

Michał Michałkiewicz, Izabela Kruszelnicka, Dobrochna Ginter-Kramarczyk, Paulina Mizerna-Nowotna

Uciążliwość odorowa i mikrobiologiczna oczyszczalni ścieków – studium przypadku

Obiekty gospodarki komunalnej, takie jak oczyszczalnie ścieków, składowiska odpadów, kompostownie, spalarnie odpadów, oprócz zaspokajania potrzeb ludności i wspólnoty samorządowej, mogą także oddziaływać negatywnie na otaczające je środowisko. Wiąże się to z emisją zanieczyszczeń, które mogą niekorzystnie wpływać na zdrowie ludzi, pogarszać stan środowiska lub kolidować z użytkowaniem środowiska. Sposób, charakter i zasięg oddziaływania danego obiektu zależy najczęściej od jego wielkości i lokalizacji, stosowanych technologii, a także poprawności eksploatacji poszczególnych urządzeń [1]. Do największych i najczęściej występujących uciążliwości związanych z funkcjonowaniem oczyszczalni ścieków i składowisk odpadów komunalnych należą:

- odory, które powodują dyskomfort w odbiorze środowiska,
- bioaerozole emitowane do atmosfery, które zawierają liczne mikroorganizmy występujące w ściekach i odpadach,
- hałas związany z ruchem pojazdów i pracą licznych urządzeń mechanicznych,
- niedostatecznie oczyszczone ścieki oraz odcieki ze składowisk odpadów,
- niewłaściwa lokalizacja obiektu komunalnego lub jego zbyt bliskie sąsiedztwo z zabudową mieszkaniową.

Polskie przepisy prawne przewidują, że obiekty komunalne mogą negatywnie oddziaływać na środowisko. Rozporządzenie Rady Ministrów w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko [2] zalicza oczyszczalnie ścieków o RLM ≥ 100 tys. do przedsięwzięć mogących zawsze znacząco oddziaływać na środowisko, natomiast do przedsięwzięć mogących potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko zalicza oczyszczalnie już od RLM=400. Rosnąca świadomość ekologiczna społeczeństwa, jak również troska o zdrowie i bezpieczeństwo osób bezpośrednio narażonych na oddziaływanie substancji szkodliwych powodują, że prowadzi się coraz więcej badań dotyczących identyfikacji związków chemicznych i mikroorganizmów występujących w powietrzu atmosferycznym w pobliżu oczyszczalni ścieków. Emisja zanieczyszczeń do powietrza zależy od stosowanej technologii oczyszczania ścieków, a zwłaszcza sposobu ich napowietrzania (grubo-, średnio- czy drobnopęcherzykowe), a także od liczebności mikroorganizmów w napowietrzanych

ściekach i rozkładu średnicy bioaerozolu, jak również od warunków meteorologicznych, a przede wszystkim kierunku i prędkości wiatru oraz stanu termiczno-dynamicznej równowagi atmosfery.

Stosuje się różne sposoby zmniejszania uciążliwości zapachowej oczyszczalni ścieków. Na ogół poszczególne elementy oczyszczalni przykrywa się i wyposaża w systemy wentylacyjne wraz z urządzeniami do oczyszczania gazów. Ważne jest, aby zapobiec rozprzestrzenianiu się odorów zarówno wewnątrz obiektów, jak i ich emisji na zewnątrz [3]. Metody usuwania nieprzyjemnych zapachów można podzielić na absorpcyjne (absorpcja z reakcją chemiczną lub w kombinacji z biodegradacją), ozonizację (opartą na procesie tlenowego rozkładu w świetle ultrafioletowym), maskowanie zapachów (przez dodatek silnej pachnącej substancji), termiczne i termokatalityczne spalanie, metody adsorpcyjne i metody biologiczne.

W Polsce nie przeprowadzono do tej pory sformalizowanych działań legislacyjnych mających na celu wprowadzenie przepisów o przeciwdziałaniu uciążliwości zapachowej (tzw. ustawy odorowej), chociaż kilkakrotnie podejmowano takie próby. Ostatecznie prace nad projektami ustaw zostały wstrzymane w 2010 r. Od tej chwili jedyny zapis dotyczący prawnej ochrony zapachowej jakości powietrza zawarty jest w artykule nr 222 ustawy Prawo ochrony środowiska. Dokument zawiera upoważnienie fakultatywne dla Ministra Środowiska do wydania rozporządzeń w sprawie wartości odniesienia substancji zapachowych w powietrzu i metod oceny jakości zapachowej powietrza. Na początku 2015 r. resort środowiska zapowiedział, że zamiast ustawy odorowej powstanie kodeks dobrych praktyk, który będzie dedykowany poszczególnym odorotwórczym podmiotom gospodarczym. Zawierać on będzie najlepsze dostępne praktyki prowadzenia procesów produkcyjnych, które będą mogły zapobiegać oddziaływaniu zapachowemu lub je ograniczać.

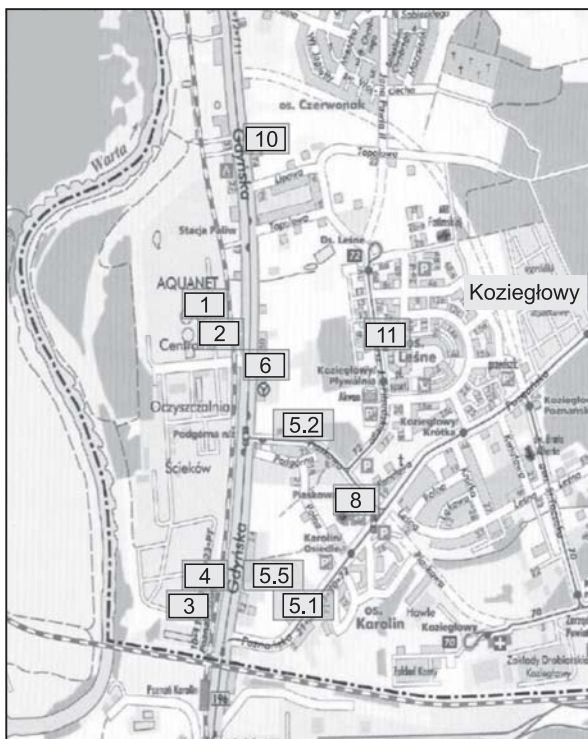
W niniejszym artykule przedstawiono problematykę uciążliwości zapachowej oraz emisji zanieczyszczeń chemicznych i mikrobiologicznych na terenie Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach, która oczyszcza ścieki dopływające z Poznania, Swarzędza, Lubonia, Tarnowa Podgórnego, Suchego Lasu oraz południowej części Gminy Czerwonak. Jest to oczyszczalnia mechaniczno-biologiczna o przepustowości 200 tys. m³/d, z podwyższonym usuwaniem biogenów i pełną przeróbką osadów. Odbiornikiem ścieków oczyszczonych jest Warta. W pracy omówiono wybrane metody badawcze oraz wpływ zastosowanej hermetyzacji oczyszczalni na ograniczenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery.

Dr M. Michałkiewicz, dr inż. I. Kruszelnicka, dr inż. D. Ginter-Kramarczyk: Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Zakład Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, ul. Berdychowo 4, 60-965 Poznań, izabela.kruszelnicka@put.poznan.pl

Mgr inż. P. Mizerna-Nowotna: AQUANET SA, ul. Dolna Wilda 126, 61-492 Poznań

Pomiary substancji odorotwórczych w powietrzu

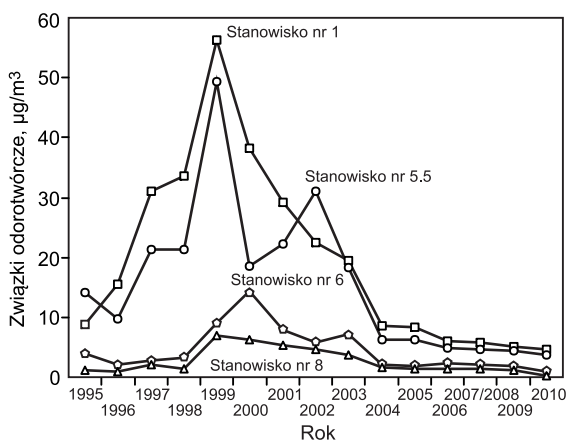
W celu dokonania oceny wpływu oczyszczalni ścieków na otoczenie, od 1994 r. do połowy 2015 r. przeprowadzono systematyczne badania w jedenastu stałych punktach pomiarowych (rys. 1).



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów pomiarowych w terenie (1 – rejon osadników wstępnych, 2 – rejon bioreaktorów, 3 i 4 – rejon tymczasowego placu osadowego, 5.1 – ul. Poznańska 12, 5.2 – ul. Podgórna 10, 5.5 – ul. Gdyńska 14 (10 m n.p.t.), 6 – ul. Gdyńska 23, 8 – szkoła podstawowa, 10 – ul. Gdyńska 31, 11 – ul. J. Piłsudskiego 7)

Fig. 1. Distribution of fixed sampling points in the field

Wieloletni monitoring stanu powietrza w sąsiedztwie oczyszczalni wykazał, że w latach 1995–2010 nastąpiło znaczne zmniejszenie emisji substancji odorotwórczych w rejonie osadników wstępnych i poza terenem oczyszczalni (rys. 2) [4].



Rys. 2. Zawartość związków odorotwórczych w latach 1995–2010 poza terenem oczyszczalni ścieków na tle stanowiska nr 1 (rejon osadników wstępnych)

Fig. 2. Odorous compound content in the period of 1995–2010 outside sewage treatment plant against No. 1 sampling point (primary settling tanks)

Wśród związków chemicznych obecnych w powietrzu na wszystkich stanowiskach pomiarowych wyizolowano i określono ilościowo jedynie te substancje, które były związane z oczyszczaniem ścieków i przeróbką osadów ściekowych. Monitorowane substancje, należące do grupy tzw. złoonych, pod względem struktury i budowy cząsteczkowej są bardzo zróżnicowane, od prostych związków chemicznych, takich jak amoniak i siarkowodor, do bardziej złożonych związków organicznych, takich jak indol, skatol, kwas masłowy, merkaptany, aminy oraz aldehydy i węglowodory aromatyczne (benzen, toluen itp.).

W tabeli 1 zestawiono średnioroczne wartości zanieczyszczeń emitowanych do powietrza w rejonie osadników wstępnych oczyszczalni w Koziegłowych [4] oraz wartości progowe [5] i odniesienia [6] tych zanieczyszczeń. Z danych zestawionych w tej tabeli wynika, że w rejonie osadników wstępnych nie stwierdzono przekroczenia wartości odniesienia dotyczących badanych substancji odorotwórczych ani ich stężeń progowych. Mimo to uciążliwość zapachowa oczyszczalni ścieków jest faktem, który odczuwają mieszkańcy okolicznych terenów. Jest to związane między innymi z emisją siarkowodoru i amoniaku, które są wyczuwalne nawet w niewielkich ilościach.

Tabela 1. Zawartość zanieczyszczeń emitowanych do powietrza w rejonie osadników wstępnych [4] oraz wartości ich stężeń progowych [5] i wartości odniesienia [6]

Table 1. Content of pollutants emitted into the air in the area of primary settling tanks [7]; their threshold [4] and limit [6] values

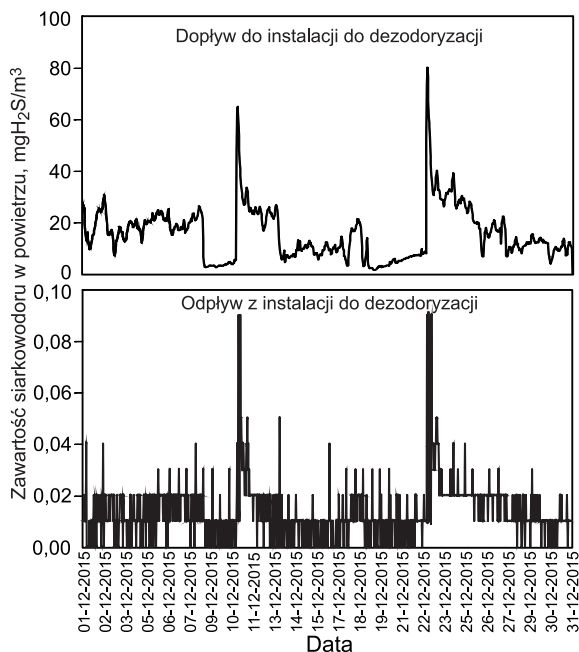
Substancja	Zawartość w powietrzu, $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	średnioroczna	progowa	wartość odniesienia
Merkaptan propylowy	0,06	5	–
Dwumetyloamina	1,00	86,5	1,3
Trójmetryloamina	0,82	0,5	–
Kwas masłowy	0,55	1+4	–
Siarkowodor	0,90	10	5
Amoniak	1,33	500	50
Suma merkaptanów	0,07	–	2
Suma węglodorów aromatycznych	2,75	–	43

Przeprowadzone w latach 1995–2010 prace modernizacyjne oraz hermetyzacja części obiektów gospodarki osadowej i ściekowej w oczyszczalni ścieków w Koziegłowych zdecydowanie ograniczyły intensywność emisji substancji odorowych. W kolejnych latach badano skuteczność zastosowanych rozwiązań, analizując uciążliwość zapachową oczyszczalni zgodnie z przyjętymi standardami [7, 8]. Na przełomie lat 2013/2014 przeprowadzono kolejny etap hermetyzacji oczyszczalni, który polegał na przykryciu czterech osadników wstępnych samonośnymi aluminiowymi kopułami. Powietrze zgromadzone pod tymi kopułami jest następnie oczyszczane w dwustopniowych instalacjach do dezodoracji, każda o wydajności 12 tys. m^3/h . Pierwszy stopień oczyszczania powietrza realizowany jest w złożu mineralnym, natomiast drugi polega na suchej adsorpcji chemicznej. Ponadto, w celu kontroli jakości pracy nowych urządzeń do neutralizacji odorów, każda z instalacji została wyposażona w system pomiaru substancji odorotwórczych. Pojedynczy układ monitoringu składa się z urządzenia do

poboru próbki gazowej oraz układu multipleksera gazowego wraz z analizatorami TRS MEDOR oraz CHROMA N (Chromatotec). System ten jest przeznaczony do pomiaru następujących składników o progach oznaczalności:

- siarkowódór: 1 ppb,
- siarczki dimetylu (DMS, DMDS), dwutlenek siarki, metanotiol (merkaptan metylowy), etanotiol (merkaptan etylowy): 0,5 ppb,
- amoniak: 0,1 ppm.

Na rysunku 3 przedstawiono przykładową zawartość siarkowodoru w powietrzu (w grudniu 2015 r.) przed i po procesie dezodoryzacji. Uzyskane zależności wykazały, że układ oczyszczania powietrza znad osadników wstępnych pracuje prawidłowo i spełnia wymogi określone w specyfikacji istotnych warunków zamówienia (opracowanej przez Aquanet SA) w odniesieniu do zawartości H₂S w kominie wylotowym. Badania kontrolne wykonane metodą olfaktometrii dynamicznej wykazały, że instalacja do dezodoryzacji powietrza pracuje prawidłowo, a uciążliwość zapachowa oczyszczalni uległa znacznemu zmniejszeniu.



Rys. 3. Zawartość siarkowodoru w powietrzu przed i po dezodoryzacji (grudzień 2015 r.).

Fig. 3. Hydrogen sulfide concentration in the air prior to and following deodorization (December 2015)

Badania mikrobiologiczne powietrza

Bioaerozole, które składają się z drobnoustrojów, produktów ich metabolizmu, toksyn, fragmentów mikroorganizmów, grzybn i zarodników, a także pyłków kwiatowych, nasion, szczątków roślinnych i zwierzęcych, kurzu, występują w powietrzu w postaci cząstek stałych lub drobnych kropli. Wielkość cząstek bioaerozolu jest bardzo zróżnicowana i waha się od 0,01 μm (wirusy) do kilkuset μm (nasiona, zlepione cząstki kurzu). Skład bioaerozolu w sąsiedztwie oczyszczalni ścieków zależy między innymi od technologii oczyszczania ścieków, źródła i rodzaju aerozolu, wielkości emitowanych cząstek, warunków klimatycznych, w tym temperatury, wilgotności, opadów atmosferycznych, pory roku, wiatru, ukształtowania terenu oraz obecności lub braku szaty roślinnej. Bioaerozole emitowane do powietrza na terenie oczyszczalni ścieków pochodzą

głównie ze ścieków na różnych etapach ich oczyszczania, a także z powstających odpadów, takich jak skratki, piasek czy osady ściekowe. Ścieki oraz odcieki są środowiskiem, w którym występuje duża liczba chorobotwórczych bakterii, grzybów mikroskopowych, wirusów, protistów i innych organizmów pasożytniczych. Powodują one bezpośrednie zagrożenie epidemiologiczne, a także mogą wywoływać alergie oraz działać toksycznie na ludzi, zwierzęta i na otaczające środowisko. Powodem tego są m.in. endotoksyny bakterii, głównie Gram-ujemnych, egzotoksyny bakterii Gram-dodatnich, liczne mikotoksyny wytwarzane przez grzyby oraz glukany występujące zarówno w ścianach komórkowych grzybów, jak i niektórych bakterii. Do drobnoustrojów, które najczęściej występują na różnych etapach transportu i oczyszczania ścieków należą:

- wirusy (*Rotavirus*, *Reoviridae*, *Enterovirus*, *Echoviruses*, *Coxsackieviruses A i B*, *Hepatitis A virus*, *Hepatitis E virus*, *Astroviridae*, *Adenoviridae*, *Parvoviridae*),
- bakterie (*Escherichia coli*, *Enterobacter* sp., *Salmonella* sp., *Shigella dysenteriae*, *Vibrio* sp., *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus* sp., *Pseudomonas* sp., *Campylobacter* sp., *Legionella* sp., *Streptococcus* sp., *Enterococcus* sp., *Staphylococcus* sp., *Clostridium* sp., *Bacillus* sp., *Mycobacterium tuberculosis*),
- protisty (*Balantidium coli*, *Entamoeba histolytica*, *Giardia intestinalis*, *Cryptosporidium* sp., *Microsporidium* sp., *Toxoplasma gondii*, *Trichomonas hominis*),
- zwierzęta pasożytnicze (*Ancylostoma duodenale*, *Ascaris lumbricoides*, *Enterobius vermicularis*, *Toxocara* sp., *Trichuris trichiura*, *Taenia solium*, *Taenia saginata*, *Diphyllobothrium latum*, *Fasciola hepatica*),
- grzyby mikroskopowe (*Trichophyton* sp., *Microsporum* sp., *Rhizopus* sp., *Mucor* sp., *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Candida albicans*, *Cryptococcus neoformans*, *Neotestudina rosatii*, *Geotrichum candidum*, *Cladosporium werneckii*, *Sporothrix schenckii*, *Alternaria* sp., *Fusarium* sp., *Stachybotrys* sp., *Arthroderma* sp.) [9–21].

Największa emisja bioaerozoli ze ścieków do powietrza następuje zazwyczaj podczas ich burzliwego przepływu, intensywnego mieszania oraz napowietrzania w komorach osadu czynnego.

Podstawą do określenia stopnia mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza jest liczebność wykrytych mikroorganizmów występujących w 1 m³ powietrza, ich zróżnicowanie gatunkowe, a także zawartość endotoksyn. W Polsce ocenę skażenia powietrza pod względem mikrobiologicznym (bioaerozoli) określają przepisy zawarte głównie w Polskich Normach, a także wybrane akty prawne, w których jest mowa o biologicznych czynnikach mających szkodliwy wpływ na zdrowie ludzi na stanowiskach pracy. Niektóre normy pochodzą z końca lat 80. XX w., ale jedynie w nich jest dokładne określenie stopnia zanieczyszczenia powietrza pod względem mikrobiologicznym, w zależności od liczebności wybranych bakterii i grzybów mikroskopowych występujących w 1 m³ powietrza. Mikroorganizmy występujące w powietrzu w postaci bioaerozolu, które należy badać w celu oceny czystości powietrza zostały przedstawione w normach PN-89/Z-04111/01-03:1989 [22–24], które – pomimo ich wycofania w 2015 r. – nie zostały zastąpione nowymi przepisami. Mikroorganizmy te są reprezentowane przez takie drobnoustroje, jak:

- bakterie mezofilne,
- *Pseudomonas fluorescens*,
- gronkowce (*Staphylococcus*) hemolizujące, mannitolododatnie i mannitoloujemne,

– promieniowce (*Actinobacteria*),
 – grzyby mikroskopowe, do których zalicza się pleśnie, drożdże i grzyby drożdżoidalne.

Obecność promieniowców wskazuje na zanieczyszczenie powietrza cząstkami gleby, *Pseudomonas fluorescens* – bioaerozolem z wód powierzchniowych, a gronkowców hemolizujących – bioaerozolem z dróg oddechowych ludzi i zwierząt. W bioaerozolu na terenie oczyszczalni ścieków lub składowisk odpadów liczni badacze analizują także liczebność *Escherichia coli* (pałeczka okrężnicy) lub bakterii grupy coli (inne, podobne bakterie zaliczane do rodziny *Enterobacteriaceae*, np. *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Proteus*, *Serratia*). Drobnoustroje te świadczą o kałowym zanieczyszczeniu środowiska. Obecność jednej z tych bakterii w środowisku wskazuje, że mogą być tam również inne bakterie, między innymi chorobotwórcze, np. *Salmonella* lub *Shigella* [20, 25–33].

W normie PN-89/Z-04111/01 [22] wyjaśniono nazwy i terminy, które są przydatne podczas badania powietrza, natomiast norma PN-89/Z-04111/02 [23] podaje sposób oznaczania i interpretację wyników ogólnej liczby bakterii mezofilnych oraz liczby bakterii wskaźnikowych, tj. promieniowców, *Pseudomonas fluorescens* i gronkowców (hemolizujących i mannitolododatnich) znajdujących się w powietrzu atmosferycznym pobieranym jednocześnie metodami aspiracyjną i sedymentacyjną. Po poborze próbek powietrza i okresie inkubacji ustala się liczbę wyrosłych kolonii. Wynik ostateczny podaje się jako ogólną liczbę bakterii i liczbę poszczególnych bakterii w 1 m³ powietrza (jtk/m³). Przy ostatecznej ocenie stopnia zanieczyszczenia powietrza przyjmuje się wyższy wynik z obu analizowanych metod badawczych (metody aspiracyjnej lub sedymentacyjnej). Kierując się liczebnościami wyhodowanych mikroorganizmów opisuje się badane powietrze jako niezanieczyszczone, średnio zanieczyszczone lub silnie zanieczyszczone. W normie PN-89/Z-04111/03 [24] omówiono oznaczenie liczby grzybów mikroskopowych znajdujących się w powietrzu atmosferycznym pobieranym metodami aspiracyjną i sedymentacyjną. Za wynik końcowy oznaczenia przyjmuje się średnią arytmetyczną obliczoną ze wszystkich badanych próbek pobranych w danym punkcie pomiarowym, a wynik końcowy podaje się jako ogólną liczbę grzybów (jtk) w 1 m³ powietrza atmosferycznego. Podobnie jak w przypadku bakterii, końcową ocenę stopnia zanieczyszczenia powietrza opisuje się w takich samych trzech kategoriach.

Oprócz norm, które omawiają metody badań bioaerozolu w powietrzu, występują jeszcze inne – związane ze stanowiskami pracy. Norma PN-EN 13098:2007P [34] omawia warunki pobierania próbek powietrza na stanowiskach pracy w odniesieniu do mikroorganizmów i endotoksyn. Norma ta podaje trzy kategorie próbników do poboru bioaerozoli oraz opisuje sposób oznaczania endotoksyn z wykorzystaniem znanego wzorca endotoksyny. Kolejna norma PN-EN 14031:2006 [35] zawiera informacje dotyczące metod poboru próbek, warunków transportu oraz przechowywania i wyznaczania poziomu endotoksyn bakteryjnych. Scharakteryzowano w niej endotoksyny oraz omówiono zasady oznaczania endotoksyn za pomocą testu LAL (*Limulus ameobocyte lysate*). Norma PN-EN 14042:2010 [36] omawia wytyczne dotyczące wyboru procedur oraz stosowania urządzeń pomiarowych do oznaczania stężeń czynników chemicznych i biologicznych w powietrzu na stanowiskach pracy. W normie tej omówiono m.in. strategię monitorowania stanowisk pracy. Do tej normy nawiązuje

kolejna norma PN-EN 14583:2008 [37], w której określono m.in. wymagania urządzeń do pobierania próbek bioaerozoli na stanowiskach pracy oraz warunki prowadzenia badań.

Mimo że normy te są przepisami stosunkowo nowymi (2006–2010), to w żadnej z nich nie omówiono granicznych zawartości zarówno drobnoustrojów, jak i endotoksyn, które mogą być podstawą do oceny stanu czystości (zanieczyszczenia) powietrza. W związku z tym wyniki badań mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza na terenach obiektów komunalnych interpretowane są zazwyczaj tylko według starych norm (z serii PN-89), natomiast w badaniach stosuje się metody wolumetryczne, które zalecają m.in. próbniki (impaktory) działające na zasadzie metody zderzeniowej.

Omówienie wyników badań

W ramach badań własnych przeprowadzono na terenie Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowych mikrobiologiczne badania powietrza, zwracając uwagę na rolę hermetyzacji wybranych obiektów oczyszczalni [38]. Badania przeprowadzono we wszystkich porach roku (wiosna – 17-05-2008, lato – 25-08-2008, jesień – 25-11-2008, zima – 04-03-2009). Próbkę powietrza pobrano metodą zderzeniową z użyciem mikrobiologicznego próbnika MAS-100 Eco. Do badań wytypowano osiem stanowisk pomiarowych, które zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Charakterystyka stanowisk pomiarowych na terenie Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowych
 Table 2. Sampling station characteristics at the Central Sewage Treatment Plant Koziegłowy near Poznan

Nr	Lokalizacja stanowiska	Charakterystyka obiektu
1	w budynku krat	hermetyczny budynek o wymiarach 37,8 m × 33,09 m × 7,0 ÷ 7,9 m, w którym znajdują się kraty oraz kontenery na skratki i piasek; próbki powietrza pobierano w obiekcie zamkniętym
2	obok budynku krat	środowisko zewnętrzne, około 2 m od budynku krat
3	obok piaskownika	oczyszczalnia jest wyposażona w 6 hermetycznych piaskowników o przepływie poziomym; próbki powietrza pobierano między piaskownikiem nr 3 a kanałem pomiarowym
4	w zagęszczaczu grawitacyjnym	hermetyczny okrągły zbiornik żelbetowy o średnicy 30,0 m i pojemności czynnej 2260 m ³ , przykryty kopułami samonośnymi z laminatu
5	w stacji mechanicznego zagęszczania osadu	hermetyczny budynek o wymiarach 24,0 m × 12,9 m z częścią podziemną zagłębioną na 4,0 m i nadziemną o wysokości 7,3 m, w którym znajduje się 5 ciągów zagęszczania osadu nadmiernego, każdy o wydajności 85 m ³ /h
6	obok stacji mechanicznego zagęszczania osadu	środowisko zewnętrzne, około 5 m od stacji mechanicznego zagęszczania osadu
7	w stacji termicznego suszenia osadu	hermetyczny budynek o wymiarach 26,0 m × 48,0 m i wysokości 6,0 ÷ 14,0 m
8	po stronie nawietrznej (tto)	środowisko zewnętrzne, około 100 m od granicy oczyszczalni; lokalizacja uzależniona od kierunku wiatru

Tabela 3. Warunki meteorologiczne panujące podczas badań na terenie Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach
Table 3. Meteorological conditions during the testing at the Central Sewage Treatment Plant Koziegłowy near Poznan

Numer stanowiska	Temperatura, °C				Wilgotność względna, %				Prędkość wiatru, m/s			
	wiosna	lato	jesień	zima	wiosna	lato	jesień	zima	wiosna	lato	jesień	zima
1	17,9	22,6	10,4	15,2	50	54	76	71	–	–	–	–
2	20,3	19,4	6,4	4,9	37	56	81	84	0,4	0,9	2,6	2,9
3	22,9	18,6	7,1	5,8	32	52	84	81	0,9	1,0	2,2	3,1
4	22,0	22,8	17,1	16,9	43	61	94	91	–	–	–	–
5	20,4	22,5	16,8	17,8	42	52	79	74				
6	22,6	19,4	6,8	5,9	31	57	86	86	0,5	1,3	2,9	3,4
7	17,3	22,4	19,2	18,6	33	55	51	46	–	–	–	–
8	22,1	20,1	6,6	5,4	32	59	82	80	0,9	1,5	3,3	3,7

Tabela 4. Zawartość bakterii w próbkach powietrza pobranych na terenie Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach
Table 4. Bacterial content in the air samples from the Central Sewage Treatment Plant Koziegłowy near Poznan

Numer stanowiska	Liczba bakterii w powietrzu, jtk/m ³							
	bakterie		gronkowce		<i>Pseudomonas fluorescens</i>		promieniowce	bakterie grupy coli
	mezofilne	psychrofilne	mannitolododatnie	mannitoloujemne	w temperaturze 4°C	w temperaturze 26°C		
1	400÷1940	700÷4360	30÷110	20÷70	0	0÷20	50÷380	10÷500
2	80÷1300	440÷5220	0÷20	0÷40		0	30÷130	0÷10
3	60÷240	220÷4780	0÷30	0÷20		0÷10	10÷130	0÷50
4	40÷480	340÷7320	0÷10	0÷10		0	80÷310	0÷120
5	120÷3200	140÷6920	0÷20			0÷10	40÷170	0÷10
6	200÷400	380÷960	0÷40	0÷170		0	30÷200	0÷60
7	20÷1320	220÷3700	0÷30	0÷20		30÷50	0	0
8	60÷160	40÷860	0	0				

W ramach badań mikrobiologicznych próbek powietrza analizowano liczebność bakterii mezofilnych i psychrofilnych, gronkowców mannitolododatnich i mannitoloujemnych, bakterii *Pseudomonas fluorescens* w temperaturze 4°C i 26°C, promieniowców, bakterii grupy coli oraz grzybów mikroskopowych. Podczas pobierania próbek powietrza do badań mikrobiologicznych mierzono także wartości parametrów mikroklimatycznych, takich jak temperatura powietrza, wilgotność względna oraz prędkość wiatru, którą oznaczano tylko na stanowiskach w środowisku zewnętrznym. Wyniki pomiarów mikroklimatycznych zestawiono w tabeli 3, natomiast wyniki analiz mikrobiologicznych zebrano w tabelach 4 i 5.

W trakcie pobierania próbek powietrza stwierdzono, że w hermetycznych budynkach krat oraz zagęszczacza gravitacyjnego występował intensywny zapach siarkowodoru (pomimo działających wentylatorów), przy czym w budynku mechanicznego zagęszczania osadu oraz na pozostałych stanowiskach badawczych nie odnotowano intensywnych odorów. Analizując wartości parametrów mikroklimatycznych stwierdzono, że w obiektach hermetycznych jesienią i zimą odnotowano wyższe wartości temperatury niż na zewnątrz, a w całym roku w obiektach hermetycznych występowała dość duża wilgotność względna powietrza.

Tabela 5. Zawartość grzybów mikroskopowych w próbkach powietrza pobranych na terenie Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach

Table 5. Microscopic fungi content in the air samples from the Central Sewage Treatment Plant Koziegłowy near Poznan

Numer stanowiska	Liczba grzybów w powietrzu, jtk/m ³	
	pożywka	
	Waksman	Czapek-Doxa
1	620÷3820	1020÷3440
2	660÷4840	280÷5140
3	500÷6560	260÷5000
4	600÷4560	520÷4420
5	1120÷5460	540÷4280
6	640÷5700	280÷11900
7	160÷1834	340÷5140
8	340÷3340	120÷3500

Na podstawie wyników badań mikrobiologicznych stwierdzono, że najczęściej w obiektach hermetycznych liczebność wszystkich analizowanych bakterii i grzybów mikroskopowych była wyraźnie większa niż w środowisku zewnętrznym. Wyjątek stanowiło stanowisko nr 6, zlokalizowane obok stacji mechanicznego zagęszczania osadu, gdzie stwierdzono znaczną liczebność grzybów mikroskopowych oraz gronkowców. Było to prawdopodobnie spowodowane składowaniem osadów w bardzo bliskiej odległości od stanowiska pomiarowego, które zostały usunięte dopiero po zakończeniu badań. Analizując liczebność poszczególnych grup bakterii zauważono, że prawie w każdym terminie badawczym i na każdym stanowisku liczebność bakterii psychrofilnych była większa niż mezofilnych. Biorąc pod uwagę pory roku można stwierdzić, że największe zanieczyszczenie powietrza, zarówno wszystkimi bakteriami, jak i grzybami mikroskopowymi, było w porze letniej, kiedy średnia temperatura powietrza była zbliżona do okresu wiosennego, lecz średnia wilgotność powietrza była większa niż wiosną. Mniejsza liczebność większości bakterii i grzybów mikroskopowych występowała najczęściej w pozostałych porach roku. Jedynie dość znaczną liczbę bakterii grupy coli odnotowano również jesienią, przy czym przez cały czas badań występowała zmienna liczba gronkowców. Znaczna liczebność badanych mikroorganizmów na stanowiskach pomiarowych w oczyszczalni ścieków w różnych porach roku świadczy o okresowych przekroczeniach wartości dopuszczalnych zalecanych przez normy PN-89/Z-04111/02 oraz PN-89/Z-04111/03, natomiast liczebność wszystkich wykrytych mikroorganizmów, z wyjątkiem promieniowców, na stanowisku kontrolnym (tło) wskazywała, że powietrze nie było zanieczyszczone. Obecność promieniowców w tle badań w zakresie 30÷50 jtk/m³ klasyfikowała powietrze jako średnio zanieczyszczone tymi bakteriami. Zastosowana hermetyzacja niektórych obiektów na oczyszczalni (zwłaszcza wstępnego oczyszczania i gospodarki osadowej) spowodowała znaczne zmniejszenie liczby mikroorganizmów emitowanych w postaci bioaerozolu do środowiska zewnętrznego. Czasowe występowanie zwiększonej liczby drobnoustrojów w środowisku zewnętrznym obok hali krat i piaskownika mogło być spowodowane ich wydostawaniem się na zewnątrz podczas wywozu kontenerów ze skratkami i piaskiem.

Firma Aquanet SA od kilku lat prowadzi na terenie oczyszczalni w Koziegłowach mikrobiologiczne monitoringowe badania powietrza. Pierwotnie wytypowano dwaście stanowisk pomiarowych, w tym osiem na terenie oczyszczalni. Od 2013 r. badania prowadzone są na dwóch stanowiskach (obok osadników wstępnych i obok stacji termicznego suszenia osadów) oraz czterech stanowiskach poza oczyszczalnią, w Koziegłowach. W tabeli 6 zestawiono zakresy liczebności mikroorganizmów wykrytych w powietrzu w poszczególnych latach prowadzenia badań.

Na podstawie raportów z badań [4,39] stwierdzono, że powietrze wokół oczyszczalni było zanieczyszczone w różnicowanym stopniu. W powietrzu na niektórych stanowiskach wykryto promieniowce i *Pseudomonas fluorescens*, jednak w liczbie nieklasyfikującej powietrza jako zanieczyszczone. Gronkowce były obecne na wielu stanowiskach i świadczyły o średnim lub silnym zanieczyszczeniu powietrza [38]. Uzyskane wyniki badań wskazują, że Centralna Oczyszczalnia Ścieków wpływa na stan sanitarny powietrza w podobnym stopniu, jak inne obiekty o podobnej wielkości, a dalsza hermetyzacja urządzeń (zagęszczacze osadu) oraz nasadzenia pasów zieleni wysokich

Tabela 6. Wyniki monitoringu mikrobiologicznej jakości powietrza na terenie i w pobliżu Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach w latach 2010–2014

Table 6. Results of microbiological air quality monitoring in the territory and around the Central Sewage Treatment Plant Koziegłowy in the period 2010–2014

Mikroorganizm	Liczba bakterii w powietrzu, jtk/m ³		
	2010	2011–2012	2013–2014
Gronkowce mannitododatnie	0÷1800	0÷314	0÷2740
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0÷127	0÷105	0÷26
Bakterie mezofilne	85÷15000	0÷3851	17÷6370
Bakterie psychrofilne	127÷30000	0÷10480	218÷19400
Promieniowce	0÷2300	0÷183	0÷1135

i niskich, przyczynią się do likwidacji emisji bioaerozolu oraz zapachów do atmosfery. W opracowaniu [38] wykazano, że jakość mikrobiologiczna powietrza nie zmieniła się znacząco w 2014 r., w porównaniu do lat wcześniejszych, natomiast zanotowano nieznaczne zwiększenie liczby bakterii *Pseudomonas fluorescens*. Problemem jest także nadmierna obecność gronkowców, które wykryto nawet na stanowiskach najbardziej oddalonych od oczyszczalni. Można przypuszczać, że źródłem ich emisji jest również inny obiekt niż oczyszczalnia ścieków. Podobne wnioski można wysunąć m.in. w stosunku do ogólnej liczby bakterii mezofilnych i psychrofilnych.

Podsumowanie

Oddziaływanie oczyszczalni ścieków na środowisko i zdrowie ludzi jest bardzo ważnym zagadnieniem, wymagającym kompleksowych, interdyscyplinarnych i wieloletnich badań monitoringowych (mikrobiologicznych, chemicznych, epidemiologicznych, toksykologicznych i klimatycznych). Z uwagi na wpływ wielu czynników, charakterystycznych na danym obszarze, konieczne jest prowadzenie wieloletnich studiów i analiz, ponieważ dopiero systematyczne gromadzenie wyników uzyskanych w różnych warunkach, pozwoli na ustalenie poziomu zanieczyszczenia powietrza, zarówno biologicznego (drobnoustroje), jak i chemicznego (substancje odorotwórcze). Brak odpowiednich regulacji prawnych dotyczących przeciwdziałaniu uciążliwościom zapachowym oraz nieaktualne normy powodują, że ocena jakości powietrza jest w tych warunkach trudna i dyskusyjna.

Porównując wyniki badań własnych z monitoringiem prowadzonym przez Aquanet SA można stwierdzić, że stopień mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza na terenie Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach był w różnych terminach badawczych podobny, a proces hermetyzacji obiektów technologicznych oczyszczalni znacznie przyczynił się do skutecznego zmniejszenia emisji drobnoustrojów do otaczającego środowiska. Wyniki badań dowodzą, że na terenie i wokół obiektów komunalnych konieczne jest maksymalne ograniczanie emisji bioaerozoli i odorów do atmosfery, co można uzyskać przez hermetyzację najbardziej uciążliwych obiektów. Dodatkowo powinna być także przestrzegana prawidłowa eksploatacja oczyszczalni i higiena pracy, a wiedza o ewentualnych zagrożeniach zdrowotnych musi być stale uzupełniana.

LITERATURA

1. B. KOLWZAN, P. JADCZYK, G. PASTERNAK, J. GŁUSZCZAK, M. PAWLIK, M. KRAWCZYŃSKA, J. KLEIN, J. RYBAK: Ocena stanu sanitarnego powietrza w otoczeniu wybranej oczyszczalni ścieków (Assessing air quality in the proximity of a municipal sewage treatment plant: A case study). *Ochrona Środowiska* 2012, vol. 34, nr 2, ss. 9–14.
2. Rozporządzenie Rady Ministrów z 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko. Dziennik Ustaw nr 213, poz. 1397.
3. I. SÓWKA: Ocena zasięgu oddziaływania zapachowego zakładu przemysłowego na przykładzie wybranej cukrowni (Assessing the olfactory impact of a sugar factory: A case study). *Ochrona Środowiska* 2011, vol. 33, nr 1, ss. 31–34.
4. K. GÓRSKA, P. JUDEK, H. RACZYŃSKA: Raport z badań nad rozprzestrzenianiem zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery przez Centralną Oczyszczalnię Ścieków w Koziegłowach 2010–2011. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Poznań 2011 (praca niepublikowana).
5. A. CHYBA: Progi zapachu substancji zanieczyszczających powietrze atmosferyczne. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 1975, nr 9, ss. 280–285.
6. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu. Dziennik Ustaw nr 16, poz. 87.
7. EN 13725:2003: European Standard on Determination of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry.
8. PN-EN 13725:2007. Jakość powietrza. Oznaczanie stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej.
9. M.T. LEE, A. PRUDEN, L.C. MARR: Partitioning of viruses in wastewater systems and potential for aerosolization. *Environmental Science and Technology Letters* 2016, Vol. 3, pp. 210–215.
10. A. BAWIEC, K. PAWĘSKA, A. JARZĄB: Changes in the microbial composition of municipal wastewater treated in biological processes. *Journal of Ecological Engineering* 2016, Vol. 17, No. 3, pp. 41–46.
11. M. CYPROWSKI, J. SZARAPIŃSKA-KWASZEWSKA, B. DUDKIEWICZ, J.A. KRAJEWSKI, I. SZADKOWSKA-STĄNCZYK: Ocena narażenia pracowników oczyszczalni ścieków na czynniki szkodliwe występujące w miejscu pracy. *Medycyna Pracy* 2005, vol. 56, nr 3, ss. 213–222.
12. A. VANTARAKIS, S. PAPPARODOPOULOS, P. KOKKINOS, G. VANTARAKIS, K. FRAGOU, I. DETORAKIS: Impact on the quality of life when living close to a municipal wastewater treatment plant. *Journal of Environmental and Public Health* 2016 Vol. 2016, pp. 1–8.
13. M. MALAKOOTIAN, N. RADHAKRISHNA, M.P. MAZANDARANY, H. HOSSAINI: Bacterial-aerosol emission from wastewater treatment plant. *Desalination and Water Treatment* 2013, Vol. 51, No. 22–24, pp. 4478–4488.
14. R. KOCWA-HALUCH: Wirusy i ich występowanie w wodach i ściekach. Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2001.
15. B. BREZA-BORUTA, Z. PALUSZAK: Influence of water treatment plant on microbiological composition of air bioaerosol. *Polish Journal of Environmental Studies* 2007, Vol. 16, No. 5, pp. 663–670.
16. M. MICHĄLKIEWICZ: Mikrobiologiczne zanieczyszczenia powietrza na terenach oczyszczalni ścieków. Część I. *Technologia Wody* 2015, nr 3(41), ss. 42–48.
17. K. PRZYBULEWSKA, M. CZUPRYNIAK: Microbial quality of air in various seasons under the influence of emissions from sewage treatment plant. *Environment Protection Engineering* 2006, Vol. 32, No. 3, pp. 25–30.
18. M. MICHĄLKIEWICZ, M. MICHĄLKIEWICZ: Pasożyty człowieka w wodzie, ściekach i osadach. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2003, nr 6, ss. 205–210.
19. N. SEETHA, R. BHARGAVA, B.R. GURJAR: Gaseous and bioaerosols emissions from municipal wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Science and Engineering* 2013, Vol. 55, No. 4, pp. 517–536.
20. X. GUO, P. WU, W. DING, W. ZHANG, L. LI: Reduction and characterization of bioaerosols in a wastewater treatment station via ventilation. *Journal of Environmental Sciences* 2014, Vol. 26, pp. 1575–1583.
21. Z. DYMACZEWSKI [red.]: Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. PZITS Oddział Wielkopolski, Poznań 2011.
22. PN-89/Z-04111/01:1989: Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Postanowienia ogólne i zakres normy.
23. PN-89/Z-04111/02:1989: Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby bakterii w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną.
24. PN-89/Z-04111/03:1989: Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczanie liczby grzybów mikroskopowych w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną.
25. W.S. EL-SAYED, S.A. OUF, A.-A.H. MOHAMED: Deterioration to extinction of wastewater bacteria by non-thermal atmospheric pressure air plasma as assessed by 16 SrDNA-DGGE fingerprinting. *Frontiers in Microbiology* 2015, Vol. 6, Art. 1098, pp. 1–13.
26. Y. LI, L. YANG, Q. MENG, X. QUI, Y. FENG: Emission characteristics of microbial aerosols in a municipal sewage treatment plant in Xi'an, China. *Aerosol and Air Quality Research* 2013, Vol. 13, pp. 343–349.
27. M. MICHĄLKIEWICZ: Bakterie wskaźnikowe występujące w wodach. *Wodociągi – Kanalizacja* 2006, vol. 5, nr 27, ss. 22–24.
28. H. BAUER, M. FUERHACKER, F. ZIBUSCHKA, H. SCHMID, H. PUXBAUM: Bacteria and fungi in aerosols generated by two different types of wastewater treatment plants. *Water Research* 2002, Vol. 36, pp. 3965–3970.
29. M.A. SÁNCHEZ-MONEDERO, M.I. AGUILAR, R. FENOLL, A. ROIG: Effect of the aeration system on the levels of airborne microorganisms generated at wastewater treatment plants. *Water Research* 2008, Vol. 42, pp. 3739–3744.
30. M. MICHĄLKIEWICZ, A. PRUSS, Z. DYMACZEWSKI, J. JEŻ-WALKOWIAK, S. KWAŚNA: Microbiological air monitoring around municipal wastewater treatment plants. *Polish Journal of Environmental Studies* 2011, Vol. 20, pp. 1243–1250.
31. D.M. KVANLI, S. MARISSETTY, T.A. ANDERSON, W.A. JACKSON, A.N. MORSE: Monitoring estrogen compounds in wastewater recycling systems. *Water Air and Soil Pollution* 2008, Vol. 188, pp. 31–40.
32. H.F. HUNG, Y.M. KUO, C.C. CHIEN, C.C. CHEN: Use of floating balls for reducing bacterial aerosol emissions from aeration in wastewater treatment processes. *Journal of Hazardous Materials* 2010, Vol. 175, pp. 866–871.
33. K. KRUCZALAK, K. OLAŃCZUK-NEYMAN: Microorganisms in the air over wastewater treatment plants. *Polish Journal of Environmental Studies* 2004, Vol. 13, No. 5, pp. 537–542.
34. PN-EN 13098:2007P: Powietrze na stanowiskach pracy. Wytyczne dotyczące pomiaru mikroorganizmów i endotoksyn zawieszonych w powietrzu.
35. PN-EN 14031:2006: Powietrze na stanowiskach pracy. Oznaczanie endotoksyn zawieszonych w powietrzu.
36. PN-EN 14042:2010: Powietrze na stanowiskach pracy. Przewodnik wdrażania i stosowania procedur do oceny narażenia na czynniki chemiczne i biologiczne.
37. PN-EN 14583:2008: Powietrze na stanowiskach pracy. Wolumetryczne urządzenia do pobierania próbek bioaerozolu. Wymagania i metody badań.
38. A. GRZEŚKO, M. MICHĄLKIEWICZ: Wpływ hermetyzacji wybranych obiektów na stopień mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza na terenie Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach. Politechnika Poznańska, Poznań 2011 (praca niepublikowana).
39. L. GAWRON, A. DOBROSIELSKA: Raport z badań mikrobiologicznych powietrza wokół Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach 2013–2014. Aquanet Laboratorium Sp. z o.o., Poznań 2014 (praca niepublikowana).

Michalkiewicz, M., Kruszelnicka, I., Ginter-Kramarczyk, D., Mizerna-Nowotna, P. Odor and Microbiological Nuisance of the Sewage Treatment Plant – A Case Study. *Ochrona Srodowiska* 2016, Vol. 38, No. 3, pp. 41–48.

Abstract: Air emissions of nuisance odors and bioaerosols are a serious problem related to an impact of municipal facilities on their employees, nearby residents and the natural environment. The article presents an overview of odor and microbiological nuisance assessment and elimination methods at the Central Sewage Treatment Plant Koziegłowy near Poznan. In particular, research results were presented on numbers of mesophilic and psychophilic bacteria, mannitol-positive and mannitol-negative *Staphylococcus*, *Pseudomonas fluorescens* (4°C and 26°C), actinobacteria, coliform and microscopic fungi from the air samples collected in all seasons at the eight sampling stations. Based on the research results it was

established that in the area of the treatment plant there were facilities potentially emitting odors and microorganisms into the air, including the bar-screen building and grit chamber. The research confirmed that hermetization of the plant technological facilities significantly contributed to effective reduction of microorganism emission into the environment. It was confirmed that in the territory and around the municipal facilities (sewage treatment plants, waste processing sites, etc.) a maximal odor and bioaerosol emission reduction was required, which might be achieved via hermetization of the most nuisance facilities. Additionally, an appropriate equipment exploitation and safety at work regulations should be obeyed, while knowledge on health risks must be regularly refreshed.

Keywords: Municipal facilities, microbiological contamination, pollutant emission, odors, microorganisms, deodorization, hermetization.