

Organizacja pracy miejskiej oczyszczalni ścieków w Białymstoku w kontekście ograniczenia zanieczyszczeń mikrobiologicznych wprowadzanych do atmosfery

Justyna Murawska

Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku

e-mail: justyna.murawska.104672@student.pb.edu.pl

Małgorzata Rauba 

Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku

e-mail: m.rauba@pb.edu.pl

DOI: 10.24427/az-2022-0023

Streszczenie

Miejska Oczyszczalnia ścieków w Białymstoku w latach 2020-2022 przeprowadziła modernizację polegającą m.in. na hermetyzacji i dezodoryzacji wybranych obiektów, w celu zmniejszenia uciążliwości zapachowej. Celem artykułu jest ocena dodatkowej korzyści z podjętych działań, jaką stanowi ograniczenie emisji potencjalnie szkodliwego bioaerozolu podczas procesu oczyszczania ścieków. Badania przeprowadzono na terenie Oczyszczalni Ścieków w Białymstoku, polegające na oznaczeniu liczby drobnoustrojów w powietrzu po przeprowadzonej modernizacji. Wykryto obecność bakterii *Pseudomonas fluorescens*, promieniowców, drożdży z rodzaju *Rhodotorula* oraz zarodników patogennych grzybów z grupy *Aspergillus*. Otrzymane wyniki potwierdziły, że na terenie oczyszczalni występuje powietrze niezanieczyszczone i średnio zanieczyszczone pod względem mikrobiologicznym.

Słowa kluczowe

oczyszczalnia ścieków, organizacja pracy, zanieczyszczenia mikrobiologiczne, hermetyzacja

Wstęp

Sprawne zarządzanie i organizacja pracy miejskich oczyszczalni ścieków w dobre gwałtownego rozwoju obszarów miejskich, to nie tylko dbałość o osiągnięcie wysokiej sprawności oczyszczania ścieków i prawidłowej gospodarki osadami ściekowymi, ale również szereg działań dodatkowych związanych z zaspokojeniem oczekiwań lokalnej społeczności, do których można zaliczyć bezpieczeństwo mikrobiologiczne powietrza atmosferycznego w otoczeniu oczyszczalni oraz komfort zapachowy.

W oczyszczalniach ścieków prowadzone są procesy służące do oczyszczania ścieków przemysłowych oraz komunalnych z substancji rozpuszczonych, koloidów i zawiesin przed ich zrzutem do rzek czy gruntów [Szulc i in., 2021, s. 692]. W Polsce można znaleźć ok. 3257 takich obiektów, a zapotrzebowanie na nie stale rośnie ze względu na szybki rozwój miast i przemysłu [Korzeniewska, 2011, s. 396; Główny..., s. 65].

Funkcjonowanie oczyszczalni ścieków związane jest z występowaniem wielu niedogodności, takich jak: hałas, odory i zanieczyszczenia. Jednak jednym z najważniejszych zagrożeń jest emisja aerozoli biologicznych zawierających różne grupy mikroorganizmów [Paśmionka, 2019, s. 60]. Wśród nich wykryto liczne gatunki patogenne m.in.: szczepy *Acinetobacter* sp., *Pseudomonas* sp., *Enterococcus* sp., *Bacillus* sp. oraz *Escherichia coli* [Yang i in., 2019, s. 597]. Chorobotwórcze drobnoustroje są uwalniane podczas większości etapów oczyszczania ścieków, przez co długotrwała ekspozycja pracowników oczyszczalni na takie bioaerozole może stwarzać zagrożenie dla ich zdrowia, powodując zaburzenia układu oddechowego, pokarmowego, alergie skórne i inne choroby [Heinonen-Tanski i in., 2009, s. 2558; Małecka-Adamowicz i in., 2017, s. 58; Paśmionka, 2019, s. 60]. Ponadto bakterie unoszące się w powietrzu zazwyczaj przyczepiają się do powierzchni niewielkich cząsteczek pyłów, przez co mogą być one z łatwością przenoszone przez wiatr na znaczne odległości. Z tego względu drobnoustroje uwalniane z oczyszczalni ścieków mogą stanowić zagrożenie nie tylko ich pracownikom, ale również mieszkańcom pobliskich obszarów [Yang i in., 2019, s. 597].

Miejska Oczyszczalnia Ścieków w Białymstoku w latach 2020-2022 przeprowadziła modernizację polegającą m.in. na hermetyzacji i dezodoryzacji wybranych obiektów w oczyszczalni, w celu zmniejszenia uciążliwości zapachowej.

Celem artykułu była ocena dodatkowej korzyści z podjętych działań, jaką stanowi ograniczenie emisji potencjalnie szkodliwego bioaerozolu podczas procesu oczyszczania ścieków. Z tego powodu zdecydowano się na przeprowadzenie badań

na terenie oczyszczalni ścieków w Białymstoku, polegających na oznaczeniu liczby drobnoustrojów w powietrzu po przeprowadzonej modernizacji.

1. Proces oczyszczania ścieków komunalnych w Oczyszczalni Ścieków w Białymstoku

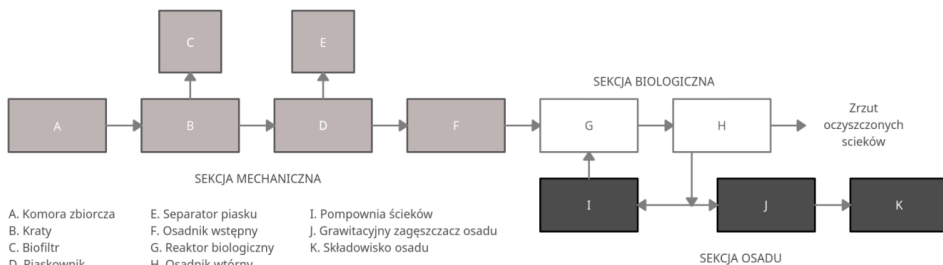
Oczyszczalnia Ścieków w Białymstoku jest największą oczyszczalnią ścieków w północno-wschodniej Polsce. Odprowadzane są do niej ścieki komunalne i przemysłowe z miasta Białegostoku i z terenów przyległych, leżących w dorzeczu rzek Supraśl i Narew. Obszar, z którego dopływają ścieki, charakteryzuje się niskim stopniem uprzemysłowienia w porównaniu do innych regionów kraju. Około 80% ścieków stanowią ścieki bytowo-gospodarcze. Pozostałe 20% to ścieki przemysłowe pochodzące z różnych przedsiębiorstw [Wiater i Butarewicz, 2014, s. 282].

Oczyszczalnia Ścieków w Białymstoku jest oczyszczalnią mechaniczno-biologiczną, która stosuje metodę osadu czynnego. Wykorzystuje także technologię przetwarzania osadów ściekowych oraz wykorzystania biogazu.

W części mechanicznej ścieki wpływają komorą wlotową, przepływając przez halę krat, w której znajdują się dwie kraty mechaniczne haczykowate, gęste, o przeswitach 6 mm. Skratki są płukane w płuczce typu „Washbox” RWB, a następnie przenoszone do przeznaczonego na nie kontenera. Po przepuszczeniu przez prasę śrubową są one co kilka dni wywożone na składowisko odpadów w Hryniewiczach. W kolejnym etapie ścieki trafiają do przepompowni głównej. Znajdujące się tam pompy tłoczą napływające ścieki najpierw do komory rozdziału, a następnie do dwóch dwukomorowych piaskowników. Ilość usuwanego piasku wynosi 2÷3 tony/dobę przy pogodzie suchej, natomiast wzrasta do ok. 15 ton/dobę przy opadach lub roztopach. Następnie ścieki trafiają do czterech osadników wstępnych, podłużnych, o pojemności 1900 m³ każdy. Są w nich zatrzymywane na ok. 2 godziny. W tym czasie opada większość zawiesiny oraz zatrzymywane są tłuszcze i części pływające, które przeszły przez kraty. Każdy osadnik wstępny stanowi zespół z komorą predenitryfikacji i komorą defosfatacji. Trafia do nich około 20% ścieków po oczyszczeniu mechanicznym wraz z osadem czynnym, który jest zawrócony z osadników wtórnych poprzez pompownię osadu czynnego. W komorach tych następuje usuwanie azotu azotanowego pozostałego po właściwym procesie denitryfikacji. Ścieki są mieszane za pomocą wirownic znajdujących się w każdym basenie predenitryfikacji, zaś pozostałe 80% ścieków oraz wody nadosadowe z zagęszczacza gravitacyjnego łączą się w komorze defosfatacji, gdzie następuje biologiczne usuwanie fosforu. Ścieki, opuszczające komory defosfatacji, są kierowane do komór osadu czynnego, które ulokowane są w dwóch basenach. Po komorach napowietrzania

ścieki podawane są na sześć osadników wtórnych radialnych z systemem ssawkowym do odbierania osadu o pojemności 6000 m³ każdy. Osad odbierany jest, gdy jego ilość dojdzie do określonego poziomu, a następnie kierowany do pompowni osadu czynnego (4 pompy do recyrkulacji osadu czynnego). Stamtąd osad czynny nadmierny jest odprowadzany, przy udziale trzech pomp, do stacji mechanicznego zagęszczania osadu nadmiernego w ilości średnio 8÷10 t s.m./dobę. Po sklarowaniu odpływu ścieki oczyszczone odprowadzane są do odbiornika. Osad czynny nadmierny poddawany jest fermentacji mezofilowej w WKF-ach, a następnie odwadniany mechanicznie na prasach. W kolejnym etapie odwodnione osady są suszone w suszarko-granularce. Do budynku suszarni trafiają osady składowane na placu oraz bezpośrednio ze stacji mechanicznego odwadniania. Proces suszenia i granulowania osadów dzieli się na kilka etapów: przechowywanie i dozowanie osadu, suszenie i recyrkulacja osadu, recyrkulacja granulek, chłodzenie granulek, składowanie wysuszonego osadu. Wysuszony osad w postaci granulatu trafia na wydzielone składowisko znajdujące się na terenie białostockiej oczyszczalni ścieków [Wiater i Butarewicz, 2014, s. 282-284].

Uproszczony schemat oczyszczalni ścieków przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Uproszczony schemat biologicznej oczyszczalni ścieków

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Szyłak-Szydłowski i in., 2016, s. 12].

2. Organizacja pracy Oczyszczalni Ścieków w Białymstoku

Prawidłowe zarządzanie i organizacja pracy oczyszczalni ścieków jest kluczowym elementem poprawnego jej funkcjonowania. Od 1994 roku, kiedy Oczyszczalnia Ścieków w Białymstoku została uruchomiona, poczyniono wiele inwestycji mających na celu poprawę jej funkcjonowania pod kątem poprawy jej sprawności w oczyszczaniu ścieków i gospodarowaniu osadami ściekowymi.

Mniejszą uwagę poświęcano aspektom społecznym, takim jak zapewnienie odpowiedniego komfortu zapachowego, czy zabezpieczenie obiektów przed migracją z nich do powietrza szkodliwych zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Rozbudowa aglomeracji miejskiej Białegostoku spowodowała, że obecnie oczyszczalnia ścieków sąsiaduje z terenami zabudowy mieszkaniowej jedno i wielorodzinnej. Zarządzanie tak dużym obiektem, jak oczyszczalnia ścieków, wymagało więc podejmowania decyzji nie tylko związanych z zapewnieniem jej prawidłowego działania pod względem technicznym, ale również uwzględniających dobro interesariuszy, jakim jest lokalne społeczeństwo.

Liczne skargi mieszkańców na nieprzyjemne zapachy doprowadziły do przeprowadzania w latach 2015 i 2016 szeregu badań mających na celu ocenę stężeń najbardziej uciążliwych pod względem zapachu substancji, takich jak: amoniak, siarkowódór, merkaptany czy kwas izomasłowy. Pomiary przeprowadzono w pobliżu obiektów na terenie oczyszczalni, jak i poza nią. Wyniki badań wskazały na przekroczenia dopuszczalnych stężeń wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2010 nr 16 poz. 87).

Przeprowadzone badania dały początek koncepcji stworzenia projektu hermetyzacji urządzeń najbardziej odorotwórczych. Wytypowano następujące obiekty oczyszczalni przeznaczone do hermetyzacji:

- komora wlotowa,
- hala krat,
- zlewnia nieczystości,
- komora rozdziału,
- piaskowniki z kanałem odpływowym,
- separator piasku,
- osadniki wstępne z kanałem dopływowym,
- komory predenitryfikacji,
- komory defosfatacji z kanałem odpływowym,
- pompownia I st.,
- pompownia II st.,
- zagęszczacze osadu surowego,
- budynek odwadniania osadu przefermentowanego,
- zbiorniki zasobowe osadu,
- budynek odbioru osadu odwodnionego,
- składowisko osadu wysuszonego,
- plac składowy osadu odwodnionego.

Projekt przewidywał przykrycie poszczególnych obiektów technologicznych za pomocą przykryć poliestrowych wzmocnianych włóknem szklanym, odpowiednio doszczelnionych i wyposażonych w kominki wentylacyjne, włazy i inne elementy. Hermetyzację budynku tymczasowego składowiska osadów przewidziano poprzez zabudowę otworów w istniejących konstrukcjach ram stalowych otwartego obecnie obiektu. Założono również konieczność zabudowy wrót umożliwiających zamknięcie obiektu, tak aby przestrzeń gazowa pomieszczenia była ograniczona i możliwa do skierowania do urządzenia oczyszczającego powietrze ze złośliwych substancji. W celu ograniczenia emisji uciążliwych zapachów nowa stacja zlewna została w pełni zhermetyzowana i wyposażona w instalację usuwania odorów z zastosowaniem lamp UV i filtrów z węgla aktywnego. Taki sam układ oczyszczania powietrza złośliwego mają zagęszczacze osadu surowego [Koreferat do koncepcji..., 2016].

Analizując efektywność podjętych działań w artykule zwrócono uwagę na dodatkową korzyść wynikającą z hermetyzacji urządzeń oczyszczalni ścieków, jaką jest znaczne ograniczenie rozprzestrzeniania się szkodliwych dla zdrowia ludzi i zwierząt mikroorganizmów.

3. Drobnoustroje obecne ściekach

Degradacja substancji organicznych w procesie oczyszczania ścieków jest głównie wynikiem działalności tlenowych i fakultatywnych beztlenowych bakterii heterotroficznych oraz grzybów heterotroficznych. Liczne organizmy saprofityczne i oportunistyczne a niekiedy drobnoustroje chorobotwórcze lub potencjalnie chorobotwórcze występują w ściekach surowych, niezależnie od ich pochodzenia. Mikroflora ścieków jest tak samo zróżnicowana jak zawartość zanieczyszczeń [Korzeniewska, 2011, s. 397]. Na różnych etapach oczyszczania ścieków można znaleźć takie drobnoustroje jak:

- wirusy: *Rotavirus*, *Enterovirus*, *Echoviruses*, *Reoviridae*, *Coxsackieviruses A i B*, *Hepatitis E virus*, *Hepatitis A virus*, *Parvoviridae*, *Astroviridae*, *Adenoviridae*, *poliovirus*, *Norwalkvirus*;
- bakterie: *Escherichia coli*, *Salmonella sp.*, *Enterobacter sp.*, *Shigelladysenteriae*, *Vibrio sp.*, *Proteus sp.*, *Helicobacterpylori*, *Pseudomonas sp.*, *Staphylococcus sp.*, *Campylobacter sp.*, *Legionella sp.*, *Streptococcus sp.*, *Enterococcus sp.*, *Klebsiellapneumoniae*, *Clostridium sp.*, *Bacillus sp.*, *Mycobacteriumtuberculosis*, *Yersiniaenterocolitica*, *Listeriamonocytogenes* [Michałkiewicz i in., 2016, s. 43; Prażmo i in., 2003];

- protisty: *Giardia intestinalis*, *Balantidium coli*, *Toxoplasma gondii*, *Entamoeba histolytica*, *Trichomonas hominis*, *Cryptosporidium sp.*, *Microsporidium sp.*;
- pasożyty: *Fasciola hepatica*, *Ancylostomaduodenale*, *Diphyllobothrium latum*, *Enterobius vermicularis*, *Toxocara sp.*, *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Taeniasaginata*, *Taeniasolium*;
- grzyby mikroskopowe: *Fusarium sp.*, *Trichophyton sp.*, *Rhizopus sp.*, *Mucor sp.*, *Aspergillus sp.*, *Sporothrix schenckii*, *Microsporium sp.*, *Penicillium sp.*, *Cryptococcus neoformans*, *Arthrodermasp.*, *Neotestudinarosatii*, *Geotrichum candidum*, *Candida albicans*, *Cladosporium werneckii*, *Alternaria sp.*, *Stachybotrys sp.* [Michałkiewicz i in., 2016, s. 43].

4. Bioaerazol

Oczyszczalnie ścieków, pomimo ich ważnej roli w ochronie środowiska, przyczyniają się również do emisji bioaerozolu [Małecka-Adamowicz i in., 2017, s. 58]. Bioaerazol to termin używany do opisanego zarówno żywych jak i martwych cząstek biologicznych występujących w powietrzu, takich jak: zarodniki grzybów, bakterie, pyłki, wirusy oraz ich elementy i produkty uboczne (endotoksyny bakteryjne, mykotoksyny, (1-3)-beta-D glukany), które mogą wpływać na żywe organizmy infekcyjnie, alergicznie, toksycznie i farmakologicznie [Korzeniewska, 2011, s. 394]. Wykazano, że mikroorganizmy mogą zostać uniesione do powietrza, gdy ich stężenie przekracza 103 komórek w 1 ml ścieków [Budzińska i in., 2013, s. 904]. Bioaerozole ze względu na ich skład i znaczenie dla ludzi i zwierząt, dzieli się na:

- saprofityczne,
- patogenne (zakaźne),
- mieszane (składa się z dwóch wymienionych wyżej) [Rejmer, 1997, s. 137].

Chociaż powietrze jest naturalnym środowiskiem występowania mikroorganizmów to niekorzystne czynniki fizykochemiczne oraz brak składników odżywczych powodują, iż powietrze staje się drogą rozprzestrzeniania się mikroorganizmów, a nie miejscem ich rozwoju. Niektóre z nich giną w wyniku wyschnięcia, ekspozycji na zbyt wysoką lub niską temperaturę, promieniowanie słoneczne czy zanieczyszczenia. Jednakże część mikroorganizmów wyposażona jest w specjalne mechanizmy, które umożliwiają im walkę z niekorzystnymi warunkami środowiska, poprzez hamowanie ich aktywności biologicznej [Korzeniewska, 2011, s. 394-398; Budzińska i in., 2013, s. 904]. Ponadto bioaerazol emitowany z oczyszczalni ścieków, w wyniku działania siły grawitacji może gromadzić się na powierzchni gleb, roślin,

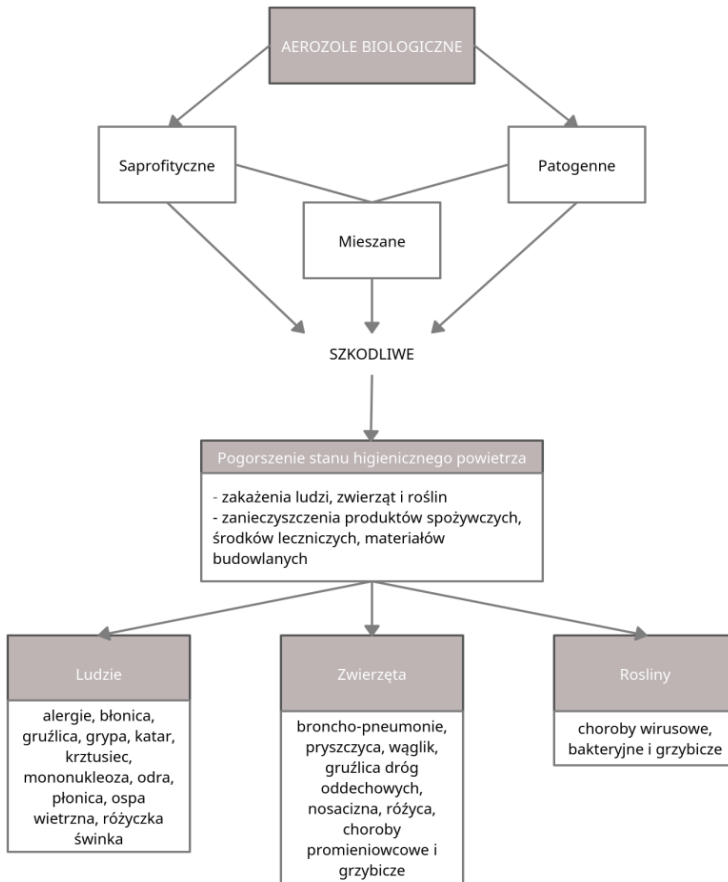
wód oraz przemieszczać się wraz z wodą do głębszych warstw gleby [Breza-Boruta, 2010, s. 50].

Skład bioaerozolu otaczającego oczyszczalnie ścieków jest uzależniony od m.in.: typu technologii stosowanej w oczyszczaniu ścieków, rodzaju i liczby urządzeń napowietrzających w komorach, metody napowietrzania (grubo-, średnio- lub drobnopęcherzykowe), stężenia i rodzaju mikroorganizmów w ściekach, źródła i rodzaju aerozolu, sposobu eksploatacji oczyszczalni, wielkości emitowanych cząstek, warunków meteorologicznych (temperatury, wilgotności, opadów atmosferycznych, pory roku, wiatru), obecności lub braku roślinności oraz ukształtowania terenu [Breza-Boruta, 2010, s. 50; Michałekiewicz i in., 2016, s. 43].

Podczas procesu oczyszczania ścieków do emisji bioaerozolu przyczyniają się głównie etapy związane z napowietrzaniem, mieszaniem ścieków oraz rozpraszaniem ich na urządzeniach biologicznych [Budzińska i in., 2011, s. 1544]. Są to głównie etapy oczyszczania wstępnego, biologicznego oraz zagęszczania osadów. Największą emisję bioaerozolu przypisuje się: kratownicom, pompowni wstępnej, kanałom ścieków surowych oraz doprowadzających ścieki do osadników wstępnych, piaskownikom, komorom napowietrzania i poletkom osadowym [Korzeniewska, 2011, s. 398, Budzińska i in., 2011, s. 1544].

5. Zagrożenie szkodliwym bioaerozolem

Ze względu na szybko postępujący proces urbanizacji, oczyszczalnie ścieków które pierwotnie były zlokalizowane z dala od skupisk ludzkich, często zostają otoczone nowymi budynkami mieszkalnymi czy dzielnicami handlowymi. W takich sytuacjach powstaje problem związany nie tylko z uciążliwością zapachową, ale również z zagrożeniem zdrowia związanym z emisją bioaerozolu z oczyszczalni ścieków [Korzeniewska, 2011, s. 401]. Mikroorganizmy patogenne emitowane do powietrza z oczyszczalni ścieków mogą powodować choroby u ludzi, zwierząt i roślin, a także skażać przyległe tereny [Michałkiewicz i in., 2011, s. 1244]. Liczne badania wykazały, iż bioaerozol jest wykrywany w odległości nawet do 3 km od oczyszczalni ścieków. Oznacza to, iż emitowany aerozol biologiczny stwarza zagrożenie nie tylko dla zdrowia pracowników oczyszczalni, ale również dla mieszkańców pobliskich terenów [Małecka-Adamowicz i in., 2015, s. 58]. Niebezpieczeństwo, jakie stwarza zanieczyszczenie środowiska bioaerozolem przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Skutki zanieczyszczenia środowiska bioaerozolem

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Rejmer, 1997, s. 138].

Głównymi drogami zakażenia ludzi przez mikroorganizmy są: bezpośredni kontakt ze źródłem zanieczyszczenia (przez błony śluzowe bądź skórę), połknięcie (z rąk lub przypadkowe) oraz układ oddechowy [Korzeniewska i in, 2011, s. 398]. Szacuje się, iż połowa cząstek tworzących bioaerozol ma wymiary respirabilne, przez co z łatwością przedostają się one do układu oddechowego. Większe elementy osadzają się w górnych odcinkach oskrzeli, natomiast mniejsze mogą przenikać do pęcherzyków płucnych [Michałkiewicz i in., 2009, s. 136].

Alergeny biologiczne przenoszone drogą powietrzną, tj. grzyby, promieniowce, endotoksyny i (1-3)-beta-D glukany, są przyczyną niezakaźnych chorób dróg oddechowych, do których zaliczymy: alergie, astma, nadwrażliwe zapalenie płuc, nieżyt nosa i gardła oraz innych chorób: zapalenia spojówek, biegunki, infekcji przewodu pokarmowego oraz uszkodzeń ośrodkowego układu nerwowego [Korzeniewska i in, 2011, s. 401; Szulc i in., 2021, s. 691]. Wiele bakterii Gram-ujemnych (np. *Pseudomonas sp.*, *Enterobacter sp.*, *Klebsiella sp.*, *Proteus sp.*) wytwarza lipopolisacharydy (LPS), które budują zewnętrzną błonę ściany komórkowej. Te potencjalnie toksyczne związki są również nazywane endotoksynami, a do ich uwolnienia dochodzi w wyniku lizy komórek [Korzeniewska i in, 2011, s. 401; Szyłak-Szydłowski i in., 2016, s. 11]. Uważa się, iż mogą być przyczyną chronicznego zmęczenia, zapalenia dróg oddechowych (któremu towarzyszy kaszel, ucisk w klatce piersiowej, duszności i świszczący oddech) zapalenia jelit, biegunki, zmęczenia oraz podrażnienia nosa u pracowników oczyszczalni ścieków [Prażmo i in., 2003, s. 242; Korzeniewska i in, 2011, s. 401]. Natomiast przewlekła ekspozycja na endotoksyny może prowadzić do pogorszenia czynności płuc, przewlekłego zapalenia oskrzeli oraz drożdżycy [Korzeniewska i in, 2011, s. 401]. Ponadto wykryto zwiększone zachorowanie na nowotwór żołądka wśród pracowników oczyszczalni, co ma najprawdopodobniej związek z obecnością bakterii *Helicobacter pylori* w środowisku pracy [Szulc i in., 2021, s.691].

W wielu badaniach dotyczących zdrowia pracowników oczyszczalni ścieków wspomina się o szczególnym typie choroby, prawdopodobnie pochodzenia wirusowego, która dotyka pracowników oczyszczalni ścieków i jest określana jako “Sewage Worker’s Syndrome”. Jej objawy to ogólny dyskomfort, osłabienie, ostry nieżyt nosa i gorączka [Korzeniewska i in, 2011, s. 401].

Drobnoustroje występujące w powietrzu w postaci bioaerozolu, które powinno się badać w celu oceny stanu powietrza, zawarto w normach PN-89/Z-04111/01–03:1989 [PN-89/Z-04111/01:1989; PN-89/Z-04111/02:1989; PN-89/Z-04111/03:1989]. Normy te zostały wycofane w roku 2015, jednak nie zostały zastąpione nowymi przepisami. Mikroorganizmy te są reprezentowane przez:

- bakterie mezofilne,
- gronkowce (*Staphylococcus*) hemolizujące, mannitoloujemne i mannitolododatnie,
- *Pseudomonas fluorescens*,
- grzyby mikroskopowe - pleśnie, drożdże, grzyby drożdżoidalne,
- promieniowce (*Actinobacteria*).

Występowanie promieniowców w powietrzu świadczy o zanieczyszczeniu cząstkami gleby, bakteriami *Pseudomonas fluorescens* – bioaerozolem pochodzącym z wód powierzchniowych, a gronkowców hemolizujących - bioaerozolem z dróg oddechowych zwierząt i ludzi. Obecność bakterii z grupy coli (bakterie zaliczane do rodziny Enterobacteriaceae, takie jak: Enterobacter, Klebsiella, Proteus, Serratia, Citrobacter) wskazuje na kałowe zanieczyszczenie powietrza. Wykrycie jednej z tych bakterii może oznaczać obecność również bakterii chorobotwórczych np. Shigella czy Salmonella [Michałkiewicz i in., 2016, s. 43-44].

Mikrobiologiczny stopień zanieczyszczenia powietrza pod względem bakterii został zawarty w normie PN-89Z-04111/02. W tab. 1 przedstawiono kryteria oceny zanieczyszczenia powietrza bakteriami.

Tab. 1. Stopień zanieczyszczenia powietrza pod względem liczby bakterii w 1 m³ powietrza

Ogólna liczba bakterii	Liczba promieniowców	Liczba <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Liczba gronkowców		Stopień zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego
			Hemoliza typu α	Hemoliza typu β	
poniżej 1000	10	brak	brak	brak	niezanieczyszczone
1000-3000	10 ÷ 100	50 i poniżej	25 i poniżej	50 i poniżej	średnio zanieczyszczone
powyżej 3000	powyżej 100	powyżej 50	powyżej 25	powyżej 50	silnie zanieczyszczone

Źródło: opracowanie własne na podstawie [PN-89/Z-04111/02:1989, s. 4].

6. Metodyka badań

Mikrobiologiczne badania powietrza wykonano w lutym 2022 roku na terenie oczyszczalni ścieków w Białymstoku. Punkty poboru powietrza były zlokalizowane w obszarze obiektów, które mogą być głównym źródłem emisji drobnoustrojów: obok komór wstępnych oraz składowiska osadu nadmiernego (tab. 2 i rys. 3). Wyznaczono również dwa stanowiska kontrolne poza terenem oczyszczalni ścieków. Podczas poboru próbek sprawdzano warunki klimatyczne, takie jak: temperatura i wilgotność powietrza oraz prędkość i kierunek wiatru, które wykorzystano do dodatkowej interpretacji wyników badań mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza.

W poborze prób posłużono się metodą sedymentacyjną, która polega na pozostawieniu otwartych płytek z podłożem stałym na 30 min. na wysokości 1,3 m od podłoża zgodnie z normą PN-89Z-04111/02. W każdym punkcie poboru próbek zastosowano 4 płytki z odmiennymi pożywkami w trzech powtórzeniach, co pozwoliło na zbadanie takich drobnoustrojów, jak: bakterie mezofilne, psychrofilne, bakterie grupy coli oraz ogólną liczbę bakterii. W przypadku oznaczania bakterii mezofilnych i psychrofilnych zastosowano agar odżywczy, ogólnej liczby bakterii pożywkę TSA, a bakterii z grupy coli pożywkę ENDO. Do izolacji promieniowców zastosowano podłoże Pochona, natomiast do izolacji bakterii *Pseudomonas fluorescens* użyto podłoża selektywnego Kinga B. Dodatkowo przeprowadzono badania mikroskopowe mikroorganizmów.

Po pobraniu próbek płytki, które wykorzystano do zbadania bakterii psychrofilnych inkubowano w temp. 22°C przez 72h, bakterii grupy coli w temp. 37°C przez 24h, ogólną liczbę bakterii w 37°C przez 48h. Inkubację promieniowców prowadzono w temperaturze 28°C przez 72h, zaś bakterie *Pseudomonas fluorescens* w temperaturze 37°C przez 24h. Następnie zliczono wyrosłe kolonie drobnoustrojów, wyniki uśredniono i przeliczono na jtk/m³ (jednostki tworzące kolonie).

Tab. 2. Lokalizacja i numeracja stanowisk badawczych

Nr stanowiska	Lokalizacja
1	Komory wstępne
2	Składowisko osadu nadmiernego
3	Punkt kontrolny nr 1 poza granicą oczyszczalni
4	Punkt kontrolny nr 2 poza granicą oczyszczalni

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3. Lokalizacja stanowisk badawczych

Źródło: opracowanie własne na podstawie [<https://www.google.pl/intl/pl/earth/> 22.04.2022].

7. Wyniki badań

W tab. 3 oraz na rys. 4 zestawiono wyniki badań w postaci jednostek tworzących kolonie w przeliczeniu na 1m^3 powietrza na poszczególnych stanowiskach badawczych.

Tab. 3. Zestawienie liczby bakterii w 1m^3 powietrza na poszczególnych stanowiskach

Nr stanowiska	jtk/ m^3			
	Ogólna liczba bakterii	Bakterie mezofilne	Bakterie psychrofilne	Bakterie grupy coli
1	374	92	229	0
2	1920	183	1501	0
3	1651	931	1835	0
4	52	46	118	0

Źródło: opracowanie własne.

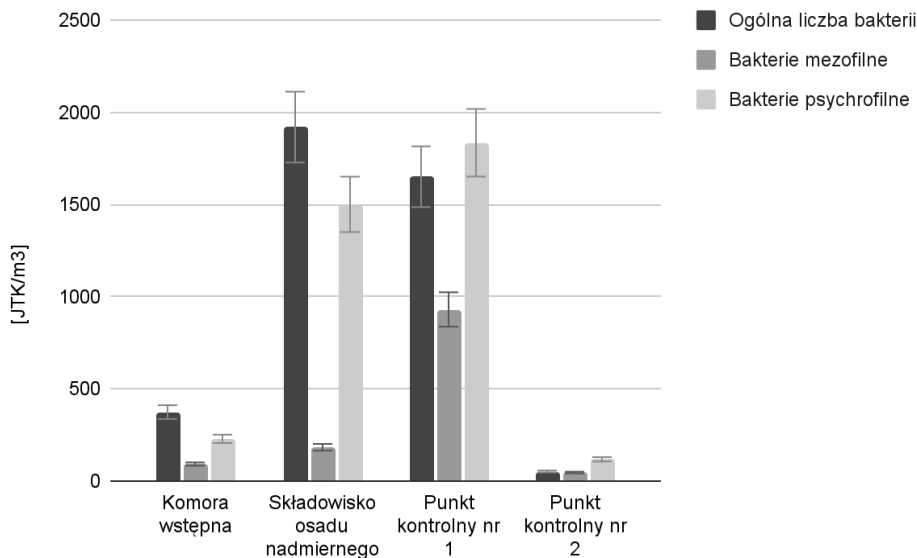
Z uzyskanych wyników badań można stwierdzić, iż stopień mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza był dość zróżnicowany na poszczególnych stanowiskach badawczych. Ogólna liczba bakterii wahała się w zakresie od 52 do 1920 jtk/m³, przy czym największą ich ilość zaobserwowano w pobliżu składowiska osadu nadmiernego, a najniższą w punkcie kontrolnym nr 2. Na podstawie powyższych wyników można stwierdzić iż, powietrze na stanowisku nr 1 i 4 było niezanieczyszczone, a na stanowisku nr 2 i 3 średnio zanieczyszczone.

W przypadku bakterii mezofilnych, do których zaliczono bakterie *Pseudomonas fluorescens* oraz promieniowce, otrzymano wyniki w zakresie od 46 do 931 jtk/m³, gdzie największą ich liczbę wykryto w punkcie kontrolnym nr 1. Stanowisko to charakteryzowało się również największą liczbą promieniowców - 282 jtk/m³, które są powszechne w glebach, wodach słodkich i kompostach. Tak wysoki wynik wskazuje na silne zanieczyszczenie powietrza tymi mikroorganizmami. Bakterie te wykryto również na stanowisku nr 1, 2 i 4, gdzie ich wartość wyniosła odpowiednio 32; 39; 20 jtk/m³. Wartości te wskazują, iż powietrze w tych miejscach jest średnio zanieczyszczone.

Również najwyższą liczbę bakterii psychrofilnych stwierdzono w punkcie kontrolnym nr 1 w ilości 1835 jtk/m³. Niewiele niższą wartość, bo 1501 jtk/m³ wykryto przy składowisku osadu nadmiernego. Na pozostałych stanowiskach, czyli nr 1 i 2 zaobserwowano dużo niższe wartości wynoszące odpowiednio 229 i 118 jtk/m³. Zauważono również, iż liczba bakterii psychrofilnych była wyższa od liczby bakterii mezofilnych we wszystkich miejscach pomiarowych.

Bakterie grupy coli nie wystąpiły na żadnym z badanych stanowisk. Poza wymienionymi grupami bakterii we wszystkich badanych miejscach wykryto kilka kolonii grzybów z grupy *Aspergillus*, które mogą działać alergizująco. W punkcie kontrolnym nr 1 wykryto również drożdże z rodzaju *Rhodotorula*, charakterystyczne dla środowiska naturalnego, niestanowiące jednak zagrożenia z uwagi na nieliczne wyrosłe kolonie.

Analizując rys. 4, przedstawiający wykres liczebności bakterii dla poszczególnych stanowisk pomiarowych, można zauważyć, iż największą ilość bakterii w powietrzu wykryto przy składowisku osadu nadmiernego oraz w punkcie kontrolnym nr 1. Jedynie liczba bakterii mezofilnych obok składowanego osadu była znacząco niższa od pozostałych. Ponadto najwyższe odchylenia wyników występuje, przy największych wartościach wykrytych bakterii w powietrzu, jednak nie wpływa to na ich interpretację w odniesieniu do normy PN-89/Z-04111/02:1989.



Rys. 4. Liczba bakterii w przeliczeniu na 1 m³ powietrza dla poszczególnych miejsc poboru próbek

Źródło: opracowanie własne.

8. Dyskusja

Zanieczyszczenia mikrobiologiczne powietrza są obecnie coraz częściej brane pod uwagę przy prawidłowej organizacji pracy miejskich oczyszczalni ścieków. Dowodem tego są liczne publikacje na temat obecności mikroorganizmów pochodzących z procesów oczyszczania ścieków w powietrzu w otoczeniu oczyszczalni ścieków. Chociaż pierwotnym założeniem projektów hermetyzacji obiektów oczyszczalni ścieków jest redukcja odorów, to pełni ona również ważną rolę w ograniczeniu migracji szkodliwych bioaerozoli ściekowych.

Michałkiewicz i in. [2009] przeprowadzili badania mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza na terenie Oczyszczalni Ścieków w Wielkopolsce, które wykazały, iż hermetyzacja najbardziej uciążliwych obiektów zmniejsza emisję zanieczyszczeń mikrobiologicznych ze ścieków. Punkty poboru powietrza zlokalizowano zarówno wewnątrz hermetyzowanych obiektów jak i poza nimi w niewielkiej odległości. W większości przypadków liczba wykrytych mikroorganizmów w powietrzu

wewnątrz budynków była wyższa niż na otaczającym je terenie, co wskazuje, iż hermetyzacja umożliwiła ograniczenie emisji nie tylko odorantów, ale również drobno-ustrojów.

Wyniki badania mikrobiologicznej jakości powietrza w Oczyszczalni Ścieków w Białymstoku ilościowo są porównywalne z wynikami jakie otrzymali Michałkiewicz i in. [2009] metodą zderzeniową przy pomocy mikrobiologicznego próbnika powietrza MAS 100 Eco (produkcji firmy MERCK). W ich przypadku liczba bakterii mezofilnych obok osadnika wstępnego i składowiska osadu nadmiernego wyniosła odpowiednio 140-320 jtk/m³ oraz 40-1040 jtk/m³, natomiast w Oczyszczalni ścieków w Białymstoku otrzymano wartości 92 i 183 jtk/m³. Ilość bakterii psychrofilnych w pobliżu białostockiej oczyszczalni w punkcie 2 była podwyższona z powodu składowania osadu nadmiernego na poletkach ze względu na wstrzymanie pracy suszarni osadu. Uzyskany wynik świadczy zatem o istotnym wpływie hermetyzacji obiektów oczyszczalni na jakość powietrza atmosferycznego. Dla oczyszczalni ścieków w Wielkopolsce ich liczba wyniosła 160-2360 i 40-1480 jtk/m³ odpowiednio na stanowisku obok osadnika wstępnego i stanowisku przy lagunach osadowych, a w przypadku badań w Białymstoku 229 i 1501 jtk/m³. W obu oczyszczalniach w miejscu składowania osadu nadmiernego nie wykryto bakterii z grupy coli. Jednakże w Wielkopolsce ich obecność została stwierdzona obok osadnika wstępnego w zakresie 0-10 JTK/m³, natomiast w Białymstoku ich nie znaleziono. Brak patogennych bakterii z tej grupy w powietrzu przebadanym na terenie Oczyszczalni Ścieków w Białymstoku może świadczyć o braku emisji najbardziej groźnych dla zdrowia ludzi aerozoli ścieków do atmosfery. Przyczynę tego stanu rzeczy mogła stanowić szczelna hermetyzacja osadników wstępnych.

Kalisz i in. [1994] wskazują, iż bakterie z rodzaju *Pseudomonas* są wskaźnikiem zanieczyszczenia powietrza pochodzenia ściekowego. Stanowią one składnik mikrobioty organizmu ludzkiego, gdzie wykrywane są w przewodzie pokarmowym [Čapla i in., 2012, s. 734]. W przypadku badań przeprowadzonych w Oczyszczalni ścieków w Białymstoku bakterie *Pseudomonas fluorescens* wykryto we wszystkich stanowiskach pomiarowych zarówno na terenie Oczyszczalni jak i w punktach kontrolnych poza jej granicami. Oznacza to, że analizowana Oczyszczalnia stanowi źródło bioaerozoli, które mogą być przenoszone przez wiatr na dalsze odległości. Bakterie te wykryto również w powietrzu na terenie Oczyszczalni ścieków w Wielkopolsce, gdzie ich głównym źródłem emisji była otwarta komora rozdziału. Autorzy badania wskazali, iż ograniczona emisja bakterii *Pseudomonas fluorescens* z pozostałych obiektów w Oczyszczalni mogła być wynikiem przeprowadzonej hermetyzacji [Michałkiewicz i in., (2009), s. 141].

Prażmo i in. [2003] w swoich badaniach przeprowadzonych na terenie oczyszczalni ścieków zlokalizowanej we wschodniej Polsce, gdzie obiekty komunalne nie zostały zhermetyzowane, wykryli obecność bakterii mezofilnych w powietrzu obok osadnika wstępnego w ilości 1730 ± 1272 jtk/m³. W przypadku Oczyszczalni Ścieków w Białymstoku wartość ta jest znacznie niższa, bo tylko 92 jtk/m³. Może to świadczyć o pozytywnym wpływie hermetyzacji osadników wstępnych na ograniczenie emisji bioaerozolu z oczyszczanych ścieków.

Duża ilość promieniowców występująca w punkcie kontrolnym nr 1 (282 jtk/m³), klasyfikująca powietrze w tym miejscu na silnie zanieczyszczone, najprawdopodobniej nie wynikała z emisji tych mikroorganizmów z oczyszczanych ścieków. Przyczynę mogła stanowić obecność w niewielkiej odległości od stanowiska badawczego drogi gruntowej, po której z dużą częstotliwością poruszały się samochody ciężarowe, wzbijające kurz wraz z Promieniowcami, których naturalne miejsce bytowania stanowią gleby. Przypuszczenie to może potwierdzić fakt, iż liczba tych bakterii była niższa na stanowiskach ulokowanych na terenie oczyszczalni ścieków (32 i 39 jtk/m³).

Zarodniki grzybów z grupy *Aspergillus*, które wykryto w znikomych ilościach na wszystkich stanowiskach badawczych, występują m.in. w ściekach, glebach uprawnych i nawożonych, czy też w środowiskach ekstremalnych np. słone bagna, Alaska, kopalnie uranu. Grzyby z gatunku tej grupy stanowią częstą przyczynę grzybic u zwierząt domowych oraz rzadką przyczynę grzybic skóry, paznokci, uszu, zapalenia kości i szpiku oraz zapalenia płuc u ludzi. Ponadto wytwarzają one mikotoksyny, takie jak: wersikoloryny A, B, C, które wykazują właściwości cytotoksyczne, mutagenne i teratogenne oraz sterigmatocystynę o charakterze onkogennym [Zabawski i Baran, 1998, s. 96; Piontek, 1999, s. 54; Krzyściak i in., 2011, s. 253-255; Michałkiewicz i in., 2016, s. 43]. Trudno jest stwierdzić jednoznacznie, czy wykryte grzyby pochodzą z oczyszczalni czy też z pobliskich pól uprawnych.

Naukowcy z Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej przeprowadzili badania oddziaływania Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach (COŚ) na otoczenie, które zrealizowano w latach 2011-2012. Analizie poddano procesy technologiczne zachodzące w oczyszczalni, a także oddziaływanie zapachowe i mikrobiologiczne obiektu wraz z oceną jego wpływu na zdrowie mieszkańców terenów w pobliżu COŚ. Badania wykryły, iż oczyszczane ścieki stanowiły źródło emisji zanieczyszczeń mikrobiologicznych do powietrza atmosferycznego, w tym mikroorganizmów patogennych dla człowieka, a główne źródła emisji bioaerozolu stanowiły osadnik wstępny, bioreaktor oraz osad magazynowany na poletkach osadowych. Z tych względów w raporcie podsumowującym projekt uwzględniono rekomendację hermetyzacji obiektów oczyszczalni w celu likwidacji

emisji bioaerolu oraz odorów [Raporty..., 2012, s. 14-27]. Zalecenia naukowców nie zostały zignorowane i do końca marca 2015 roku zrealizowany został projekt hermetyzacji czterech osadników wstępnych na terenie COŚ.

Badania przeprowadzone przez naukowców wskazują, iż w celu ograniczenia emisji bioaerolu oraz ich negatywnego wpływu na otoczenie zaleca się: ogrodzenie terenu oczyszczalni ścieków i otoczenie go pasem zieleni, oddalenie obiektu od terenów mieszkaniowych i lokalizację na zawietrznej stronie miejscowości. Ważny jest również dobór właściwej metody napowietrzania ścieków, zastosowanie osłon obiektów emitujących bioaerol oraz stabilizacja i higienizacja osadów, skratek i piasku. Ponadto ograniczenie ilości emitowanych bioaerolu przyczynia się do zmniejszenia, a nawet eliminacji powstawania pyłów i odorów, ograniczenia zagrożenia dla zdrowia ludzi oraz spadek uciążliwości zapachowej [Michałkiewicz i in., (2009), s. 141]

Wnioski

1. Hermetyzacja obiektów Oczyszczalni Ścieków w Białymstoku wpływa pozytywnie na ograniczenie migracji bioaerolu ściekowych do powietrza atmosferycznego.
2. Powietrze atmosferyczne na terenie oczyszczalni ścieków można uznać jako niezanieczyszczone lub średnio zanieczyszczone, co świadczy o skuteczności hermetyzacji w rozprzestrzenianiu się mikroorganizmów w powietrzu atmosferycznym.
3. Powietrze poza obszarem oczyszczalni nie wykazywało znacznych zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Jedynie w punkcie kontrolnym 1 powietrze było średnio zanieczyszczone pod względem ilości Promieniowców. Zanieczyszczenie wynikało z bliskiej odległości drogi gruntowej i znacznego ruchu samochodowego.
4. Przy zarządzaniu i organizacji pracy miejskich oczyszczalni ścieków należy brać pod uwagę nie tylko konieczność osiągnięcia odpowiedniej sprawności oczyszczania ścieków i prawidłowej gospodarki osadami ściekowymi, ale również aspekt społeczny jakim jest zdrowie i komfort zapachowy lokalnej społeczności.

ORCID iD

Małgorzata Rauba: <https://orcid.org/0000-0002-6310-3483>

Literatura

1. Breza-Boruta B. (2010), *Ocena mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza na terenie oczyszczalni ścieków*, Woda - Środowisko - Obszary Wiejskie, 10(3), s. 49-57.
2. Budzińska K., Jurek A., Szejniuk B., Michalska M., Wroński G. (2011), *Mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza na terenie oczyszczalni ścieków komunalnych*, Rocznik Ochrona Środowiska, 13, s. 1543-1558.
3. Budzińska K., Traczykowski A., Jurek A., Szejniuk B., Michalska M., Berleć K. (2013), *Wpływ procesów oczyszczania ścieków w technologii SBR na stan sanitarny powietrza atmosferycznego*, Rocznik Ochrona Środowiska, 15(1), s. 904-923.
4. Čapla J., Zajác P., Bajzík P., Zelenáková L., Golian J., Vietoris V. (2012), *Sanitation process optimization in relation to the microbial biofilm of Pseudomonas fluorescens*, Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 1, pp. 733-741.
5. Główny Urząd Statystyczny (GUS) Ochrona środowiska 2019, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/srodowisko/ochrona-srodowiska-2019,1,20.html> [19.04.2022].
6. Google Earth, <https://www.google.pl/intl/pl/earth/> [22.04.2022].
7. Heinonen-Tanski H., Reponen T., Koivunen J. (2009), *Airborne enteric coliphages and bacteria in sewage treatment plants*, Water Research, 43, pp. 2558-2566.
8. <https://docplayer.pl/94085534-Politechnika-wroclawska-instytut-inzynierii-ochrony-srodowiska-zaklad-ekologistyki.html> [06.05.02022].
9. Kalisz L., Kazimierzczuk M., Sałbut J. (1994), *Miejska oczyszczalnia ścieków jako źródło mikrobiologicznego zanieczyszczenia powietrza*, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 7, s. 33-55.
10. Koreferat do koncepcji hermetyzacji i dezodoryzacji wybranych obiektów oczyszczalni ścieków w Białymstoku, 2016, Pomp 4 Eko Sp. z o.o.
11. Korzeniewska E. (2011), *Emission of bacteria and fungi in the air from wastewater treatment plants – a review*, Frontiers in Bioscience, 3, pp. 393-407.
12. Krzyściak P., Skóra M., Macura A.B. (2011), *Atlas grzybów chorobotwórczych człowieka*, MedPharm Polska, Wrocław.
13. Małecka-Adamowicz M., Kubera Ł., Donderski W., Kolet K. (2017), *Microbial air contamination on the premises of the sewage treatment plant in Bydgoszcz (Poland) and antibiotic resistance of Staphylococcus spp.*, Archives of Environmental Protection, 43 (4), pp. 58-65.
14. Michałkiewicz M., Kruszelnicka I., Ginter-Kramarczyk D., Mizerna-Nowotna P. (2016), *Uciążliwość odorowa i mikrobiologiczna oczyszczalni ścieków – studium przypadku*, Ochrona Środowiska, 38(3), s. 41-48.

15. Michałkiewicz M., Pruss A., Dymaczewski Z., Jeż-Walkowiak J., Kwaśna S. (2011), *Microbiological air monitoring around municipal wastewater treatment plants* Polish Journal of Environmental Studies, 20(5), pp. 1243-1250.
16. Michałkiewicz M., Pruss A., Dymaczewski Z., Michałak J. (2009), *Wpływ hermetyzacji wybranych etapów oczyszczania ścieków na mikrobiologiczne zanieczyszczenie powietrza*, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 58(2), s. 135-143.
17. Paśmionka I.B. (2019), *Assessment of microbial contamination of atmospheric air in a selected wastewater treatment plant*, Archives of Environmental Protection, 45(4), pp. 60-67.
18. Piontek M. (1999), *Grzyby pleśniowe*, Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej, Zielona Góra.
19. PN-89/Z-04111/01:1989: Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Postanowienia ogólne i zakres normy.
20. 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.
21. 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.
22. Prażmo Z., Krysińska-Traczyk E., Skórska C., Sitkowska J., Cholewa G., Dutkiewicz J. (2003), *Exposure to bioaerosols in a municipal sewage treatment plant*, Annals of Agricultural and Environmental Medicine, 10(2), pp. 241-248.
23. Raport podsumowujący wyniki III etapów zadania "Analiza oddziaływania instalacji i urządzeń Centralnej Oczyszczalni Ścieków w Koziegłowach koło Poznania" (2012), Politechnika Wroclawska,
24. Rejmer P. (1997), *Podstawy ekotoksykologii*, Ekoinżynieria, Lublin.
25. Szulc J., Okrasa M., Majchrzycka K., Sulyok M., Nowak A., Ruman T., Nizioł J., Szponar B., Gutarowska B. (2021), *Microbiological and Toxicological Hazards in Sewage Treatment Plant Bioaerosol and Dust*, Toxins, 13(10), pp. 691-711.
26. Szyłak-Szydłowski M., Kulig A., Miąskiewicz-Pęska E. (2016), *Seasonal changes in the concentrations of airborne bacteria emitted from a large wastewater treatment plant*, International Biodeterioration & Biodegradation, 115, pp. 11-16.
27. Wiater J., Butarewicz A. (2014), *Sposoby wykorzystania osadów z Oczyszczalni Ścieków w Białymstoku*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, 17(2), s. 281-291.
28. Yang K., Li L., Wang Y., Xue S., Han Y., Liu J. (2019), *Airborne bacteria in a wastewater treatment plant: emission characterization, source analysis and health risk assessment*, Water Research, 149, pp. 596-606.

29. Zabawski J., Baran E. (1998), *Charakterystyka częściej występujących grzybów chorobotwórczych i grzybów oportunistycznych z podgromad: Zygomycotina, Ascomycotina i Deuteromycotina*, w: Baran E. (red.), *Zarys mikologii lekarskiej*, Volumed, Wrocław, s. 37-254.

Organization of the work of the municipal wastewater treatment plant in Białystok in the context of limiting microbiological pollutants released into the atmosphere

Abstract

The Municipal Sewage Treatment Plant in Białystok in 2020-2022 carried out modernization involving, among others, encapsulation and deodorization of selected facilities to reduce odor nuisance. The aim of the study was to analyze the additional benefit of the measures taken, which is the reduction of potentially harmful bioaerosol emissions during the wastewater treatment process. Research were carried out at the Sewage Treatment Plant in Białystok to determine the number of microorganisms in the air after the modernization. On the basis of the results obtained, it was found that the air at the sewage treatment plant is unpolluted and moderately polluted in terms of microbiology. In addition, the presence of bacteria *Pseudomonas fluorescens*, Actinomycetes, yeasts of the genus *Rhodotorula* and spores of pathogenic fungi *Aspergillus* was detected.

Key words

sewage treatment plant, work organisation, microbiological contamination, containment