса обработки воды для следующего получателя является очистка сточных вод, сбрасываемых предыдущим получателем – в соответствии с течением реки. Очистка сточных вод осуществляется механическими, физическими, химическими и биологическими методами. Городские сточные воды из-за своего состава создают (при всех этих методах очистки) идеальные условия для развития микробиологических процессов, которые приводят к образованию газов, которые могут создавать взрывоопасные смеси метана и сероводорода.

Методология: Во время работы над статьей был проведен анализ имеющейся информации о процессах очистки городских сточных вод, функционирования очистных сооружений, а также угроз, связанных с проведением процессов очистки сточных вод. Авторы воспользовались также данными о показателях взрыва веществ, образующихся в процессе очистки городских сточных вод. Был упомянут также принцип Ле Шателье, который позволяет оценить нижний предел взрываемости для смесей многих горючих газов, смешанных с воздухом. Были представлены исходные материалы, которые пригодятся при определении взрывоопасных зон и эффективных источников воспламенения в этих зонах.

Выводы: Национальные статистические данные показывают, что каждый год имеет место несколько случаев взрывов (с пострадавшими) связанные с управлением сточными водами и водоснабжением. Таким образом в дополнение к угрозам, связанным с присутствием токсичных газов, образующихся в процессе очистки коммунальных сточных вод, при проектировании и эксплуатации очистных сооружений следует принимать во внимание также проблему угрозы взрыва. Только тогда завод очистки сточных вод может функционировать эффективно и безопасно (как для окружающей среды, так и обслуживающего персонала). Для этого необходимо определить источники угроз, опасные зоны, а также составление и надлежащее выполнение правил поведения (работы) в опасных зонах.

Ключевые слова: очистный завод, угроза взрыва

1. Wprowadzenie

Postępowi urbanizacji towarzyszy wzrost zapotrzebowania na wodę o odpowiedniej jakości, zużywaną do celów bytowych. Rośnie również objętość odprowadzanych ścieków komunalnych. Zapewnienie dostaw wody o wymaganej objętości i jakości wiąże się z koniecznością uzdatniania wody pobieranej z rzeki czy jeziora. Swego rodzaju wstępem do procesów uzdatniania wody dla kolejnego odbiorcy jest oczyszczanie ścieków zrzucanych przez poprzedniego odbiorcę z nurtem rzeki. Oczyszczanie ścieków prowadzi się metodami mechanicznymi, fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi. Ścieki komunalne, z uwagi na swój skład, stanowią (przy wszystkich tych metodach oczyszczania) znakomite środowisko do rozwoju procesów mikrobiologicznych, których efektem jest powstawanie gazów mogących tworzyć mieszaniny wybuchowe metanu i siarkowodoru. Dlatego też aby oczyszczalnia ścieków funkcjonowała w sposób skuteczny i bezpieczny (zarówno dla otoczenia, jak i obsługujących ją pracowników) podczas projektowania i eksploatacji tego typu obiektu, należy brać pod uwagę problem zagrożenia wybuchem. Dane statystyczne [1] dotyczące wypadków przy pracy w ostatnich latach mogą świadczyć, że jest to problem realny (w latach 2012–2014 odnotowywano rocznie od 3 do 5 przypadków wybuchów związanych z dostawą wody i gospodarowaniem ściekami, w których zostali poszkodowani ludzie).

2. Źródła zagrożeń wybuchowych w oczyszczalniach ścieków

Zachodzący podczas oczyszczania ścieków komunalnych rozkład beztlenowy substancji organicznej prowadzi do powstania produktów gazowych zawierających metan (w ilości do 75%), ditlenek węgla (do 45%), siarkowodor (do 5%) oraz inne substancje gazowe w ilościach śladowych (np.

azot, tlen, wodór) [2], w proporcjach zależnych od lokalnych warunków, a w szczególności od składu oczyszczanych ścieków.

Podstawowe parametry wybuchowości metanu i siarkowodoru przedstawiono w tabeli 1.

Zarówno metan, jak i siarkowodor mają stosunkowo niskie wielkości dolnej granicy wybuchowości, co sugeruje, że w krótkim czasie od początku powstawania (wydzielania) tych gazów pojawi się mieszanina wybuchowa.

Ponieważ rozpatrywana jest mieszanina kilku składników palnych, warto też w tym miejscu przypomnieć regułę Le Chateliera dla oszacowania dolnej granicy wybuchowości takiej mieszaniny [5]. Wyniki zastosowania tej reguły w celu oszacowania dolnej granicy wybuchowości mieszaniny metanu i siarkowodoru z powietrzem zostały przedstawione na rycinie 1.

Zgodnie w danymi przedstawionymi na rycinie, dodatek siarkowodoru (nawet nieznaczny) powoduje obniżenie dolnej granicy wybuchowości takiej mieszaniny poniżej wartości DGW charakterystycznej dla metanu. Ponadto jeśli weźmie się pod uwagę znacznie niższą minimalną energię zapłonu siarkowodoru niż metanu, można dojść do wniosku, że obecność siarkowodoru w gazowych produktach beztlenowego rozkładu substancji organicznej zachodzącego w procesie oczyszczania ścieków znacząco podwyższa poziom zagrożenia wybuchowego.

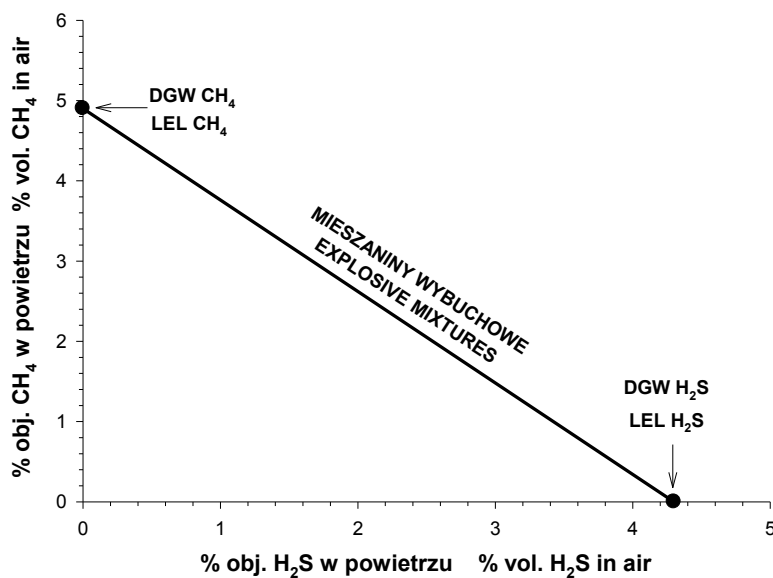
Procesowi oczyszczania ścieków towarzyszy również powstawanie osadu ściekowego. Jeśli osad ten jest dalej usuwany lub wykorzystywany w postaci wysuszonej, rozpatrując źródła zagrożeń wybuchem, należy też brać pod uwagę pylenie – z możliwością tworzenia mieszanin wybuchowych pyłu wysuszonego osadu ściekowego z powietrzem. Parametry opisujące wybuchowość tego typu mieszanin przedstawia tabela 2.

Tabela 1. Podstawowe parametry wybuchowości metanu i siarkowodoru [3-4]**Table 1.** Basic explosion parameters for methane and hydrogen sulfide [3-4]

Parametr Parameter	Metan CH ₄ Methane CH ₄	Siarkowodór H ₂ S Hydrogen sulfide H ₂ S
Temperatura samozapłonu, °C Selfignition temperature, °C	650	290
Klasa temperaturowa Temperature class	T1	T3
Granice wybuchowości, % obj.: DGW/GGW Explosion limits, % capacity: LEL/UEL	4,9/15,4	4,3/45,5
Grupa wybuchowości Explosion group	I, IIA	IIB
Minimalna energia zapłonu, mJ Minimum ignition energy, mJ	0,3	0,077

Tabela 2. Podstawowe parametry wybuchowości pyłu pochodzącego z suszonych osadów ściekowych [6]**Table 2.** Basic explosibility parameters for dust from dried sewage deposits [6]

Parametr / Parameter	Wielkość / Value
Dolna granica wybuchowości DGW, g/m ³ Lower explosion limit LEL, g/m ³	60–125
Minimalna temperatura zapłonu 5 mm warstwy pyłu MTZW, °C Minimum ignition temperature of 5 mm dust layer, °C	230–250
Minimalna temperatura zapłonu obłoku pyłu MTZO, °C Minimum ignition temperature of dust cloud, °C	360–510
Minimalna energia zapłonu, mJ Minimum ignition energy MIE, mJ	420–1300
Stała wybuchowości K _{st} , bar*m/s Dust explosion constant K _{st} , bar*m/s	88–157
Maksymalne ciśnienie wybuchu P _{max} , bar Maximum explosion pressure P _{max} , bar	6,4–7,7
Graniczne stężenie tlenu GST, % obj. Limiting oxygen concentration LOC, % vol.	5–8

**Ryc. 1.** Reguła Le Chateliera w zastosowaniu do mieszaniny CH₄ + H₂S**Fig. 1.** Le Chatelier's rule in case of CH₄ + H₂S mixture

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Inicjowanie zapłonu mieszanin powstających w związku z procesami oczyszczania ścieków można przedyskutować, biorąc pod uwagę obecność efektywnych źródeł zapłonu. W normie [7] została zaprezentowana lista 13 zjawisk fizykochemicznych, które w realnych warunkach mogą stanowić efektywne źródła zapłonu. Przy szczególnej specyfice procesów prowadzonych w oczyszczalni ścieków takimi efektywnymi źródłami zapłonu mogą być:

- gorące powierzchnie,
- płomienie i gorące gazy (z włączeniem gorących cząstek),
- iskry wytwarzane mechanicznie,
- urządzenia elektryczne,
- elektryczność statyczna,
- uderzenie pioruna,
- reakcje egzotermiczne, włącznie z samozapaleniem pyłów.

3. Zapobieganie zagrożeniom wybuchowym w oczyszczalniach ścieków

W przywoływanej już wcześniej normie [7] przedstawiono następujące zasady zapobiegania wybuchowi:

- unikanie atmosfer wybuchowych (możliwe do osiągnięcia drogą zmiany stężenia palnego czynnika do wielkości poza przedziałem wybuchowości lub poprzez obniżenie stężenia tlenu do wielkości poniżej granicznego stężenia tlenu GST),
- unikanie pojawienia się efektywnych źródeł zapłonu w przestrzeniach z mieszaninami wybuchowymi.

Pierwszym krokiem do skutecznej realizacji powyższych zasad jest prawidłowe ustalenie przestrzeni, w których możliwe jest wystąpienie mieszanin wybuchowych. Przestrzeniami tymi mogą być pomieszczenia zagrożone wybuchem i strefy zagrożenia wybuchem. Obliczenia wykonane zgodnie z wytycznymi dotyczącymi wyznaczania pomieszczeń zagrożonych wybuchem [8] dla mieszaniny metanu z powietrzem wykazują, że wypełnienie już 10% kubatury pomieszczenia mieszaniną o zawartości metanu większej niż DGW, powoduje konieczność zakwalifikowania takiego pomieszczenia jako zagrożonego wybuchem (przyrost ciśnienia przy ewentualnym wybuchu przekracza 5 kPa). W przypadku stref zagrożenia wybuchem główną trudność może stanowić nie tyle klasyfikacja (niezbędna przy ustalaniu wymagań dla aparatury pracującej w konkretnej strefie i oznakowaniu stref), co oszacowanie zasięgu konkretnej strefy. Pomocne w tym względzie mogą być przykłady podawane przez krajowe i zagraniczne źródła np. [9–11].

Dopiero po prawidłowym ustaleniu przestrzeni zagrożonych możliwe jest spełnienie szczegółowych wymagań [12–13] dotyczących wydzielenia tych przestrzeni, wykonywania prac mogących spowodować zapłon mieszaniny oraz stosowania urządzeń i systemów ochronnych [14], które mają na celu zapobieganie pojawianiu się efektywnych źródeł zapłonu w tych przestrzeniach. Wymagania te obejmują również funkcjonowanie w nich instalacji wentylacyjnych, bądź ewentualnych rozwiązań umożliwiających inertyzację przestrzeni zagrożonych występowaniem pyłu wysuszonego osadu ściekowego.

4. Podsumowanie i wnioski

Procesowi oczyszczania ścieków komunalnych towarzyszy wytwarzanie (wskutek procesów biochemicznych) palnych gazów, jakimi są metan i siarkowodór. W rezultacie mogą powstawać wybuchowe mieszaniny tych gazów z powietrzem. Analizy wykazują, że dodatek nawet nieznacznych ilości siarkowodoru może powodować wzrost zagrożenia wybuchem poprzez obniżenie dolnej granicy wybuchowości mieszaniny i obniżenie minimalnej energii zapłonu.

Ponadto źródłem zagrożenia wybuchem może być również pył powstający z wysuszonego osadu ściekowego.

W celu skutecznego obniżenia zagrożenia niezbędne jest przede wszystkim prawidłowe wyznaczenie przestrzeni, w których w konkretnych warunkach mogą występować substancje tworzące mieszaniny wybuchowe, a następnie skuteczne postawienie i egzekwowanie wymagań mających na celu zapobieganie występowaniu efektywnych źródeł zapłonu w tych przestrzeniach. Przedstawione działania są uważane za najbardziej skuteczny sposób zapobiegania zagrożeniu wybuchem związanemu z procesami oczyszczania ścieków komunalnych.

Literatura

- [1] Dane statystyczne na temat wypadków przy pracy, portal informacyjny Głównego Urzędu Statystycznego, <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/warunki-pracy-wypadki-przy-pracy/> [dostęp: 11.04.2016].
- [2] Portal internetowy Biogas Renewable Energy, <http://www.biogas-renewable-energy.info/>, [dostęp: 11.04.2016].
- [3] Załącznik do rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 3 listopada 1992 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. Nr 92 z 1992 r., poz. 460).
- [4] Babrauskas V., *Ignition Handbook*, Fire Science Publisher, Issaquah, WA, 2003.
- [5] Mashuga C.V., Crowl D.A., *Derivation of Le Chatelier's Rule for Flammable Limits*. "Process Safety Progress" Vol. 19, No. 2, pp. 112–117.
- [6] Materiały uzyskane z Białostockiej Oczyszczalni Ścieków w 2015 r.
- [7] PN-EN 1127-1:2001 Atmosfery wybuchowe. Zapobieganie wybuchowi i ochrona przed wybuchem. Pojęcia podstawowe i metodologia.
- [8] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów, (Dz. U. Nr 109 z 2010 r., poz. 719).
- [9] Ratajczak D., *Zasady wyznaczania stref zagrożenia wybuchem*. Centrum Usług Przeciwożarowych, SITP, Poznań 1997.
- [10] Załącznik do Rozporządzenia Ministra Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej z dnia 7 października 1997 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle rolnicze i ich usytuowanie, (Dz. U. z 2013 r., poz. 81, z późn. zm.).
- [11] NFPA 820 Standard for Fire Protection in Wastewater Treatment and Collection Facilities, 2016 ed.
- [12] Rozporządzenie Ministra Gospodarki Przestrzennej i Budownictwa z dnia 1 października 1993 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy w oczyszczalniach ścieków (Dz. U. Nr 96 z 1993 r., poz. 438).
- [13] PN-EN 12255-10:2004 Oczyszczalnie ścieków. Część 10: Zasady bezpieczeństwa.
- [14] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 22 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń i systemów ochronnych przeznaczonych do użytku w przestrzeniach zagrożonych wybuchem (Dz. U. Nr 263 z 2005 r., poz. 2203).

* * *

dr inż. Marek Woliński – w roku 1981 ukończył studia na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. W 1987 r. uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. Obecnie jest adiunktem w Szkole Głównej Służby Pożarnej w Warszawie i pełni obowiązki kierownika Zakładu Analiz Rozpoznawania Zagrożeń w Katedrze Bezpieczeństwa Budowli SGSP. Jest autorem 80 publikacji oraz opiekunem ponad 250 prac dyplomowych.