

**POLITECHNIKA WARSZAWSKA**

**Wydział Inżynierii Środowiska**

**ROZPRAWA DOKTORSKA**

**mgr inż. Radosław Barczak**

**Analiza porównawcza olfaktometrii terenowej**

**z innymi metodami badawczymi**

**w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków**

Promotor  
Prof. nzw. dr hab. inż. Andrzej Kulig

Warszawa, 2014 r.



Autor składa serdeczne podziękowania wszystkim tym, którzy się przyczynili do powstania niniejszej dysertacji i bez których tej pracy by nie było. W szczególności prof. Andrzejowi Kuligowi oraz całemu Zespołowi Ochrony Powierzchni Ziemi, a także rodzinie i przyjaciołom.



## Streszczenie

Celem pracy pt. *Analiza porównawcza olfaktometrii terenowej z innymi metodami badawczymi w ocenie oddziaływania oczyszczalni ścieków* było zaproponowanie rozwiązań metodycznych do procedur ocen oddziaływania na środowisko oraz przepisów prawnych. Została postawiona teza, że metoda bezpośredniej olfaktometrii dynamicznej z użyciem olfaktometru terenowego może być stosowana w procedurach oceny oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków. Cel pracy był realizowany poprzez wykonanie porównań sensorycznych i analitycznych metod badania stężenia zapachowego oraz stężeń odorantów.

Dodatkowo praca umożliwiła pogłębienie i rozszerzenie wiedzy nt. metod badawczych, stosowanych w ocenach oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków. Została zbadana możliwość stosowania wybranych metod badawczych w zależności od: rodzaju badanych źródeł odorów, wartości stężeń zapachowych i stężeń wybranych odorantów oraz warunków atmosferycznych.

Na podstawie przeglądu literaturowego zebrano informacje o metodach badawczych, wykorzystywanych w ocenie oddziaływania zapachowego różnych źródeł odorantów, w tym głównie obiektów oczyszczalni ścieków komunalnych. Próba ich sklasyfikowania została przedstawiona w formie graficznej.

W pracy wykorzystano pięć różnych metod pomiarowych, stosowanych w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych: pomiary stężenia zapachowego metodą olfaktometrii bezpośredniej (terenowej) z wykorzystaniem olfaktometru terenowego Nasal Ranger®, pomiary stężenia zapachowego metodą olfaktometrii niebezpośredniej, pomiary intensywności zapachu metodą oceny sensorycznej oraz pomiary odorantów metodą kolorymetryczną i chromatograficzną.

Do badań wybrano oczyszczalnie ścieków komunalnych: mechaniczno-biologiczne i mechaniczno-biologiczno-chemiczne. Są to najczęściej spotykane oczyszczalnie ścieków w Polsce. Badania przeprowadzono na terenie dwóch dużych ( $Q_{\text{sr}} > 100000 \text{ m}^3/\text{d}$ ) oraz trzech średnich ( $200 < Q_{\text{sr}} < 100000 \text{ m}^3/\text{d}$ ) oczyszczalni ścieków. We wszystkich oczyszczalniach ścieków występował problem uciążliwości zapachowej. W jednej oczyszczalni ścieków prowadzono badania w niestandardowych warunkach, podczas jej modernizacji.

Punkty receptorowe były wybierane w pomieszczeniach zamkniętych, stanowiących obiekty ciągu technologicznego i w pobliżu otwartych obiektów ciągu technologicznego, najbardziej znaczących pod względem uciążliwości zapachowej. Lokalizacje punktów

receptorowych zostały określone na podstawie wizji lokalnej, rozmów z pracownikami oczyszczalni ścieków oraz po uwzględnieniu warunków meteorologicznych występujących w dniu pomiarów.

Poszczególne metody badawcze mają ograniczone zakresy stosowalności. W pracy wskazano zalety i wady analizowanych metod badawczych, wykorzystywanych w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków. Na przykład, normowana metoda niepośredniej olfaktometrii dynamicznej nie znajduje zastosowania do oznaczania małych stężeń odorantów, poniżej 10 ou/m<sup>3</sup>. Małe stężenia odorantów można oznaczać metodą bezpośredniej olfaktometrii dynamicznej, z wykorzystaniem olfaktometru terenowego. Na podstawie wykonanych badań, przy przyjętych założeniach, nie można wskazać jednoznacznych zależności między wynikami uzyskanymi poszczególnymi metodami badawczymi stosowanymi w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych.

W wyniku studiów literaturowych oraz badań, przeprowadzonych na pięciu oczyszczalniach ścieków komunalnych, zaproponowano procedurę pomiarów stężeń zapachowych olfaktometrem terenowym w oczyszczalniach ścieków komunalnych i ich otoczeniu. Powinna się ona składać z 3 głównych etapów: przygotowania badań, przeprowadzenia pomiarów terenowych oraz opracowania wyników i raportu z badań. Procedura ta może być wykorzystywana w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków.

## **Comparative Analysis of Field Olfactometry with Other Research Methods in the Odour Impact Assessment of Wastewater Treatment Plants**

### **Summary**

The aim of this dissertation entitled *Comparative Analysis of Field Olfactometry with Other Research Methods in the Odour Impact Assessment of Wastewater Treatment Plants* was to perform comparisons of sensory and analytical methods of odour concentration and concentrations of odorants in order to propose a methodology for odour impact assessment of wastewater treatment plants.

In addition, work was to enable to deepen and extend knowledge about research methods used in odour impact assessment of wastewater treatment plants. Was studied the possibility of using the methods depending on the type of test sources, odour or odorants concentrations and meteorological conditions.

Based on literature review were collected informations about the research methods used in odour impact assessment of different sources, mainly facilities of wastewater treatment plants. An attempt was made to classify them in graphical form.

In the study were compared five different measurement methods used in odour impact assessment of wastewater treatment plants: measurements of odour concentration using direct (field) olfactometry with Nasal Ranger® field olfactometer, measurements of odour concentration using delayed olfactometry according to PN:EN 13725 standard, measurement of odour intensity using sensory evaluation and measurement of odorants using colorimetric methods and chromatography methods.

Were selected wastewater treatment plants: mechanical-biological and mechanical-biological-chemical. Among the wastewater treatment plants these are the most common objects in Poland. The study was conducted in two large wastewater treatment plants ( $Q_{\text{sr}} > 100000 \text{ m}^3/\text{d}$ ) and three medium ( $200 < Q_{\text{sr}} < 100000 \text{ m}^3/\text{d}$ ). In all objects there were problems with odour nuisance. At one wastewater treatment plant the research was conducted at nonstandard conditions, during the modernization of the object.

Receptor points were selected inside in closed facilities of technological line and near the open facilities which were the most significant in terms of the odour nuisance. Locations of receptor points were determined on the basis of the site visit, interviews with employees of the wastewater treatment plant and taking into account the meteorological conditions occurring during the measurements.

Different research methods have limited range of applicability. In the paper analyzed the advantages and the disadvantages of the research methods used in the odour impact assessment of wastewater treatment plants. For example, the standardized delayed dynamic olfactometry method is not applicable to the determination of low odour concentrations, below  $10 \text{ ou/m}^3$ , which are most likely occur at some distance from the source. Small odour concentrations can be determined by the direct dynamic olfactometry using field olfactometer. On the basis of the research, in the adopted assumptions, it is impossible to specify explicit dependencies between results obtained from different research methods used in odour impact assessment of wastewater treatment plants.

Based on the literature studies and experiments carried out on five municipal wastewater treatment plants proposed the procedure for measurement of odour concentrations using field olfactometer in municipal wastewater treatment plants and their surroundings. The proposed procedure should be composed of three main steps: research preparation, conduct field measurement and analysis of results and develop a research report. This procedure could be used for odour impact assessment of municipal wastewater treatment plants.



## Spis treści

	str.
1. Wstęp .....	14
2. Charakterystyka metod badawczych, wykorzystywanych w ocenie oddziaływania zapachowego.....	17
2.1. Kategorie metod badawczych, stosowanych w ocenie oddziaływania zapachowego .....	17
2.2. Metody olfaktometryczne.....	17
2.2.1. Rys historyczny olfaktometrii dynamicznej .....	17
2.2.2. Charakterystyka olfaktometrii dynamicznej.....	18
2.2.3. Dynamiczna olfaktometria niebezpośrednia .....	20
2.2.4. Olfaktometria terenowa .....	23
2.2.5. Olfaktometria statyczna.....	25
2.3. Skalowanie intensywności zapachu .....	26
2.4. Metody chemii analitycznej w ocenie oddziaływania zapachowego .....	29
2.4.1. Możliwości wykorzystania metod chemii analitycznej w ocenie oddziaływania zapachowego .....	29
2.4.2. Klasyczne metody chemii analitycznej.....	31
2.4.3. Chromatografia .....	32
2.5. Terenowe pomiary zapachowej jakości powietrza, nie wymagające pobierania próbek .....	34
2.6. Badania ankietowe.....	36
2.6.1. Charakterystyka badań ankietowych.....	36
2.6.2. Badania ankietowe, przeprowadzane wśród mieszkańców na obszarach wokół źródła emisji odorów.....	37
2.6.3. Badania ankietowe metodą CATI.....	38
2.7. Analiza przyczyn skarg ludności .....	39
2.8. Modelowanie rozprzestrzeniania się odorów.....	39
2.9. Określanie stężenia substancji zapachowych w ściekach.....	42
2.10. Metody czujnikowe .....	43
2.11. Klasyfikacja metod badawczych, stosowanych w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych.....	44
2.12. Wnioski, wynikające z przeglądu literaturowego .....	46

3.	Koncepcja badań porównawczych wybranych metod badawczych .....	48
3.1.	Cel, teza i zakres pracy .....	48
3.2.	Zasady doboru metod badawczych .....	50
3.3.	Zakładane rezultaty badań .....	50
4.	Charakterystyka metod badawczych, wykorzystanych w pracy .....	52
4.1.	Uzasadnienie wyboru porównywanych metod pomiarowych .....	52
4.2.	Olfaktometria terenowa .....	53
4.3.	Olfaktometria niebezpośrednia .....	59
4.4.	Skalowanie intensywności zapachu .....	63
4.5.	Kolorymetryczne oznaczanie siarkowodoru i amoniaku .....	64
4.5.1.	Metodyka badania stężeń gazów w powietrzu .....	64
4.5.2.	Metodyka oznaczania siarkowodoru .....	65
4.5.3.	Metodyka oznaczania amoniaku .....	66
4.6.	Chromatograficzne badanie związków siarki .....	67
4.6.1.	Metodyka oznaczania stężeń związków siarki przenośnym chromatografem Photovac Voyager .....	67
4.6.2.	Kalibracja przenośnego chromatografu Photovac Voyager .....	69
4.6.3.	Metodyka oznaczania stężeń związków siarki metodą GC-MS .....	70
4.7.	Kontrola warunków meteorologicznych .....	70
5.	Opis badanych oczyszczalni ścieków .....	73
5.1.	Zasady wyboru badanych obiektów i punktów receptorowych .....	73
5.2.	Oczyszczalnia Ścieków „Czajka” w Warszawie .....	76
5.3.	Oczyszczalnia Ścieków w Mińsku Mazowieckim .....	77
5.4.	Oczyszczalnia Ścieków w Rybieniu Starym koło Wyszkowa .....	78
5.5.	Wrocławska Oczyszczalnia Ścieków „Janówek” we Wrocławiu .....	80
5.6.	Oczyszczalnia Ścieków „Piaseczno” .....	82
6.	Analiza wyników badań z zastosowanych metod badawczych .....	84
6.1.	Analiza porównawcza wyników badań uzyskanych wybranymi metodami pomiarowymi .....	84
6.2.	Uzeregowanie obiektów ciągów technologicznych oczyszczalni ścieków pod względem wartości stężeń odorów i odorantów .....	91
6.3.	Analiza stabilności składu analizowanych próbek powietrza w czasie .....	96
6.4.	Analiza kosztów pomiarów olfaktometrycznych .....	97

7. Dyskusja wyników badań porównawczych .....	99
8. Propozycja wykorzystania olfaktometrii terenowej w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych.....	102
8.1. Propozycja procedury pomiarów stężeń zapachowych w oczyszczalniach ścieków komunalnych i ich otoczeniu za pomocą olfaktometru terenowego .....	102
8.2. Zastosowanie zaproponowanej procedury pomiarów olfaktometrycznych OT w oczyszczalni ścieków komunalnych.....	108
9. Wnioski.....	129
Bibliografia.....	132
Wykaz norm i przepisów prawnych .....	145
Spis tabel .....	148
Spis rysunków.....	149
Załączniki .....	153

## Wykaz oznaczeń i skrótowców:

ASTM	–	Amerykańskie Stowarzyszenie ds. Badań I Materiałów (z j. ang. American Society for Testing and Materials);
C <sub>Od,OT</sub>	–	stężenie zapachowe, otrzymane metodą olfaktometrii terenowej [ou/m <sup>3</sup> ];
C <sub>Od,E</sub>	–	stężenie zapachowe, otrzymane metodą olfaktometrii niebezpośredniej [ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ];
C <sub>NH3</sub>	–	stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ];
C <sub>NH3pr</sub>	–	stężenie amoniaku zaabsorbowanego w 0,005 M kwasie siarkowym stanowiącym filtr selektywny [μg/próbkę];
C <sub>H2S</sub>	–	stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ];
C <sub>H2Spr</sub>	–	stężenie siarkowodoru zaabsorbowanego w 2% roztworze octanu cynku stanowiącym filtr selektywny [μg/próbkę];
DMS	–	siarczek dimetylu;
DMDS	–	disiarczek dimetylu;
D/T	–	stosunek strumienia oczyszczonego i zanieczyszczonego, Dilution to Threshold, stopień rozcieńczenia w olfaktometrze terenowym Nasal Ranger® [-];
E	–	natężenie emisji [ilość zanieczyszczenia/s];
GC	–	chromatografia gazowa;
GC-MS	–	chromatografia gazowa ze spektrometrią mas;
GC-MS/O	–	chromatografia gazowa ze spektrometrią mas, sprzężona z olfaktometrią;
GC-PID	–	chromatografia gazowa z detektorem fotojonizacyjnym;
H	–	efektywna wysokość źródła emisji [m];
MD-GC-MS/O	–	wielowymiarowa chromatografia gazowa ze spektrometrią mas sprzężona z olfaktometrią;
OGK	–	obiekty gospodarki komunalnej;
OIRS	–	skala intensywności zapachu wzorców n-butanolowych (z j. ang. <i>Odor Intensity Referencing Scale</i> );
OOZ	–	ocena oddziaływania zapachowego;

OT	–	olfaktometr terenowy;
$\text{ou}/\text{m}^3$	–	jednostka zapachowa [-];
$\text{ou}_E/\text{m}^3$	–	europańska jednostka zapachowa (zgodnie z normą PN:EN 13725) [-];
P	–	pole powierzchni źródła emisji [ $\text{m}^2$ ];
$Q_{\text{max.d.}}$	–	maksymalny dobowy przepływ ścieków [ $\text{m}^3/\text{d}$ ];
$Q_{\text{śr.d.}}$	–	średni dobowy przepływ ścieków [ $\text{m}^3/\text{d}$ ];
RLM	–	równoważna liczba mieszkańców;
$S(t,x,y,z)$	–	stężenie zanieczyszczenia w chwili t w punkcie pomiarowym o współrzędnych prostokątnych x, y, z [ilość zanieczyszczenia/ $\text{m}^3$ ];
SPME	–	mikroekstrakcja do fazy stacjonarnej;
t	–	czas [s];
TD-GC-MS	–	chromatografia gazowa ze spektrometrią mas i termiczną desorpcją;
u	–	prędkość wiatru [ $\text{m}/\text{s}$ ];
$V_{\text{czyste}}$	–	strumień gazu oczyszczonego [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];
$V_{\text{surowe}}$	–	strumień gazu surowego [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];
x	–	współrzędna przestrzenna pozioma, zgodna z kierunkiem wiatru [m];
y	–	współrzędna przestrzenna pozioma, prostopadła do kierunku wiatru [m];
z	–	współrzędna przestrzenna pionowa [m];
Z	–	stopień rozcieńczenia [-];
$Z_{\text{ITE}}$	–	ocena progu indywidualnego, wyrażona jako stopień rozcieńczenia [-];
$Z_{\text{TAK}}$	–	stopień rozcieńczenia, przy którym zapach jest wyczuwalny [-];
$Z_{\text{NIE}}$	–	stopień rozcieńczenia, przy którym zapach nie jest wyczuwalny, odpowiadający ustawieniu poprzedzającemu ustawienie, przy którym zapach jest wyczuwalny [-];
$z_0$	–	wysokość aerodynamicznej szorstkości terenu [m];
$\alpha$	–	szybkość przemian fizycznych lub chemicznych zanieczyszczenia w powietrzu atmosferycznym [ $1/\text{s}$ ];
$\beta$	–	szybkość pochłaniania zanieczyszczenia przez podłoże;
$\gamma$	–	gradient temperatury [ $^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ].

## 1. Wstęp

Na terenie Polski znajduje się ponad 2000 oczyszczalni ścieków komunalnych o przepływie dobowym ścieków powyżej 100 m<sup>3</sup>/dobę (Główny Urząd Statystyczny 2012) i około 1000 obiektów gospodarki odpadami (Kulig i wsp. 2010). Ze względu na wymagania względem środowiska, przepisy prawne, zarówno polskie [1], jak i Unii Europejskiej [2], oraz opłaty za wprowadzanie ścieków do wód i do ziemi [3, 4], ilość oczyszczalni ścieków komunalnych stale wzrasta.

Instalacje te, z jednej strony ze względu na swoje funkcje, a z drugiej ze względu na budowę osiedli mieszkalnych w lokalizacjach coraz bliższych oczyszczalniom, bardzo często znajdują się w bliskim sąsiedztwie miejsc bytowania ludzi. Wzrost świadomości ekologicznej społeczeństwa oraz obniżanie standardów życia przez uciążliwość zapachową oczyszczalni ścieków powoduje, że ludność zamieszkująca tereny w pobliżu tych obiektów wyraża coraz większe zainteresowanie prawem do czystego powietrza, pozbawionego odorów (Cheng, Peterkin i Burlingame 2007). W większości krajów rozwiniętych i rozwijających się wzrasta liczba skarg na uciążliwość zapachową zakładów przemysłowych, ferm hodowlan czy obiektów gospodarki komunalnej (OGK), w tym oczyszczalni ścieków (Latos i wsp. 2011). W Polsce, w latach 2006-2012, udział skarg ludności dotyczących uciążliwości zapachowej w ogólnej liczbie spraw z zakresu ochrony powietrza wzrósł z 34% do 66%, zaś ich liczba wzrosła ponad dwukrotnie (Kulig, Szyłak-Szydłowski 2013). Udział skarg na OGK w ogólnej liczbie skarg na główne źródła uciążliwości zapachowej, zgłoszonych do Mazowieckiego Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska, wzrósł z 21 % w 2006 roku do 39 % w 2012 roku.

Prawie wszystkie OGK są potencjalnie uciążliwe zapachowo, jednak na szczególną uwagę zasługują oczyszczalnie ścieków komunalnych. Proces oczyszczania ścieków przebiega wieloetapowo. Obiekty ciągu technologicznego są różnymi typami źródeł odorantów, m.in. źródła punktowe, powierzchniowe, niezorganizowane, okresowe (Stuetz, Frechen 2001). Wielkość i charakterystyka smugi zanieczyszczeń zapachowych z obiektów oczyszczalni ścieków jest uzależniona nie tylko od etapu oczyszczania ścieków, ale również od składu ścieków dopływających, a ten jest zmienny w czasie. Wpływ na ilość i skład emitowanych odorantów ma również zastosowana technologia. Wiele oczyszczalni ścieków jest

przebudowywanych, m.in. w celu ograniczenia emisji odorów. Zastosowane metody, ograniczające oddziaływanie zapachowe, często nie przynoszą spodziewanych skutków (Cheng, Peterkin i Burlingame 2007). Uciążliwość zapachowa oczyszczalni ścieków wzrasta wraz ze wzrostem temperatury i wilgotności powietrza oraz w stanie stałej równowagi atmosfery (Stellacci i wsp. 2010). Ilość parametrów, wpływających na uciążliwość zapachową oczyszczalni ścieków komunalnych, powoduje, że ocena oddziaływania zapachowego (OOZ) tych obiektów jest trudna. Mimo to problematyka oddziaływania na otoczenie substancji zapachowych musi być i jest uwzględniana w ocenach środowiskowych OGK (Kulig 2004a). Minimalizacja oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków jest jednym z większych wyzwań branży ściekowej (Koe, Liang i Stuetz 2004).

W Polsce brak jest uregulowań prawnych oraz zaleceń metodycznych wykorzystywanych w OOZ. Ze względu na skomplikowaną zależność między stężeniem poszczególnych związków chemicznych i rodzajem odorantów w powietrzu, warunkami meteorologicznymi, topograficznymi a indywidualną wrażliwością węchową poszczególnych osób, przyjęcie właściwej metodyki określania stężeń odorów w powietrzu od kilkunastu lat jest przedmiotem licznych dyskusji i sporów w środowisku naukowym i organach administracji publicznej (Kapusta 2007). Z jednej strony brak uregulowań prawnych w dziedzinie uciążliwych zapachów stanowi bez wątpienia podstawowe ograniczenie przy próbie zastosowania metod oceny uciążliwości zapachowej w Polsce (Sówka, Nych i Zwoździak 2011), a z drugiej brak referencyjnych metod pomiaru odorów uniemożliwia opracowanie odpowiednich przepisów prawnych. W celu opracowania przepisów prawnych i norm metodycznych konieczne jest wypracowanie metod mierzenia odorów (Stellacci i wsp. 2010). Ograniczony zakres Polskich Norm w dziedzinie odorymetrii powoduje stosowanie różnorodnych metod oceny uciążliwości zapachowej zarówno obiektów komunalnych, jak i przemysłowych. Równocześnie brak przepisów normujących oddziaływanie odorantów powoduje brak skutecznych decyzji, nakazujących ograniczenie emisji/unosu substancji uciążliwych zapachowo, oraz nieskuteczność organów ochrony środowiska w zwalczaniu odorów (Kulig 2004b). Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku Prawo Ochrony Środowiska [1] przewiduje wprowadzenie standardów zapachowej jakości powietrza i określenie metody oceny zapachowej jakości powietrza. Kolejne projekty rozporządzeń oraz ustawy o przeciwdziałaniu uciążliwości zapachowej są jednak odrzucane na etapie konsultacji.

Celem niniejszej pracy było wykonanie porównań sensorycznych i analitycznych metod badania stężenia zapachowego oraz stężeń odorantów w celu zaproponowania metodyki służącej do oceny oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków. Metodyka ta mogłaby służyć jako propozycja zastosowania rozwiązań metodycznych do procedur oceny oddziaływania na środowisko oraz przepisów prawnych w Polsce.

Wykonane w ramach pracy badania miały na celu udowodnienie tezy pracy doktorskiej w brzmieniu: „Metoda bezpośredniej olfaktometrii dynamicznej z użyciem olfaktometru terenowego może być stosowana w procedurach oceny oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków”.

Ponadto rezultaty pracy miały umożliwić udzielenie odpowiedzi na pytania, czy stosowanie jednej z analizowanych metod badawczych jest wystarczające do oceny oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków oraz czy wszystkie zastosowane metody badawcze prowadzą do takich samych wniosków w ocenie oddziaływania zapachowego.

Dodatkowo praca miała umożliwić pogłębienie i rozszerzenie wiedzy nt. metod badawczych stosowanych w ocenach oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków. Zbadana została możliwość stosowania wybranych metod w zależności od rodzaju badanych źródeł emisji, wartości stężeń zapachowych czy stężeń wybranych odorantów oraz warunków atmosferycznych.



## **2. Charakterystyka metod badawczych, wykorzystywanych w ocenie oddziaływania zapachowego**

### **2.1. Kategorie metod badawczych, stosowanych w ocenie oddziaływania zapachowego**

W ocenie oddziaływania zapachowego stosowane są różne metody badawcze. Należy rozróżnić trzy podstawowe kategorie metod pomiarowych (Gostelow, Parsons i Stuetz 2001, Schulz, van Harreveld 1996):

- Sensoryczne, w których „czujnikiem” jest nos ludzki – może być mierzone np. stężenie zapachowe, jakość hedoniczna zapachu, częstotliwość występowania. Nos ludzki wykorzystywany jest np. w olfaktometrii dynamicznej, badaniach terenowych, skalowaniu intensywności zapachu. Wykonywane są pomiary odorów;
- Analityczne, w których mierzone są stężenia poszczególnych związków chemicznych przy zastosowaniu różnych metod chemii analitycznej, np. kolorymetrii, chromatografii. Wykonywane są pomiary odorantów;
- Sensoryczno-instrumentalne, w których próbuje się symulować nos ludzki za pomocą zespołu czujników, np. elektroniczny nos. Wykonywane są zarówno pomiary odorantów, jak i odorów.

W OÖZ stosuje się metody badawcze oparte na pomiarach bezpośrednich lub w oparciu o modelowanie dyspersji zanieczyszczeń w powietrzu (Witherspoon, Barnes 2004). Pomiary bezpośrednie wykonywane mogą być w źródle - pomiary emisji, unosu odorów lub odorantów oraz w pewnej odległości od źródła - pomiary imisji. Modelowanie dyspersji zanieczyszczeń w powietrzu bazuje na wynikach pomiarów emisyjnych lub też, w celu rozwiązania odwrotnego zadania transportu, na wynikach imisyjnych.

### **2.2. Metody olfaktometryczne**

#### **2.2.1. Rys historyczny olfaktometrii dynamicznej**

Początki olfaktometrii sięgają lat dziewięćdziesiątych XIX wieku, kiedy pierwsze pomiary stężenia zapachowego wykonywane były przez Fischera i Penzoldta (Young 1916).

Jednakże dopiero prawie wiek później w Danii podjęto prace nad wykorzystaniem olfaktometrii w zastosowaniach środowiskowych (Schulz, van Harreveld 1996). W czasach wzrostu ilości regulacji prawnych, dotyczących środowiska w krajach europejskich, Australii i USA, zaczęto pracować nad normami metodycznymi mierzenia odorów. Pierwsze dokumenty, standaryzujące olfaktometrię dynamiczną, zostały opracowane w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku w Stanach Zjednoczonych (McGinley, McGinley 2001) przez Amerykańskie Stowarzyszenie Badań i Materiałów [5] oraz w Niemczech przez Stowarzyszenie Inżynierów Niemieckich [6]. Również inne kraje zaczęły interesować się metodami pomiaru odorów (Boholt 1992; Walpot 1992; McGinley, Mann 1998; Jiang 2001). Dokumenty normalizacyjne i przepisy prawne zaczęły wprowadzać m.in. Francja [7], Holandia [8] i Dania [9].

W latach dziewięćdziesiątych XX wieku Europejski Komitet Normalizacyjny utworzył Komitet Techniczny, którego celem było opracowanie normy dotyczącej olfaktometrii dynamicznej. W 2001 roku powstała norma europejska EN 13725: Air Quality – Determination of Odour Concentration by Dynamic Olfactometry, unifikująca standardy olfaktometryczne 18 krajów (Austrii, Belgii, Danii, Finlandii, Francji, Grecji, Niemiec, Islandii, Irlandii, Włoch, Luksemburga, Holandii, Norwegii, Portugalii, Hiszpanii, Szwecji, Szwajcarii i wielkiej Brytanii) (McGinley, McGinley 2001). Aktualnie Norma EN 13725 jest jedyną obowiązującą normą europejską, dotyczącą olfaktometrii. W 2007 roku została przetłumaczona na język polski i uzyskała status Polskiej Normy [10].

### **2.2.2. Charakterystyka olfaktometrii dynamicznej**

W olfaktometrii dynamicznej rolę czujnika odgrywa nos ludzki. Olfaktometryczne pomiary stężeń odorów polegają na określeniu, jakie rozcieńczenie badanego gazu czystym powietrzem doprowadza do osiągnięcia stężenia odpowiadającego progowi węchowej wyczuwalności. Próg węchowej wyczuwalności dla próbek środowiskowych jest definiowany jako stopień rozcieńczenia próbki, przy którym prawdopodobieństwo jej wyczucia w warunkach pomiaru wynosi 0,5, czyli gdy zapach wyczuwany jest przez 50% reprezentatywnej grupy ludzi. Stężenie progowe jest ściśle związane z definicją jednostki zapachowej (ang. *ou* - *odour unit*), która jest definiowana jako ilość zanieczyszczenia znajdującego się w metrze sześciennym powietrza w chwili osiągnięcia progu wyczuwalności.

Analizy olfaktometryczne wykonuje się przy pomocy urządzeń zdolnych mieszać w określonych stosunkach strumienie powietrza zanieczyszczonego i czystego. Różne typy olfaktometrów umożliwiają wykonywanie jednego lub kilku różnych testów sensorycznych. Na rynku dostępne są olfaktometry jednostanowiskowe i kilkustanowiskowe – umożliwiające równoczesną prezentację serii rozcieńczeń dwóm, czterem, sześciu lub ośmiu osobom. Różnice konstrukcyjne dotyczą również zakresu pomiarowego, możliwości automatycznej kalibracji itp. Na rysunkach 2-1 i 2-2 przedstawione są dwa różne olfaktometry, odpowiednio olfaktometr T08 wyprodukowany przez firmę ECOMA oraz olfaktometr AC'SCENT International Olfactometer firmy St. Croix Sensory.



**Rys. 2-1** Pomiary olfaktometryczne olfaktometrem T08 wyprodukowanym przez firmę Ecoma (Hohenstein Institute)  
**Fig. 2-1** Olfactometric measurement T08 olfactometer manufactured by Ecoma (Hohenstein Institute)



**Rys. 2-2** Pomiary olfaktometryczne olfaktometrem AC'SCENT International Olfactometer firmy St. Croix Sensory (Dr. Albert J. Heber, Purdue University, West Lafayette, IN, USA)  
**Fig. 2-2** Olfactometric measurement AC'SCENT International Olfactometer manufactured by St. Croix Sensory (Dr. Albert J. Heber, Purdue University, West Lafayette, IN, USA)

Olfaktometr TO7, wyprodukowany przez firmę ECOMA, umożliwia wykonywanie testów „tak/nie”. Oceniający porównują zapach próbki z zapachem powietrza odniesienia, sygnalizując „tak”, gdy czują różnicę. Nowsze olfaktometry dynamiczne umożliwiają – dodatkowo – wykonywanie różnych testów różnicowych (kilka wylotów gazu przy jednym stanowisku). Zadaniem oceniających może być wskazanie wylotu, z którego – w danej chwili – wypływa strumień z odorantami, np.:

- jednego z dwóch prezentowanych („test parzysty”),
- jednego z trzech prezentowanych („test trójkątowy”),

- dwóch z pięciu prezentowanych (test „dwa z pięciu”).

W celu zwiększenia wiarygodności badań olfaktometrycznych uwzględnia się wyniki uzyskane nie od jednej, ale od większej ilości osób. Ponadto z ogólnej populacji ludzi powinny być wybierane osoby o określonych charakterystycznych cechach. Zaleca się, aby ich reakcje były w ciągu jednego dnia i z dnia na dzień tak stałe, jak to tylko możliwe. Procedura wyboru osób, mających być członkami zespołu, jest szczegółowo opisana w normie PN-EN 13725:2007 [10]. Aby zapewnić powtarzalność wyników, wrażliwość węchowa osób oceniających powinna mieścić się wewnątrz pasma o określonej szerokości, znacznie węższego niż zmienność w populacji. Aby osiągnąć ten cel, wybierani są oceniający o określonej wrażliwości na n-butanol - odorant odniesienia.

Wynikiem analizy sensorycznej, jaką jest olfaktometria dynamiczna, jest wartość liczbowa, przy czym możliwe jest określenie dokładności, powtarzalności i odtwarzalności wyników pomiarów (Kośmider 2000). Jest to możliwe dzięki selekcji panelu wraz z regularną weryfikacją zgodności węchu oceniających z kryteriami selekcji (Krajewska, Kośmider 2005). Przy zachowaniu odpowiednich kontrolowanych warunków, opisanych w normie, pomiary sensoryczne mogą być źródłem wiarygodnych informacji (Latos i wsp. 2011).

W obrębie Unii Europejskiej zastosowanie olfaktometrii dynamicznej w ocenie oddziaływania zapachowego obiektów komunalnych i przemysłowych staje się coraz powszechniejsze. Wzrasta liczba próbek powietrza, zanieczyszczonego odorami, badanych metodą olfaktometrii dynamicznej zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 13725:2007. Wzrasta zatem liczba osób oceniających.

Dokładny wpływ odorów na zdrowie nie jest do końca poznany. Tylko część odorantów, na przykład benzen, jest przebadana pod kątem wpływu na zdrowie ludzkie. Odory z oczyszczalni ścieków nie są kancerogenne, jednak ich wpływ na zdrowie ludzkie nie jest obojętny i ma charakter negatywny (Guillot 2012, Capelli i wsp. 2012b). Powinny zostać opracowane specjalne procedury, mające na celu ochronę zdrowia osób oceniających (Guillot 2012).

### **2.2.3. Dynamiczna olfaktometria niebezpieczna**

Obiektywne określenie stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej w próbce gazowej ze źródeł punktowych, źródeł powierzchniowych ze strumieniem zewnętrznym oraz źródeł powierzchniowych bez strumienia zewnętrznego jest przedmiotem

normy PN-EN 13725:2007 [10]. Procedura pomiaru stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej, zgodnie z normą PN-EN 13725:2007, została opisana m.in. przez Kośmider (Kośmider 2007).

Metodyki zawarte w normie dotyczą między innymi pomiaru stężenia zapachowego, pomiaru progów węchowej wyczuwalności pojedynczych substancji odorantów, pobierania próbek odorantów z emitowanych gazów o wysokiej wilgotności i temperaturze, określenia skuteczności urządzeń stosowanych w celu zmniejszenia emisji odorantów. Norma nie określa jednoznacznie sposobu pobierania próbek powietrza ze wszystkich typów źródeł. Niewystarczająco opisane są metodyki pobierania próbek powietrza z powierzchniowych źródeł pasywnych (Barczak 2010). Zakres normy ogranicza się do opisu materiałów, z jakich mogą być wykonywane urządzenia i pojemniki do pobierania i transportu próbek oraz metody napełniania pojemników na próbki. Brak jest natomiast wytycznych dotyczących konstrukcji urządzeń do pobierania próbek, ich wielkości, kształtu i parametrów eksploatacyjnych (np. prędkości przepływu strumienia powietrza w urządzeniu).

Błędy pomiarowe, które mogą wpłynąć na wynik w metodzie olfaktometrii niebezpośredniej, wynikają m.in. ze zmiennej w czasie percepcji osób oceniających, pracy poszczególnych elementów olfaktometru stacjonarnego, np. przepływomierza, różnic w materiałach, z jakich wykonane są pojemniki do pobierania próbek, czasu przetrzymania próbki od momentu jej pobrania do analizy i różnych sposobów pobierania próbek powietrza.

Norma PN-EN 13725:2007 określa wymagania dotyczące jakości wykonania pełnego pomiaru olfaktometrycznego metodą sensoryczną. W normie przedstawiono kryteria jakości dla olfaktometrów oraz funkcjonowania laboratorium olfaktometrycznego, czyli kryteria dokładności i precyzji pomiarów. Ponadto, dla urządzeń rozcieńczających, wyznaczana jest niestabilność olfaktometru. W normie zawarto również wymagania dotyczące kalibracji czujnika pomiaru sensorycznego, jakim jest zespół osób oceniających zapach z użyciem odorantu odniesienia. Odtwarzalność wyników pomiarów, czyli precyzja wyników pomiarów uzyskanych w różnych laboratoriach olfaktometrycznych, została zapewniona przez ustanowienie przyjętej wartości odniesienia dla n-butanolu jako materiału odniesienia.

Sformułowanie parametrów jakości i ustalenie kryteriów sprawności dla pomiaru sensorycznego i stosowanych olfaktometrów zapewnia spełnienie wymagań jakościowych takich samych, jak dla innych metod analitycznych, chemicznych lub fizycznych.

Wyniki, uzyskane metodą olfaktometrii dynamicznej dla tego samego pasywnego źródła powierzchniowego, mogą być różne dla próbek pobieranych różnymi metodami i przy pomocy różnych urządzeń (Navaratnasamy, Feddes i Edeogu 2004; Hudson, Ayoko 2008; Hudson i wsp. 2009; Bokowa 2010). Podczas interpretacji wyników pomiarów, przy braku dokładnego określenia sposobu pobierania próbek, błędy pomiarowe wynikające z procedury badań olfaktometrycznych mogą mieć marginalne znaczenie (Guillot 2012). Pomimo obowiązującej normy PN-EN 13725:2007, dwie trzecie europejskich laboratoriów, posiadających akredytację na wykonywanie analiz olfaktometrycznych, nie spełnia wymagań precyzji i dokładności (Harreveld, Mannebeck i Maxeiner 2008). Wyniki analizy badań olfaktometrycznych tych samych próbek powietrza, uzyskane w różnych laboratoriach, mogą się różnić nawet 27-krotnie (Jonassen i wsp. 2012).

Metody oznaczania stężenia zapachowego przez wybrany zespół oceniających, wskazane w normie PN-EN 13725:2007 Jakość powietrza – Oznaczenie stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej [10], są kosztowne, wymagają odpowiedniego, również kosztownego, specjalistycznego wyposażenia pracowni odorymerycznych, zaangażowania stałej obsługi oraz odpowiednio przygotowanych i regularnie kontrolowanych osób o właściwej wrażliwości węchowej, stanowiących panel osób oceniających (Kośmider 2000).

Próbki analizowanego gazu oznaczane są w laboratorium po czasie nie przekraczającym 30 godzin od momentu pobrania. Błędy, wynikające ze zmiany składu chemicznego próbki, są jednak nie do uniknięcia (Kośmider 2005). Metoda, opisana w normie PN-EN 13725:2007, jest zalecana do oznaczeń dużych stężeń zapachowych, wielokrotnie większych od stężeń imisyjnych występujących w powietrzu (Kośmider 2005).

Niebezpośrednia olfaktometria dynamiczna nie stwarza możliwości ciągłego monitoringu zanieczyszczenia powietrza (Van Harreveld 2004).

Dane dotyczące emisji odorów, uzyskane metodą niebezpośredniej olfaktometrii dynamicznej, mogą być wykorzystywane jako dane wejściowe do modeli dyspersji zanieczyszczeń w powietrzu w celu przewidywania uciążliwości zapachowej. Rozwiązania, polegające na modelowaniu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu na podstawie danych emisyjnych uzyskanych na drodze niebezpośredniej olfaktometrii dynamicznej, są wykorzystywane w przepisach prawnych w niektórych krajach Europejskich, Australii, Nowej Zelandii i w niektórych stanach USA (Mahin 2001).

#### 2.2.4. Olfaktometria terenowa

Oznaczanie małych (poniżej 10  $ou_E/m^3$ ) i szybkozmiennych wartości stężenia zapachowego w przygruntowej warstwie powietrza nie może być wykonywane zgodnie z normą PN-EN 13725:2007, ponieważ niemożliwe jest wykonanie odpowiedniej liczby rozcieńczeń. Oznaczenia takie mogą być wykonywane np. metodą dynamicznych rozcieńczeń do progu wyczuwalności, wykonywanych *in situ* z użyciem olfaktometrów terenowych (McGinley, McGinley 2004; Kośmider, Gabriel 2007; Friedrich, Kośmider 2009). Badania olfaktometrem terenowym (OT) znalazły zastosowanie w sytuacjach, w których emisja odorów jest okresowa i zmienna w czasie, np. w przypadku źródeł odorów związanych z rolnictwem (Brandt i wsp. 2008).

Do wykonywania pomiarów stężeń zapachowych w terenie mogą być wykorzystywane OT, jak np. Nasal Ranger®, opracowany przez firmę St Croix Sensory Inc. (Rys. 2-3), scentometer, opracowany przez firmę Barnebey Sutcliffe Corp. (Newby, McGinley 2004) lub OT Scentroid SC302 Mobile Olfactometer, opracowany przez firmę IDES Canada Inc (Benzo, Mantovani 2012).



Rys. 2-3 Pomiary olfaktometryczne olfaktometrem terenowym Nasal Ranger® (fot. wł.)  
Fig. 2-3 Olfactometry measurement of Nasal Ranger® Field Olfactometer (own fot.)

Przenośny OT Nasal Ranger® jest rodzajem maski gazowej z filtrem z węglem aktywnym, w której znana część wdychanego powietrza może omijać złożę adsorpcyjne (Rys. 2-3). Zawór regulacyjny umożliwia wybranie określonej wartości stosunku strumienia powietrza oczyszczonego do nieoczyszczonego oraz ustawienie pozycji *Blank* (oczyszczanie całego wdychanego strumienia). Po jednej minucie wdychania powietrza czystego (pozycja *Blank*) oceniający stopniowo zwiększa udział strumienia omijającego filtry. Rejestruje wartość D/T, przy której już wyczuwa zapach (ang. *Dilution-to-Threshold Ratios*) (Kośmider, Gabriel 2007; Friedrich, Kośmider 2009).

Przykładowo OT był używany do oznaczenia stężenia odorów w otoczeniu instalacji do stabilizacji osadów ściekowych oraz w czasie nawożenia gleb ustabilizowanymi osadami ściekowymi (Goldstein, 2006). Badania terenowe stężeń zapachowych z użyciem olfaktometru terenowego (McGinley, McGinley 2004; Brandt i wsp. 2008) były wykorzystywane w celu:

1. codziennego monitoringu funkcjonowania obiektów (np. oceny zarządzania instalacją),
2. porównania różnych opcji funkcjonowania instalacji,
3. dokumentowania epizodów odorowych i sytuacji niestandardowych (np. w sytuacjach zagrożenia),
4. monitoringu, wymaganego w celu uzyskania odpowiednich zezwoleń,
5. monitoringu, służącego potwierdzeniu zgodności np. z wytycznymi zawartymi w zezwoleniu w celu jego przedłużenia,
6. ustalenia stanu wyjściowego podczas planowania nowych inwestycji,
7. sprawdzenia efektywności wprowadzanych zmian, ograniczających emisję odorantów,
8. weryfikacji wyników modelowania rozprzestrzeniania się odorów w powietrzu,
9. określenia źródeł odorantów (np. w przypadku skarg),
10. weryfikacji skarg.

Badania z wykorzystaniem OT mogą być prowadzone przez indywidualne osoby lub przez grupy wyszkolonych obserwatorów. Do pomiarów mogą być zaangażowane lokalne społeczności, których członkowie mogą gromadzić dane, dające możliwość wskazania lokalizacji źródła odorów oraz warunków, w jakich wystąpiła uciążliwość zapachowa (Nicell 2009). Ponadto monitoring i dokumentacja zdarzeń odorowych umożliwia społeczeństwu



zrozumienie sytuacji odorowych oraz przyczyn ich powstawania. Zarządzający instalacją lub lokalne społeczności mogą wybrać pomiary olfaktometrem terenowym w celu określenia efektywności prowadzonych działań na rzecz ograniczenia uciążliwości zapachowej i wywiązania się z umów mających na celu ograniczenie uciążliwości zapachowej. Wiedza na temat stężeń odorów oraz częstotliwości występowania zdarzeń odorowych może wspomagać służby ochrony środowiska w podejmowaniu decyzji dotyczących ograniczania występowania odorów (Nicell 2009).

Dla OT Nasal Ranger® zostały określone techniczne wymagania jakościowe. Dokładność i odtwarzalność rozcieńczeń z przedziału 500 – 60 wynosi  $\pm 5\%$ , a dla rozcieńczeń z przedziału 60 – 2 wynosi  $\pm 10\%$ . Brak jest określonych wymagań jakościowych dla pomiaru sensorycznego. Nie zostały określone parametry jakości i nie zostały ustalone kryteria sprawności, czyli kryteria jakości dla dokładności i precyzji. W badaniach terenowych *in situ*, wykorzystujących OT, ustalenie kryteriów sprawności może okazać się niemożliwe. Na wynik pomiarów OT mogą wpłynąć, w sposób nieznan, m.in. błędy wynikające ze zmiennej percepcji osób oceniających lub niedostatecznego filtrowania powietrza przez filtry węglowe.

OT jest urządzeniem coraz częściej stosowanym w monitoringu oraz ocenie oddziaływania zapachowego, m.in. w rolnictwie (Brandt i wsp. 2008), przemysłowej hodowli zwierząt (Kośmider, Krajewska 2007) oraz obiektach gospodarki komunalnej (Witherspoon, Barnes 2004; Kośmider, Gabriel 2007). W 9 stanach Stanów Zjednoczonych używa się olfaktometrii terenowej w celu określenia uciążliwości zapachowej instalacji (Maine Department of Environmental Protection 2010).

W stanie Missouri w Stanach Zjednoczonych badania OT traktowane są jako badania wstępne w ocenie oddziaływania zapachowego chowu przemysłowego zwierząt, przed badaniami olfaktometrycznymi niebezpośrednimi. Jeżeli wynik pomiaru olfaktometrem terenowym jest większy niż  $D/T = 7$ , to przeprowadzane są badania metodą niebezpośredniej olfaktometrii dynamicznej (Newby, McGinley 2004).

#### **2.2.5. Olfaktometria statyczna**

Wykonywane zgodnie z normą PN-EN 13725 pomiary stężenia zapachowego wymagają stosowania olfaktometrów. Analogiczne pomiary można wykonać metodą olfaktometrii statycznej, bez użycia specjalistycznych urządzeń do precyzyjnego

rozcieńczania strumienia badanego gazu strumieniem czystego powietrza. Rozcieńczaniem statycznym nazywa się mieszanie dokładnie odmierzonych objętości próbki badanego gazu i czystego powietrza. Techniki rozcieńczeń statycznych znalazły zastosowanie w metodach oceny różnic takich jak np. testy parzyste, w których wybiera się jedną wonną próbkę z dwóch prezentowanych czy test trójkątowy, w którym wybiera się próbkę wonną spośród trzech prezentowanych. Metoda rozcieńczeń statycznych (ang. *triangle odor bag method*) została opracowana w Japonii w 1972 roku (Higuchi 2002) i wprowadzona do japońskich przepisów prawnych w 1995 r. jako metoda referencyjna pomiarów olfaktometrycznych (Kamigawara 2002). Panelowi, składającemu się przynajmniej z 6 osób, prezentowane do wąchania są trzy jednakowo wyglądające worki z powietrzem. Zadaniem panelu jest wskazanie, który z worków jest zanieczyszczony analizowanym wonnym gazem, wprowadzonym do worka za pomocą strzykawki. Metoda ta jest zalecana przez japońskie Ministerstwo Środowiska (Ueno i wsp. 2009).

Głównym celem wykonywanych pomiarów jest sprawdzanie, czy w zamieszkałym otoczeniu emitorów odoru jest przekroczony maksymalny dopuszczalny poziom stężenia zapachowego –  $4 \text{ ou/m}^3$  (wikibooks 2012). Próbkę powietrza są pobierane do worków z folii Nalophan, a następnie przewożone do laboratorium olfaktometrycznego w celu wykonania zespołowego oznaczenia stopnia rozcieńczenia do progu wyczuwalności. Miejsce i moment pobrania próbki środowiskowej jest określany przez uprawnionego inspektora, który wybiera punkt w smudze zanieczyszczeń oraz chwilę, w której zapach jest najsilniejszy. Uznaje się, że standard nie jest dotrzymany, jeżeli po czterokrotnym rozcieńczeniu tak pobranej próbki czystym powietrzem jej zapach jest nadal odróżnialny od zapachu dwóch próbek powietrza czystego – stwierdza się więcej niż  $1/3$  poprawnych wskazań próbki z zanieczyszczeniami jako innej (stężenie zanieczyszczeń rozcieńczonej próbki jest większe od progu wyczuwalności). W analogiczny sposób wyznacza się liczbowe wartości stężenia zapachowego w pobranych próbkach, rozcieńczając ją bardziej lub mniej niż czterokrotnie (wikibooks 2012).

### **2.3. Skalowanie intensywności zapachu**

Metody skalowania intensywności zapachu polegają na ocenie natężenia określonych cech jakościowych przy użyciu skal definiowanych w różny sposób, takich jak: skale

werbalne, liczbowe, graficzne lub skale wzorców (Kośmider, Mazur-Chrzanowska i wyszyński 2002). Siedmiostopniowa skala intensywności zapachu, przedstawiona w tabeli 2.1., stosowana w Niemczech, została szczegółowo opisana w niemieckiej normie VDI 3882 [11].

**Tabela 2-1 Skala intensywności zapachu, opisana w niemieckiej normie VDI- 3882 [11]**  
**Table 2-1 The scale of odor intensity, as described in the German VDI- 3882 standard [11]**

Intensywność zapachu	Poziom intensywności
Ekstremalnie silny	A
Bardzo silny	B
Silny	C
Wyraźny	D
Słaby	E
Lekki	F
Niezauważalny	G

Inna metoda skalowania intensywności zapachu jest stosowana w Stanach Zjednoczonych. Norma ASTM E544-99 [12] definiuje sposoby oznaczania intensywności zapachu z użyciem wzorców *n*-butanolowych. Analizowana próbka jest porównywana z *Odor Intensity Referencing Scale* (OIRS), przedstawioną w tabeli 2.2. Wzorce przygotowywane są dynamicznie (za pomocą olfaktometru) lub statycznie (kolbki z różnymi wodnymi roztworami *n*-butanolu). Zazwyczaj w warunkach terenowych wykorzystuje się skalę statyczną. Stężenia *n*-butanolu w jego roztworach tworzą szereg geometryczny. W większości przypadków stosuje się czynnik szeregu (krok *X*) równy 2. Zestawy wzorców *n*-butanolowych o stężeniach  $C_0, C_1, C_2, C_3, \dots, C_N$ , tworzących szeregi geometryczne, są uważane za liniowe skale intensywności zapachu, co bezpośrednio wynika z prawa Webera-Fechnera (Kośmider, Mazur-Chrzanowska i wyszyński 2002).

Zadaniem osoby oceniającej intensywność zapachu próbki z użyciem OIRS jest wskazanie wzorca, którego zapach jest tak samo silny. Zgodnie z ASTM, wzorzec jest umownie określany przez podanie odpowiedniej wartości stężenia *n*-butanolu [ppm]. Wzorce skali są oznaczane kolejnymi numerami NrB1, NrB2, ..., rosnącymi ze wzrostem stopnia rozcieńczenia roztworu podstawowego. Osoba oceniająca zapach węża wzdłuż wzorce w kolejności wzrastających stężeń. Wskazuje dwa numery NrB: opowiadający indywidualnemu progowi węchowej wyczuwalności *n*-butanolu (NrB<sub>ZERO</sub>) i ocenianej próbce

( $NrB_{\text{próbka}}$ ). Intensywność zapachu (S) wonnej próbki lub powietrza zewnętrznego jest umownie wyrażana jako różnica między tymi numerami. Procedura jest stosowana w czasie ocen skuteczności dezodoryzacji, badań emisji zapachowej i zapachowej jakości powietrza.

**Tabela 2-2 Skale Odor Intensity Referencing Scales (OIRS) [12]**

**Table 2-2 Odor Intensity Referencing Scales (OIRS) [12]**

Stopień intensywności zapachu	Krok X=3	Krok X=2	Krok X=2	Krok X=2		
	Stężenie n-butanolu [ppm]					
1	25	12	12	10		
2	75	24	24	20		
3	225	48	48	40		
4	675	96	96	80		
5	2025	194	194	160		
6		388	388	320		
7		775	775	640		
8		1550	1550	1280		
9				3100	2560	
10				6200	5120	
11						10240
12						20480

Poszczególne jednostki naukowo-badawcze często stosują własne skale. W Pracowni Zapachowej Jakości Powietrza Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (dawniej: Politechniki Szczecińskiej) są stosowane dwie skale intensywności zapachu: skala punktowa 0-1-2-3 (z możliwością wskazania stopni pośrednich) i skala wzorców (Płodzik, Czarnowska i Nowakowski 2006; E-Szkoła olfaktometrii 2012). W skali punktowej liczby oznaczają intensywność zapachu: 0 - brak wrażeń, 1 - słaby zapach, 2 - wyraźny, 3 - mocny. Skala wzorców to szereg ponumerowanych kolbek, sporządzany przez sukcesywne rozcieńczanie podstawowego roztworu *n*-butanolu wodą w stosunku 7:13, których stężenia tworzą szereg geometryczny o kroku 20/7.

W Katedrze Ochrony i Kształtowania Środowiska Politechniki Warszawskiej oddziaływanie zapachowe ocenia się m.in. z wykorzystaniem analizy sensorycznej, według przedstawionej w tabeli 2-3, rozszerzonej przez Kuliga o jeden stopień, skali Justa (Kulig 2004a; Kulig, Barczak 2010).

**Tabela 2-3 Skala intensywności zapachu**  
**Table 2-3 Odour intensity scale**

Skala, i	Intensywność zapachu	Zakres wyczuwalności
0	Brak zapachu	Nie wyczuwalny przez nikogo
1	Zapach ledwo wyczuwalny	Wyczuwalny przez mniej niż 50% osób badanych
2	Zapach bardzo słaby (progowy)	Wyczuwalny przez 50% osób badanych
3	Zapach słaby	Wyczuwalny przez więcej niż 50% osób badanych i uciążliwy dla mniejszości
4	Zapach silny	Wyczuwalny przez wszystkich i uciążliwy dla większości
5	Zapach bardzo silny	Wyczuwalny przez wszystkich i uciążliwy dla wszystkich

Skalowanie intensywności zapachu nie wymaga zastosowania specjalistycznej aparatury pomiarowej. Są to jedne z prostszych metod oceny intensywności zapachu. Na podstawie wyników ze skalowania intensywności zapachu, przy wykorzystaniu prawa Febera-Fechnera, można obliczyć stężenie zapachowe. Zakres skal jest jednak mocno ograniczony i może okazać się niewystarczający do precyzyjnego i powtarzalnego ocenienia oddziaływania zapachowego.

## **2.4. Metody chemii analitycznej w ocenie oddziaływania zapachowego**

### **2.4.1. Możliwości wykorzystania metod chemii analitycznej w ocenie oddziaływania zapachowego**

Metody chemii analitycznej umożliwiają identyfikację i ilościowe określenie związków chemicznych, występujących w atmosferze w okolicy obiektów uciążliwych zapachowo. Zaletami tych metod są: obiektywność, powtarzalność i dokładność (Gostelow, Parsons i Stuetz 2001; Latos i wsp. 2011). Metody te mogą być wykorzystywane do identyfikacji i monitoringu źródeł odorantów. Umożliwiają one wyjaśnienie przebiegu reakcji powstawania kluczowych odorantów, zachodzących w źródle, co może też stanowić informację na temat stanu i poprawności funkcjonowania obiektów, stanowiących źródło odorów (Muñoz i wsp. 2010). Jednakże identyfikacja i ilościowe określenie poszczególnych

odorantów nie przekłada się bezpośrednio na wywoływane wrażenie węchowe (Kośmider, Mazur-Chrzanowska i wyszyński 2002).

W ocenie oddziaływania zapachowego OGK często wybierane są poszczególne związki jako dominujące, np. siarczek dimetylu (DMS) (Cheng, Peterkin i Burlingame 2005; Cheng i wsp. 2009), lub wskaźnikowe, np. H<sub>2</sub>S na oczyszczalniach ścieków (Hławiczka 1989; Hobson, Yang 2001). Związki wskaźnikowe powinny być wybierane na podstawie ich wysokiego stężenia w smudze odorów (najlepiej, gdy związek wskaźnikowy jest dominujący w smudze zanieczyszczeń), powinny dać się łatwo analizować chemicznie i być reprezentatywne dla źródła emisji oraz nie powinny występować w „tle” zanieczyszczenia (Van Harreveld 2004; Benzo, Mantovani 2012). Siarkowodór często jest odorantem występującym w dużo większych stężeniach niż pozostałe związki (Gostelow, Parsons 2001), szczególnie w kanalizacji i na etapie wstępnego oczyszczania ścieków komunalnych (Latos i wsp. 2011). Siarkowodór może być oznaczany ilościowo w bardzo małych stężeniach (na poziomie ppb) za pomocą przenośnych urządzeń pomiarowych (Gostelow, Parsons i Lovell 2004; Latos i wsp. 2011). Przykładowo, aby siarkowodór mógł być wskaźnikiem, jego stężenie powinno być równe 10 ppm lub większe. Przy takim stężeniu siarkowodoru jego stężenie zapachowe wynosi 20 000 ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup> (Van Harreveld 2004). Prawdopodobne jest, że określonym ilościom związków wskaźnikowych mogą towarzyszyć różne ilości innych związków. O wyraźnych zmianach rodzaju i intensywności zapachu mieszaniny mogą decydować bardzo małe zmiany stężeń śladowych zanieczyszczeń o najmniejszych progach węchowej wyczuwalności (Kośmider, Wyszyński 2001). Jeżeli jeden związek chemiczny jest dominujący, może on odzwierciedlać całkowite stężenie zapachowe (Latos i wsp. 2011). Zmiana stężeń pojedynczych odorantów, takich jak amoniak czy siarkowodór, nie musi oznaczać zmniejszenia uciążliwości zapachowej (Brandt i wsp. 2008). Oznaczanie lotnych związków siarkowych jest dosyć trudne ze względu na szeroki zakres ich stężeń w powietrzu oraz dużą reaktywność (Ras, Borrull i Marcé 2008).

Pomiary analityczne mogą być wykorzystywane w teoretycznych modelach, opisujących mechanizmy formowania się odorantów (Latos i wsp. 2011). Występowanie danych związków może być wskaźnikiem pracy instalacji. Zarra i wsp. (2008) wskazali disiarczek dimetylu jako związek kluczowy w ocenie poprawności pracy małych oczyszczalni ścieków, zlokalizowanych w obszarach turystycznych, ze względu na najmniejszy

z analizowanych związków próg wyczuwalności oraz częstotliwość występowania podczas pomiarów.

Do jakościowej i ilościowej identyfikacji zanieczyszczeń gazowych powietrza stosowane są liczne techniki analityczne, np.: chromatografia, kolorymetria, sensory podczerwieni i elektrochemiczne, optyczna spektroskopia absorpcyjna, spektrometria. Techniki, wykorzystywane do oznaczania odorantów występujących w otoczeniu oczyszczalni ścieków, muszą charakteryzować się bardzo dużą czułością analityczną, ponieważ w tych warunkach stężenia odorantów są bardzo małe, często nie przekraczają kilku mikrogramów albo miligramów na  $\text{dm}^3$  (Godayol i wsp. 2011).

#### **2.4.2. Klasyczne metody chemii analitycznej**

W analizie jakościowej i ilościowej związków odorowych stosowane są m.in. metody chemii klasycznej. W celu pobrania próbek do analizy najczęściej stosuje się metody aspiracyjne, w których badane zanieczyszczenie wyodrębnia się w trakcie przepuszczania powietrza przez filtr selektywny. Rzadziej stosowane są metody izolacyjne.

Czas pobierania próbki jest związany z czasem uśredniania stężenia, natomiast czas analizy zależy od rodzaju zanieczyszczenia oraz wybranej metodyki analitycznej i wynosi od kilkudziesięciu minut do kilku godzin (Kulig i wsp. 1984).

Klasyczne metody chemii analitycznej charakteryzują ograniczenia, związane z czasem pobierania próbki analizowanego gazu oraz z ilością oznaczanych związków. Wyniki pomiarów są uśredniane w stosunku do czasu pobierania próbki, co pozbawia możliwości uzyskania wartości stężeń dla bardzo krótkich okresów czasu, np. kilkusekundowych. Analiza ogranicza się do pojedynczych związków chemicznych, których stężenia w badanym gazie nie muszą przekładać się na rzeczywistą zapachową jakość powietrza.

W badaniach zanieczyszczenia powietrza odorantami w oczyszczalniach ścieków komunalnych bardzo często oznaczany jest siarkowodór oraz amoniak, czyli związki pojawiające się jako produkty rozkładu beztlenowego (Kulig 2004a).

Amoniak występuje w przyrodzie jako produkt końcowy procesu amonifikacji – biochemicznego rozkładu pod wpływem mikroorganizmów związków organicznych zawierających azot, występujących w szczątkach roślinnych i zwierzęcych oraz wydalinach. Amonifikacji podlegają głównie białka, kwasy nukleinowe, mocznik i kwas moczowy. W warunkach beztlenowych amoniak powstaje w procesach gnilnych substancji białkowych.

Siarkowodór może powstawać w wyniku procesu redukcji w warunkach beztlenowych siarczanów i tiosiarczanów, mikrobiologicznego rozkładu związków organicznych zawierających siarkę, np. białek, lub bezpośrednio z siarczków zawartych w ściekach.

Związki te powszechnie występują na oczyszczalniach ścieków, posiadają małe progi węchowej wyczuwalności: amoniak –  $3,9 \text{ mg/m}^3$ , siarkowodór –  $0,0123 \text{ mg/m}^3$  (Kośmider, Mazur-Chrzanowska i wyszyński 2002), ich oznaczenie ilościowe jest stosunkowo łatwe w analizie chemicznej [13, 14].

Do analizy tych związków pobranie próbek powietrza wykonuje się metodą aspiracyjną przy użyciu roztworów pochłaniających: dla amoniaku 0,005 M kwas siarkowy, a dla siarkowodoru 2 % octan cynku  $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  (Kulig i wsp. 1984).

Wyniki stężeń odorantów mogą być obarczone błędami wynikającymi z pracy poszczególnych elementów aspiratorów, np. przepływomierza, brakiem stuprocentowej absorpcyjności badanych związków w roztworach pochłaniających, niedokładnym przelaniem roztworów pochłaniających, przygotowaniem roztworów wzorcowych, przygotowaniem próbek do porównań z wzorcami, zmienną percepcją oka osoby wykonującej analizę.

### **2.4.3. Chromatografia**

Chromatografia gazowa (ang. *GC, Gas chromatograph*) jest to technika analityczna, w której fazą ruchomą jest gaz, a fazą stacjonarną adsorbent lub absorbent, pokrywający nośnik. Nośnikiem jest wypełnienie kolumny lub powierzchnia filmu na wewnętrznych ściankach kolumny. Chromatografia gazowa umożliwia ustalenie procentowego składu mieszanin związków chemicznych. W połączeniu ze spektrometrią mas (GC-MS) można uzyskać niemal jednoznaczną identyfikację związków. Analiza GC-MS umożliwia wskazanie licznych substancji, które stanowią mieszaninę odorantów (Zarra i wsp. 2008). W otoczeniu obiektów takich jak oczyszczalnie ścieków, gdzie występuje bardzo wiele związków, chromatografia umożliwia oznaczanie jednorazowo dużej ilości związków (Godayol i wsp. 2011). GC-MS wykorzystywana była m.in. do analizy odorantów pochodzących ze składowiska odpadów pokrytych warstwą, w skład której wchodziły osady ściekowe (Turkmen, Dentel i Germain 2005). Przenośne urządzenie, wykorzystujące GC-MS, Zarra i wsp. (2007) wykorzystywali w celu oszacowania emisji odorantów z kompostowni odpadów,



a Wang i wsp. (2012) wykorzystywali GC-MS do charakterystyki odorantów występujących w sieciach kanalizacyjnych.

Chromatografia gazowa może być stosowana do jakościowego i ilościowego badania składników mieszaniny gazów, np. ze źródeł emisji zapachu, w celu określenia stężenia tzw. substancji wiodącej, która może wywoływać określoną reakcję na zapach lub uciążliwość dla otoczenia (Sobczuk, Guz i wasąg 2009). Analiza chromatograficzna umożliwia wstępne rozpoznanie wszystkich związków chemicznych występujących w oczyszczalniach ścieków, ale nie daje informacji, czy związki te są odorantami czy nie (Zarra i wsp. 2008).

Ze względu na bardzo małe stężenia odorantów wywołujące wrażenie węchowe, niezbędne są niskie granice oznaczalności stosowanych technik analitycznych (Czerwiński, Sobczuk 2009). Niektóre związki zapachowe wywołują wrażenie węchowe przy bardzo małych stężeniach, nawet ppt (Turkmen i wsp. 2004). Metody, stosowane do oznaczania tych związków, muszą obejmować etapy zarówno izolacji, jak i wzbogacania (Nielsen, Jonsson 2002). Ze względu na złożony charakter odorów trudno jest analizować odoranty zawarte w powietrzu i w ściekach bez wcześniejszego używania technik rozdzielania (Godayol i wsp. 2011). Najbardziej obiecująca oraz znajdująca coraz szersze zastosowanie jest mikroekstrakcja do fazy stacjonarnej (ang. *SPME – solid phase micro extraction*) (Czerwiński, Sobczuk 2009; Ras, Marcé i Borrull 2008). Przygotowanie próbek do SPME jest proste, przy czym związki mogą być oznaczane na poziomie ppb (Turkmen i wsp. 2004; Ábalos, Prieto i Bayona 2002). Metoda SPME-GC-MS może być wykorzystywana do oznaczenia wielu związków organicznych, powodujących uciążliwości zapachowe, zarówno bardzo lotnych, jak i związków o dużych masach cząsteczkowych (Czerwiński, Sobczuk i wasag 2009). Ponadto stosowanie SPME eliminuje nakładanie się na siebie niektórych związków, np. DMS i DMDS (Turkmen i wsp. 2004).

Powtarzalność wyników i dużą czułość analizy w oznaczaniu lotnych związków siarkowych umożliwia zastosowanie techniki chromatografii gazowej połączonej ze spektrometrią mas i termiczną desorpcją TD-GC-MS (Ras, Borrull i Marcé 2008).

Bezpośrednia analiza z wykorzystaniem GC-PID (detektor foto-jonizacyjny) jest wygodna i łatwa do zastosowania w przypadku około 60 związków chemicznych w próbkach środowiskowych. Ma jednak kilka niedogodności: relatywnie wysokie limity detekcji, długi czas analizy, biorąc pod uwagę, że dla pełnej analizy próbki niezbędne są 3 oznaczenia na 3 kanałach w celu zapobieżenia koelucjom. SPME-GC-MS w porównaniu do GC-PID oferuje:

szybki czas próbkowania (ok. 15 min. na próbkę), limity detekcji na poziomie pojedynczych ppb, możliwość wygodnego transportu analitów i ich przechowywania przez okres nawet 48 godzin, krótszy czas na pojedynczą analizę (Czerwiński, Sobczuk 2009).

Również stosowana jest wielowymiarowa chromatografia gazowa, szczególnie w przypadkach, gdy rozdzielenie, identyfikacja i ilościowe oznaczenie odorantów jest niemożliwe przy zastosowaniu tradycyjnej chromatografii gazowej (Sówka 2011).

Techniki chromatograficzne umożliwiają identyfikację jakościową i ilościową odorantów. Przy mieszaniu różnych odorantów nie stwarzają jednak możliwości wyznaczenia zależności między składem smugi zanieczyszczeń a wrażeniem węchowym u ludzi. W celu określenia zależności między składem ilościowym i jakościowym związków chemicznych a stężeniem zapachowym wykorzystywane są metody bazujące na połączeniu chromatografii z olfaktometrią. Technika „skojarzona”: wielowymiarowej chromatografii gazowej – spektrometrii masowej i olfaktometrii (MD-GC-MS/O) i konwencjonalne sprzężenie GC-MS/O stosowane są m.in. do analizy próbek gazów emitowanych z fermy trzody chlewnej, drobiu oraz przetwórstwa mlecznego (Bulliner IV i wsp. 2006; Cai i wsp. 2006; Koziel i wsp. 2006; Laor i wsp. 2008; Lo i wsp. 2008; Zhang i wsp. 2008; Cai i wsp. 2009; Koziel i wsp. 2009; Zhang i wsp. 2010). Zaletą tej metody jest możliwość zwiększenia separacji poszczególnych odorantów oraz jednoczesna identyfikacja zapachów (stężenia, intensywności oraz jakości hedonicznej). Układ MD-GC-MS/O został kilkakrotnie przetestowany i skalibrowany dla ponad dwudziestu lotnych związków organicznych, dla których określono progi detekcji ze współczynnikiem regresji  $> 0,999$  (Bulliner IV i wsp. 2006; Cai i wsp. 2006).

## **2.5. Terenowe pomiary zapachowej jakości powietrza, nie wymagające pobierania próbek**

Oznaczenia małych i szybkozmiennych wartości stężeń zapachowych w przygruntowej warstwie powietrza mogą być wykonane metodą pośrednią, na podstawie sensorycznych ocen intensywności zapachu *in situ*, bez pobierania próbek (metoda ekstrapolacyjna) (Kośmider 1998; Kośmider, Mazur-Chrzanowska i wyszyński 2002; Kośmider, Gabriel 2007). Pomiary terenowe wykorzystywane są w Europie i na świecie do badania stężeń imisyjnych, oceny uciążliwości zapachowej powietrza oraz częstotliwości

występowania odorów na obszarach położonych wokół wybranego źródła emisji zapachu (Sówka 2011).

W przypadku terenowych pomiarów zapachowej jakości powietrza, nie wymagających pobierania próbek, kluczowym zagadnieniem jest wybór zespołu oceniającego oraz prowadzącego badania (operatora) (Sówka 2011). W badaniach powinny uczestniczyć osoby przeszkolone oraz wyselekcjonowane, o określonej wrażliwości węchowej, spełniające wymagania normy PN-EN 13725. Dzięki prostocie metody, każdy człowiek o standardowo, dla populacji, czułym węchu może brać udział w badaniach (Van Langenhove, Van Broeck 2001). Według przyjętych w Niemczech norm serii VDI 3940 wyróżnia się dwa podstawowe typy terenowych pomiarów zapachowej jakości powietrza, nie wymagających pobierania próbek, prowadzonych w otoczeniu źródła emisji zapachu: badania w siatce oraz w smudze [15, 16, 17, 18]. Procedura badania odorów, przedstawiona w normie VDI 3940, wykorzystuje skalę intensywności zapachu przedstawioną w tabeli 2.1. Członkowie zespołu pomiarowego wykonują badanie w wybranym punkcie przez co najmniej 30 minut, notując oceny co 10 sekund. Wyjątek stanowi sytuacja, gdy zapach w smudze jest silny i niezmienny. W celu zmniejszenia adaptacji węchu zaleca się, by obserwatorzy zmieniali pozycję w obrębie smugi zapachowej co 5-10 minut.

Zaletą metody badań terenowych jest to, że obserwatorzy mają odczucia podobne do odczuć ludzi bezpośrednio narażonych na oddziaływanie zapachowe ocenianych obiektów (Nicolas i wsp. 2010) oraz to, że za jej pomocą uzyskiwany jest wynik odpowiadający aktualnej odczuwalności odorów w środowisku (Van Langenhove, Van Broeck 2001). W pomiarach terenowych zespół oceniający może ustalić maksymalną odległość od źródła, dla której zapach jest wyczuwalny (Nicolas, Craffe i Romain 2006). Wyniki z kilku takich pomiarów umożliwiają oszacowanie wielkości emisji odorantów (OER – odour emission rate).

Van Langenhove i Van Broeck doświadczalnie dowiedli, że pojedynczy obserwator może przeprowadzić badania, ponieważ różnica we wskazaniach maksymalnego zasięgu oddziaływania przez poszczególnych oceniających wynosi tylko 10-15% (Van Langenhove, Van Broeck 2001).

Nicolas i wsp. (2006) zastosowali badania terenowe w celu weryfikacji i usprawnienia modelowania rozprzestrzeniania się odorów z powierzchniowych źródeł, jak składowiska odpadów. Dla wybranych punktów receptorowych, znajdujących się w pewnych odległościach od źródła powierzchniowego, wyniki uzyskane z modelu bi-Gaussa były

porównywane z wynikami badań terenowych. Dane do modelu były zmieniane aż do momentu uzyskania zgodności wyników uzyskanych obiema metodami. Umożliwiło to dobranie parametrów modelu w taki sposób, aby uzyskiwane z niego dane z większą dokładnością odpowiadały danym rzeczywistym.

## **2.6. Badania ankietowe**

### **2.6.1. Charakterystyka badań ankietowych**

Do głównych podejść metodycznych, wykorzystujących ankietyzację, należy zaliczyć: regularne ankietowanie pojedynczych przypadkowych osób na badanym obszarze oraz regularne, powtarzające się ankietowanie zespołu, wyłonionego np. z mieszkańców badanego obszaru (Kulig i wsp. 2008; Kulig i wsp. 2009a; Kulig i wsp. 2009b; Nicolas 2010; Sówka 2011; [19]). Ponadto ankiety można przeprowadzać wśród pracowników instalacji uciążliwej zapachowo. W zależności od rodzaju zbierania informacji można wyróżnić ankiety telefoniczne, listowne, ustne. W praktyce dobór metody przeprowadzenia ankiety, wybór respondentów oraz sposób pozyskania informacji zależą od celu i zakresu badań.

Analiza wyników badań ankietowych umożliwia określenie rodzaju/charakteru emitowanego zapachu, terytorialnego zasięgu jego oddziaływania oraz wpływu odorów na jakość życia ludności, zamieszkującej tereny przyległe do określonego źródła emisji (Sówka i wsp. 2009a).

Głównym założeniem w badaniach ankietowych jest to, że percepcja sensoryczna zapachów wzrasta wraz z wzrostem częstotliwości, natężenia i pogorszeniem jakości hedonicznej zapachu, którego odczuwanie powoduje dyskomfort w momencie, w którym łatwo rozróżnia się akceptowalną i nieakceptowaną uciążliwość zapachową. Parametry akceptowalności uzyskiwane są w ankiecie dzięki sformułowaniu określonych pytań: „Czy istnieje jakakolwiek uciążliwość?” oraz „Czy istnieje nieakceptowana uciążliwość zapachowa?”. Tak zwane kryterium akceptowalności ankiety można więc zdefiniować jako procent mieszkańców, zamieszkujących obszar oddziaływania źródeł zapachów, którzy uważają, że uciążliwość jest bądź akceptowana, bądź nieakceptowana (Sówka 2011). Kryterium powinno odnosić się jednak do osób, które najczęściej lub na co dzień poddane są oddziaływaniu odorów (Sówka 2011). Celem ankiety jest określenie, w jak najbardziej

wiarygodny sposób, związku między występowaniem zanieczyszczenia odorami a uciążliwością zapachową. Podczas prowadzenia badań ankietowych (ankiet) określany jest stopień uciążliwości zapachowej na wybranym obszarze.

Badania ankietowe mogą być wykorzystane do oceny ilościowej instalacji emitujących odory oraz rozmieszczenia obiektów potencjalnie uciążliwych na terenie kraju (Kulig i wsp. 2009b). Umożliwiają również identyfikację źródeł odorantów oraz ich udział w oddziaływaniu zapachowym (Héroux i wsp. 2004).

Zbieranie danych dotyczących epizodów odorowych jest jedną z form ankietyzacji. Umożliwia to weryfikację wyników modelowania. Dane dotyczące epizodów odorowych mogą być porównywane z wynikami symulacji matematycznych za pomocą modeli rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu, np. modelem CALPUFF (Sironi i wsp. 2010).

#### **2.6.2. Badania ankietowe, przeprowadzane wśród mieszkańców na obszarach wokół źródła emisji odorów**

Badania ankietowe, polegające na regularnym ankietowaniu mieszkańców na obszarze wokół źródła emisji odorów, to metoda oceny zapachowej jakości powietrza stosowana m.in. w Niemczech, Austrii, Szwajcarii czy Włoszech (Sówka i wsp. 2009b; Radon i wsp. 2004). Metodyka badań ankietowych, stosowana w krajach europejskich, jest wzorowana na wytycznych opracowanych przez Zrzeszenie Inżynierów Niemieckich, według których ankiety można przeprowadzać na trzy sposoby: w postaci ustnej, pisemnej (listownej) oraz telefonicznej [19]. Wszystkie trzy metody dają możliwość utworzenia relatywnie reprezentatywnej bazy danych do oceny uciążliwości zapachowej. Według badań Sówki i wsp. (2009b), przeprowadzonych na wybranych obszarach, metoda najbardziej bezpośrednia, czyli ustna, okazała się być najbardziej wiarygodna i pozwoliła na ocenę stopnia uciążliwości zapachowej wokół źródła emisji odorów zidentyfikowanego wcześniej na podstawie analizy skarg ludności.

Podczas przeprowadzania badań ankietarzy powinni przestrzegać określonych zasad, takich jak: zachęcanie do udziału w ankiecie, informowanie ankietowanych o celach ankiety i znaczeniu udziału społeczeństwa w przeprowadzanych badaniach, informowanie ankietowanych o jednostce przeprowadzającej badania oraz możliwości kontaktu w celu uzyskania dalszych informacji na ich temat oraz informowanie ankietowanych o ich prawach

dotyczących ochrony danych osobowych (należy zaznaczyć, że udział w badaniach jest dobrowolny oraz że ankiety będą oceniane anonimowo, tj. nazwiska i adresy nie będą przechowywane) (Sówka 2011).

### **2.6.3. Badania ankietowe metodą CATI**

Wspomagany komputerowo wywiad kwestionariuszowy (ang. *CATI - computer assisted telephone interviewing*) to technika stosowana przy realizacji badań ilościowych, polegająca na przeprowadzaniu wywiadów telefonicznych z respondentami z wykorzystaniem komputera. Badania realizowane są przy wykorzystaniu technik teleinformatycznych, co pozwala na zebranie szerokiego spektrum danych w dość krótkim czasie przy stosunkowo niskich kosztach. W badaniach realizowanych metodą CATI wywiad z respondentem jest prowadzony przez telefon, ankieter odczytuje pytania i notuje uzyskiwane odpowiedzi, korzystając ze specjalnego skryptu komputerowego. Skrypt pozwala na pewne zautomatyzowanie kwestionariusza – np. poprzez zarządzanie filtrowaniem zadawanych pytań lub losowanie kolejności, w jakiej określone kwestie będą odczytywane respondentowi. Badania CATI należą do najbardziej efektywnych metod pozyskiwania informacji statystycznych. Z powodzeniem wykorzystywane są do realizacji badań marketingowych, jak również badań społecznych czy ewaluacyjnych. Metoda CATI jest stosunkowo rzadko stosowana w naukach technicznych. Znacznym ograniczeniem tej metody jest dokładność odpowiedzi telefonicznych udzielanych przez respondentów oraz ich właściwa rejestracja przez ankietera w specjalnym skrypcie komputerowym.

Ocena zapachowego oddziaływania oczyszczalni ścieków w skali kraju lub ocena oddziaływania zapachowego poszczególnych obiektów ciągu technologicznego w oczyszczalniach ścieków jest możliwa dzięki zastosowaniu badań ankietowych metodą CATI (Kulig i wsp. 2009a; Kulig i wsp. 2010).

Informacje, uzyskane metodą ankietyzacji telefonicznej, mogą być wykorzystywane do: klasyfikacji sytuacji uciążliwych zapachowo, wykreślenia zależności między zmierzonym stężeniem zapachowym przez panel oceniający a uciążliwością zapachową, sprawdzenia przewidywania uciążliwości zapachowej równoległe do pomiaru emisji i obliczeń rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu, zgłoszenia potrzeby kontroli pomiarów emisji albo wykazania skuteczności pomiarów emisji (Sucker, Both i winneke 2001).

W Polsce badania ankietowe metodą CATI prowadził Kulig i wsp. (2010) w celu identyfikacji, inwentaryzacji i charakterystyki źródeł odorantów w gospodarce komunalnej. Ocena skali zjawiska odoryzacji powietrza na podstawie analizy wyników ankiety, na pytania której odpowiadali pracownicy obiektów, mogła być obarczona błędem wynikającym z niezrozumienia przez część respondentów właściwej istoty jakiegoś pytania i tym samym udzielenia niezasadnej odpowiedzi, a także z różnego stopnia wrażliwości na emitowane zapachy (Podedworna, Kulig i Heidrich 2010). Ponadto bezwzględna ocena zapachowa poszczególnych instalacji może być obarczona błędem systematycznym, wynikającym z pewnego subiektywizmu pracowników (Kulig, Lelicińska-Serafin 2011).

## **2.7. Analiza przyczyn skarg ludności**

Metodą badania i oceny zapachowej jakości powietrza jest także analiza przyczyn skarg ludności (Friedrich, Kośmider 2009). Zbieranie i analiza skarg ludności mogą być wykorzystywane w ocenie stopnia uciążliwości na wybranym obszarze (Kośmider, Mazur-Chrzanowska i wyszyński 2002). W zakresie szerszym, np. krajowym, metoda może być stosowana do ilościowej identyfikacji źródeł emisji odorów, tzn. liczba skarg będzie wówczas wskazywać na obszary (np. województwa) „narażone” na uciążliwość zapachową oraz na typ źródeł, będących przyczyną pogorszenia stanu zapachowej jakości powietrza (Sówka 2011; Kulig, Szytak-Szydłowski 2013).

Skargi mogą być subiektywne. Niekiedy jedynie wskazują problem, a nie jego skalę. Dają sygnał do podjęcia działań, mających na celu np. wykonanie oceny oddziaływania zapachowego.

## **2.8. Modelowanie rozprzestrzeniania się odorów**

Od ponad pięćdziesięciu lat na świecie tworzone są modele matematyczne rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze. Są stosowane zarówno do oceny istniejącego stanu zanieczyszczenia powietrza (modele diagnostyczne), jak i do prognozowania mogących wystąpić stężeń (modele prognostyczne) (Madany, Bartochowska 1995).

Stężenia zapachowe w punktach receptorowych mogą być oszacowane z zastosowaniem odpowiednich modeli dyspersji zanieczyszczeń w atmosferze (Sówka 2011). Stężenie zanieczyszczenia w punkcie receptorowym jest wprost proporcjonalne do natężenia emisji i jest funkcją parametrów meteorologicznych, topograficznych i technicznych źródła emisji (Juda, Chróściel 1974). Na wartość stężenia również ma wpływ rodzaj rozprzestrzeniającego się zanieczyszczenia (Kulig 2004a). Zależności te są złożone, ogólnie można je przedstawić w postaci wzoru (1).

$$S(t,x,y,z) = E \cdot f(t, x, y, z, u, \gamma, z_0, H, P, \alpha, \beta) \quad (1)$$

gdzie:  $S(t,x,y,z)$  – stężenie zanieczyszczenia w chwili  $t$  w punkcie pomiarowym o współrzędnych prostokątnych  $x, y, z$  [ilość zanieczyszczenia/ $m^3$ ],

$t$  – czas [s],

$x$  – współrzędna przestrzenna pozioma, zgodna z kierunkiem wiatru [m],

$y$  – współrzędna przestrzenna pozioma, prostopadła do kierunku wiatru [m],

$z$  – współrzędna przestrzenna pionowa [m],

$E$  – natężenie emisji [ilość zanieczyszczenia/s],

$f(\dots)$  – funkcja wpływu [ $s/m^3$ ]

$u$  – prędkość wiatru [m/s],

$\gamma$  – gradient temperatury [ $^{\circ}C/m$ ],

$z_0$  – wysokość aerodynamicznej szorstkości terenu [m],

$H$  – efektywna wysokość źródła emisji [m],

$P$  – pole powierzchni źródła emisji [ $m^2$ ],

$\alpha$  – szybkość przemian fizycznych lub chemicznych zanieczyszczenia w powietrzu atmosferycznym [1/s],

$\beta$  – szybkość pochłaniania zanieczyszczenia przez podłoże.

Przy określaniu postaci funkcji  $f$  oraz metod szacowania wartości parametrów należy uwzględnić rodzaj źródła emisji. W przypadku obiektów komunalnych istotnymi cechami, wyróżniającymi emitora, są: rodzaje zanieczyszczeń i sposób ich emisji do atmosfery, a także zasięg oddziaływania obiektu (Kulig 2004a).

Do modelowania rozprzestrzeniania się w atmosferze odorów ze źródeł przemysłowych jest wykorzystywany głównie model gaussowski oraz model CALPUFF (Latos i wsp. 2011). Stosowane na świecie modele, wykorzystywane w celu prognozy stężeń zapachu (w określonych warunkach meteorologicznych), to m.in. SCREEN3, AODM, ISCST3,



SC-PRIME, AERMOD, TAPM, GIADA, CFD (Stellacci i wsp. 2010; Sówka 2011; Busini i wsp. 2012; Dourado i wsp. 2012). Należy pamiętać, że modele różnią się istotnie rodzajem wprowadzanych danych, zwłaszcza meteorologicznych, algorytmami obliczeń numerycznych, sposobem prezentacji poszczególnych procesów i ich parametrów (Madany, Bartochowska 1995).

Modelowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń, oparte na modelach gaussowskich, ma duże ograniczenia związane z uzyskiwanym wynikiem dla stosunkowo długiego przedziału czasowego. Podawany jest wynik średni godzinowy lub dla dłuższego okresu czasu (Van Harreveld 2004). W przypadku odorów wartości chwilowe są jednak ważniejsze niż średnie (Piringer i wsp. 2007). Wyniki z modelowania mogą powodować niedoszacowanie realnego wpływu odorantów na otoczenie, ponieważ wpływ ten często jest zależny od wartości chwilowych, a nie godzinowych (Latos i wsp. 2011).

Model CALPUFF wykorzystuje metodę Lagrange'a, w którym rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń jest opisywane w układzie związanym z przemieszczającymi się masami powietrza. Wielowarstwowy model CALPUFF jest przeznaczony przede wszystkim do obliczeń w skali regionalnej. Może być stosowany do wszystkich rodzajów źródeł emisji (Markiewicz 2004). Model CALPUFF był wykorzystywany m.in. w celu znalezienia źródeł odorantów wpływających na zapachową jakość powietrza w mieście Terni oraz ich ilościowy wpływ na zapachową jakość powietrza w ww. mieście (Kim i wsp. 2006; Capelli i wsp. 2011).

Podstawowym problemem prawie wszystkich modeli stanu zanieczyszczenia atmosfery jest uzyskanie relacji matematycznych między emisją i wywołanymi przez nią stężeniami, przy wykorzystaniu m.in. informacji meteorologicznych. Można stwierdzić, że nie opracowano dotąd modelu, który uwzględniałby cały zakres złożoności ruchu atmosfery. Nie przekreśla to celowości modelowania, ale nakazuje pamiętać o istniejących ograniczeniach na każdym poziomie uproszczeń (Madany, Bartochowska 1995). Ponadto, brak jest modeli uwzględniających zmiany wrażenia węchowego, wywoływane zmianami stężeń i proporcji substancji w smudze zanieczyszczeń.

Modelowanie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń jest narzędziem stosowanym do obliczania, a nie do dokładnego odzwierciedlenia rzeczywistej sytuacji, intensywności, częstotliwości oraz kierunku rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza. Modelowanie może służyć do przewidywania oddziaływania zapachowego (Witherspoon, Barnes 2004).

Modelowanie może być wykorzystywane do określania dyspersji zanieczyszczeń przy wykorzystaniu danych emisyjnych. Za pomocą tego narzędzia można szacować maksymalną dopuszczalną emisję, która nie spowoduje przekroczenia stężeń zapachowych (o ile zostały ustanowione w danym kraju) lub powodujących skargi ludności korzystającej z terenów przyległych (McIntyre 2000; Latos i wsp. 2011).

Modelowanie dyspersji zanieczyszczeń znajduje zastosowanie w systemach wczesnego ostrzegania przed nadchodzącymi zdarzeniami odorowymi, rozpoznawaniu zasięgu smug zanieczyszczeń oraz inwentaryzacji okresów bezodorowych (Witherspoon, Barnes 2004).

## **2.9. Określanie stężenia substancji zapachowych w ściekach**

W przypadkach, gdy odoranty emitowane są ze ścieków, ilość pierwotnych substancji zapachowych (substancje wydzielające zapach) rozpuszczonych w ściekach można określić metodą odpędzenia całkowitego składników lotnych. Oprócz odorantów pierwotnych na skutek zachodzących przemian biochemicznych w ściekach tworzą się odoranty wtórne. Ilość wtórnych odorantów można ustalić na drodze pomiarowej, przez określenie potencjału tworzenia się substancji zapachowych (Zbiór Reguł ATV-DVWK M 204P 2003).

Niezależnie od zawartości pierwotnych bądź wtórnych odorantów wartość emisji zależna jest od intensywności kontaktu ścieków z atmosferą. Ilość odpędzonych lotnych składników (z ang. Odorants Emission Capacity – OEC) jest całkowitą zawartością odorantów, wyrażoną w  $\text{ou}/\text{m}^3$  cieczy, która może być wyemitowana z 1 metra sześciennego cieczy w stanie standardowym (Frechen, Köster 1998). Wielkość ta może być również przedstawiona jako ilość pojedynczego odoranta, np. siarkowodoru ( $\text{H}_2\text{S}$  Emission Capacity). Wielkość ta jest wtedy przedstawiona jako całkowita ilość siarkowodoru, wyrażana np. w  $\text{mg}$  odorantu/ $\text{m}^3$ , która może być wyemitowana z 1 metra sześciennego cieczy w stanie standardowym.

Dwie grupy czynników wpływają na transfer między fazą ciekłą i gazową i, co za tym idzie, na odpędzenie składników lotnych: czynniki fizyczne, takie jak np. temperatura cieczy, turbulencja cieczy, oraz ilość odorantów zawarta w fazie ciekłej (Frechen 2004).

Metoda odpędzenia składników lotnych pozwala ocenić efektywność środków, podjętych w celu ograniczenia uciążliwości zapachowej z oczyszczalni ścieków. Bardzo często

wykorzystuje się siarkowodor jako wskaźnik ograniczenia uciążliwości zapachowej, szczególnie w ściekach komunalnych zawierających znaczne ilości ścieków bytowych. W ściekach komunalnych, zawierających duże ilości różnych pierwotnych substancji zapachowych, pochodzących np. ze ścieków przemysłowych, ilość siarkowodoru może być stosunkowo niewielka wobec ilości wszystkich odorantów i zastosowanie siarkowodoru jako wskaźnika ograniczenia uciążliwości zapachowej może być błędne (Frechen 2004).

Metoda odpędzenia składników lotnych nie jest do tej pory znormalizowana. Aktualnie trwają w Niemczech prace nad normą VDI, standaryzującą procedury odpędzania składników lotnych z cieczy (Frechen 2012).

W celu wyznaczenia w ściekach poszczególnych związków chemicznych, np. lotnych związków organicznych czy siarkowych, jako wskaźników ograniczenia uciążliwości zapachowej, można wykorzystywać techniki wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) (Ábalos, Bayona i Pawliszyn 2000; Ábalos, Prieto i Bayona 2002; Godayol i wsp. 2011).

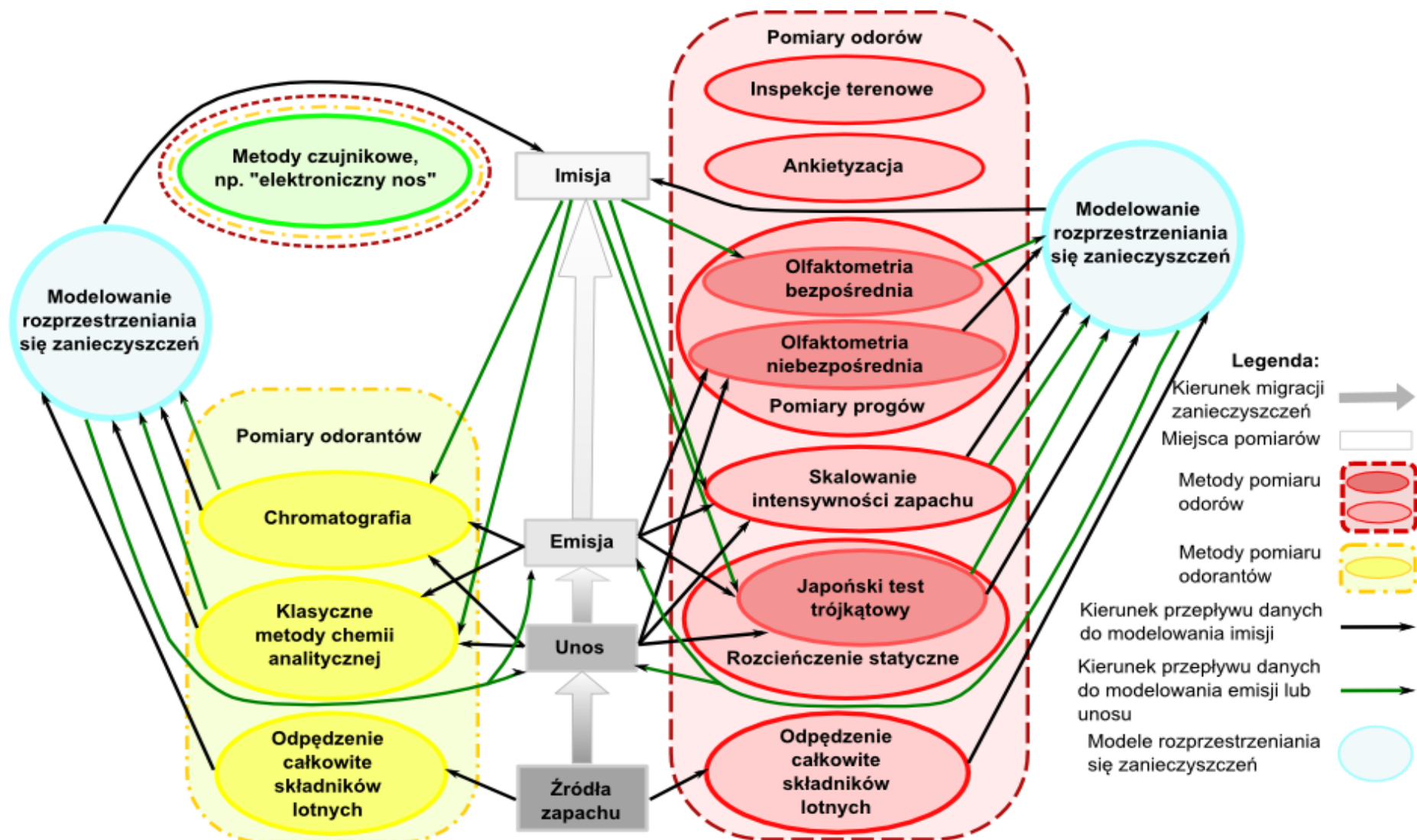
## **2.10. Metody czujnikowe**

Coraz większe znaczenie w metodach pomiarowych odorów zyskuje rozwój urządzeń typu „elektroniczny nos”. Urządzenia takie po właściwej kalibracji umożliwiają klasyfikację zapachów i ich nasilenie, umożliwiając eliminację ocen olfaktometrycznych na rzecz pomiarów instrumentalnych (Guz, Sobczuk i wasąg 2009; Sobczuk, Guz i wasąg 2009).

Urządzenia czujnikowe, którego przykładem jest „elektroniczny nos”, wraz z metodami chromatograficznymi służą do identyfikacji lub klasyfikacji wonnych gazów wraz z określeniem stopnia ich zanieczyszczenia lub intensywności (Sówka 2011). Stosowane były m.in. do badania źródeł przemysłowych (Guz, Sobczuk i Suchorab 2010), rolniczych (Sohn i wsp. 2008) i komunalnych: spalarni odpadów (Haas i wsp. 2008), składowisk odpadów komunalnych (Micone, Guy 2007), kompostowni (Sironi i wsp. 2007), oczyszczalni ścieków (Bourgeois, Stuetz 2002). Wiedza na temat ilości i jakości związków występujących wokół obiektów umożliwia tworzenie matryc czujników, które mogą być wykorzystane w „elektronicznym nosie”. Jednakże ze względu na wysokie progi detekcji, „elektroniczne nosy” nadają się lepiej do oceny zapachowej jakości powietrza w źródle emisji niż w próbkach powietrza pobranych w pewnej odległości od źródła (Witherspoon, Barnes 2004).

## **2.11. Klasyfikacja metod badawczych, stosowanych w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych**

Na podstawie przeglądu literaturowego zebrano informację o metodach badawczych, wykorzystywanych w ocenach oddziaływania zapachowego różnych źródeł odorantów, w tym głównie oczyszczalni ścieków komunalnych. Próba ich sklasyfikowania została przedstawiona na rysunku 2-3, gdzie pola szare przedstawiają możliwe miejsca pomiarów odorantów lub odorów. Szare strzałki przedstawiają kierunek migracji odorów, poczynając od źródła zapachu. W elipsach przedstawiono metody badawcze. Linia przerywaną zaznaczono zbiór metod pomiarów odorów, linią przerywaną i kropkowaną zbiór metod pomiarów odorantów, pole obwiedzone linią przerywaną i linią przerywaną kropkowaną oznacza metody pomiarów zarówno odorantów, jak i odorów. Okręgi przedstawiają metody modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Strzałki czarne przedstawiają kierunek przepływu danych do prognozowania emisji w oparciu o dane wejściowe do modelu, stanowiące wyniki pomiarów odorów lub odorantów w obiekcie badań, natomiast strzałki zielone – prognozowania unosu/emisji zanieczyszczeń z wykorzystaniem danych imisyjnych oraz rozwiązania tzw. odwrotnego zadania transportu.



Rys. 2-4 Klasyfikacja metod badawczych stosowanych w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych (oprac. wł.)  
 Fig. 2-4 Classification of research methods used in the odour impact assessment of the municipal sewage treatment plant (own fig.)

## 2.12. Wnioski, wynikające z przeglądu literaturowego

W ramach przeglądu literaturowego rozpoznano metody badawcze stosowane w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków. Obecnie pomiary odorów są najczęściej wykonywane metodą olfaktometrii dynamicznej. Norma europejska PN-EN 13725:2007 Jakość powietrza – Oznaczanie stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej [10], przetłumaczona na język polski w 2007 roku, oraz jej odpowiedniki w niektórych krajach pozaeuropejskich, takie jak np. norma australijska i nowo zelandzka [21], są dokumentami uznawanymi w największej ilości krajów na świecie. Oprócz metodyk pomiarów odorów lub odorantów, niektóre kraje europejskie, azjatyckie, Ameryki Północnej, Ameryki Południowej oraz Australii i Oceanii wprowadziły różne przepisy prawne, zarówno na szczeblach krajowych, jak i regionalnych, regulujące i ograniczające uciążliwość zapachową, w tym różne standardy zapachowej jakości powietrza lub dopuszczalne poziomy stężeń substancji w powietrzu (Loriato i wsp. 2012).

Pomiar stężenia zapachowego lub stężeń poszczególnych substancji jest tylko częścią procedury oceny oddziaływania zapachowego. W celu wykonania oceny oddziaływania zapachowego, w zależności od wybranej metody olfaktometrycznej konieczna jest standaryzacja pobierania próbek i określenie częstotliwości wykonywania pomiarów (Capelli i wsp. 2012a).

W Polsce brak jest przepisów prawnych oraz zaleceń metodycznych stosowanych w ocenie oddziaływania zapachowego. Problematyką ocen oddziaływania zapachowego zajmują się głównie ośrodki naukowo-badawcze, m.in.: Pracownia Zapachowej Jakości Powietrza z zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Katedra Ochrony i Kształtowania Środowiska Politechniki Warszawskiej. Autorzy oceniający oddziaływanie zapachowe stosują różne metody badawcze oraz często różnie interpretują wyniki pomiarów.

W celu rozwiązania problemów związanych z oceną uciążliwości zapachowej w Polsce, z przedstawionych w przeglądzie literaturowym metod badawczych należy wybrać jedną lub kilka metod, w zależności od badanych obiektów. Należy przy tym dokładnie określić procedurę badawczą, obejmującą: sposób pobierania próbek, metodę pomiaru, częstotliwość wykonywania pomiarów i interpretację wyników. Dodatkowo należy ustanowić

standardy zapachowej jakości powietrza lub poziomy odniesienia dla odorantów w powietrzu.

Poszczególne metody badawcze mają ograniczone zakresy stosowalności. Wysokie stężenia odorantów, jakie najczęściej występują w źródle mogą być oznaczane z wykorzystaniem niebezpośredniej olfaktometrii dynamicznej. Natomiast oznaczanie stosunkowo małych stężeń odorantów, z zakresu od 2 do 500 ou/m<sup>3</sup>, czyli stężeń występujących w pewnej odległości od źródła, jest możliwe dzięki stosowaniu bezpośredniej olfaktometrii dynamicznej z wykorzystaniem OT.

### **3. Koncepcja badań porównawczych wybranych metod badawczych**

#### **3.1. Cel, teza i zakres pracy**

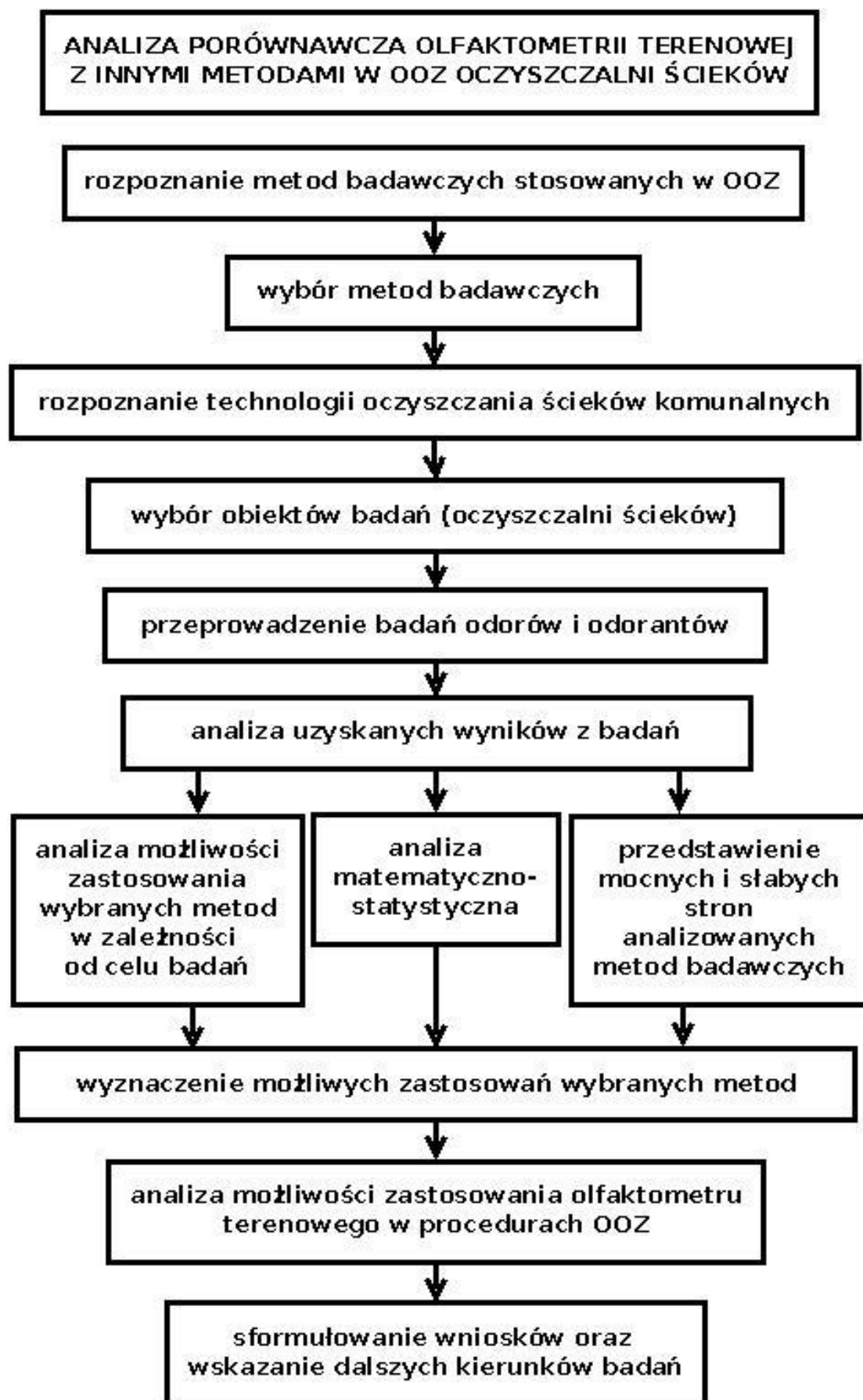
Celem niniejszej pracy pt. „*Analiza porównawcza olfaktometrii terenowej z innymi metodami badawczymi w ocenie oddziaływania oczyszczalni ścieków*” jest propozycja aplikacji rozwiązań metodycznych do procedur ocen oddziaływania na środowisko oraz przepisów prawnych. Została postawiona teza, że metoda bezpośredniej olfaktometrii dynamicznej z użyciem olfaktometru terenowego może być stosowana w procedurach oceny oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków.

Naukowym celem pracy jest określenie możliwości zastosowania OT w porównaniu z innymi metodami badawczymi w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych. Realizacja pracy jest celowa ze względu na brak referencyjnych metod badania odorów w przepisach prawnych i zaleceniach metodycznych.

Założono, że analiza wyników badań umożliwi sformułowanie odpowiedzi na pytanie, czy stosowanie różnych metod badawczych prowadzi do takich samych wniosków co do oceny oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych i ich poszczególnych obiektów ciągów technologicznych.

W celu realizacji zadań przedstawionych w pracy opracowano koncepcję badań porównawczych, przedstawioną w formie graficznej na rysunku 3-1. W pierwszej kolejności rozpoznano metody badawcze stosowane w OOZ, ze szczególnym uwzględnieniem metod wykorzystywanych w OOZ oczyszczalni ścieków. Po wykonaniu przeglądu literaturowego wybrano 5 metod badawczych, stosowanych w OOZ oczyszczalni ścieków oraz wybrano do badań oczyszczalnie ścieków. Po przeprowadzeniu badań, na podstawie uzyskanych wyników, wykonano analizę porównawczą wybranych metod badawczych. Określono możliwe zastosowania wybranych metod oraz przeanalizowano możliwości zastosowania OT w procedurach OOZ.





Rys. 3-1 Schemat realizacji zadań przedstawionych w pracy (oprac. wł.)  
 Fig. 3-1 Diagram of the tasks presented in the work (own fig.)

### **3.2. Zasady doboru metod badawczych**

W pracy wykorzystano pięć z wymienionych i opisanych w części literaturowej metod badawczych, stosowanych w OZ oczyszczalni ścieków komunalnych.

Pierwszą metodą była olfaktometria terenowa, wykorzystująca OT Nasal Ranger®. Jest to metoda stosunkowo tania i prosta, niewymagająca specjalistycznego laboratorium.

Drugą metodą badawczą wykorzystaną w pracy była olfaktometria niebezpośrednia. Procedura analizy olfaktometrycznej tą metodą jest częściowo unormowana i bardzo często stosowana w Europie w OZ.

Kolejne dwie metody badawcze wykorzystane w pracy związane są z analizą chemiczną metodami klasycznymi oraz chromatograficznymi. Oznaczanie kolorymetryczne amoniaku i siarkowodoru jest metodą stosunkowo tanią. Na Wydziale Inżynierii Środowiska PW metoda ta od wielu lat jest stosowana do oceny oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków. Metoda chromatograficzna analizy chemicznej odorantów umożliwia analizę kilku związków chemicznych równocześnie. Metody chromatograficzne stają się najpowszechniej i najczęściej stosowanymi metodami w analizie gazów.

Piątą metodą wykorzystaną w pracy była organoleptyczna ocena intensywności zapachu według sześciostopniowej skali. Metoda ta jest prosta i tania, nie wymaga żadnego wyposażenia a jedynie dobrze przygotowanego (doświadczonego) zespołu oceniającego.

### **3.3. Zakładane rezultaty badań**

Założono, że rezultaty pracy przyczynią się do opracowania metodyki służącej do oceny oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków, która będzie mogła stanowić propozycję rozwiązań metodycznych w procedurach oceny oddziaływania na środowisko oraz przepisach prawnych w Polsce. Ze względu na brak procedur do OZ oczyszczalni ścieków, umocowanych w przepisach prawnych i zaleceniach metodycznych, nie można było odnieść się do referencyjnej metody badawczej. W celu realizacji założeń pracy zaplanowano wykonanie serii badań różnymi metodami badawczymi. Założono, że wyniki uzyskane poszczególnymi metodami mogą być ze sobą słabo skorelowane.

Porównanie różnych metod badawczych na podstawie których autorzy wykonywali oceny oddziaływania zapachowego obiektów technologicznych oczyszczalni ścieków, miało na celu umożliwienie wypracowania procedury pomiarowej dla olfaktometrii terenowej.

## 4. Charakterystyka metod badawczych, wykorzystanych w pracy

### 4.1. Uzasadnienie wyboru porównywanych metod pomiarowych

W pracy wykorzystano pięć różnych metod pomiarowych, stosowanych w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków: pomiary stężenia zapachowego metodą olfaktometrii bezpośredniej (terenowej) z wykorzystaniem OT Nasal Ranger®, pomiary stężenia zapachowego metodą olfaktometrii niebezpośredniej, pomiary intensywności zapachu metodą oceny sensorycznej, a także pomiary stężenia odorantów metodą kolorymetryczną oraz chromatograficzną.

Olfaktometria terenowa jest stosunkowo nową metodą. Potencjalnie, ze względu na prostotę oraz niskie koszty pomiarów, metoda ta może być stosowana w procedurach oceny oddziaływania na środowisko oraz stanowić metodę referencyjną w przepisach prawnych w warunkach polskich. Jednak, zarówno w Polsce jak i na świecie, istnieje potrzeba dokładniejszego jej rozpoznania, ponieważ jest niewiele zaleceń metodycznych oraz publikacji naukowych na temat możliwości jej zastosowania w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków.

Metoda olfaktometrii niebezpośredniej jest stosunkowo dobrze rozpoznana, jednakże brak jest unormowanych metod pobierania próbek do oznaczeń ze źródeł, jakie najczęściej występują na oczyszczalniach ścieków, np. źródeł powierzchniowych dyfuzyjnych lub źródeł objętościowych. Jako metoda starsza i lepiej rozpoznana w stosunku do olfaktometrii terenowej, teoretycznie mogłaby stanowić metodę odniesienia.

Pomiary intensywności zapachu metodą oceny sensorycznej oraz pomiary stężeń odorantów metodą kolorymetryczną są stosowane w pracach badawczych i przeglądach środowiskowych na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. Doświadczenie, wynikające z zastosowania tych metod, jest bardzo pomocne w porównaniach z olfaktometrią terenową.

Oznaczanie stężeń odorantów metodami chromatograficznymi jest szybsze niż metodami chemii klasycznej. Metody chromatograficzne stwarzają potencjalne możliwości usprawnienia oznaczeń stężeń odorantów przez zastąpienie nimi metod kolorymetrycznych.

Należy zaznaczyć, że żadna z analizowanych w pracy metod pomiarowych nie jest normowana w całym zakresie procedury pomiarowej, ani nie jest przedmiotem zaleceń

metodycznych oraz odpowiadających im standardów jakości powietrza w przepisach prawnych. Stwarza to problemy w interpretacji wyników.

Zakładając, że na podstawie każdej z porównywanych metod pomiarowych można dokonać jednakowej, co do wniosków, oceny oddziaływania zapachowego, metoda olfaktometrii terenowej mogłaby zastąpić lub usprawnić dotychczasowe badania w ramach OZ.

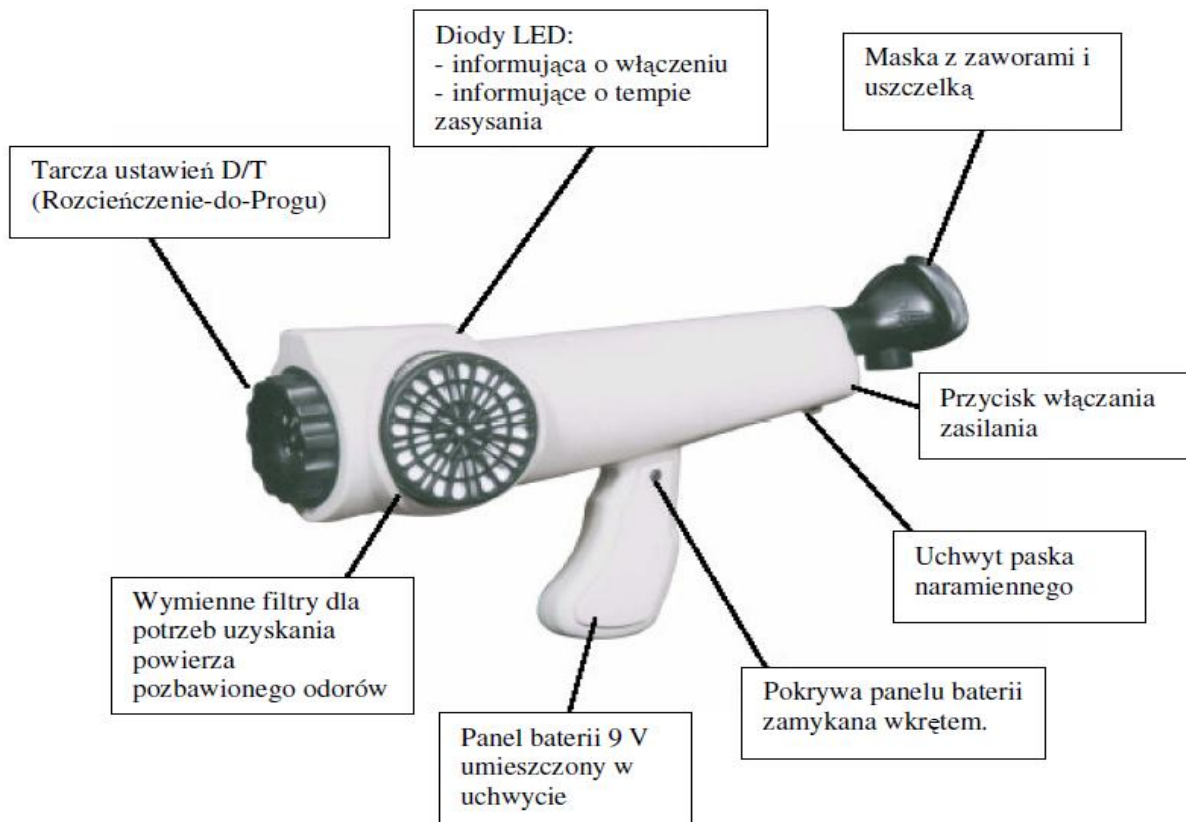
#### 4.2. Olfaktometria terenowa

Olfaktometria terenowa stanowi główną metodę pomiarową, zastosowaną w tej pracy badawczej. Pomiar chwilowego stężenia zapachowego przy użyciu OT były wykonywane na wszystkich badanych w pracy obiektach.

Wykorzystywany w pomiarach OT Nasal Ranger® (rys. 4-1, 4-2.) został opatentowany przez firmę St. Croix Sensory, Inc. (U.S. Patent No. 6.595.037) i wprowadzony na rynek w 2002 r. (McGinley, Charles 2002). Urządzenie to jest lekką, ważącą 0,91 kg, maską gazową, wyposażoną w dwa filtry z węglem aktywnym, w której znana część wdychanego powietrza może omijać filtry. Ideowy schemat działania OT Nasal Ranger® został przedstawiony na rysunku 4-3.

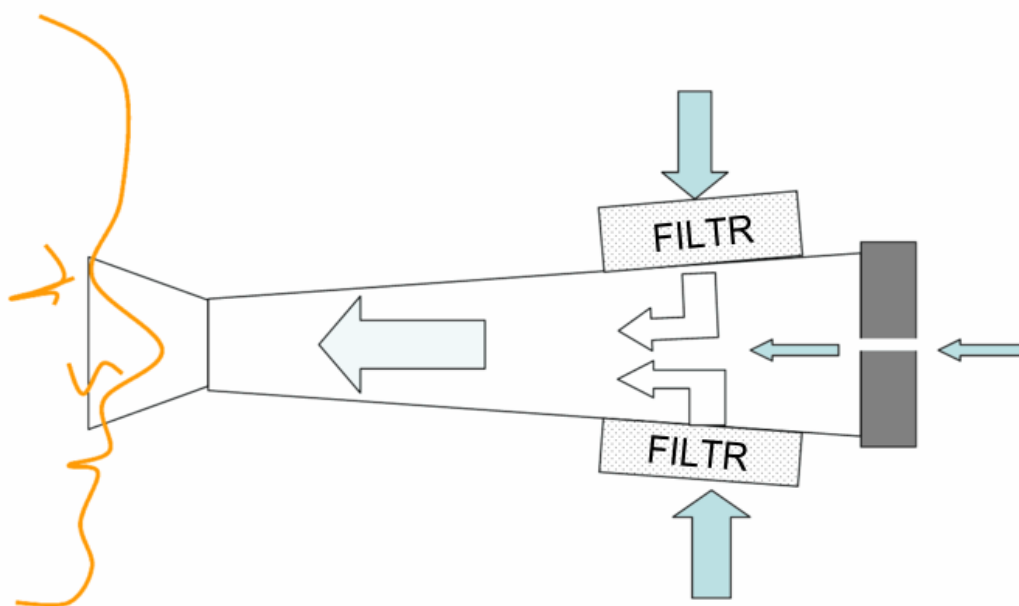


Rys. 4-1 Olfaktometr terenowy Nasal Ranger® (fot. wł.)  
Fig. 4-1 Field olfactometer Nasal Ranger® (own fot.)



Rys. 4-2 Budowa OT Nasal Ranger® (oprac. wł. na podstawie instrukcji obsługi Nasal Ranger®)

Fig. 4-2 Construction of field olfactometer Nasal Ranger® (own fig. based on Nasal Ranger® Field Olfactometer – Operation Manual)



Rys. 4-3 Schemat ideowy działania OT Nasal Ranger® (Wikipedia, 2012)

Fig. 4-3 Schematic diagram of a field olfactometer Nasal Ranger® (Wikipedia, 2012)

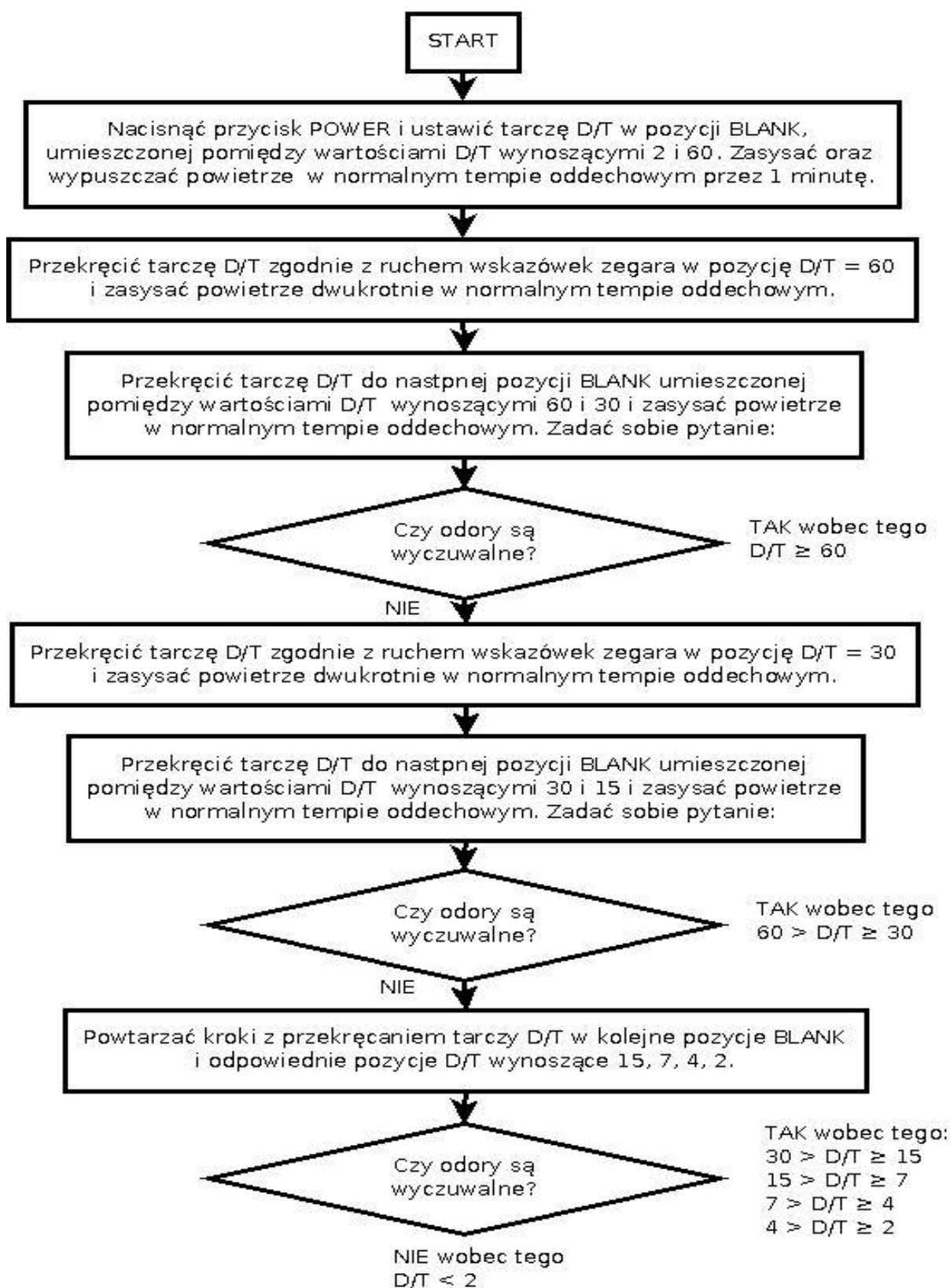
OT umożliwia odczyt wartości stosunku *Dilution to Threshold* (D/T), co odpowiada stosunkowi strumienia gazu oczyszczonego  $V_{\text{czyste}}$  do zanieczyszczonego  $V_{\text{surowe}}$ . Podczas pomiaru oceniający stopniowo zwiększa udział strumienia omijającego filtry, aż do osiągnięcia wyczuwalności zapachu. Po adaptacji węchu do zapachu powietrza oczyszczonego, czyli w całości przechodzącego przez filtry, wybiera się dostępne ustawienia stosunku strumienia gazu oczyszczonego  $V_{\text{czyste}}$  do zanieczyszczonego  $V_{\text{surowe}}$  w kolejności: 500, 400, 300, 200, 100, 60 lub 60, 30, 15, 7, 4, 2 (z przejściową pozycją BLANK). Pomiar jest zakończony w momencie stwierdzenia różnicy w zapachu ocenianym a pozycją BLANK. W urządzeniu zainstalowano czujnik prędkości przepływu wdychanego powietrza, ze wskaźnikiem informującym o osiągnięciu zalecanego poziomu 16 - 20 dm<sup>3</sup>/min. Procedura pomiarowa, opracowana przez producenta OT Nasal Ranger®, przedstawiona jest na schemacie blokowym na rysunku 4-4.

Filtry powietrza, wykorzystywane w OT Nasal Ranger®, mogą okazać się niewystarczające w przypadku pomiarów w atmosferze zawierającej wysokie stężenia odorantów (Bokowa 2012).

Podczas pracy z OT Nasal Ranger® cały czas należy oddychać przez nos w normalnym tempie oddechowym. Niedopuszczalne są ruchy OT powodujące rozszczelnienie połączenia twarzy i OT. Oddychanie w normalnym tempie oddechowym oznacza, że przez OT przepływa strumień powietrza odpowiadający 16 – 20 litrów na minutę. W czasie zasysania powietrza powinna świecić się zielona dioda. Zbyt mocne lub zbyt słabe zasysanie powietrza przez OT sygnalizowane jest diodami czerwonymi.

W laboratorium olfaktometrycznym oceniający podają wynik w postaci progu detekcji, a w terenie - progu rozpoznania (Brandt i wsp. 2008). Próg detekcji lub próg węchowej wyczuwalności jest definiowany jako stężenie zapachowe, przy którym zapach jest wyczuwalny przez 50% grupy osób reprezentatywnej dla populacji. Próg rozpoznania określa stężenie zapachowe, które w warunkach pomiaru umożliwia rozpoznanie zapachu z prawdopodobieństwem 0,5 [10]. Próg rozpoznania jest około 10 razy większy od progu wyczuwalności (Kośmider, Mazur-Chrzanowska i wyszyński 2002).

W przeprowadzonych badaniach, we wszystkich pomiarach uczestniczyły 2 przeszkolone osoby. W badaniach przeprowadzonych na oczyszczalniach ścieków w Rybieniu Starym, Mińsku Mazowieckim, Piasecznie i Warszawie brały udział osoby



Rys. 4-4 Schemat blokowy procedury pomiaru wartości D/T olfaktometrem terenowym Nasal Ranger® (oprac. wł. na podstawie instrukcji obsługi Nasal Ranger®)

Fig. 4-4 Block diagram of the procedure measurement odour concentration by field olfactometer Nasal Ranger® (own fig. based on Nasal Ranger® Field Olfactometer – Operation Manual)



oceniające, których wrażliwość węchowa na odorant odniesienia, tj. n-butanol, była sprawdzana zgodnie ze standardową procedurą, określającą indywidualną wrażliwość węchową, opracowaną przez St. Croix Sensory, Inc. (St. Croix Sensory 2006). Wrażliwość węchowa jednej z osób oceniających, biorącej udział w badaniach na oczyszczalni ścieków zlokalizowanej we Wrocławiu, była oceniana zgodnie z procedurą zawartą w normie PN-EN 13725:2007. Każdy z oceniających dysponował własnym OT. Pomiar wykonywane były równoległe, w tym samym czasie. Dla każdego punktu pomiarowego wykonano co najmniej 2 powtórzenia pomiarów. Przykładowy pomiar stężenia zapachowego przy użyciu OT Nasal Ranger® przedstawiony został na rysunku 4-5.



**Rys. 4-5 Pomiar wartości D/T przy użyciu OT Nasal Ranger® (fot. wł.)**

**Fig. 4-5 Measurement of D/T value using field olfactometer Nasal Ranger® (own fot.)**

Na podstawie wartości D/T obliczono indywidualne oszacowanie stężenia zapachowego  $Z_{ITE}$  [ $ou/m^3$ ] (analogicznie do wyznaczanego zgodnie z PN-EN 13725:2007). W tym celu, z zależności:

$$Z = (V_{czyste} + V_{surowe})/V_{surowe} = V_{czyste}/V_{surowe} + 1 \quad (2)$$

gdzie: Z – stopień rozcieńczenia [-],

$V_{czyste}$  – strumień gazu oczyszczonego [ $m^3/s$ ],

$V_{surowe}$  – strumień gazu surowego [ $m^3/s$ ].

obliczono dwie wartości stopnia rozcieńczenia (Z), odpowiadające pierwszemu ustawieniu  $V_{czyste}/V_{surowe}$ , przy którym zapach stał się wyczuwalny ( $Z_{TAK}$ ) i ustawieniu poprzedniemu ( $Z_{NIE}$ ).  $Z_{ITE}$  jest średnią geometryczną z wartości  $Z_{TAK}$  i  $Z_{NIE}$

$$Z_{ITE} = \sqrt{Z_{TAK} \cdot Z_{NIE}} \quad (3)$$

gdzie:  $Z_{ITE}$  – ocena proggu indywidualnego, wyrażona jako stopień rozcieńczenia [-],  
 $Z_{TAK}$  – stopień rozcieńczenia, przy którym zapach jest wyczuwalny [-],  
 $Z_{NIE}$  – stopień rozcieńczenia, przy którym zapach jest niewyczuwalny, odpowiadający ustawieniu poprzedzającemu ustawienie, przy którym zapach jest wyczuwalny [-].

W tabeli 4-1 przedstawiono wartości D/T uzyskane za pomocą OT Nasal Ranger®, korespondujące z oszacowaniami indywidualnymi  $Z_{ITE}$ .

W przypadku sytuacji, w których maksymalne z rozcieńczeń możliwych do ustawienia D/T = 500 nie było wystarczające dla jednej z osób oceniających, podczas gdy druga osoba wskazywała wartość D/T = 400 lub mniej, przyjęto istnienie kolejnego kroku rozcieńczeń D/T = 600. Arbitralnie przyjęto, że ten stosunek byłby wystarczający dla wszystkich oceniających (Kośmider, Krajewska 2007).

**Tabela 4-1 Metoda wyznaczania oszacowania indywidualnego w oparciu o wyniki D/T uzyskane OT Nasal Ranger®**

**Table 4-1 The method of determining an individual assessment based on the results of the D/T obtained with field olfactometer Nasal Ranger®**

Wyniki pomiarów D/T		Stopień rozcieńczenia Z		
$(V_{czyste}/V_{surowe})/_{TAK}$	$(V_{czyste}/V_{surowe})/_{NIE}$	$Z_{TAK}$ (wg wzoru 2)	$Z_{NIE}$ (wg wzoru 2)	$Z_{ITE}$ (wg wzoru 3)
500	600	501	601	549
400	500	401	501	448
300	400	301	401	347
200	300	201	301	246
100	200	101	201	142
60	100	61	101	78
30	60	31	61	43
15	30	16	31	22
7	15	8	16	11
4	7	5	8	6
2	4	3	5	4
0	2	1	3	2

Wartości stężenia zapachowego  $c_{od,OT}$  [ $ou/m^3$ ] obliczano jako średnią geometryczną ze zbioru  $n$  wszystkich oszacowań indywidualnych ( $Z_{ITE}$ ) dla danego punktu receptorowego.

$$C_{od,OT} = \sqrt[n]{\prod_{ITE}^n Z_{ITE}} \quad [ou/m^3] \quad (4)$$

gdzie:  $C_{od,OT}$  – wartość stężenia zapachowego [ $ou/m^3$ ],

$n$  – liczba wszystkich oszacowań indywidualnych [-].

W badaniach przeprowadzanych na terenie Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”, w okresach pomiędzy kolejnymi pomiarami, w celu uniknięcia adaptacji węchu, osoby oceniające chroniły nosy półmaskami filtrującymi. Wykorzystano półmaski gazowe firmy 3M® 6200 z filtrem 6057 ABE1 (filtr ABE1 przeciw parom organicznym, gazom nieorganicznym i kwaśnym do stężeń nie przekraczających 1000 ppm).

### 4.3. Olfaktometria niebezpośrednia

Badania olfaktometryczne niebezpośrednie prowadzone były w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”, w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” oraz w wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek”.

Oznaczenia stężeń zapachowych metodą olfaktometrii dynamicznej wykonywano zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 13725:2007. Badania były wykonywane w dwóch laboratoriach olfaktometrycznych, spełniających wymagania zawarte w normie PN-EN 13725:2007. Wynik oznaczenia podano w jednostkach zapachowych w jednym metrze sześciennym  $ou_E/m^3$ .

Próbki powietrza pobierano za pomocą urządzenia wykorzystującego „zasadę płuca”, tzn. w cylindrycznym pojemniku wykonanym z tworzywa sztucznego umieszczony był worek na próbkę, a powietrze z pojemnika było usuwane za pomocą pompy próżniowej (rys. 4-6). Wszystkie elementy zestawu do pobierania próbek wykonane były z materiałów bezwonnych, nie pochłaniających zapachów. Zgodnie z zaleceniami, zawartymi w rozdziale 6.3.2. normy PN-EN 13725:2007, worki wykonane z poli(tereftalanu etylenu) były uprzednio kondycjonowane.

Zgodnie z normą PN-EN 13725:2007, badania prowadzone były w wyciszonym i odizolowanym pomieszczeniu o stabilnych warunkach temperaturowych i oświetleniowych. Zespół pomiarowy złożony był z 4 probantów oraz jednego operatora. Probandci byli

wyselekcjonowani zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie PN-EN 13725:2007 (przy użyciu substancji odniesienia, jaką jest n-butanol w azocie).

Początkowe rozcieńczenia próbek były tak dobierane, aby nie było możliwe stwierdzenie obecności zapachu. Prezentowane rozcieńczenia były malejące. Wśród próbek, prezentowanych osobom oceniającym, znajdowały się tzw. „próbki ślepe” lub „próbki zerowe”, w których zamiast powietrza z substancjami zapachowymi było prezentowane czyste, bezwonne powietrze.

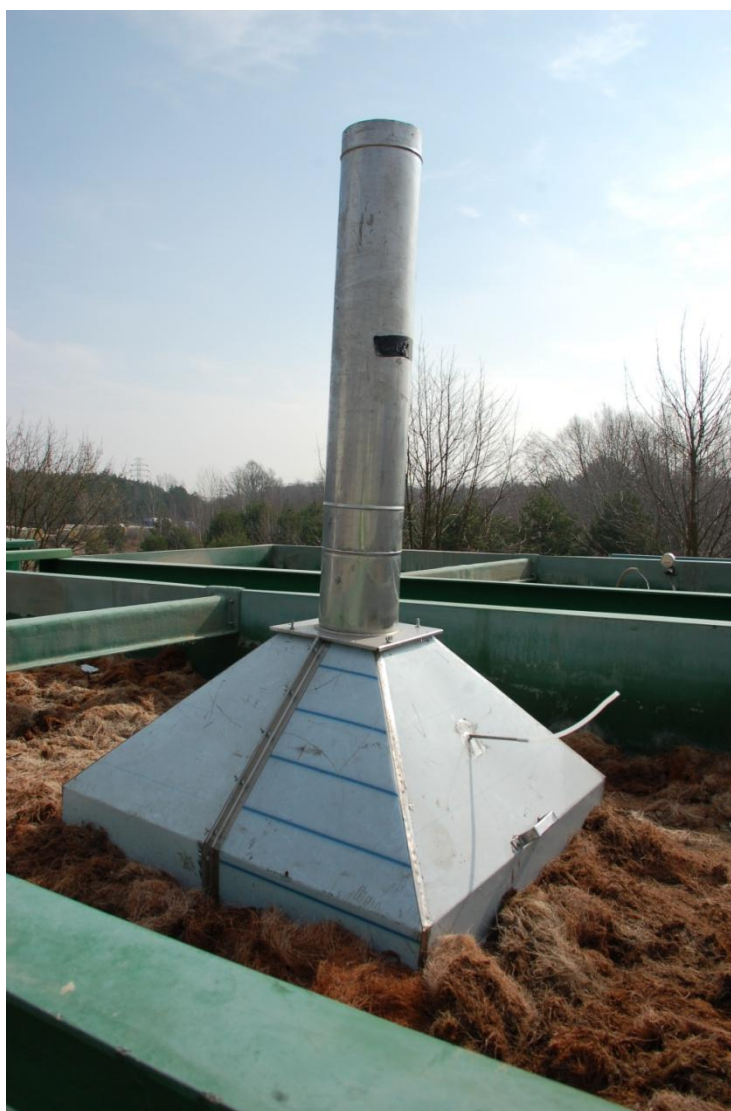
Olfaktometr był połączony z komputerem z zainstalowanym specjalnym oprogramowaniem. Jeden pomiar składał się z czterech serii. Zebrane w komputerze wyniki zostały obliczone jako wynik pomiaru zespołowego ( $Z_{ite,pan}$ ) - średnia geometryczna ze wszystkich pomiarów indywidualnych. Była to jednocześnie wartość stężenia odorów w danej próbce ( $c_{od,E}$ ), wyrażona, zgodnie z PN-EN 13725:2007, liczbą europejskich jednostek zapachowych w metrze sześciennym obojętnego gazu ( $ou_E/m^3$ ).



**Rys. 4-6 Pobieranie próbek powietrza z biofiltra, z wykorzystaniem osłony strumienia, do oznaczeń olfaktometrycznych niebezpośrednich (fot. wł.)**

**Fig. 4-6 Air sampling from biofilter using hood method for determinations of delayed olfactometry (own fot.)**

Analizy olfaktometryczne próbek powietrza, pobranych z oczyszczalni ścieków w Warszawie i Piasecznie, wykonywane były w laboratorium olfaktometrycznym OTTO Engineering Polska S.A. w Rzeszowie. Do pobierania emisyjnych próbek powietrza ze źródeł aktywnych została wykorzystana obudowa ze stali o wymiarach 1 m x 1 m (rys. 4-7), a do pobierania ze źródeł pasywnych obudowa ze stali o wymiarach 0,8 m x 1,25 m, w której przepływ strumienia powietrza wynosił 100 m<sup>3</sup>/h (rys. 4-8). Ponadto pobierano imisyjne próbki powietrza metodą „kubaturową” – z wolnej przestrzeni (rys. 4-9). Oznaczenie stężenia zapachowego wykonywano na olfaktometrze typu T07.



**Rys. 4-7 Obudowa ze stali do pobierania emisyjnych próbek powietrza z powierzchniowych źródeł aktywnych (fot. wł.)**

**Fig. 4-7 Hood method for air sampling from active area sources (own fot.)**





**Rys. 4-8 Pobieranie próbek powietrza do oznaczeń olfaktometrycznych niebezpośrednich z piaskownika (źródło pasywne) za pomocą obudowy z wymuszonym przepływem powietrza (fot. wł.)**

**Fig. 4-8 Air sampling from the sand trap for determinations of the delayed olfactometry using hood method with forced air flow (own fot.)**



**Rys. 4-9 Pobieranie próbek powietrza do oznaczeń olfaktometrycznych niebezpośrednich, oznaczeń siarkowodoru i amoniaku metodą kolorymetryczną, oznaczeń tioli i siarczków metodą chromatograficzną oraz pomiar D/T przy użyciu OT w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” (fot. wł.)**

**Fig. 4-9 Air sampling for delayed olfactometry, colorimetric method of determination of hydrogen sulphide and ammonia, gas chromatography method of determination thioles and sulphides and determination of D/T value using field olfactometer in sieve building at Wastewater Treatment Plant “Piaseczno” (own fot.)**

Analizy olfaktometryczne próbek powietrza, pobranych z wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek”, prowadzono w Laboratorium Badań Olfaktometrycznych (AB 1461) w Zakładzie Ekologii Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, mieszczącym się przy Pl. Grunwaldzkim 9 we Wrocławiu. Próbki powietrza pobierano bez wykorzystania osłony strumienia, metodą „kubaturową”, na różnej wysokości nad zwierciadła ścieków lub uwodnionych osadów ściekowych (rys. 4-10). Oznaczanie stężenia zapachowego wykonywano na olfaktometrze typu T08.



**Rys. 4-10 Pobieranie próbek powietrza do oznaczeń olfaktometrycznych niebezpośrednich - komora zbiorcza we Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek” (fot. wł.)**

**Fig. 4-10 Air sampling for determinations of the delayed olfactometry - the inlet chamber at the Wastewater Treatment Plant “Janówek” (own fot.)**

#### **4.4. Skalowanie intensywności zapachu**

Intensywność zapachu oceniano organoleptycznie według zmodyfikowanej i rozszerzonej przez Kuliga (Kulig 2004a; Kulig, Barczak 2010) o jeden stopień skali Justa, przedstawionej w tabeli 2-3. Oceny przeprowadzał wyszkolony dwuosobowy zespół badaczy o sprawdzonej wrażliwości węchu, rozpoznający zapachy pochodzące z różnych źródeł.

Błędy, wpływające na wyniki oceny, związane są z adaptacją węchu oraz ze zmienną percepcją osób oceniających.

Ocenę intensywności zapachu wykonywano w Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w Warszawie oraz w oczyszczalniach w Rybieniu Starym i w Mińsku Mazowieckim.

#### **4.5. Kolorymetryczne oznaczanie siarkowodoru i amoniaku**

##### **4.5.1. Metodyka badania stężeń gazów w powietrzu**

Do oznaczania stężeń siarkowodoru i amoniaku w powietrzu wykorzystano metodę aspiracyjną. Metoda ta polega na przepuszczeniu określonej objętości powietrza przez filtr, który stanowił połączone szeregowo płuczki, zawierające odpowiedni dla oznaczanego związku roztwór pochłaniający. Przyrząd, umożliwiający pobieranie określonej ilości powietrza w określonym czasie, stanowił aspirator czterostanowiskowy AG-4 (rys. 4-11). Do przyrządu podłączone zostały płuczki, do których za pomocą wężyków doprowadzane było powietrze z punktu receptorowego – z miejsca będącego przedmiotem badań. Prędkość przepływu powietrza przez płuczki wynosiła  $1 \text{ dm}^3/\text{min}$ .

Pobieranie próbek powietrza do oznaczeń stężeń odorantów klasycznymi metodami chemii analitycznej wykonywano na terenie: Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym, Oczyszczalni Ścieków w Mińsku Mazowieckim, Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w Warszawie oraz Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”.





**Rys. 4-11 Pobieranie próbek powietrza do oznaczeń siarkowodoru i amoniaku - komora zbiorcza na Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w Warszawie (fot. wł.)**

**Fig. 4-11 Air sampling for determination of hydrogen sulfide and ammonia - the collection chamber at Wastewater Treatment Plant “Czajka” (own fot.)**

#### **4.5.2. Metodyka oznaczania siarkowodoru**

Siarkowódór wydziela się z powietrza drogą absorpcji w wodnym roztworze octanu cynku. Siarkowódór, a właściwie jon siarczkowy związany w postaci siarczku cynku, tworzy w środowisku kwaśnym z roztworem p-aminodimetyloaniliny w obecności chlorku żelazowego niebiesko-granatowy kompleks barwny błękitu metylenowego. Intensywność zabarwienia roztworu jest zależna od ilości siarkowodoru (Kulig i wsp. 1984).

Próbki powietrza do oznaczeń siarkowodoru, pobierane metodą aspiracyjną, przepuszczano przez roztwór pochłaniający, stanowiący 2% octan cynku –  $Zn(CH_3COO)_2$ . Reakcja absorpcji przebiegała ilościowo, a powstający w małych ilościach osad był praktycznie bezbarwny. Przy stosowaniu roztworów zakwaszonych kwasem octowym osad nie wydzielał się.

Obliczenia stężeń dla siarkowodoru były wykonywane zgodnie ze wzorem:

$$C_{H_2S} = (1000 \times C_{H_2Spr}/30)/1000 \text{ [mg/m}^3\text{]} \quad (5)$$

gdzie: 1000 – przelicznik z  $dm^3$  na  $m^3$ ,

$C_{H_2Spr}$  – ilość siarkowodoru zaabsorbowanego w 2% roztworze octanu cynku  
[ $\mu\text{g/próbkę}$ ],

30 – ilość powietrza przepuszczonego przez płuczki [ $dm^3$ ],

1000 – przelicznik z  $\mu\text{g}$  na  $\text{mg}$ .

Dolna granica oznaczalności metody wynosi  $0,003 \text{ mg/m}^3$ .

#### 4.5.3. Metodyka oznaczania amoniaku

Amoniak, jako gaz o charakterze zasadowym, stosunkowo łatwo ulega absorpcji w roztworach kwasów mineralnych i w postaci soli amonowych w roztworach wodnych może być wyodrębniany z powietrza i zatężany. W małych stężeniach jony amonowe, zaabsorbowane w środowisku kwaśnym, powodują żółto-brązowe zabarwienie odczynnika Nesslera, które jest proporcjonalne do ich stężenia (Kulig i wsp. 1984).

Obliczenia dla amoniaku wykonywane były zgodnie ze wzorem:

$$C_{NH_3} = (1000 \times C_{NH_3pr}/30)/1000 \text{ [mg/m}^3\text{]} \quad (6)$$

gdzie: 1000 – przelicznik z  $dm^3$  na  $m^3$ ,

$C_{NH_3pr}$  – ilość amoniaku zaabsorbowanego w 0,005 M kwasie siarkowym  
[ $\mu\text{g/próbkę}$ ],

30 – ilość powietrza przepuszczonego przez płuczki [ $dm^3$ ],

1000 – przelicznik z  $\mu\text{g}$  na  $\text{mg}$ .

## 4.6. Chromatograficzne badanie związków siarki

### 4.6.1. Metodyka oznaczania stężeń związków siarki przenośnym chromatografem Photovac Voyager

Do oznaczeń chromatograficznych wykorzystano przenośny chromatograf gazowy Photovac Voyager z detektorem PID. Urządzenie to umożliwia analizę *in situ*. Dzięki jego oprogramowaniu możliwe jest porównanie uzyskanych wyników analizy z krzywą wzorcową. Dane do krzywej wzorcowej wprowadza się do pamięci chromatografu. Po dokonaniu analizy informacja zostaje pokazana w postaci chromatogramu, nazwy związku oraz jego stężenia.

Chromatograf posiada trzy oddzielne kolumny analityczne, umożliwiające oznaczanie związków ciężkich, średnich i lekkich, których wybór zostaje dokonany przez użytkownika. Pierwsza kolumna A służy do oznaczania związków o dużej masie cząsteczkowej, np. alfa-pinen (masa cząsteczkowa 136). Na kolumnie B oznaczane są związki o średniej masie cząsteczkowej, np. metanotiol (masa cząsteczkowa 48) a na kolumnie C o małej, np. siarkowodór (masa cząsteczkowa 34). Związki ciężkie nie są wprowadzane do kolejnej kolumny dzięki dostosowaniu czasu wymywania zwrotnego. Związki lekkie, które nie podlegają rozdzielaniu na kolumnie A i B, przedstawiane są na chromatogramie jako piki początkowe. W celu nieuwzględnienia ich w raporcie końcowym można zastosować opóźnienie integracji. Związki o średniej oraz małej masie cząsteczkowej, badane odpowiednio na kolumnie B i C, przechodzą przez kolumnę A. Na kolumnie A związki średnie są wymywane poprzez odpowiednie dobranie czasu wymywania zwrotnego.

Praca z chromatografem jest również możliwa dzięki oprogramowaniu Site Chart. Oprogramowanie to umożliwia łatwiejszą obsługę urządzenia oraz kontrolę nad pracą chromatografu.

Podczas pracy z chromatografem mogą wystąpić błędy pomiarowe, związane z integracją piku, próbkowaniem, adsorpcją związku, dryftem wskazań detektora w czasie mierzonym od ostatniej wykonanej kalibracji.

Pomiary stężeń odorantów metodą chromatografii gazowej wykonywane były na oczyszczalni ścieków w Rybieniu Starym (rys. 4-12) i w Mińsku Mazowieckim.





**Rys. 4-12 Pobieranie próbek powietrza do tedlarowych worków do oznaczeń chromatograficznych oraz próbek do oznaczeń siarkowodoru i amoniaku metodą kolorymetryczną – otoczenie reaktorów biologicznych w Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym (fot. wł.)**

**Fig. 4-12 Air sampling to the tedlar bags for chromatographic determination and air sampling for determination of hydrogen sulfide and ammonia using colorimetric method – surrounding of the bioreactors at Wastewater Treatment Plant in Rybienio Stare (own fot.)**

Próbki powietrza do analizy chromatograficznej pobierane były do worków wykonanych z tedlaru. Czas pobierania próbek, w zależności od badanego związku, wynosił 1, 5 lub 30 min. Do worków o pojemności 1 dm<sup>3</sup> próbki powietrza pobierane były w ciągu jednej minuty, natomiast do worków o pojemności 3 dm<sup>3</sup> w ciągu 5 i 30 min. Analizy chromatograficzne wykonywane były tuż po napełnieniu worka na terenie oczyszczalni.

Do oznaczania siarkowodoru wykorzystano kolumnę kapilarną z fazą 1005 silikonu metylowego, o długości 150 m, średnicy wewnętrznej 0,32 mm, grubości filmu 12 µm. Parametry pomiaru: ciśnienie 8,0 psi, temperatura pieca 60°C, czas analizy 300 s.

Do oznaczania metanotolu, etanotolu, disiarczku dimetylu i siarczku dimetylu używano kolumny kapilarnej Supelcowax 10 z fazą WAX, o długość 20 m, średnicy wewnętrznej 0,32 mm, grubości filmu 1,0 µm. Parametry pomiaru: ciśnienie 8,0 psi, temperatura pieca 60°C, czas analizy 850 s.

Z uwagi na bardzo zbliżony czas retencji etanotolu i DMS oraz na ograniczenie oprogramowania, w analizie wybrano tylko jeden z tych związków – etanotiol.

Z uwagi na zbyt wysokie progi detekcji chromatografu przenośnego Voyager w stosunku do progów węchowej wyczuwalności (tab. 4-2), zrezygnowano z porównywania wyników uzyskanych przy wykorzystaniu tego urządzenia z wynikami uzyskanymi innymi metodami. Urządzenie to nie jest odpowiednie do analizy chemicznej wartości stężeń odorantów występujących w otoczeniu obiektów ciągów technologicznych oczyszczalni ścieków.

**Tabela 4-2 Progi węchowej wyczuwalności wg Ammore'a i Hautali (1983) – a, Devos i wsp. (1991) - b, Haz-Map (2012) – c oraz progi detekcji chromatografu**  
**Table 4-2 Detection threshold base on Ammore'a i Hautali (1983) – a, Devos i wsp. (1991) - b, Haz-Map (2012) – c and the detection limits of chromatograph**

Lp.	Nazwa związku	Próg wyczuwalności [mg/m <sup>3</sup> ]	Próg detekcji chromatografu [mg/m <sup>3</sup> ]
1	Siarkowodór	0,01129 – 0,0251 <sup>a,b</sup>	0,06969
2	Etanotiol (merkaptan etylowy)	0,0028 <sup>a</sup>	0,127
3	Metanotiol (merkaptan metylowy)	0,00196 – 0,00393 <sup>a,b</sup>	0,09816
4	Disiarczek dimetylu	0,00301 – 0,01387 <sup>c</sup>	0,193
5	Siarczek dimetylu	0,0249 – 0,05082 <sup>c</sup>	0,127

#### 4.6.2. Kalibracja przenośnego chromatografu Photovac Voyager

Kalibracja chromatografu została wykonana z wykorzystaniem certyfikowanej mieszanki gazów kalibracyjnych w azocie Scientific and Technical Gases Ltd., w skład której wchodziły: metanotiol o stężeniu 110 mg/m<sup>3</sup>, siarkowodór – 77,9 mg/m<sup>3</sup>, etanotiol – 142 mg/m<sup>3</sup>, disiarczek dimetylu – 217 mg/m<sup>3</sup>.

Rozcieńczenia, potrzebne do wykonania krzywej kalibracyjnej, zostały wykonane zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie *PN-EN ISO 6144:2010 Analiza gazu* -

*Przygotowanie gazowych mieszanin wzorcowych - Statyczna metoda objętościowa [22].* Do tego celu wykorzystano strzykawkę gazową o pojemności 2 dm<sup>3</sup>. Pobrana mieszanka kalibracyjna była wtłaczana w odpowiedniej ilości do tedlarowych worków oraz rozcieńczana czystym azotem w stosunku właściwym do osiągnięcia zakładanego stężenia. Krzywe kalibracyjne dla siarkowodoru, metanotolu, etanotolu i DMDS wykonano na podstawie 4 różnych rozcieńczeń mieszanki gazów kalibracyjnych.

#### **4.6.3. Metodyka oznaczania stężeń związków siarki metodą GC-MS**

Badania metodą GC-MS zostały przeprowadzone dla próbek powietrza pobranych w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”. Próbki powietrza do oznaczeń metanotolu i etanotolu pobierane były do pipet gazowych. Były to próbki chwilowe. Do oznaczenia siarczku dimetylu używano adsorbenta. Próbki pobierane były przez 15 minut. Badania były wykonywane w akredytowanym laboratorium w zakładzie Chemii Środowiska s.c. (AB 959), mieszczącym się przy ulicy Żwirki i wigury 101 w Warszawie. Wykonywane były oznaczenia metanotolu, etanotolu oraz siarczku dimetylu.

Metoda oznaczania metanotolu i etanotolu polegała na izolacji analitów z próbek za pomocą mikroekstrakcji do fazy stałej i oznaczaniu metodą kapilarnej chromatografii gazowej ze spektrometrem mas jako detektorem. Oznaczanie siarczku dimetylu polegało na izolacji analitu z powietrza metodą adsorpcji, desorpcji rozpuszczalnikiem i oznaczeniu metodą kapilarnej chromatografii gazowej ze spektrometrem mas jako detektorem. Wykrywalność oznaczanych substancji wynosiła ok. 5 µg/m<sup>3</sup>. Oszacowana niepewność rozszerzona dla 95% poziomu ufności i współczynnika rozszerzenia  $k = 2$  oznaczenia stężeń metanotolu i siarczku dimetylu wynosi około 25%.

#### **4.7. Kontrola warunków meteorologicznych**

Podczas pobierania próbek powietrza każdorazowo wykonywano pomiary temperatury i wilgotności powietrza, a w przypadku badań w powietrzu atmosferycznym także prędkości i kierunku wiatru. W ramach przyjętej metodyki badań, punkty receptorowe wybierano w taki sposób, żeby zminimalizować wpływ warunków atmosferycznych, w szczególności wiatru, oraz wpływ innych obiektów ciągu technologicznego.

Na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń, emitowanych z niskich powierzchniowych i kubaturowych (objętościowych) źródeł emisji, znaczący wpływ mają różne rodzaje ruchów powietrza w atmosferze: poziomy (adwekcyjny), pionowy (konwekcyjny) oraz ślizgowy i falowy (Kulig 2004a). Ruch poziomy wiąże się z wpływem wiatru, ruch pionowy dotyczy głównie prądów wstępujących nad nagrzaną powierzchnię obiektów emitujących zanieczyszczenia. Pozostałe ruchy wynikają z ukształtowania powierzchni terenu oraz wpływu naturalnych i sztucznych przeszkód, np. zespołu drzew lub budynków.

Wzrost prędkości wiatru powoduje obniżenie stężenia składników smugi zanieczyszczeń (Korzeniowska-Rejmer, Generowicz 2012). Największe stężenia składników zanieczyszczeń występują w najniższej, przyziemnej warstwie powietrza. Wzrost prędkości wiatru zmniejsza możliwość oderwania się smugi zanieczyszczeń od powierzchni ziemi, co prowadzi do zwiększenia zasięgu i powierzchni rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Smuga zanieczyszczeń przesuwa się w atmosferze razem z otaczającymi go masami powietrza, przybierając prędkość stosownie do prędkości wiatru.

Pomiary i obserwacje meteorologiczne prowadzono ze względu na konieczność określenia warunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń. Informacje o warunkach meteorologicznych (np. kierunek wiatru) były wykorzystywane bezpośrednio w czasie badań.

Kierunek wiatru określano metodą smugi przed rozpoczęciem obserwacji i pomiarów. Sprawdzano go w czasie badań kilkakrotnie. Pomiar prędkości wiatru wykonywano za pomocą anemometru ręcznego z wirnikiem skrzydełkowym typ AR-2. Czas uśrednienia prędkości wiatru w jednym punkcie pomiarowym wynosił 60 sekund. Pomiar kierunku i prędkości wiatru wykonywano na wysokości 2 m. Pomiar temperatury i wilgotności względnej powietrza wykonywano na wysokości 1.5 m. Do pomiaru wykorzystano psychrometr aspiracyjny Assmana z napędem sprężynowym. Określano także stopień zachmurzenia.

Analizy wybranymi metodami badawczymi przeprowadzono w zróżnicowanych warunkach meteorologicznych, badania wykonywano w okresie wiosennym, letnim oraz jesiennym.

Nie prowadzono badań w czasie deszczu. Opady atmosferyczne wpływają na zasięg przesuwania się smugi zanieczyszczeń i powodują zmniejszenie stężenia zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego w wyniku rozpuszczania ich w wodzie – zjawisko absorpcji zanieczyszczeń zachodzących na powierzchni kropel i mechanicznego działania opadów.

Krople deszczu porywają cząstki zanieczyszczeń, transportując je do powierzchni ziemi (Korzeniowska-Rejmer, Generowicz 2012).

Nie prowadzono badań w okresie zimowym, kiedy temperatury powietrza atmosferycznego osiągają wartości poniżej 0°C, ponieważ wtedy obserwowana jest zmniejszona uciążliwość zapachowa oczyszczalni ścieków (Kulig 2004a). Ponadto ze względu na zamarzanie roztworów pochłaniających, pobieranie próbek do oznaczeń kolorymetrycznych w temperaturach ujemnych jest niemożliwe. Komfort użytkowania OT w temperaturach ujemnych jest znacznie niższy.

Wraz ze wzrostem temperatury wzrasta stała Henry'ego, co oznacza, że zanieczyszczenia stają się bardziej lotne, emisja ze źródeł powierzchniowych wzrasta (Sattler, Devanathan 2007). W oczyszczalniach ścieków wzrost temperatury powietrza powoduje wzrost aktywności mikroorganizmów beztlenowych, ponieważ rozpuszczalność tlenu w ściekach maleje wraz ze wzrostem temperatury. Warunki beztlenowe sprzyjają powstawaniu siarczków.



## 5. Opis badanych oczyszczalni ścieków

### 5.1. Zasady wyboru badanych obiektów i punktów receptorowych

Do badań wybrano oczyszczalnie ścieków komunalnych: mechaniczno-biologiczne i mechaniczno-biologiczno-chemiczne. Są to najczęściej spotykane oczyszczalnie ścieków w Polsce (Kulig et al. 2010). Badania przeprowadzono na terenie dwóch dużych ( $Q_{dśr} > 100000 \text{ m}^3/\text{d}$ ) oraz trzech średnich ( $200 < Q_{dśr} < 100000 \text{ m}^3/\text{d}$ ) oczyszczalni ścieków. We wszystkich oczyszczalniach ścieków występował problem uciążliwości zapachowej. W jednej oczyszczalni ścieków prowadzono badania w niestandardowych warunkach, podczas jej modernizacji. Badania prowadzono w okresie od października 2009 r. do lipca 2013 r.

W oczyszczalniach ścieków komunalnych można wyodrębnić trzy najważniejsze strefy emisji odorantów: pierwszą – doprowadzanie ścieków i oczyszczanie mechaniczne, drugą – oczyszczanie biologiczne i trzecią związaną z obróbką osadów (Kośmider, Mazur-Chrzanowska i Wyszyński 2002). Na każdym etapie oczyszczania skład emitowanej mieszaniny odorantów jest inny, a dla różnych oczyszczalni podobny. Poszczególne procesy technologiczne są źródłem podobnych odorantów.

Ścieki surowe, dopływające do oczyszczalni ścieków, charakteryzują się dużą zawartością odorantów pierwotnych, takich jak: węglowodory alifatyczne, aromatyczne i chlorowane, ksylen, fenol, benzen, mocznik, amoniak, skatol, indol, oraz wtórnych powstających na skutek zagniwania ścieków w kanalizacji w warunkach beztlenowych.

Przy braku lub niedostatecznej hermetyzacji obiektów technologicznych części mechanicznej oczyszczania ścieków, ze ścieków surowych następuje uwalnianie odorów do atmosfery. Badanymi obiektami technologicznymi części mechanicznej były: komora zbiorcza, budynek krat, piaskownik, separator piasku i osadnik wstępny w „starej” (przed modernizacją i rozbudową) Oczyszczalni Ścieków „Czajka”, komora zbiorcza, pomieszczenie krat i piaskowniki w Oczyszczalni Ścieków w Mińsku Mazowieckim, krata wstępna i sitopiaskownik w Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym, komora wejściowa, hala krat i budynek sitopiaskowników we Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek” we

Wrocławiu oraz budynek sit, piaskownik i osadnik wstępny w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w Piasecznie.

W warunkach beztlenowych, na skutek fermentacji tłuszczu, węglowodanów i białek powstają odoranty, takie jak amoniak, aminy, alkohole, ketony, lotne kwasy tłuszczowe, tiole, siarczek dimetylu, disiarczki metylu, siarkowodór. Produkcja kwasów tłuszczowych prowadzi do obniżenia wartości pH, co sprzyja powstawaniu organicznych związków siarki oraz siarkowodoru. Również w warunkach beztlenowych bakterie metanowe przekształcają kwasy tłuszczowe do metanu, zmniejszając tym samym ilość odorantów (Vincent 2001).

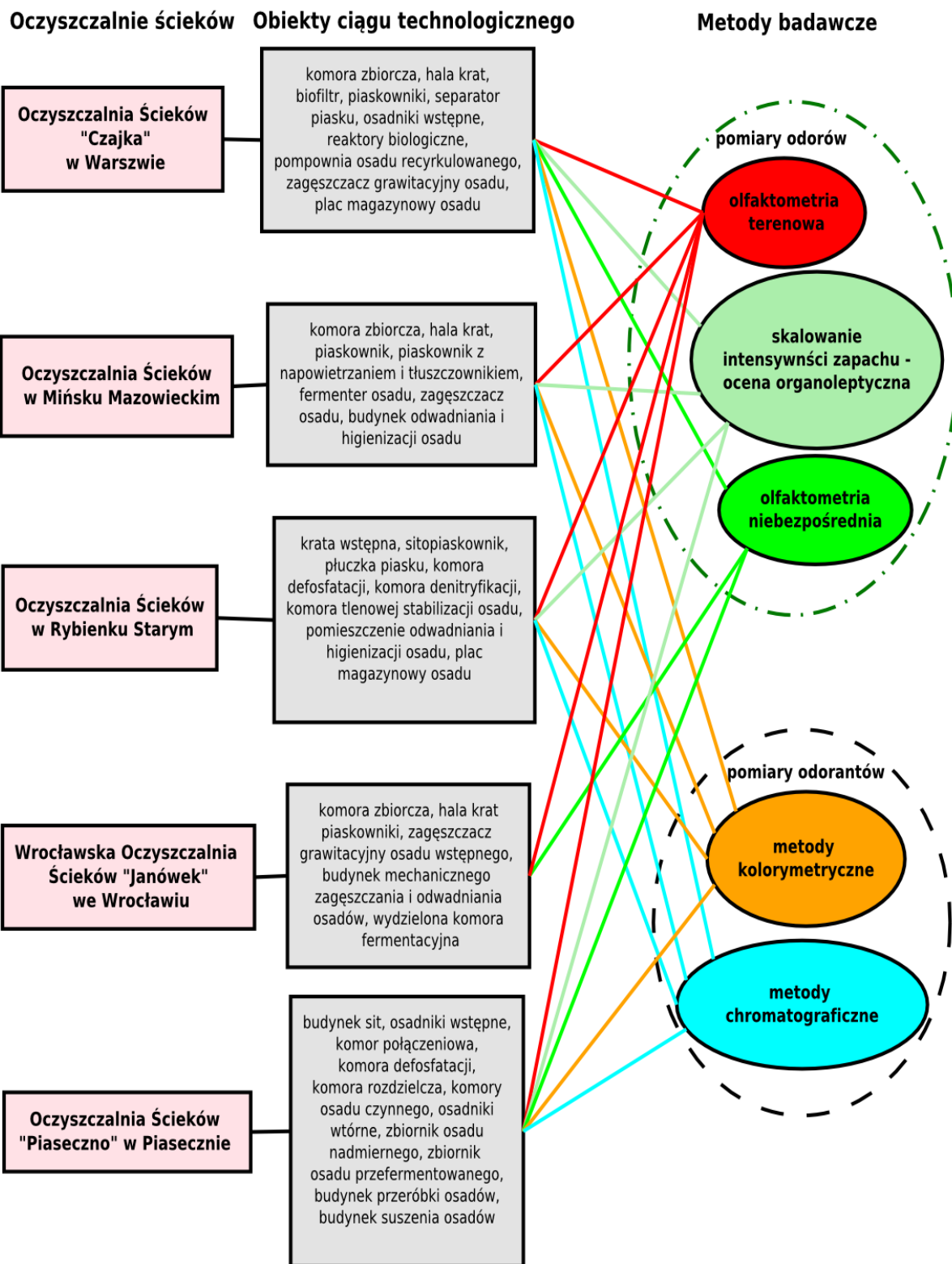
W ściekach surowych odoranty pochodzące z procesu fermentacji są mniej znaczące niż występujący tam siarkowodór. Proces fermentacji może być główną przyczyną odorów emitowanych z magazynowanych i zagęszczanych osadów surowych i nadmiernych oraz z odcieków z odwadniania i suszenia osadów (Vincent 2001).

W warunkach beztlenowych oraz w obecności białek i produktów fermentacji rozwijają się bakterie redukujące siarczany do siarczków. Procesy redukcji siarczanów mogą zachodzić w osadnikach wstępnych, piaskownikach, zagęszczaczach grawitacyjnych, miejscach magazynowania osadów surowych i nadmiernych.

Najprawdopodobniej procesy fermentacji były główną przyczyną odorów pochodzących z: zagęszczaczy grawitacyjnych w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”, fermentera, zagęszczacza grawitacyjnego i pomieszczenia odwadniania i higienizacji osadu w Oczyszczalni Ścieków w Mińsku Mazowieckim, komórce stabilizacji Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym, zagęszczaczy grawitacyjnych osadu wstępnego, budynku mechanicznego zagęszczania i odwadniania osadu i wydzielonych komór fermentacyjnych we Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek” oraz ze zbiornika osadu nadmiernego w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”.

W warunkach tlenowych i anoksydacyjnych bakterie tlenowe zatrzymują procesy redukcji siarczanów, a także utleniają odoranty powstałe w procesie beztlenowym, powodując tym samym ograniczenie emisji odorów. Procesy tlenowe, ograniczające ilość odorantów, występują np. w biofiltrach i reaktorach biologicznych (Vincent 2001).

Punkty receptorowe wybierane były w pomieszczeniach zamkniętych, stanowiących obiekty ciągu technologicznego i w pobliżu otwartych obiektów ciągu technologicznego, najbardziej znaczących pod względem uciążliwości zapachowej. Lokalizacje punktów receptorowych zostały określone na podstawie wizji lokalnej, rozmów z pracownikami



Rys. 5-1 Schemat przedstawiający metody pomiarów odorów i odorantów, zastosowane na poszczególnych obiektach ciągów technologicznych na wybranych oczyszczalniach ścieków komunalnych (oprac. wł.)

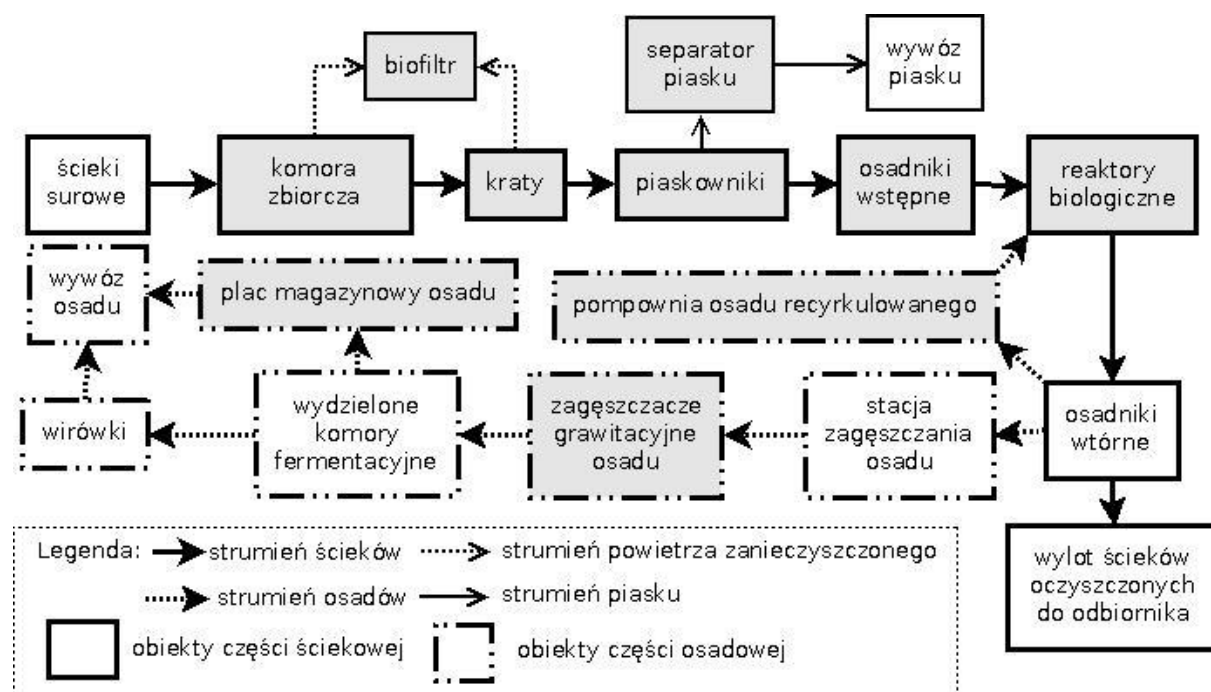
Fig. 5-1 Diagram showing the methods of odour and odourants measurements, applied to the particular objects of technological lines for the selected wastewater treatment plants (own fig.)

oczyszczalni ścieków oraz po uwzględnieniu warunków meteorologicznych występujących w dniu pomiarów.

Zakres badań, obejmujący wybrane oczyszczalnie ścieków, wybrane obiekty ciągów technologicznych, w otoczeniu których lokalizowane były punkty receptorowe oraz wybrane metody badawcze, został przedstawiony na rysunku 5-1.

## 5.2. Oczyszczalnia Ścieków „Czajka” w warszawie

Oczyszczalnia Ścieków „Czajka” jest to mechaniczno-biologiczno-chemiczna oczyszczalnia ścieków komunalnych. Schemat technologiczny oczyszczalni przedstawiony został na rysunku 5-2.



Rys. 5-2 Schemat technologiczny Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w warszawie (oprac. wł.)

Fig. 5-2 Technological scheme of Wastewater Treatment Plant “Czajka” in Warsaw (own fig.)

W okresie pomiarów, trwającym od października 2009 r. do września 2010 r., średni dobowy przepływ ścieków komunalnych w oczyszczalni wynosił  $Q_{d\text{sr.}} = 240\,000\text{ m}^3/\text{d}$ , przepływ maksymalny  $Q_{d\text{max.}} = 320\,000\text{ m}^3/\text{d}$ . Na Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w warszawie, do badań wybrano punkty receptorowe zlokalizowane: nad komorą zbiorczą, przykrytą pokrywami z laminatów poliestrowo-szklanych i wyposażoną w instalację do dezodoryzacji powietrza, w hali krat, nad powierzchnią biofiltru, przy piaskownikach, przy separatorze piasku, przy jednym z osadników wstępnych, przy reaktorach biologicznych, przy

pompowni osadu recykulowanego, przy jednym z zagęszczaczy grawitacyjnych osadu oraz na placu magazynowym osadu.

W Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w Warszawie, w 10 seriach pomiarowych do pomiarów stężenia zapachowego metodą olfaktometrii terenowej wyznaczono 90 punktów receptorowych, metodą olfaktometrii niebezpośredniej – 55 punktów receptorowych. Intensywność zapachu oceniano w 62 punktach receptorowych. Równolegle, tzn. w możliwie tym samym czasie, co prowadzone były pomiary odorów, prowadzono oznaczanie metodą kolorymetryczną stężeń odorantów: siarkowodoru oraz amoniaku. Do pomiarów wyznaczono 62 punkty receptorowe. Wyniki pomiarów stężeń zapachowych, oceny organoleptycznej intensywności zapachu oraz pomiarów stężeń wybranych odorantów przedstawiono w tabeli nr 1.1. w załączniku nr 1.

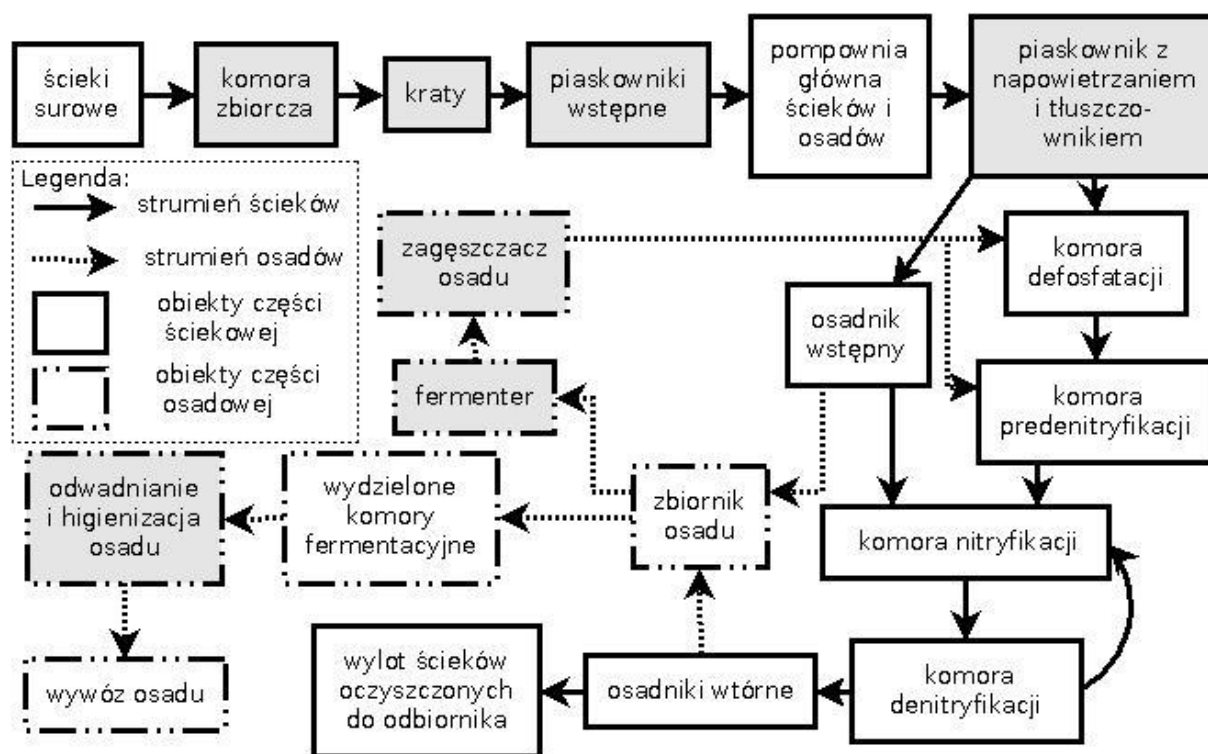
W zależności od źródła odorów próbki powietrza pobierane były z wykorzystaniem osłon strumienia lub metodą „kubaturową” – z wolnej przestrzeni. W metodzie olfaktometrii niebezpośredniej do pobierania próbek powietrza z biofiltra została wykorzystana osłona strumienia w postaci obudowy ze stali o wymiarach 1 m x 1 m (rys. 4-7), a do pobierania z piaskownika, placu magazynowego osadu, osadniku wstępnego, reaktora biologicznego obudowa ze stali o wymiarach 0,8 m x 1,25 m w której przepływ strumienia powietrza wynosił 100 m<sup>3</sup>/h (rys. 4-8). Próbki powietrza z hali krat, powierzchni komory zbiorczej oraz separatora piasku pobierane były metodą „kubaturową”.

### **5.3. Oczyszczalnia Ścieków w Mińsku Mazowieckim**

Oczyszczalnia Ścieków w Mińsku Mazowieckim jest to mechaniczno-biologiczna oczyszczalnia ścieków ze wspomaganiami chemicznymi. Schemat technologiczny Oczyszczalni Ścieków w Mińsku Mazowieckim przedstawiono na rysunku 5-3.

W okresie pomiarów, trwającym od czerwca do lipca 2011 r., oczyszczalnia ścieków obsługiwała około 55 000 RLM. Średni dobowy przepływ ścieków komunalnych wynosił  $Q_{d\acute{s}r} = 9\ 000\ m^3/dobę$ . W oczyszczalni ścieków, do badań wybrano punkty receptorowe zlokalizowane nad powierzchnią komory zbiorczej, w hali krat, przy piaskowniku, przy piaskowniku z napowietrzaniem i tłuszczownikiem, nad fermenterem osadu, nad zagęszczaczem osadu oraz w budynku odwadniania i higienizacji osadu.

W dniach 15 czerwca oraz 13 lipca 2011 r. w oczyszczalni ścieków w Mińsku Mazowieckim wykonano pomiary stężeń zapachowych metodą olfaktometrii terenowej. Wyznaczono 12 punktów receptorowych w otoczeniu obiektów ciągu technologicznego najbardziej uciążliwych zapachowo. Równoległe do badań olfaktometrycznych, w tych samych punktach receptorowych wykonywano oznaczenia intensywności zapachu metodą oceny organoleptycznej. Próbkę powietrza do oznaczania stężeń odorantów metodą chromatograficzną i kolorymetryczną pobierano w punktach receptorowych, w których wykonywano pomiary stężeń zapachowych. Wyniki pomiarów stężeń zapachowych, oceny intensywności zapachu oraz pomiarów stężenia amoniaku i siarkowodoru metodą kolorymetryczną przedstawiono w tabeli nr 2.1. w załączniku nr 2.

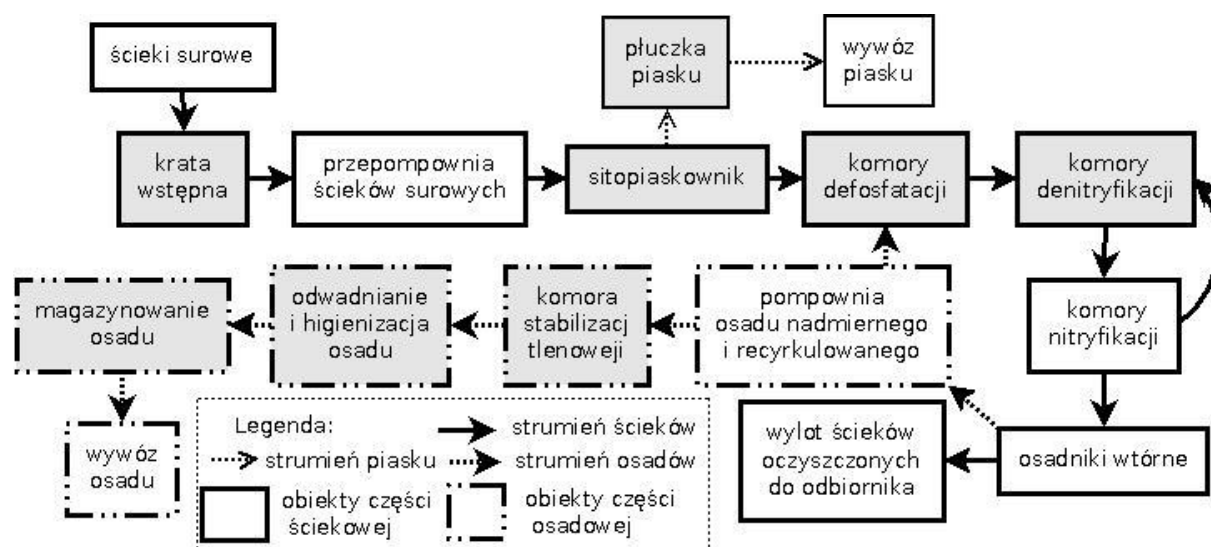


Rys. 5-3 Schemat technologiczny Oczyszczalni Ścieków w Mińsku Mazowieckim (oprac. wł.)  
 Fig. 5-3 Technological scheme of Wastewater Treatment Plant in Mińsk Mazowiecki (own fig.)

#### 5.4. Oczyszczalnia Ścieków w Rybieniu Starym koło Wyszkowa

Oczyszczalnia ścieków komunalnych w Rybieniu Starym koło Wyszkowa jest to mechaniczno-biologiczna oczyszczalnia ścieków ze wspomaganiami chemicznymi usuwania związków biogenych. Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków przedstawiono na rysunku 5-4.

W okresie pomiarów, trwającym od czerwca do lipca 2011 r., oczyszczalnia ścieków obsługiwała około 42 000 RLM. Średni dobowy przepływ ścieków komunalnych wynosił  $Q_{dśr} = 4\,500\text{ m}^3/\text{dobę}$ . Na Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym, do badań wybrano punkty receptorowe zlokalizowane przy kracie wstępnej, w pomieszczeniu sitopiaskownika, pomieszczeniu płuczki piasku, przy komorze defosfatacji, przy komorze denitryfikacji (komorze niedotlenionej), przy komorze tlenowej stabilizacji osadu, w pomieszczeniu odwadniania i higienizacji osadu oraz na zadaszonym placu magazynowym osadu.



**Rys. 5-4 Schemat technologiczny Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym (oprac. wł.)**  
**Fig. 5-4 Technological scheme of Wastewater Treatment Plant in Rybienko Stare (own fig.)**

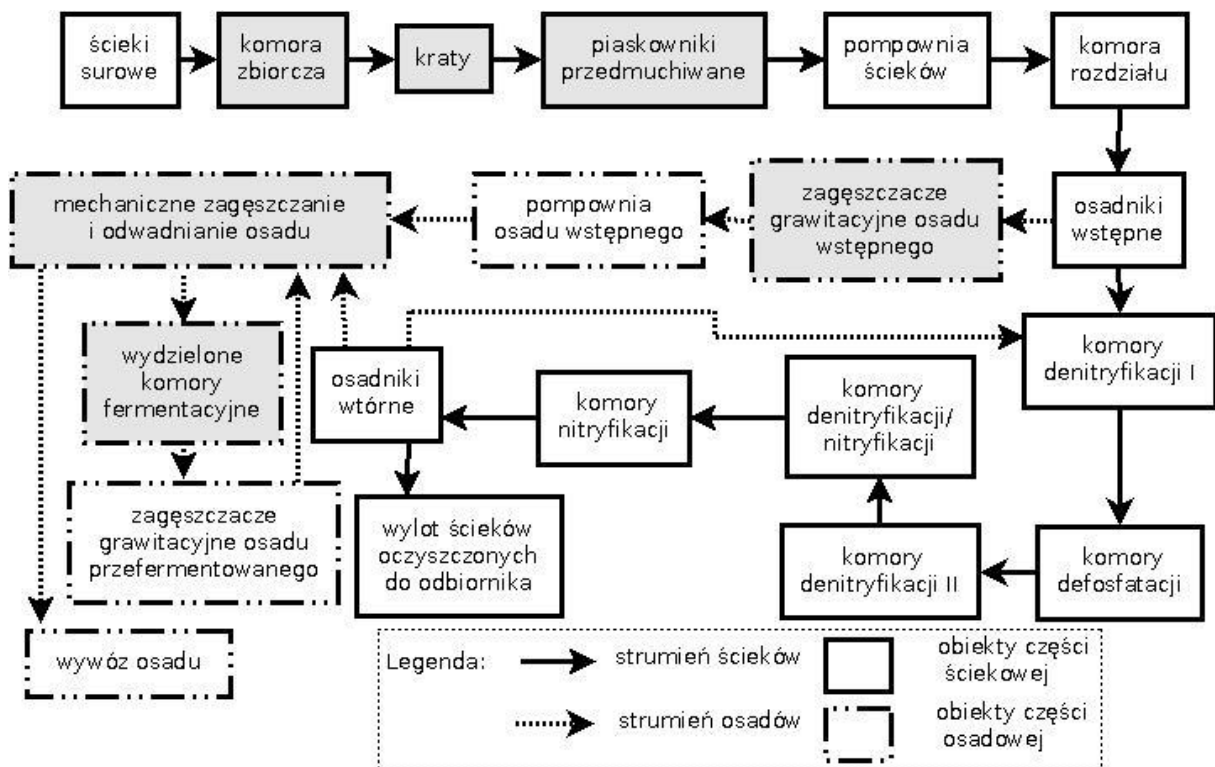
W dniach 14 i 29 czerwca oraz 12 lipca 2011 r. w oczyszczalni ścieków w Rybieniu Starym wykonano pomiary stężeń odorów metodą olfaktometrii terenowej. Równoległe do badań olfaktometrycznych, w tych samych punktach receptorowych oceniano intensywność zapachu metodą organoleptyczną. Próbkę powietrza do oznaczeń stężeń odorantów metodą chromatograficzną i kolorymetryczną pobierano w punktach receptorowych, w których wykonywano pomiary stężeń zapachowych.

Wyniki pomiarów stężeń zapachowych, oceny intensywności zapachu oraz pomiarów stężenia amoniaku i siarkowodoru metodą kolorymetryczną przedstawiono w tabeli nr 3.1. w załączniku nr 3.

## 5.5. Wrocławska Oczyszczalnia Ścieków „Janówek” we Wrocławiu

Wrocławska Oczyszczalnia Ścieków „Janówek” we Wrocławiu jest to mechaniczno-biologiczno-chemiczna oczyszczalnia ścieków. Schemat technologiczny Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek” przedstawiono na rysunku 5-5.

W czasie pomiarów, odbywających się w dniach 24 i 25 kwietnia 2012 r., oczyszczalnia ścieków obsługiwała około 482 000 RLM. Średni dobowy przepływ ścieków wynosił  $Q_{d\acute{s}r.} = 70\ 000\ m^3/d$ . W Oczyszczalni Ścieków „Janówek” we Wrocławiu, do badań wybrano punkty receptorowe zlokalizowane w, lub na, oraz w otoczeniu następujących obiektów ciągu technologicznego: komora zbiorcza, hala krat, budynek piaskowników, zagęszczacz grawitacyjny osadu wstępnego, punkt odbioru odwodnionego osadu w pomieszczeniu stacji mechanicznego zagęszczania i odwadniania osadu oraz wydzielona komora fermentacyjna.



Rys. 5-5 Schemat technologiczny Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek” we Wrocławiu (oprac. wł.)

Fig. 5-5 Technological scheme of Wastewater Treatment Plant “Janówek” in Wrocław (own fig.)

Do badań wyznaczono 6 punktów receptorowych do oznaczeń olfaktometrycznych niebezpośrednich oraz 17 punktów receptorowych do oznaczeń metodą olfaktometrii



terenowej. Próbki powietrza do bezpośrednich oznaczeń olfaktometrycznych pobierano metodą „kubaturową” bez wykorzystania osłon strumienia. Punkty receptorowe do oznaczeń metodą olfaktometrii terenowej wyznaczono możliwie blisko punktów receptorowych wyznaczonych do oznaczeń olfaktometrycznych bezpośrednich oraz w określonych odległościach od badanych obiektów ciągu technologicznego. Pobieranie próbek powietrza do oznaczeń stężeń zapachowych metodą olfaktometrii bezpośredniej w punkcie receptorowym, zlokalizowanym na terenie komory zbiorczej, wykonano w sposób przedstawiony na rysunku 4-10. Analogicznie dokonano pobrania próbek powietrza w punktach receptorowych, zlokalizowanych w hali krat (rys. 5-6), w budynku piaskowników



**Rys. 5-6 Oznaczenie wartości D/T przy użyciu OT oraz pobieranie próbek powietrza do oznaczeń olfaktometrycznych bezpośrednich - hala krat we Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek” (fot. wł.)**

**Fig. 5-6 Determination of D/T value using field olfactometer and air sampling for determinations of the delayed olfactometry - the grit chamber at the Wastewater Treatment Plant “Janówek” (own fot.)**



ze skratkami oraz kontenery na skratki i piasek. Wybrane do badań OT punkty receptorowe zlokalizowane były w otoczeniu budynku sit, osadników wstępnych, komory połączeniowej, komory defosfatacji, komory rozdzielczej, komór osadu czynnego, osadników wtórnych, zbiornika osadu nadmiernego, zbiornika osadu przefermentowanego, budynku przeróbki osadu, gdzie osad jest odwadniany, oraz w otoczeniu budynku suszenia osadu.

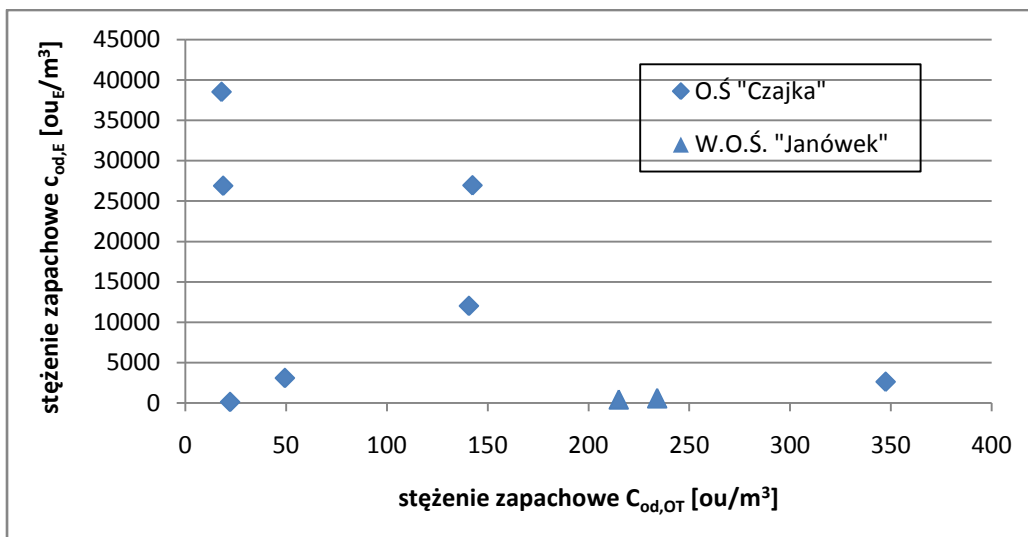
## 6. Analiza wyników badań z zastosowanych metod badawczych

### 6.1. Analiza porównawcza wyników badań uzyskanych wybranymi metodami pomiarowymi

Wyniki uzyskane metodą olfaktometrii terenowej w punktach receptorowych, zlokalizowanych w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”, Oczyszczalni Ścieków w Mińsku Mazowieckim, Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym oraz Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek”, porównano z wynikami uzyskanymi pozostałymi wybranymi metodami pomiarowymi tj. wynikami uzyskanymi metodą olfaktometrii niebezpośredniej, intensywnością zapachu określoną metodą organoleptycznej oceny według sześciostopniowej skali oraz wynikami analizy chemicznej.

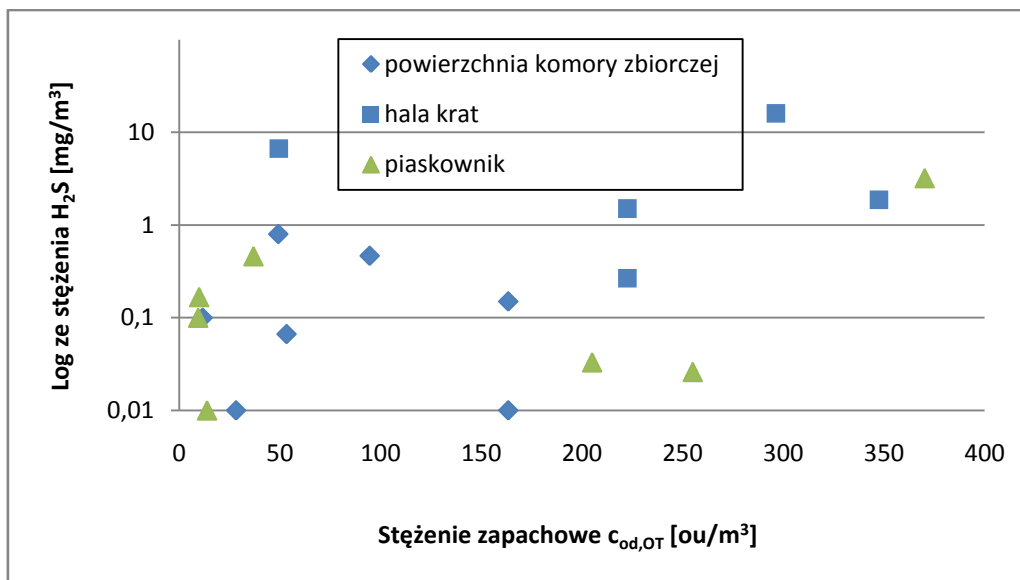
W celu określenia korelacji między wynikami stężeń zapachowych uzyskanych metodą olfaktometrii terenowej  $c_{od,OT}$  a wynikami stężeń zapachowych uzyskanych metodą olfaktometrii niebezpośredniej  $c_{od,E}$  porównano ze sobą wyniki uzyskane, obiema metodami pomiarowymi, w hali krat w Oczyszczalni Ścieków „Czajka” oraz w otoczeniu zagęszczacza grawitacyjnego i w punkcie odbioru odwodnionego osadu w pomieszczeniu stacji mechanicznego zagęszczania i odwadniania osadu we Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek”. Pobieranie próbek do analiz odbywało się możliwie w tym samym miejscu i tym samym czasie. Wyniki zostały przedstawione w tabeli nr 1.1. w załączniku nr 1. i w tabelach nr 4.1. i 4.2. w załączniku nr 4 oraz w formie graficznej na rysunku 6-1.

W celu określenia zależności między stężeniami zapachowymi określonymi metodą olfaktometrii terenowej  $c_{od,OT}$  a stężeniami siarkowodoru  $c_{H_2S}$  oraz odpowiednio stężeniami amoniaku  $c_{NH_3}$  określonymi metodą kolorymetryczną porównano ze sobą wyniki uzyskane, wybranymi metodami pomiarowymi, odpowiednio z nad komory zbiorczej, w hali krat oraz w otoczeniu piaskownika w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”. Obiekty te charakteryzują się podobnym składem emitowanych odorów oraz częstym występowaniem siarkowodoru i amoniaku. Wyniki zostały przedstawione w tabeli nr 1.1. w załączniku nr 1. oraz w formie graficznej na rysunkach 6-2 i 6-3.



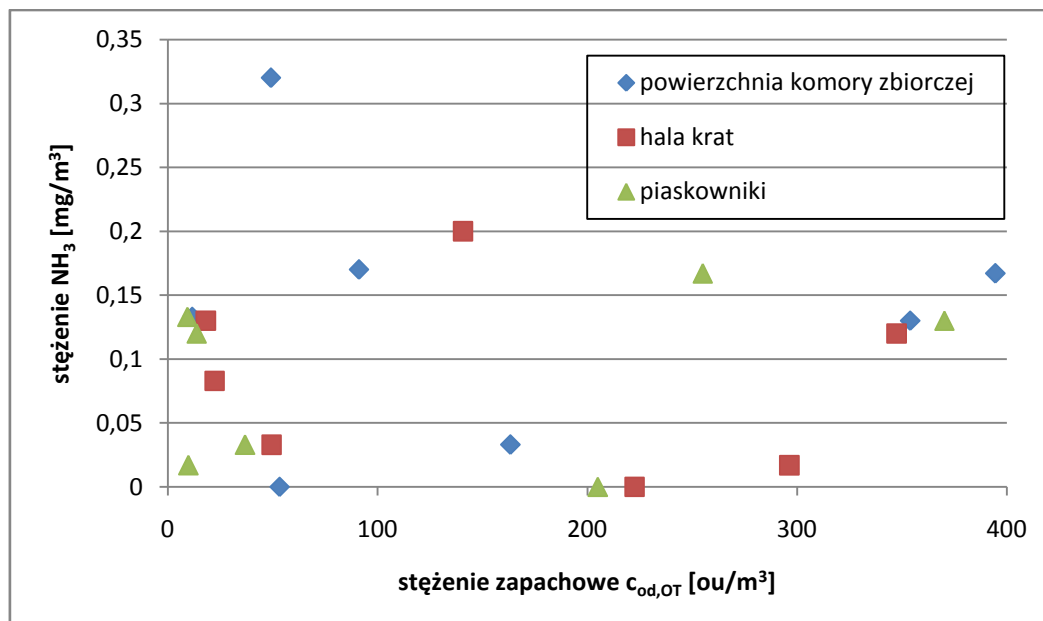
Rys. 6-1 Zależność między stężeniami zapachowymi określonymi metodą olfaktometrii terenowej -  $c_{od,OT}$  a określonymi metodą olfaktometrii niebezpośredniej -  $c_{od,E}$  w hali krat w Oczyszczalni Ścieków „Czajka” oraz w otoczeniu zagęszczacza grawitacyjnego i w punkcie odbioru odwodnionego osadu w pomieszczeniu stacji mechanicznego zagęszczania i odwadniania osadu we Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek”

Fig. 6-1 Dependence of the odour concentrations determined in the screen room at Wastewater Treatment Plant “Czajka”, in the surroundings of mechanical thickening and in the point of receiving of dewatered sludge in the room station of mechanical thickening and dewatering at Wrocławska Oczyszczalnia Ścieków “Janówek” by the field olfactometry -  $c_{od,OT}$  and by the delayed olfactometry -  $c_{od,E}$



Rys. 6-2 Zależność między stężeniami zapachowymi określonymi metodą olfaktometrii terenowej -  $c_{od,OT}$  a stężeniami siarkowodoru określonymi metodą kolorymetryczną nad komorą zbiorczą, w hali krat oraz w otoczeniu piaskownika w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”

Fig. 6-2 Dependence of the odour concentrations measured by the field olfactometry -  $c_{od,OT}$  and the  $H_2S$  concentration determined by the colorimetric method over the collection chamber, in the screen room and sand trap at Wastewater Treatment Plant “Czajka”



Rys. 6-3 Zależność między wartościami stężenia zapachowego określonymi metodą olfaktometrii terenowej -  $c_{od,OT}$  a stężeniami amoniaku określonymi metodą kolorymetryczną nad komorą zbiorczą, w hali krat oraz w otoczeniu piaskownika w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”

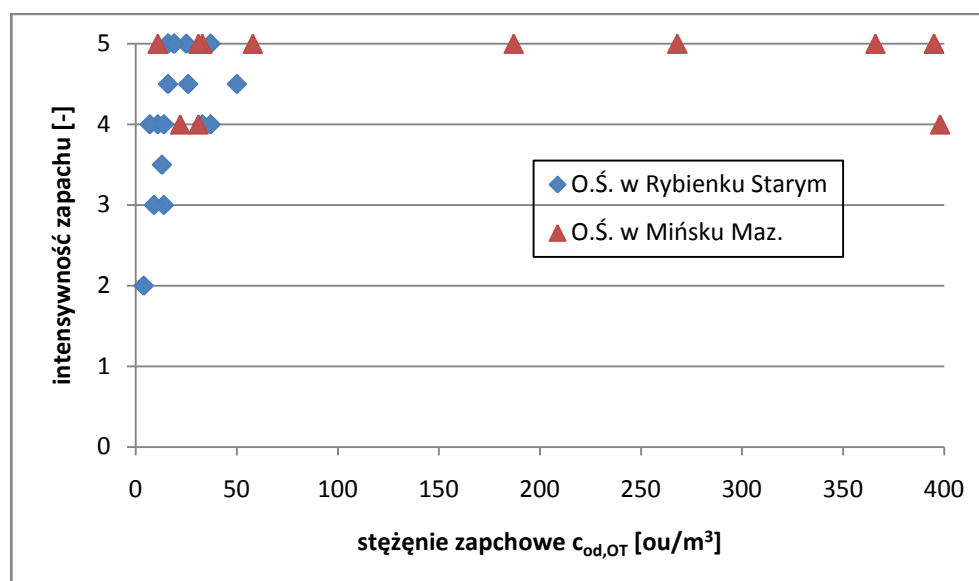
Fig. 6-3 Dependence of the odour concentrations measured by the field olfactometry -  $c_{od,OT}$  and the  $NH_3$  concentration determined by the colorimetric method over the collection chamber, in the screen room and sand trap at Wastewater Treatment Plant “Czajka”

W celu określenia zależności między stężeniami zapachowymi określonymi metodą olfaktometrii terenowej  $c_{od,OT}$  a intensywnością zapachu określoną metodą organoleptycznej oceny według sześciostopniowej skali porównano ze sobą wyniki uzyskane, wybranymi metodami pomiarowymi, w otoczeniu obiektów ciągów technologicznych w oczyszczalniach ścieków w Mińsku Mazowieckim i Rybieniu Starym. Pomiarów oboma metodami wykonywane były przez te same osoby. Wyniki zostały przedstawione w tabelach nr 2.1. i 3.1. odpowiednio w załączniku nr 2. i 3. oraz w formie graficznej na rysunku 6-4.

Dla żadnej z par wybranych metod pomiarowych nie zaobserwowano istotnych korelacji. Również nie zaobserwowano istotnych korelacji dla par wybranych metod pomiarowych dla poszczególnych obiektów ciągów technologicznych. Po wykonaniu badań porównawczych na oczyszczalniach ścieków w Warszawie, Mińsku Mazowieckim, Rybieniu Starym i Wrocławiu, w dniu 14 marca 2013 r. przeprowadzono kolejne badania porównawcze dla 4 metod pomiarowych.

Ze względu na konieczność minimalizacji wpływu czynników atmosferycznych (wiatr) zdecydowano się na obiekt zamknięty. Wybrano budynek sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”. W budynku znajdowała się krata ręczna, sita bębnowe, pojemniki ze skratkami,

kontenery na skratki i piasek. Wyznaczony został jeden punkt receptorowy (rys. 4-9). Badania polegały na wykonaniu możliwie największej ilości powtórzeń pomiarów różnymi metodami w określonym czasie. Podczas prowadzenia badań wrota budynku były zamknięte.



Rys. 6-4 Zależność między wartościami stężenia zapachowego określonymi metodą olfaktometrii terenowej -  $c_{od,OT}$  a intensywnością zapachu określoną metodą organoleptycznej oceny według sześciostopniowej skali w otoczeniu obiektów ciągów technologicznych w oczyszczalniach ścieków w Mińsku Mazowieckim i Rybieniu Starym

Fig. 6-4 Dependence of the odour concentrations measured by the field olfactometry -  $c_{od,OT}$  and the odour intensity determined by sensory evaluation by the six level scale in the surroundings of the facilities of the technological line at the wastewater treatment plants in Mińsk Mazowiecki and Rybienko Stare

W czasie półgodzinnych okresów, w tym samym punkcie receptorowym, pobierano po jednej próbce do oznaczenia siarkowodoru i amoniaku metodą kolorymetryczną, po dwie próbki do oznaczenia metanotolu, etanotolu i siarczku dimetylu metodą chromatograficzną, po trzy próbki do niebezpośredniej analizy olfaktometrycznej oraz wykonywano po trzy oznaczenia wartości D/T (każde oznaczenie D/T wykonywano w dwóch powtórzeniach przez dwóch oceniających).

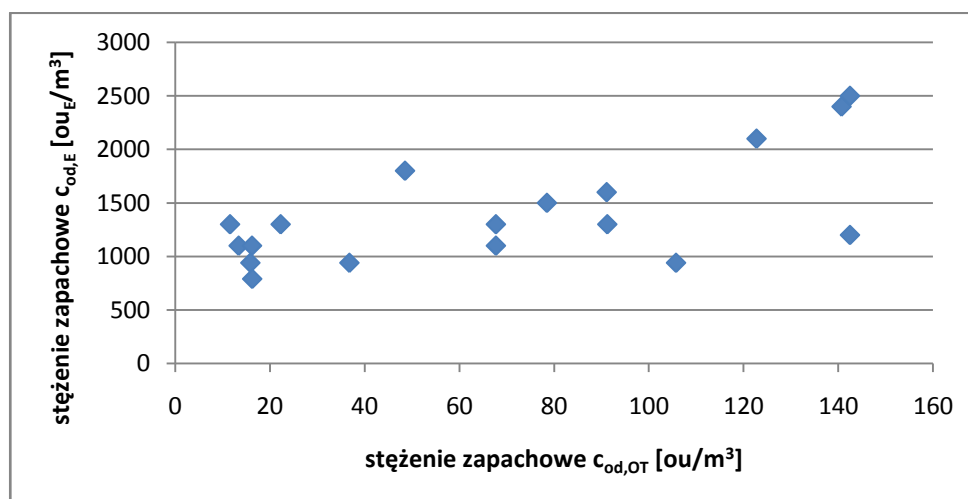
Do analizy olfaktometrycznej niebezpośredniej pobrano 18 próbek powietrza w ciągu około 5 godzin. Badanie próbek powietrza zostało przeprowadzone przed upływem 23 godzin od momentu pobrania próbek. Próbki pobierane były przez urządzenie pracujące na podciśnieniu, wykorzystujące „zasadę płuca”. Stężenie zapachowe dla metody z wykorzystaniem OT zostało obliczone na podstawie 4 wyników D/T (2 osoby oceniające po dwa powtórzenia).

Próbki powietrza do analizy chromatograficznej były pobierane dwukrotnie w okresach półgodzinnych według metodyki opisanej w rozdziale 4.6.3. Do analizy metanotolu i etanotolu pobierane były próbki chwilowe do pipet gazowych, a do analizy siarczku dimetylu z 15-minutowym czasem uśredniania z zastosowaniem adsorbenta.

Wyniki pomiarów stężeń zapachowych oraz stężeń wybranych związków chemicznych przedstawione zostały w tabelach nr 5.1. – 5.3. w załączniku nr 5.

Na podstawie wyników badań porównano ze sobą wartości stężeń zapachowych, uzyskanych metodą olfaktometrii terenowej, ze stężeniami zapachowymi, uzyskanymi metodą olfaktometrii niebezpośredniej (rys. 6-5), ze stężeniami siarkowodoru (rys. 6-6) i amoniaku (rys. 6-7), uzyskanymi metodą kolorymetryczną oraz metanotolu (rys. 6-8) i siarczku dimetylu (rys. 6-9), uzyskanymi metodą chromatograficzną. Wyznaczono korelację na poziomie współczynnika korelacji Pearsona  $R^2 = 0,89$  dla średnich wartości stężenia zapachowego, określonego metodą olfaktometrii terenowej i średniej z dwóch wartości stężenia metanotolu, określonego metodą chromatograficzną (rys. 6-8). Dla pozostałych par metod nie zaobserwowano znaczących zależności.

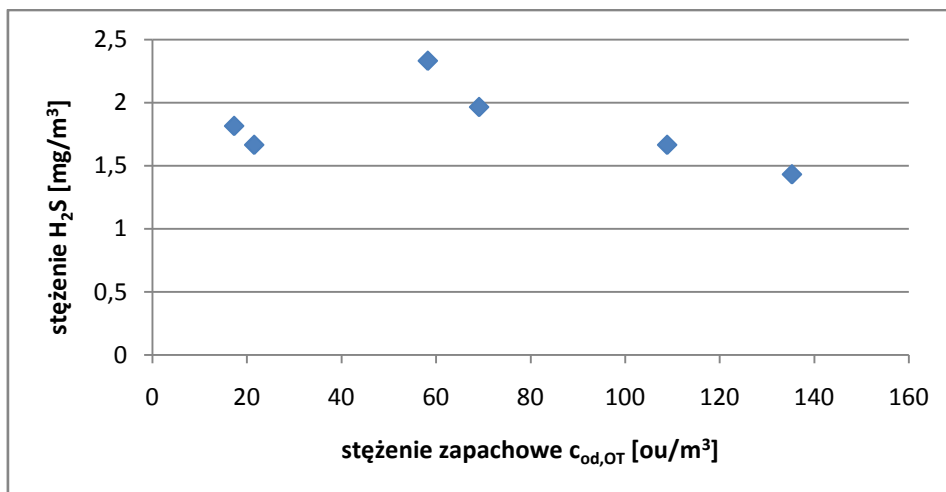
Stężenia etanotolu zawierały się poniżej granicy oznaczalności metody, wynoszącej  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ze względu na wyniki oznaczeń, wykraczające poniżej granicy oznaczalności, nie wykonano oszacowania niepewności rozszerzonej współczynnika rozszerzenia. Wyniki oznaczeń etanotolu nie były uwzględnione przy porównaniach.



**Rys. 6-5** Zależność między stężeniami zapachowymi określonymi metodą olfaktometrii terenowej -  $c_{od,OT}$  a metodą olfaktometrii niebezpośredniej -  $c_{od,E}$  w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”

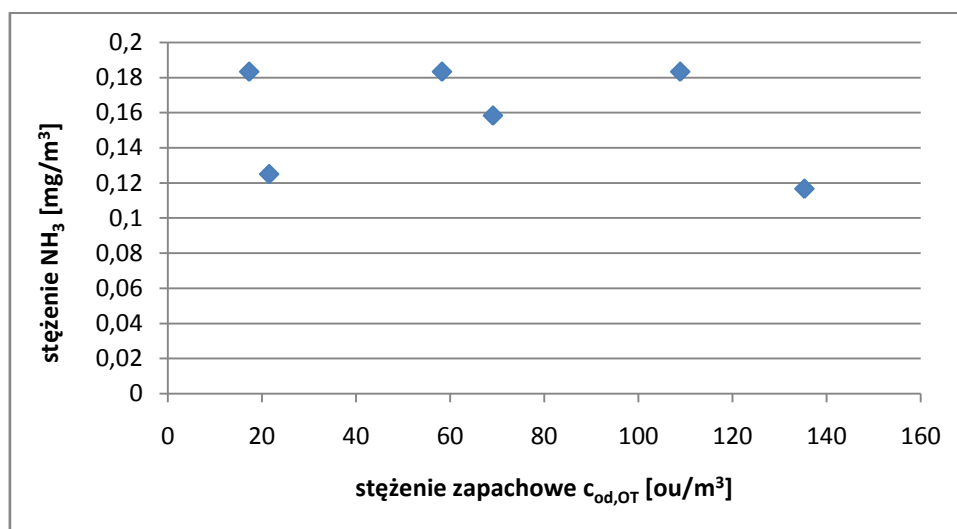
**Fig. 6-5** The relationship of odour concentrations determined by the field olfactometry -  $c_{od,OT}$  and by the delayed olfactometry -  $c_{od,E}$  in the screen room at Wastewater Treatment Plant “Piaseczno”





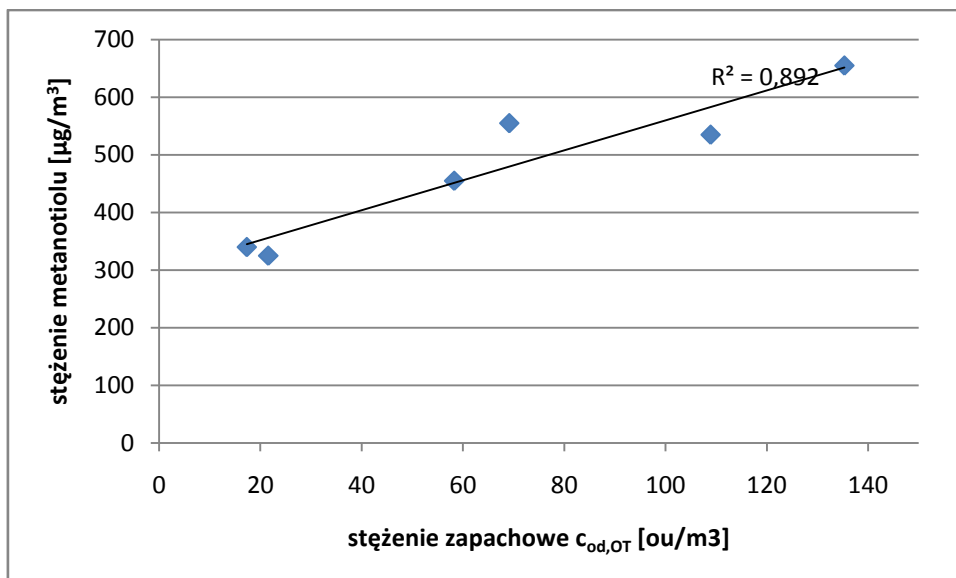
Rys. 6-6 Zależność między średnimi wartościami stężenia zapachowego określonymi metodą olfaktometrii terenowej -  $c_{od,OT}$  a stężeniami siarkowodoru określonymi metodą kolorymetryczną w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”

Fig. 6-6 The relationship of the average odour concentrations determined by the field olfactometry -  $c_{od,OT}$  and the H<sub>2</sub>S concentrations determined by the colorimetric method in the screen room at the Wastewater Treatment Plant “Piaseczno”

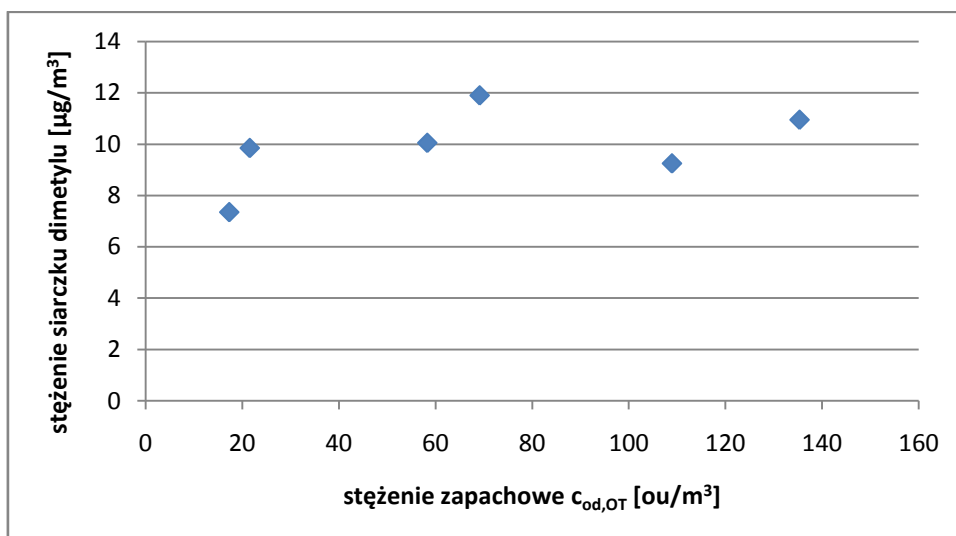


Rys. 6-7 Zależność między średnimi wartościami stężenia zapachowego określonymi metodą olfaktometrii terenowej -  $c_{od,OT}$  a stężeniami amoniaku określonymi metodą kolorymetryczną w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”

Fig. 6-7 The relationship of the average odour concentrations determined by the field olfactometry and the NH<sub>3</sub> concentrations determined by the colorimetric method in the screen room at the Wastewater Treatment Plant “Piaseczno”



Rys. 6-8 Zależność między średnimi wartościami stężenia zapachowego określonymi metodą olfaktometrii terenowej -  $c_{od,OT}$  a średnimi wartościami stężenia metanotiolu określonymi metodą chromatograficzną w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”  
 Fig. 6-8 The relationship of the average odour concentrations determined by the field olfactometry and the average methanethiol concentrations determined by the chromatography method in the screen room at the Wastewater Treatment Plant “Piaseczno”



Rys. 6-9 Zależność między średnimi wartościami stężenia zapachowego określonymi metodą olfaktometrii terenowej -  $c_{od,OT}$  a średnimi wartościami stężenia siarczku dimetylu określonymi metodą chromatograficzną w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”  
 Fig. 6-9 The relationship of the average odour concentrations determined by the field olfactometry and the average dimethylsulfide concentrations determined by the chromatography method in the screen room at the Wastewater Treatment Plant “Piaseczno”

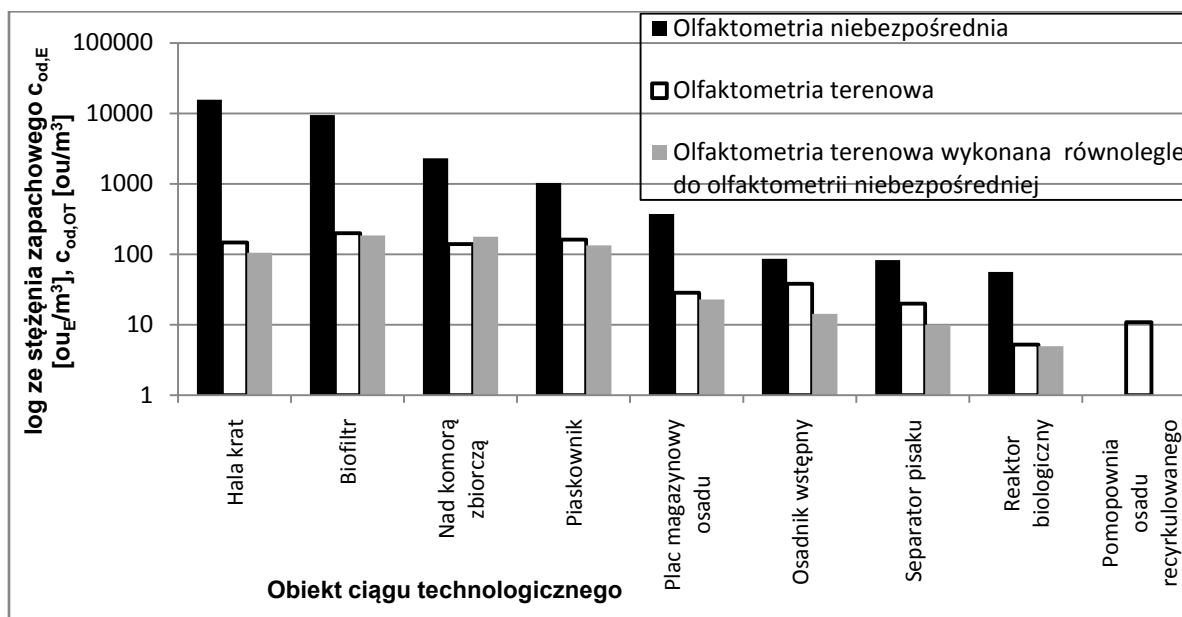
## **6.2. Uszeregowanie obiektów ciągów technologicznych oczyszczalni ścieków pod względem wartości stężeń odorów i odorantów**

Próbki powietrza do badań poszczególnymi metodami pobierano w różny sposób i z różnych miejsc. Wyniki uzyskane poszczególnymi metodami przedstawione są w różnych jednostkach. Zaproponowano metodę polegającą na uszeregowaniu obiektów ciągu technologicznego oczyszczania ścieków pod względem wartości stężeń odorów i odorantów (Barczak, Kulig i Szydłowski 2012). Założono, że metoda da odpowiedź na jedno z pytań problemowych pracy, czy na podstawie wyników uzyskanych różnymi metodami badawczymi można wyciągnąć takie same wnioski, dotyczące oddziaływania zapachowego poszczególnych obiektów ciągu technologicznego.

Wyniki badań uzyskane w Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w Warszawie z poszczególnych punktów receptorowych uśredniono z całego okresu trwania pomiarów równoległych, oddzielnie dla olfaktometrii terenowej oraz dla olfaktometrii niebezpośredniej. Należy zaznaczyć, że ilość oznaczeń wykonanych OT znacznie przewyższała ilość oznaczeń olfaktometrycznych niebezpośrednich. Na podstawie średnich wyników pomiarów olfaktometrycznych uszeregowano obiekty ciągu technologicznego od tych, gdzie zmierzono stężenia największe do tych, gdzie stężenia zapachowe były najmniejsze (rys. 6-10).

Obiektem, w którym zmierzono największe stężenia zapachowe, była hala krat, dalsze w kolejności obiekty to: biofiltr, komora zbiorcza, piaskowniki, plac magazynowy osadu, osadnik wstępny, separator piasku i reaktory biologiczne. Podobne uszeregowanie obiektów wykonano w oparciu o uśrednione wyniki uzyskane OT. Na ich podstawie na pierwszym miejscu znalazł się biofiltr, w dalszej kolejności piaskownik, hala krat, powierzchnia komory zbiorczej, osadnik wstępny, plac magazynowy osadu, separator piasku, pompownia osadu recykulowanego i na końcu reaktor biologiczny. Biorąc pod uwagę tylko te wyniki pomiarów OT, które zostały wykonane równolegle do olfaktometrii niebezpośredniej, obiektem, w otoczeniu którego zmierzono największe wartości stężenia zapachowego, był biofiltr. Na drugim miejscu, w porównaniu do czwartego w poprzedniej klasyfikacji, komora zbiorcza. Na trzecim piaskownik, zajmujący drugie miejsce w poprzedniej klasyfikacji. Następnym w kolejności obiektem była hala krat, której pozycja przesunęła się z miejsca drugiego. Kolejne dwa obiekty, czyli plac magazynowy osadu i osadnik wstępny, zamieniły się

w klasyfikacji miejscami. Dwa ostatnie obiekty, tj. separator piasku i reaktor biologiczny, utrzymały swoje pozycje w obu klasyfikacjach.



**Rys. 6-10 Uszeregowanie obiektów ciągu technologicznego Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w warszawie pod względem średnich wartości stężeń zapachowych, otrzymanych metodą wykorzystującą OT i olfaktometrii niebezpośredniej**

**Fig. 6-10 Ranking of the facilities of technological line of the Wastewater Treatment Plant “Czajka” in terms of the average odour concentrations determined by field olfactometry and delayed olfactometry**

Zagęszczacz grawitacyjny osadu nie został włączony do uszeregowania obiektów ze względu na fakt, że pomiary odbywały się na dwóch różnych obiektach: stary, niezhermetyzowany zagęszczacz grawitacyjny sprzed modernizacji oraz zmodernizowany zhermetyzowany nowy zagęszczacz grawitacyjny.

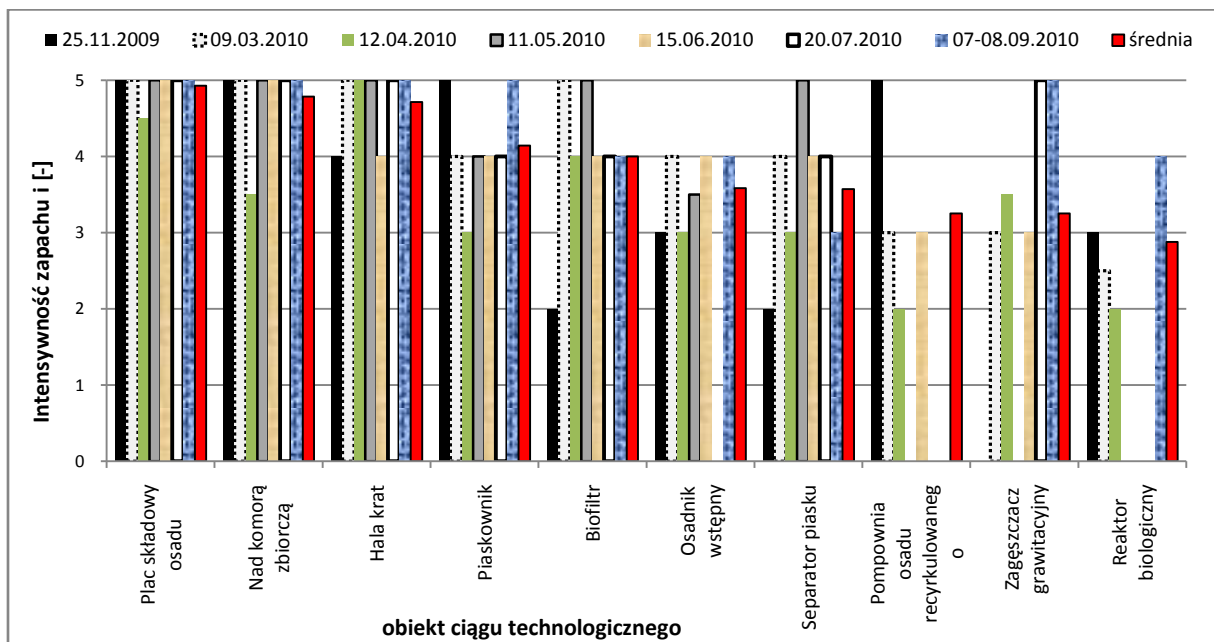
Na podstawie badań z wykorzystaniem OT oraz olfaktometrii niebezpośredniej można wyróżnić źródła odorów, gdzie zmierzono największe wartości stężeń zapachowych, tj. biofiltr, wewnątrz hali krat, komorę zbiorczą i piaskownik. Źródła te należą do części mechanicznej oczyszczania ścieków. Przy obiektach stanowiących część biologiczną oczyszczalni stężenia zapachowe były mniejsze.

Na podstawie wyników oceny intensywności zapachu, na wykresie przedstawionym na rys. 6-11, dla każdej serii pomiarowej oddzielnie oraz dla uśrednionych wyników z wszystkich serii pomiarowych uszeregowano obiekty ciągu technologicznego: od obiektów, w otoczeniu których intensywność zapachu była największa, do obiektów, gdzie intensywność była najmniejsza. Na podstawie uśrednionych wyników ustalono, że obiektem, gdzie intensywność zapachu była największa, był plac magazynowy osadu, w dalszej

kolejności: komora zbiorcza, hala krat, piaskownik, biofiltr, osadnik wstępny, separator piasku, pompownia osadu recykulowanego, zagęszczacz grawitacyjny i reaktor biologiczny.

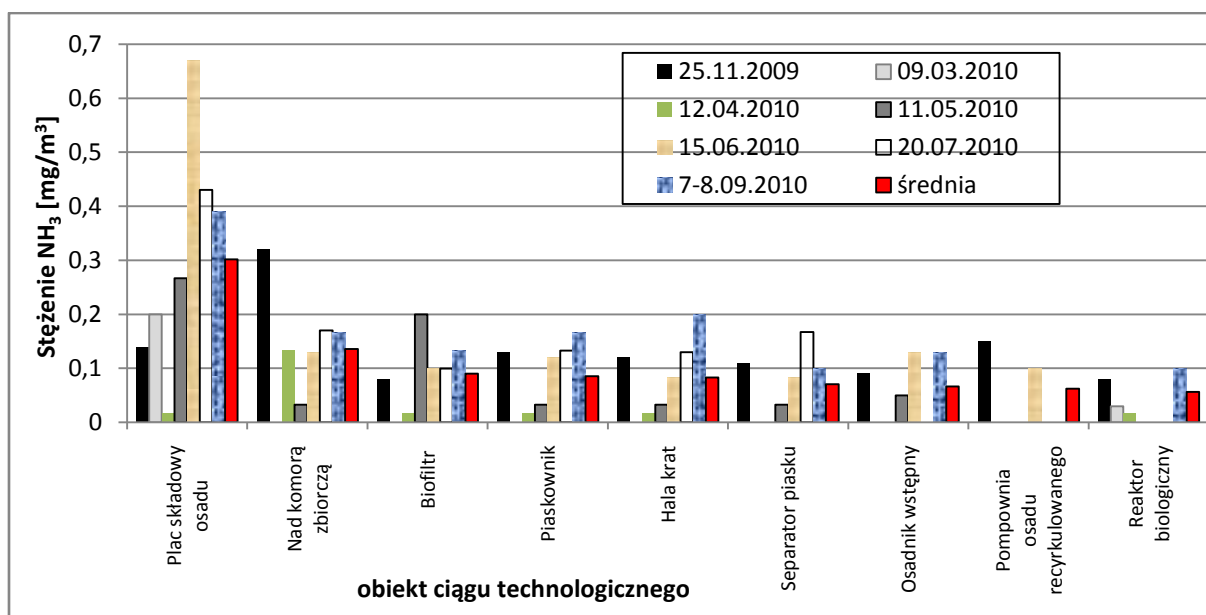
Wyniki badań chemicznych zostały poddane podobnej analizie jak wyniki badań olfaktometrycznych. Na podstawie wyników, z każdej serii pomiarowej oddzielnie oraz dla uśrednionych wyników z całego okresu pomiarów uszeregowano obiekty ciągu technologicznego pod względem wartości stężeń wybranych odorantów występujących w ich otoczeniu.

Wartości stężenia amoniaku dla poszczególnych obiektów ciągu technologicznego zmieniają się w znacznym zakresie (tabela nr 1.1. z załącznika nr 1.). Jak wynika z wykresu przedstawionego na rysunku 6-12, na podstawie jednorazowej serii pomiarowej nie można uszeregować obiektów od tych, gdzie stężenie amoniaku jest największe, do tych, gdzie stężenie jest najmniejsze, w sposób analogiczny jak dla wyników uśrednionych.



Rys. 6-11 Uszeregowanie obiektów Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w Warszawie pod względem intensywności zapachu

Fig. 6-11 Ranking of the facilities of technological line of the Wastewater Treatment Plant “Czajka” in terms of the odour intensity



**Rys. 6-12 Uszeregowanie obiektów Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w warszawie pod względem wartości stężeń  $\text{NH}_3$  otrzymanych metodą kolorymetryczną**

**Fig. 6-12 Ranking of the facilities of technological line of the Wastewater Treatment Plant “Czajka” in terms of the  $\text{NH}_3$  concentrations determined by colorimetric method**

Na podstawie uśrednionych wyników badań można wyróżnić plac składowy osadu jako źródło odorantów, w otoczeniu którego stężenie amoniaku jest największe – średnie stężenie wynosiło  $0,3 \text{ mg/m}^3$ . Na drugim miejscu znajdowała się komora zbiorcza ( $0,14 \text{ mg/m}^3$ ). Pozostałe badane obiekty ciągu technologicznego charakteryzowały się podobnymi średnimi stężeniami amoniaku. Zagęszczacz grawitacyjny osadu nie został włączony do uszeregowania obiektów.

Zgodnie z wynikami pomiarów przedstawionymi w tabeli nr 1.1. w załączniku nr 1. wartości stężeń siarkowodoru dla poszczególnych obiektów ciągu technologicznego zmieniają się w znacznym zakresie w zależności od serii pomiarowej. Przykładowo podczas pierwszych czterech pomiarów, odbywających się w otoczeniu niezhermetyzowanego zagęszczacza grawitacyjnego osadu przed modernizacją siarkowodoru nie wykryto. Natomiast największe wartości stężenia siarkowodoru zmierzono na nowo wybudowanym zagęszczaczu grawitacyjnym osadu, który był w fazie rozruchu technologicznego (rys. 6-13). Wyników stężeń siarkowodoru zmierzonych w otoczeniu zagęszczacza grawitacyjnego nie włączono do uszeregowania obiektów. Na wykresie przedstawionym na rysunku 6-14 uszeregowano obiekty ciągu technologicznego w kolejności od tych, gdzie stężenie siarkowodoru było największe, do tych, gdzie stężenie siarkowodoru było najmniejsze. Na pierwszym miejscu znajdowała się hala krat, gdzie średnie stężenie siarkowodoru wynosiło

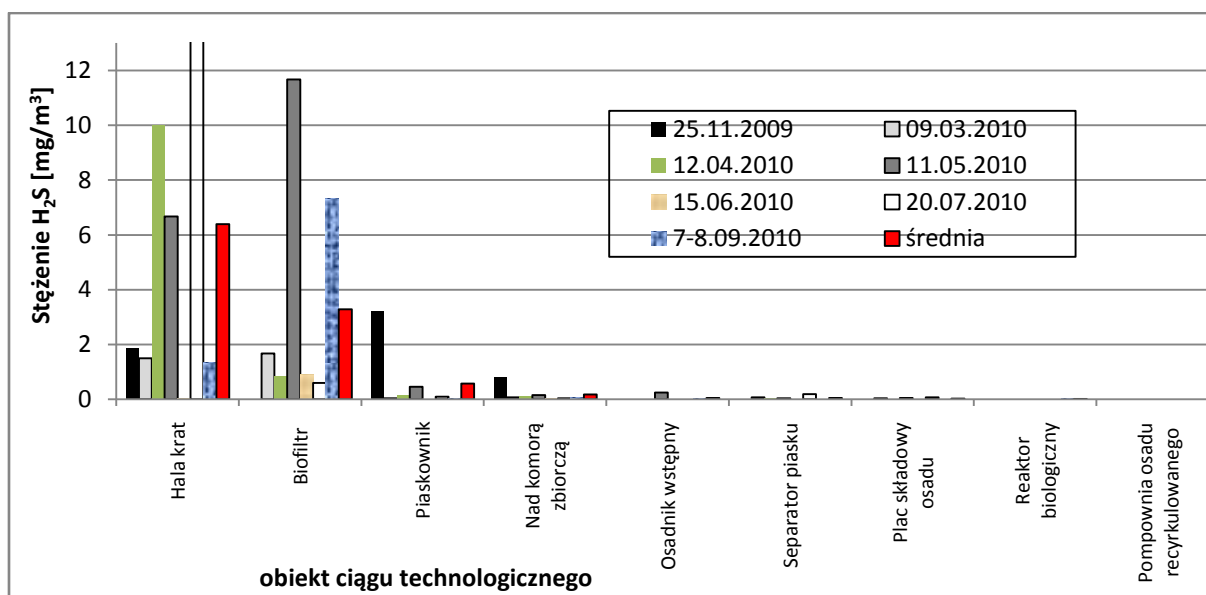
6,39 mg/m<sup>3</sup>. W dalszej kolejności znajdowały się: biofiltr, piaskownik, komora zbiorcza, osadnik wstępny, separator piasku, plac składowy osadu, reaktor biologiczny oraz na końcu pompownia osadu recykulowanego, w otoczeniu której nie wykryto siarkowodoru.

Na podstawie średnich wyników pomiarów, przedstawionych na rysunkach 6-10 do 6-12 i 6-14, według każdej metody pomiarowej można inaczej uszeregować obiekty ciągu technologicznego pod względem wartości zmierzonych stężeń odorów lub odorantów. Na podstawie tych wyników można wyróżnić obiekty technologiczne części mechanicznej oczyszczania ścieków jako najbardziej znaczące, a obiekty części biologicznej jako najmniej znaczące pod względem oddziaływania zapachowego.



**Rys. 6-13 Pobieranie próbek powietrza do oznaczeń siarkowodoru i amoniaku metodą kolorymetryczną z zagęszczacza osadu z terenu Oczyszczalni Ścieków „Czajka” (fot. wł.)**

**Fig. 6-13 Air sampling from gravity thickening for H<sub>2</sub>S and NH<sub>3</sub> determination using colorimetric method at Wastewater Treatment Plant “Czajka” (own fot.)**



Rys. 6-14 Uszeregowanie obiektów oczyszczalni ścieków „Czajka” w Warszawie pod względem wartości stężeń  $H_2S$  otrzymanych metodą kolorymetryczną

Fig. 6-14 Ranking of the facilities of technological line of the Wastewater Treatment Plant “Czajka” in terms of the  $H_2S$  concentrations determined by colorimetric method

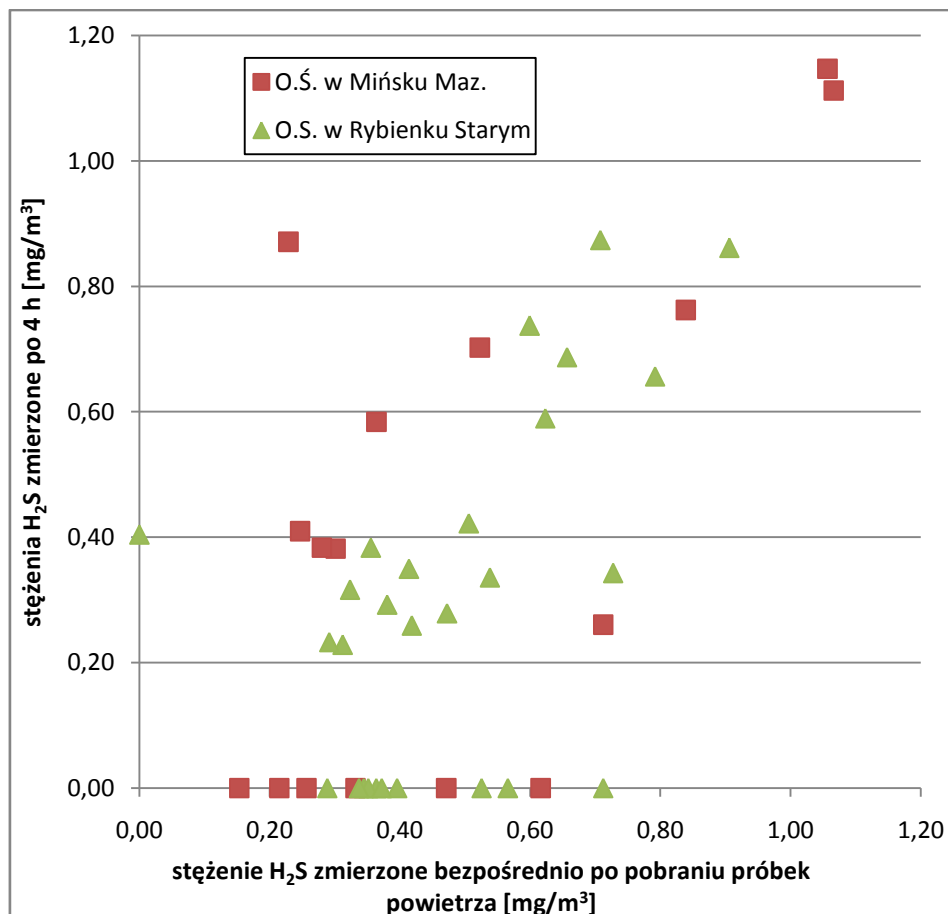
### 6.3. Analiza stabilności składu analizowanych próbek powietrza w czasie

Dla zbadania zmienności w czasie składu próbek powietrza pobranych z otoczenia obiektów oczyszczalni ścieków w pracy wykonano eksperyment polegający na porównaniu wyników pomiarów stężenia siarkowodoru w analizowanych próbkach powietrza za raz po ich pobraniu oraz po 4 godzinach.

W oczyszczalniach ścieków w Mińsku Mazowieckim oraz w Rybieniu Starym przeprowadzono pomiary stężeń siarkowodoru metodą chromatograficzną, opisaną w rozdziale 4.6. Z otoczenia wybranych obiektów ciągów technologicznych pobierano próbki powietrza do teflonowych worków z czasami uśredniania wynoszącymi: 1 minutę oraz 5 i 30 minut. Po napełnieniu worka wykonywano pierwszą analizę chromatograficzną. Każdą próbkę powietrza analizowano również po 4 godzinach. Wyniki pomiarów zostały przedstawione na wykresie (rys. 6-15).

Nie zaobserwowano jednoznacznej tendencji wzrostu lub zmniejszania stężenia siarkowodoru w próbkach powietrza. Z wykresu przedstawionego na rysunku 6-15 wynika, że dynamika zmian zachodzących w próbkach powietrza jest duża. Można założyć, że zmiana składu chemicznego mieszaniny gazów ma wpływ na zmianę wywołanego wrażenia węchowego.





**Rys. 6-15 Zależność między stężeniami siarkowodoru zmierzonymi bezpośrednio po pobraniu próbek powietrza z otoczenia obiektów ciągów technologicznych w oczyszczalniach ścieków w Mińsku Mazowieckim i Rybieniu Starym a stężeniami zmierzonymi po upływie 4 godzin**

**Fig. 6-15 Concentrations of H<sub>2</sub>S in air samples determined just after sampling in the surroundings of the facilities of the technological line at the wastewater treatment plants in Mińsk Mazowiecki and Rybienko Stare and after 4 hours**

Próbki powietrza pobrane z komory wejściowej, w budynku krat oraz w budynku piaskowników poddano niebezpośredniej analizie olfaktometrycznej po czasie 6 i 30 godzin od momentu pobrania próbek. Stężenie zapachowe próbki powietrza pobranej z otoczenia piaskownika po 30 godzinach było o 30 % mniejsze w stosunku do stężenia oznaczonego po 6 godzinach. Stężenie zapachowe w próbkach pobranych w budynku krat zmniejszyło się jedynie o 6 %, a z komory wejściowej o 9 % (tabela nr 4.2. z załącznika nr 4.).

#### **6.4. Analiza kosztów pomiarów olfaktometrycznych**

Szacunkowy koszt wykonania pomiaru OT w jednym punkcie receptorowym, przy założeniach, że obiekt badań znajduje się w bliskiej odległości od siedziby podmiotu

wykonywającego pomiary, tj. do 30 km, pomiary wykonują dwie przeszkolone osoby wyposażone w półmaski gazowe, dwoma OT, wykonuje się dwa powtórzenia pomiarów w co najmniej 10 punktach receptorowych oraz prowadzi się obserwacje i pomiary meteorologiczne odpowiednimi przyrządami pomiarowymi, wynosi około 120 PLN netto. Analiza kosztów uwzględnia konserwację OT, polegającą na: czyszczeniu, wymianie filtrów, uszczelek, baterii, zakup półmasek gazowych oraz ich konserwację, polegającą na czyszczeniu oraz wymianie filtrów. Nie uwzględnia natomiast zakupu OT oraz jego kalibracji, zakupu i amortyzacji przyrządów do pomiarów meteorologicznych. Założono również, że pomiary wykonywane są systematycznie, a nie ograniczają się do jednej serii pomiarowej.

Koszt wykonania pomiaru, zgodnie z normą PN-EN 13725, w jednym punkcie receptorowym, w zależności od podmiotu wykonującego pomiary olfaktometryczne, wynosił netto od 500 do 600 PLN. Koszty uwzględniały: dojazd do obiektu badań, pobranie próbek powietrza do badań olfaktometrycznych, pomiar temperatury i wilgotności gazu, pomiary meteorologiczne, transport próbek do laboratorium, oznaczenie stężenia zapachowego przy udziale przeszkolonych osób oceniających zgodnie z normą PN-EN 13725 oraz przedstawienie wyników pomiarów w formie opracowania lub raportu.

## 7. Dyskusja wyników badań porównawczych

Z przeglądu literaturowego wynika, że badania porównawcze dwóch metod służących do oceny zapachowej jakości powietrza: bezpośredniej olfaktometrii dynamicznej (olfaktometrii terenowej) z użyciem OT oraz metody niebezpośredniej, opisanej w normie PL-EN 13725:2007, prowadziła Bokowa (Bokowa 2008, Bokowa 2012). Badania były prowadzone w otoczeniu: kompostowni, lakierni, palarni kawy oraz w laboratorium z użyciem wybranych odorantów. Wartości stężeń zapachowych, uzyskane przy zastosowaniu OT, były mniejsze niż przy zastosowaniu metody niebezpośredniej. Taką zależność stwierdzili również Brandt i wsp. (Brandt i wsp. 2008). Wyniki badań przeprowadzonych na oczyszczalniach ścieków w Warszawie, Wrocławiu i Piasecznie, przedstawione na rysunkach 6-1, 6-5, 6-10 i 6-21, potwierdzają wyniki Bokowej i Brandta, według których zależność ta związana jest z:

1. różnymi sposobami prezentacji i wyboru badanego gazu w olfaktometrii niebezpośredniej i terenowej,
2. bezwzględnie czystym powietrzem w laboratorium w porównaniu z powietrzem w terenie, które z natury jest zanieczyszczone,
3. podawaniem w olfaktometrii terenowej przez większość osób oceniających wyniku odzwierciedlającego próg rozpoznania a nie próg detekcji.

Tylko w jednym przypadku, w dniu 25 listopada 2009 r., w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”, w otoczeniu separatora piasku wartość stężenia zapachowego uzyskana metodą olfaktometrii terenowej była większa niż uzyskana metodą olfaktometrii niebezpośredniej. Wyjątek ten był wynikiem pobrania próbek do oznaczeń niebezpośrednich oraz pomiaru OT w odstępie czasu wynoszącym kilka minut. Podczas pomiaru OT proces separacji piasku przybrał fazę dynamiczną, nastąpiło silne wzburzenie ścieków oraz osadzonego piasku. Należy także wziąć pod uwagę fakt, że na wyniki uzyskane obiema metodami może mieć wpływ inna procedura wyboru osób oceniających (Barczak i wsp. 2010).

Ważne jest również to, że wykonujący pomiar OT podają często wynik dopiero w momencie, kiedy odczuwają hedoniczną jakość zapachu.

W 2013 r. w Polsce istniało mniej niż 10 laboratoriów olfaktometrycznych, spełniających wymagania normy PL-EN 13725:2007. Stwarza to barierę techniczną we

wprowadzeniu rozwiązań legislacyjnych czy metodyk referencyjnych, bazujących na olfaktometrii niebezpośredniej.

Zaobserwowano, że istotny wpływ na wynik pomiaru OT ma zmęczenie sensoryczne osób oceniających. Podczas badań w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” po czasie około dwóch godzin pomiarów OT osoby oceniające stawały się coraz bardziej rozkojarzone.

Analiza olfaktometryczna niebezpośrednia uniemożliwia określenie stężenia zapachowego w próbce w momencie jej pobrania. Zgodnie z normą VDI 3880, czas przetrzymania próbek powietrza nie powinien przekraczać 6 godzin, zgodnie z normą PN-EN 13725:2007, analizy olfaktometryczne muszą być wykonane przed upływem 30 godzin.

W eksperymencie, którego celem było zbadanie, jak zmienia się w czasie wartość stężenia siarkowodoru w próbkach powietrza pobranych z otoczenia obiektów oczyszczalni ścieków, opisanym w rozdziale 6.3., zaobserwowano zmiany stężeń siarkowodoru. Malejące stężenia siarkowodoru mogą być przyczyną adsorpcji związku na ściankach worków, w których znajdowała się analizowana próbka powietrza. Mochalski i wsp. (2009) zaobserwowali, że czas przetrzymania próbki powietrza zawierającej siarkowodor ma wpływ na wartości zmierzonych stężeń. W ich eksperymencie stężenia siarkowodoru malały wraz z upływem czasu. Zwrócić należy uwagę na fakt, że Mochalski i wsp. wykorzystali gazy wzorcowe, a nie próbki pobrane np. z oczyszczalni ścieków.

Kontynuacją eksperymentu polegającego na badaniu zmian składu próbek powietrza w czasie były badania przeprowadzone we Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek” opisane w rozdziale 6.3. Próbki powietrza z otoczenia 3 obiektów ciągu technologicznego oczyszczalni ścieków poddane analizie olfaktometrycznej charakteryzowały się wyższymi stężeniami zapachowymi po 6 godzinach niż próbki poddane analizie po 30 godzinach. Różnice stężeń zapachowych zawierały się w przedziale od 30 % dla piaskownika do 6 % dla budynku krat.

Zgodnie z pracą przeglądową Cyprowskiego i Krajewskiego (Cyprowski, Krajewski 2003), stężenia H<sub>2</sub>S zmierzone na 18 miejskich oczyszczalniach ścieków w Finlandii mieściły się w przedziale 0,07-53 mg/m<sup>3</sup>, a średnie wartości stężeń H<sub>2</sub>S w oczyszczalni ścieków nie przekroczyły 1,4 mg/m<sup>3</sup>. Wyniki uzyskane z badań na oczyszczalniach ścieków w Mińsku Mazowieckim, Rybieniu Starym, Warszawie i Piasecznie są zbieżne z wynikami pracy przeglądowej. Maksymalne stężenie siarkowodoru wynoszące 41,6 mg/m<sup>3</sup>, oznaczono w powietrzu z zagęszczacza grawitacyjnego w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”.

W ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych siarkowodór często jest wykorzystywany jako związek odzwierciedlający całkowite stężenie zapachowe (Gostelow, Parsons 2001). Gostelow i Parson uznali, że siarkowodór może być wskaźnikiem stężenia zapachowego w przypadku, jeżeli występuje w stężeniach większych niż stężenia pozostałych odorantów, np. dla mechanicznego etapu oczyszczania ścieków lub części osadowej. Wykazali, że stężenie zapachowe może być określone z zależności  $C_{ou} = mC_{H_2S}^n$  (Gostelow, Parsons 2000), gdzie  $m$  i  $n$  są współczynnikami dobranymi odpowiednio dla poszczególnych obiektów ciągu technologicznego. Badania przeprowadzone w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” nie potwierdzają ich zdania (rys. 6-6). Dla średnich z trzech wartości stężenia zapachowego określonego metodą olfaktometrii terenowej i średnich z dwóch wartości stężenia metanotolu określonego metodą chromatograficzną wyznaczono liniową korelację na poziomie współczynnika korelacji Pearsona  $R^2 = 0,89$  (rys. 6-8). Dla budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” metanotol byłby lepszym wskaźnikiem odzwierciedlającym stężenie zapachowe niż siarkowodór.

Bardzo istotnym elementem przy wykonywaniu OoZ jest porównanie wyników badań do obowiązujących standardów, o ile takie istnieją. W przypadku braku krajowych zaleceń można wykorzystać rozwiązania stosowane w innych krajach, takich jak np. Holandia, Niemcy, Japonia. W rozwiązaniach tych wykorzystane jest założenie, że zapachowa uciążliwość, subiektywnie oceniana w odniesieniu do dłuższych okresów, może być wyrażona jako funkcja dwóch parametrów – częstości pojawiania niepożądanego zapachu i intensywności wrażenia (uciążliwość często występujących wrażeń słabych może być podobna do uciążliwości sporadycznie występujących wrażeń bardzo silnych) (Wikibooks, 2013). Ochrona zapachowej jakości powietrza najczęściej polega na urzędowym wskazaniu jednego lub kilku punktów na rozmytej granicy między obszarem uciążliwości akceptowalnej i nieakceptowanej (Wikibooks, 2013).

W celu uniknięcia możliwości różnej interpretacji wyników pomiarów, standardom zapachowej jakości powietrza musi towarzyszyć opis procedury pomiarowej, do której te standardy się odnoszą.

## 8. Propozycja wykorzystania olfaktometrii terenowej w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych

### 8.1. Propozycja procedury pomiarów stężeń zapachowych w oczyszczalniach ścieków komunalnych i ich otoczeniu za pomocą olfaktometru terenowego

Celem pracy było zaproponowanie, na podstawie porównania wybranych sensorycznych i analitycznych metod badawczych, metodyki służącej do oceny oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych. Proponowana metodyka może znaleźć zastosowanie m.in. w procedurach oceny oddziaływania zapachowego obiektów oraz przepisach prawnych w Polsce.

Na podstawie studiów literaturowych oraz eksperymentów przeprowadzonych na 5 oczyszczalniach ścieków komunalnych, w tabeli 8-1 wskazano zalety i wady analizowanych metod badawczych.

**Tabela 8-1 Zestawienie zalet i wad analizowanych metod badawczych w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków**

**Table 8-1 Advantages and disadvantages of the analyzed research methods in the odour impact assessment of wastewater treatment plants**

Metoda	Zalety metody	Wady metody
Olfaktometria terenowa	Oznaczenia wykonywane w terenie ( <i>in situ</i> ). Niski koszt pomiaru. Wystarczający zakres pomiarowy do określenia imisji odorów. Wartości D/T uzyskiwane są natychmiastowo. Wynik badania w postaci stężenia zapachowego.	Ograniczona ilość rozcieńczeń. spowodowana ilością kryz na tarczy D/T. Trudny do określenia moment punktu przebiccia filtrów. Brak określonych wymagań jakościowych dla pomiaru sensorycznego. Ograniczenia w zakresie badania emisji zorganizowanej.
Olfaktometria niebezpośrednia, zgodna z PN-EN 13725	Możliwość zapewnienia kryteriów jakości wykonania pełnego pomiaru. Wynik badania w postaci stężenia zapachowego.	Wysoki koszt analizy. Brak norm w zakresie pobierania próbek ze wszystkich rodzajów źródeł. Konieczność prowadzenia pomiarów w specjalistycznych laboratoriach.

Metoda	Zalety metody	Wady metody
Skalowanie intensywności zapachu metodą organoleptyczną	Metoda prosta. Nie wymaga specjalistycznej aparatury. Niski koszt analizy.	Ograniczona skala oceny. Ocena o trudnym do określenia stopniu obiektywności. Brak określonych wymagań jakościowych dla pomiaru.
Badania chemiczne metodami aspiracyjnymi	Niskie progi oznaczalności. Wyniki dla czasu uśredniania wynoszącego 30 minut. Możliwość zapewnienia kryteriów jakości wykonania pełnego pomiaru.	Oznaczanie pojedynczych związków chemicznych. Brak możliwości oznaczania wartości stężeń dla kilkuminutowych lub kilkusekundowych czasów uśredniania. Brak możliwości określenia stężeń zapachowych na podstawie analiz ilościowych mieszaniny odorantów.
Badania chemiczne metodami chromatograficznymi	Możliwość analizy jakościowej kilku związków jednocześnie. Możliwość oznaczania wartości stężeń dla kilkuminutowych lub kilkusekundowych czasów uśredniania. Możliwość ciągłego monitoringu. Możliwość zapewnienia kryteriów jakości wykonania pełnego pomiaru.	Wysoki koszt analizy. Pojedynczy detektor umożliwia analizę wybranej grupy związków. Zbyt mała czułość detektorów dla odorantów, często występujących w bardzo małych stężeniach. Błędy w analizie ilościowej, wynikającej z polarności i aktywności chemicznej odorantów. Możliwość sorpcji odorantów na powierzchni pojemników na próbki. Konieczność prekoncentracji i desorpcji dla odorantów występujących w niskich stężeniach. Brak możliwości określenia stężeń zapachowych na podstawie analiz jakościowych i ilościowych mieszaniny odorantów.

Istotną zaletą metody wykorzystującej OT jest to, że oznaczenia wykonywane są bezpośrednio w terenie (*in situ*), co eliminuje błędy występujące w analizie niebezpośredniej, wynikające ze zmian składu chemicznego próbek, zachodzących w czasie. Zmianom chemicznym próbki powietrza może towarzyszyć zmiana jakości hedonicznej i intensywności zapachu. Oznaczenia wykonywane OT dają natychmiastowy wynik. Ważną zaletą jest koszt wykonania analiz OT, kilkukrotnie mniejszy w porównaniu do analizy olfaktometrycznej zgodnej z normą PN-EN 13725.

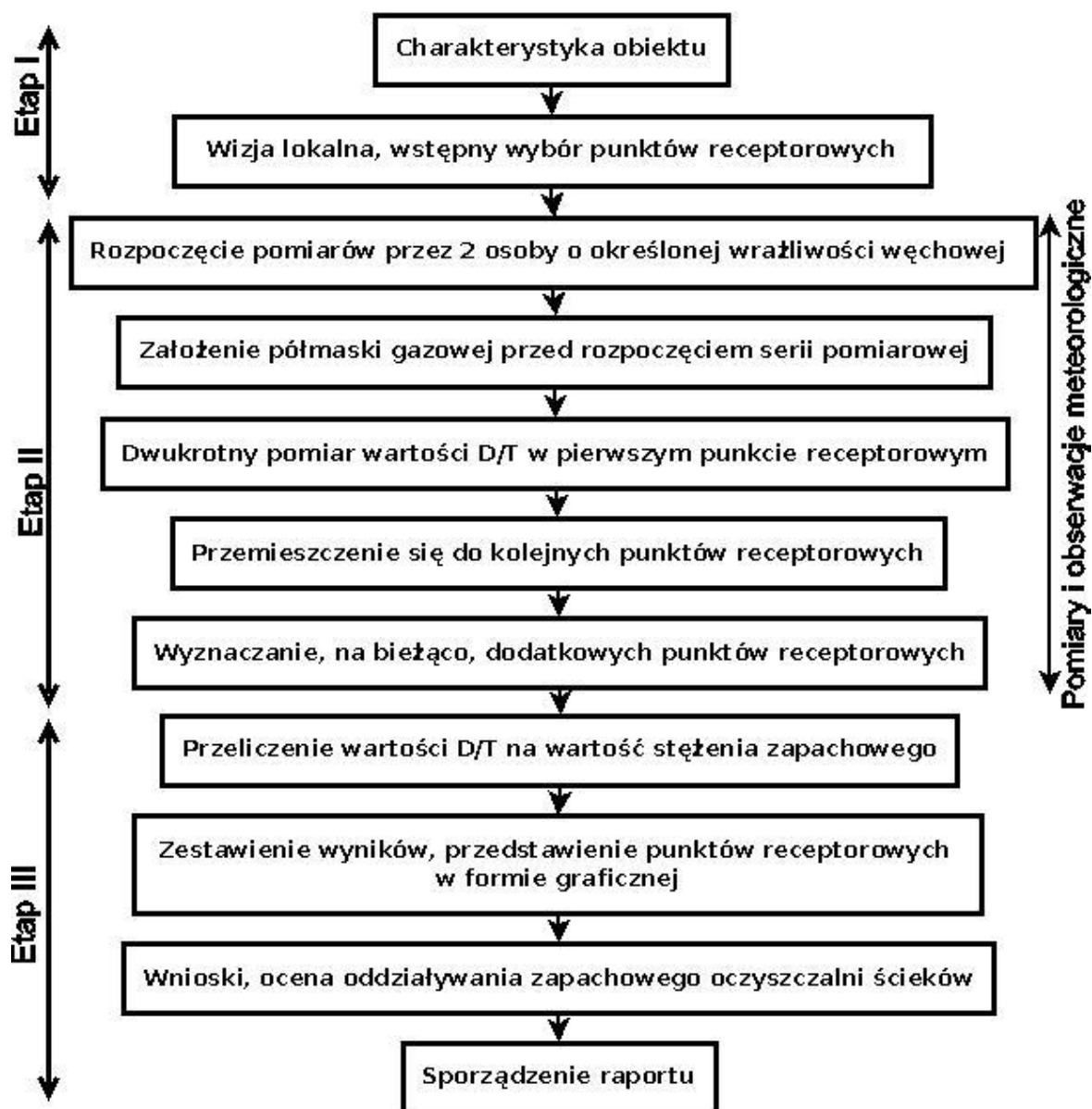
Do wad metody należy zaliczyć ograniczoną ilość rozcieńczeń powodowaną ilością kryz na tarczy D/T. Decyzja na temat wymiany filtrów należy do oceniającego. Moment, kiedy filtr osiągnie punkt przebicia, może być trudny do wykrycia, szczególnie w momencie pomiarów.

Na podstawie przeprowadzonych badań zaproponowano procedurę badania odorów metodą badań bezpośrednich, przy zastosowaniu OT w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych i ich otoczeniu (rys. 8-1).

Proponowana procedura pomiarów stężeń zapachowych OT w oczyszczalniach ścieków komunalnych i ich otoczeniu powinna składać się z 3 głównych etapów: przygotowania badań, przeprowadzenia pomiarów terenowych oraz opracowania wyników i raportu z badań.

Podczas etapu wstępnego należy scharakteryzować oczyszczalnię ścieków pod względem potencjalnego oddziaływania zapachowego. W tym celu należy zapoznać się z dokumentacją technologiczną oraz rozplanowaniem przestrzennym oczyszczalni ścieków komunalnych, przeprowadzić wywiady z pracownikami na temat uciążliwości zapachowej obiektów ciągu technologicznego. Do realizacji zadania przydatne będą dokumenty, takie jak np. plan oczyszczalni ścieków, opis i schemat technologiczny, charakterystyka urządzeń i ich rozmieszczenie, charakterystyka zmienności czasowej emisji, zastosowane rozwiązania ograniczające uciążliwość zapachową, możliwości kontroli oddziaływania. Na podstawie dokumentacji należy zidentyfikować potencjalne źródła odorów, którymi mogą być poszczególne elementy ciągu technologicznego oczyszczania ścieków i gospodarki osadami. Ponadto po zapoznaniu się z dokumentacją technologiczną należy przeprowadzić wizję lokalną oczyszczalni ścieków w celu weryfikacji lokalizacji źródeł odorów i wyznaczenia w ich otoczeniu wstępnych punktów receptorowych.





Rys. 8-1 Schemat blokowy procedury pomiarów olfaktometrycznych OT w oczyszczalniach ścieków komunalnych (oprac. wł.)

Fig. 8-1 Block diagram of the olfactometric measurement procedure using field olfactometer at municipal wastewater treatment plant (own fig.)

Po zakończeniu etapu pierwszego należy przystąpić do przeprowadzenia pomiarów terenowych. Z uwagi na zmienny charakter emisji odorów z oczyszczalni ścieków w czasie, etap ten powinien składać się z więcej niż jednej serii pomiarowej. Określając ilość serii pomiarowych, należy wziąć pod uwagę m.in. zmienność warunków meteorologicznych, poprawność funkcjonowania ciągu technologicznego, cel badań, np. określenie skuteczności wprowadzenia rozwiązań ograniczających emisję odorów do atmosfery. W celu zapewnienia lepszej granicy powtarzalności i dokładności pomiaru, w pomiarach olfaktometrycznych, wykonywanych zgodnie z procedurą przedstawioną na rysunku 4-4, powinny brać udział co

najmniej dwie osoby. Osoby oceniające powinny mieć sprawdzoną wrażliwość węchu np. testem „pisakowym”, zgodnie z procedurą zaproponowaną przez producenta olfaktometru terenowego Nasal Ranger® firmę St. Croix Sensory (St. Croix Sensory, 2006).

W każdej serii pomiarowej punkty receptorowe powinny być wyznaczane na podstawie wstępnych punktów receptorowych wyznaczonych w etapie I oraz z uwzględnieniem warunków meteorologicznych, głównie kierunku i prędkości wiatru. W celu określenia zasięgu oddziaływania poszczególnych źródeł odorów, punkty receptorowe powinny znajdować się po stronie zawietrznej źródła, w odległości dobranej w zależności od warunków meteorologicznych, głównie kierunku i prędkości wiatru, oraz wysokości źródeł emisji.

W momencie przystąpienia do pomiarów olfaktometrycznych osoby oceniające powinny włożyć półmaskę gazową i nosić ją przez cały czas trwania serii pomiarowej, tj. w trakcie przemieszczania się od jednego punktu receptorowego do następnego. Półmaska gazowa ma na celu ograniczenie adaptacji węchu do warunków panujących w trakcie badań. Zastosowane w półmasce pochłaniacze lub filtropochłaniacze powinny być przynajmniej klasy 1 [24, 25]. Półmaska gazowa powinna być ściągana jedynie w punktach receptorowych na czas wykonania pomiarów olfaktometrycznych.

W każdym punkcie receptorowym każda z osób oceniających powinna wykonać przynajmniej dwa powtórzenia oznaczenia wartości D/T, zgodnie z procedurą pomiarową opisaną w rozdziale 4.2. Wszyscy oceniający powinni wykonywać pomiary OT równocześnie. W momencie pomiarów ustawienie osób oceniających powinno umożliwiać maksymalne zbliżenie do siebie wykorzystywanych olfaktometrów terenowych w celu pobierania próbek powietrza możliwie z tego samego miejsca.

Pomiary olfaktometryczne wykonywane bez przerwy nie powinny trwać dłużej niż dwie godziny. Podczas dwóch godzin pomiarów nie powinno się wyznaczać więcej niż 20 punktów receptorowych. Po maksymalnie dwóch godzinach pomiarów należy zrobić półgodzinną przerwę. Należy wziąć pod uwagę m.in. fakt, że półmaska gazowa ogranicza ilość wdychanego tlenu. Powoduje to dodatkowe zmęczenie organizmu osoby oceniającej. Pomiary olfaktometryczne powinny być wykonywane przynajmniej pół godziny po zakończeniu jedzenia.

Z uwagi na zmienny w czasie charakter emisji odorów na terenie oczyszczalni ścieków, a także na możliwość wystąpienia źródeł incydentalnych i nieprzewidzianych na

etapie wstępnym, związanych np. z awarią lub wadliwą pracą poszczególnych elementów ciągu technologicznego, istnieje potencjalna możliwość pojawienia się dodatkowych źródeł odorów, innych niż wyznaczone w pierwszym etapie. Z tego względu podczas wykonywania serii pomiarów olfaktometrycznych zaleca się wyznaczanie na bieżąco dodatkowych punktów receptorowych. W tym celu, w czasie przemieszczania się między wyznaczonymi punktami receptorowymi, w miejscach, w których potencjalnie może wystąpić oddziaływanie zapachowe nieprzewidziane w pierwszym etapie, należy zdjąć półmaskę gazową z zamiarem wykonania analizy olfaktometrycznej. W przypadku nie wyczucia zapachu należy z powrotem włożyć maskę. Wynik w danym punkcie receptorowym wynosi  $0 \text{ ou/m}^3$ .

Podczas trwania całej serii pomiarowej należy wykonywać obserwacje i pomiary meteorologiczne. Pomiary meteorologiczne, w szczególności kierunku i prędkości wiatru, powinny być wykonywane w każdym punkcie receptorowym przed wykonaniem analizy olfaktometrycznej. Pomiary prędkości i kierunku wiatru są bardzo istotne podczas wyznaczania punktów receptorowych, wyznaczanych w celu określenia zasięgu oddziaływania poszczególnych źródeł odorów.

Etap trzeci, stanowiący opracowanie wyników i raport z badań, powinien być wykonany, w zależności od potrzeb (np. w zależności od wymagań zarządzającego oczyszczalnią ścieków), po wykonaniu każdej serii pomiarowej, po zakończeniu określonej ilości serii pomiarowych lub po zakończeniu wszystkich serii pomiarowych. W raporcie z badań powinny znaleźć się informacje uzyskane podczas etapu pierwszego, m.in. opis technologiczny, schematy technologiczne części ściekowej i osadowej. Dla wszystkich punktów receptorowych należy przedstawić wyniki pomiarów jako wartości stężeń zapachowych  $C_{\text{od,OT}}$ , wyrażonych w jednostkach zapachowych  $\text{ou/m}^3$ , z dokładnym opisem metodologii pomiarów olfaktometrycznych. Należy wskazać źródła odorów, w otoczeniu których zmierzono największe, jak i najmniejsze wartości stężenia zapachowego, wraz z informacją na temat ewentualnego zasięgu oddziaływania poszczególnych obiektów ciągu technologicznego w odniesieniu do warunków meteorologicznych. Raport powinien zawierać informacje przedstawione w formie graficznej, np. przy wykorzystaniu technik GIS, dotyczące lokalizacji punktów receptorowych. Na końcu raportu powinny zostać przedstawione wnioski z badań, dotyczące: wartości stężeń zapachowych zmierzonych, w otoczeniu poszczególnych obiektów ciągów technologicznych, zasięgu oddziaływania tych obiektów, wskazania

obiektów, w otoczeniu których zmierzono największe wartości stężenia zapachowego, konieczności wprowadzenia rozwiązań ograniczających emisję odorów.

## **8.2. Zastosowanie zaproponowanej procedury pomiarów olfaktometrycznych OT w oczyszczalni ścieków komunalnych**

Na terenie Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” oraz poza granicami działki wykonano pomiary olfaktometryczne w celu sprawdzenia i weryfikacji procedury pomiarów OT zaproponowanej w rozdziale 8.1. Przed pomiarami zapoznano się z dokumentacją technologiczną, rozplanowaniem przestrzennym oczyszczalni ścieków. W dniu 3 czerwca 2013 r. przeprowadzono wizję lokalną oraz przeprowadzono wywiady z pracownikami na temat uciążliwości zapachowej obiektów ciągu technologicznego, przeprowadzono ocenę organoleptyczną oczyszczalni ścieków. zlokalizowano istotne źródła odorów. Wyznaczono wstępne punkty receptorowe. W dniach 11 czerwca oraz 2, 3, 4 i 5 lipca, 2013 r. w otoczeniu źródeł odorów oraz w pewnych odległościach od nich, wybrano odpowiednio 15, 21, 22, 20 i 22 punkty receptorowe do pomiarów olfaktometrycznych (rysunki 8-2 – 8-6). W pomiarach terenowych brały udział dwie osoby oceniające (oznaczone jako MS i RB), o sprawdzonej wrażliwości węchowej testem „pisakowym”, zgodnie z procedurą zaproponowaną przez firmę St. Croix Sensory (St. Croix Sensory, 2006), oraz potrafiące rozróżniać odory pochodzące z poszczególnych obiektów w oczyszczalniach ścieków komunalnych.

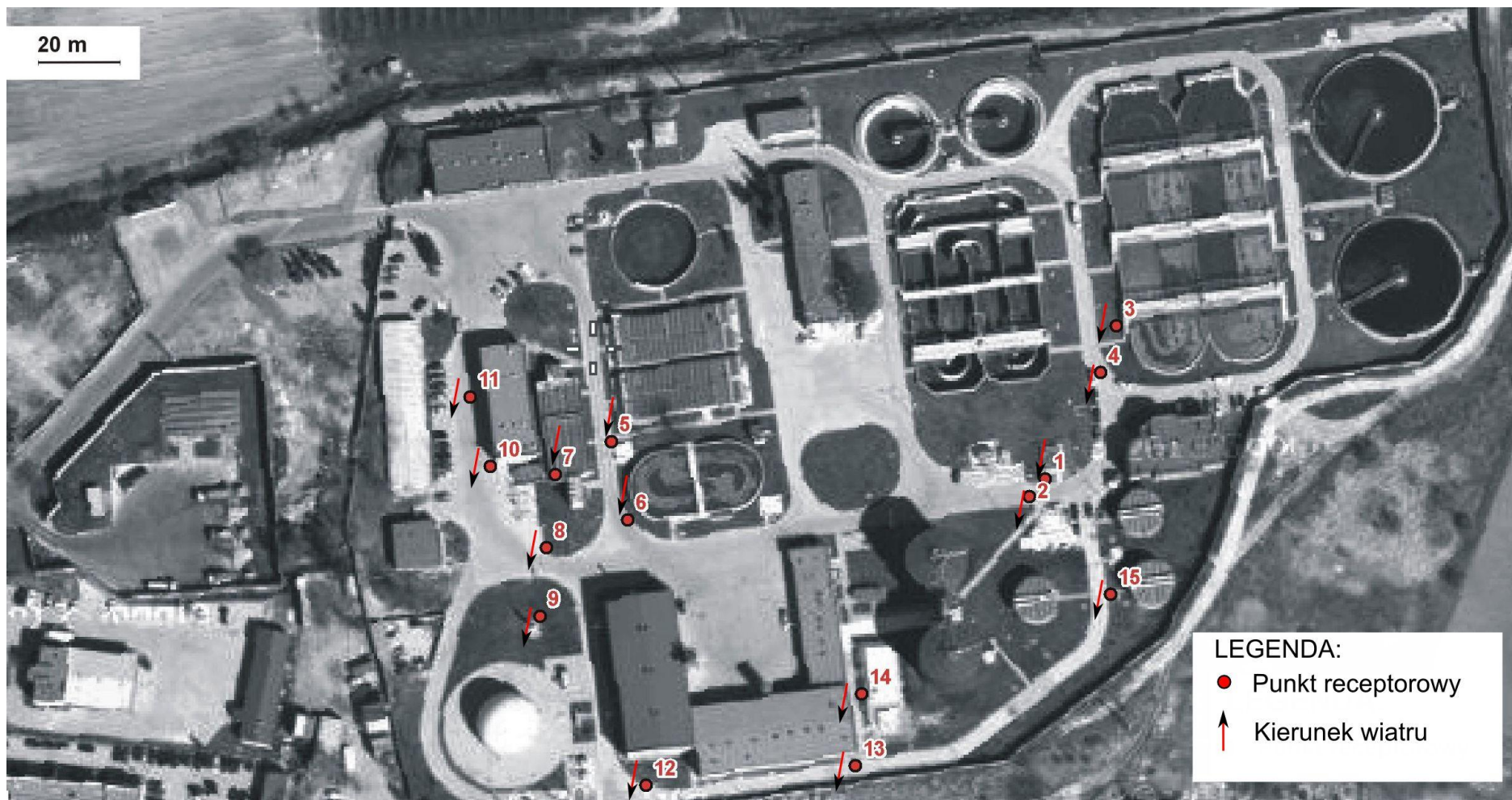
W momencie rozpoczęcia serii pomiarów olfaktometrycznych osoby oceniające założyły półmaski gazowe, wyposażone w filtr spełniający wymogi norm PN-EN 14387:2010 i PN-EN 143 [23, 24].

W każdym z wyznaczonych punktów receptorowych obie osoby oceniające dwukrotnie wykonały oznaczenia wartości D/T zgodnie z procedurą opisaną w rozdziale 4.2. Podczas trwania serii pomiarów olfaktometrycznych wykonywano pomiary prędkości i kierunku wiatru oraz temperatury i wilgotności powietrza atmosferycznego. Wyniki pomiarów olfaktometrycznych zostały przedstawione w załączniku nr 10.

Dla każdej wartości D/T obliczono dwie wartości stopnia rozcieńczenia (Z), odpowiadające pierwszemu ustawieniu  $V_{\text{czyste}}/V_{\text{surowe}}$ , przy którym zapach stał się wyczuwalny ( $Z_{\text{TAK}}$ ) i ustawieniu poprzedniemu ( $Z_{\text{NIE}}$ ), zgodnie ze wzorem nr 2. Ocenę progu indywidualnego  $Z_{\text{ITE}}$ , czyli średnią geometryczną z wartości  $Z_{\text{TAK}}$  i  $Z_{\text{NIE}}$ , obliczono zgodnie z

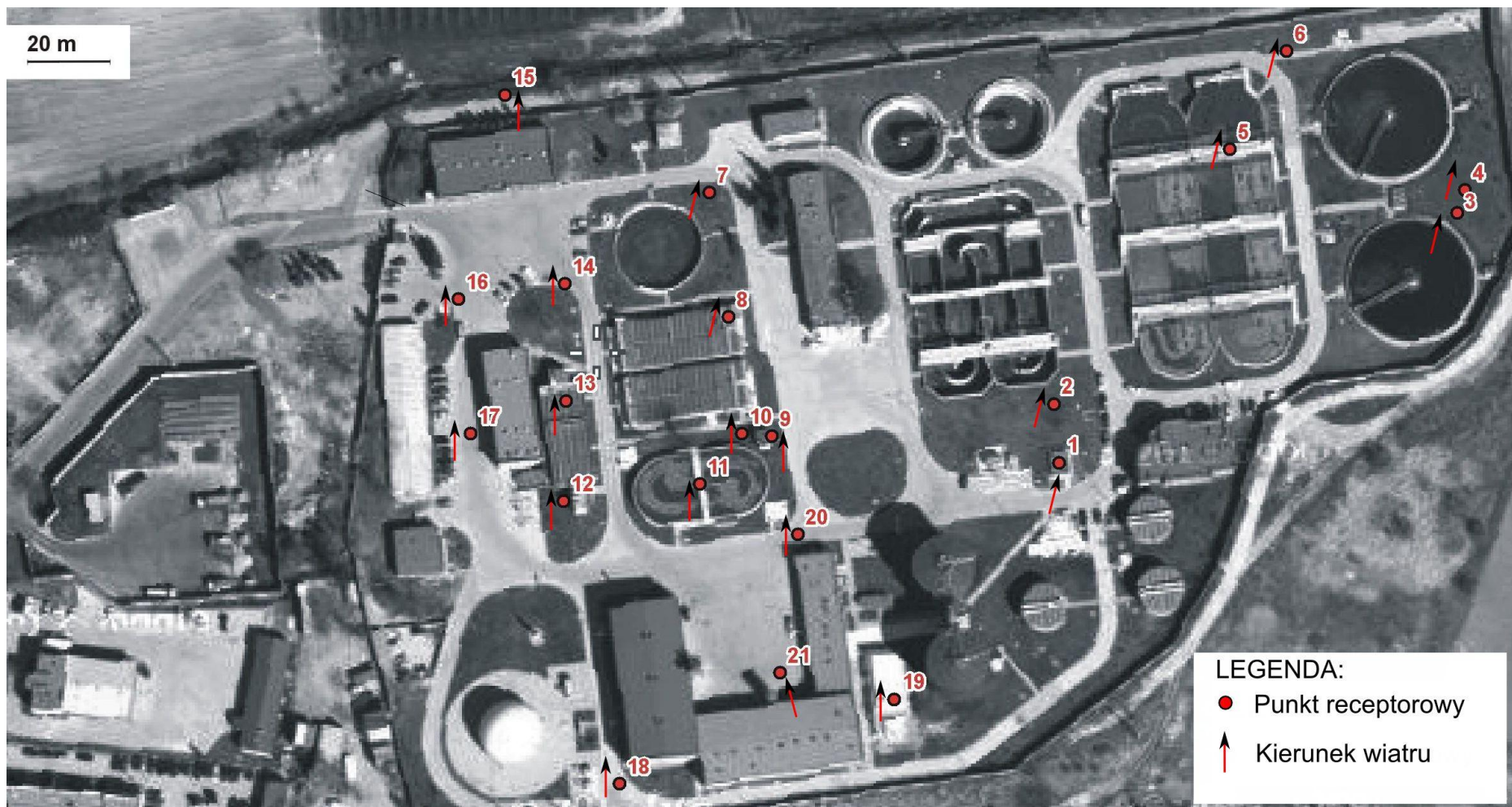
wzorem nr 3. Dla danego punktu receptorowego wartości stężenia zapachowego  $C_{od,OT}$  [ $ou/m^3$ ] obliczono jako średnią geometryczną ze zbioru 4 ocen progów indywidualnych ( $Z_{ITE}$ ), zgodnie ze wzorem nr 4. Wyniki obliczeń przedstawiono w tabelach 8-2 – 8-6.

Przedstawione na rysunkach nr 8-2 – 8-6 punkty receptorowe w formie graficznej, wyniki obliczeń przedstawione w tabelach nr 8-2 – 8-6 oraz wnioski z badań powinny stanowić część raportu z badań.



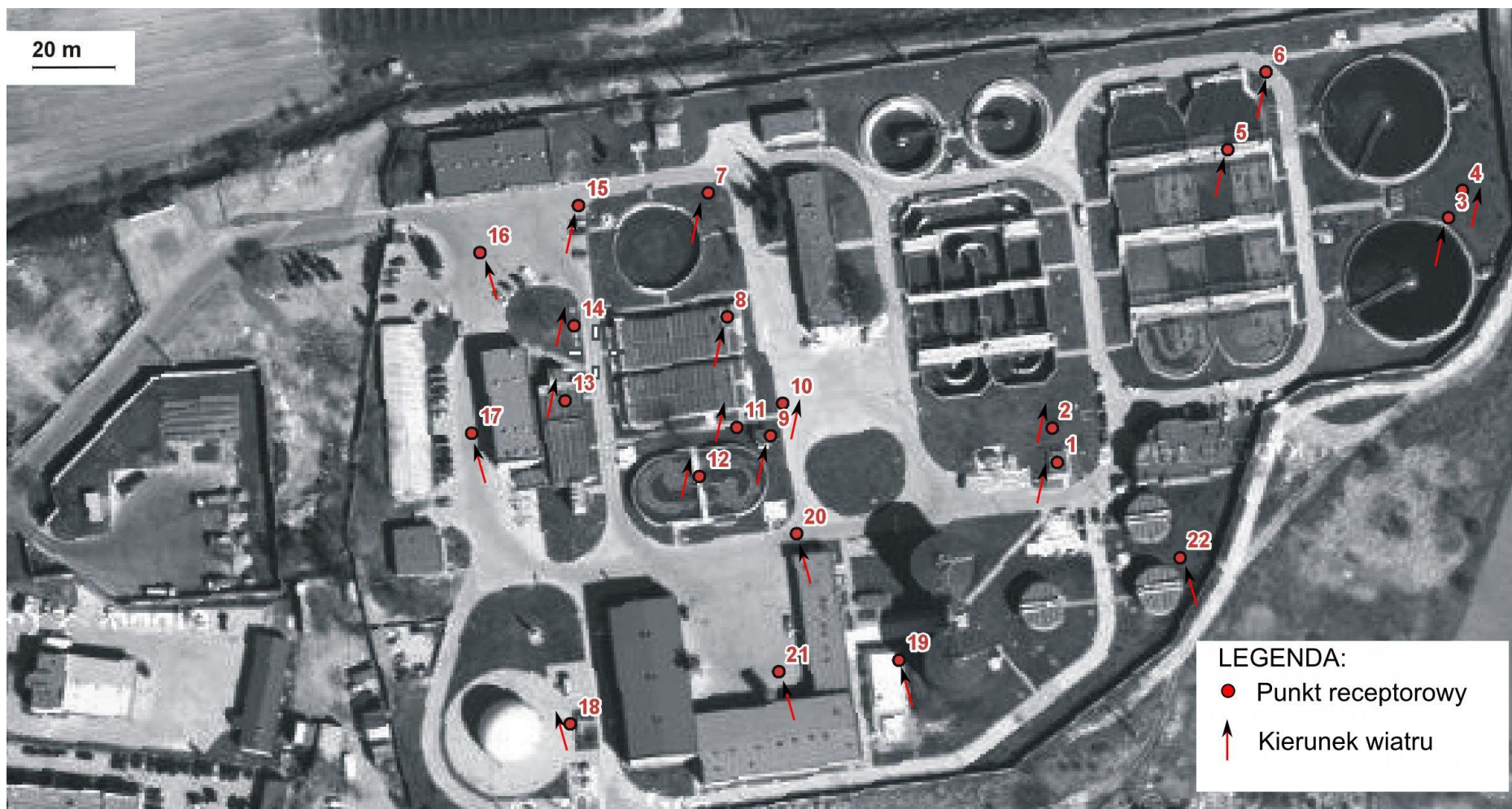
Rys. 8-2 Rozmieszczenie punktów receptorowych na terenie Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 11 czerwca 2013 r. (oprac. wł.)  
 Fig. 8-2 Location of measurement points in the Wastewater Treatment Plants “Piaseczno” on June 11, 2013 (own fig.)





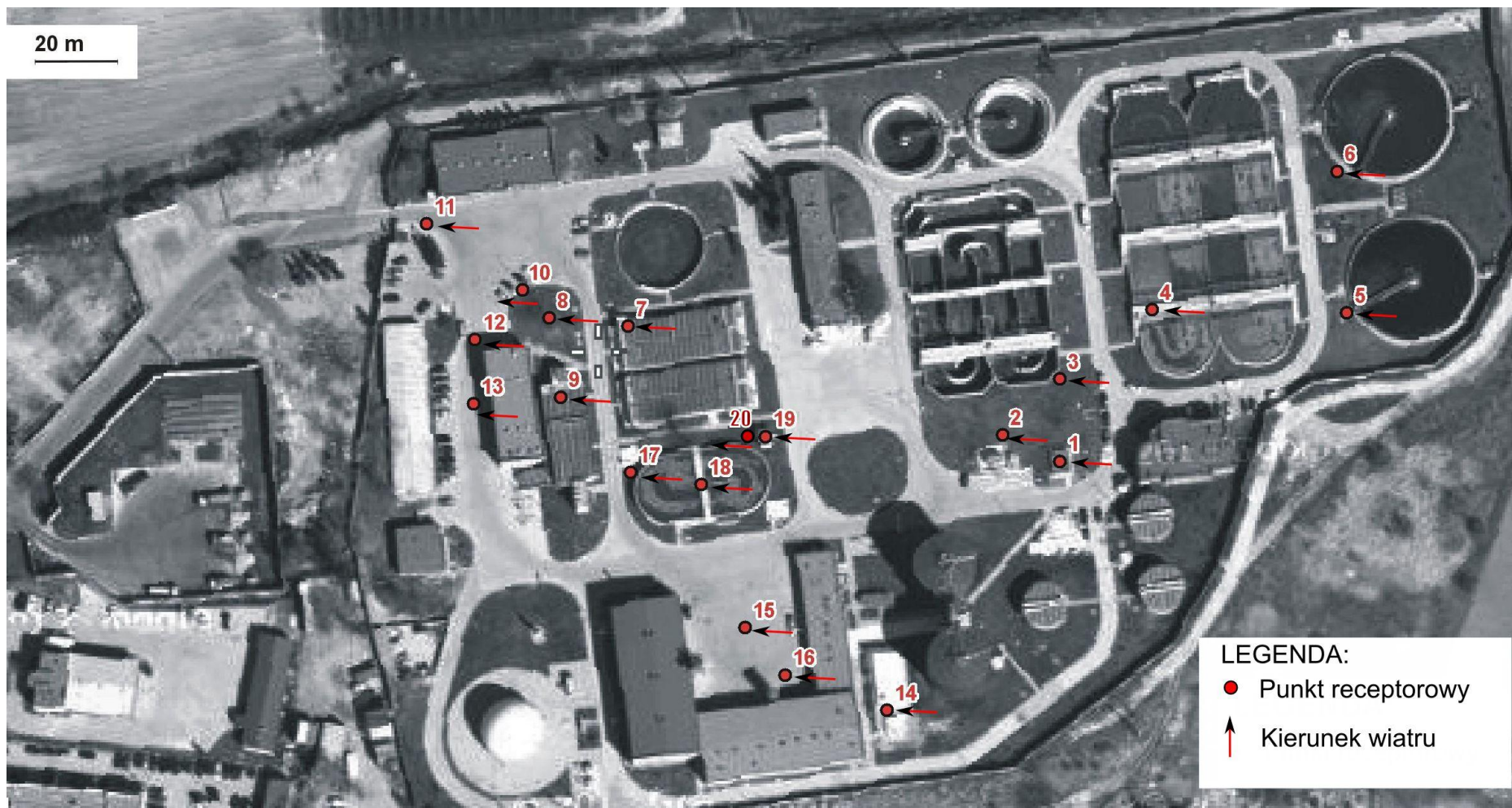
Rys. 8-3 Rozmieszczenie punktów receptorowych na terenie Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 2 lipca 2013 r. (oprac. wł.)  
 Fig. 8-3 Location of measurement points in the Wastewater Treatment Plants “Piaseczno” on July 2, 2013 (own fig.)



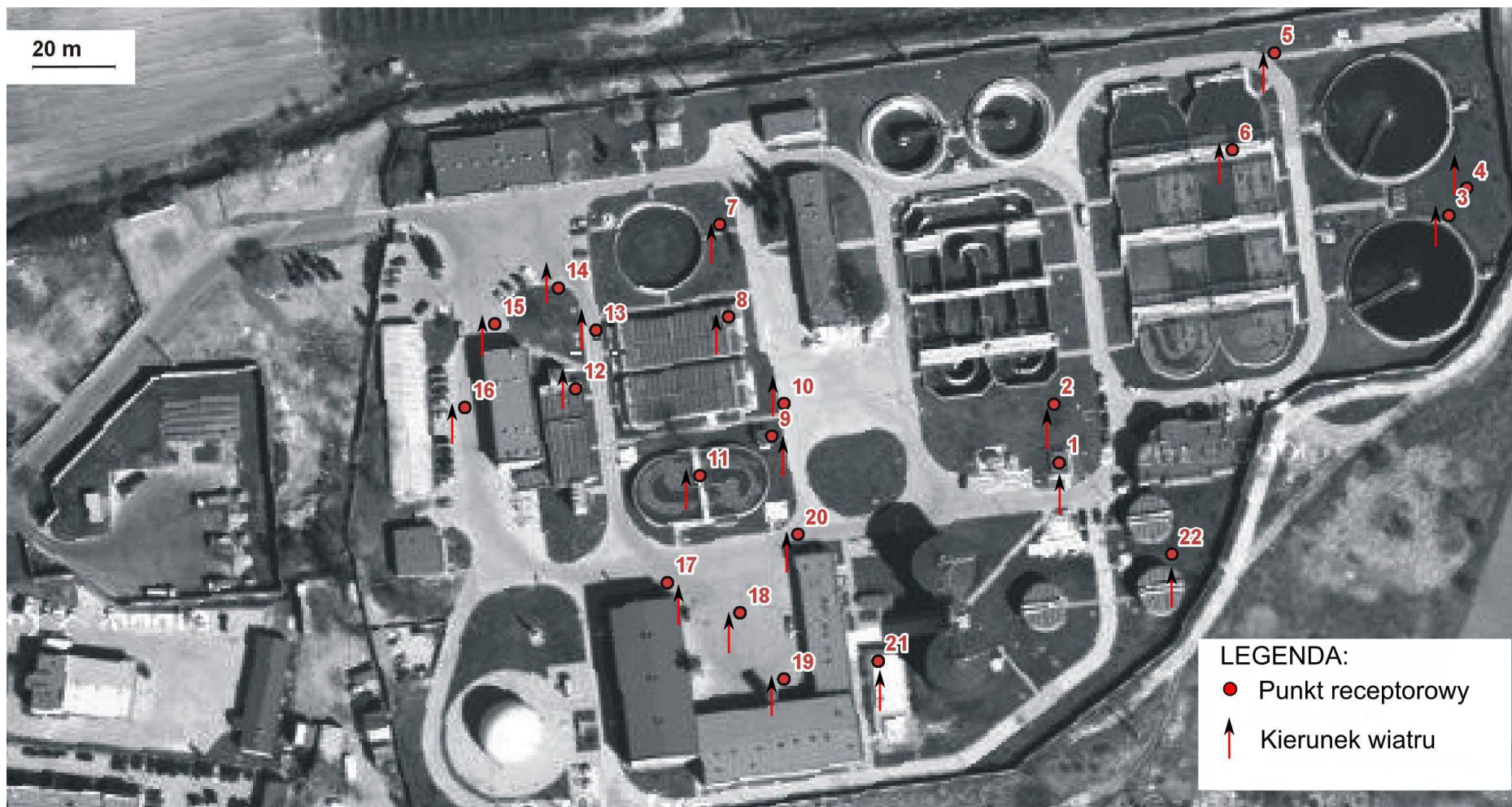


Rys. 8-4 Rozmieszczenie punktów receptorowych na terenie Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 3 lipca 2013 r. (oprac. wł.)  
 Fig. 8-4 Location of measurement points in the Wastewater Treatment Plants “Piaseczno” on July 3, 2013 (own fig.)





Rys. 8-5 Rozmieszczenie punktów receptorowych na terenie Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 4 lipca 2013 r. (oprac. wł.)  
 Fig. 8-5 Location of measurement points in the Wastewater Treatment Plants “Piaseczno” on July 4, 2013 (own fig.)



Rys. 8-6 Rozmieszczenie punktów receptorowych na terenie Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 5 lipca 2013 r. (oprac. wł.)

Fig. 8-6 Location of measurement points in the Wastewater Treatment Plants “Piaseczno” on July 5, 2013 (own fig.)



**Tabela 8-2 Wyniki pomiarów olfaktometrycznych OT w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 11 czerwca 2013 r.**

**Table 8-2 Results of the field olfactometry determined at the Wastewater Treatment Plant “Piaseczno” on June 11, 2013**

L.p.	Punkt receptorowy	Godz. pomiaru	Osoba oceniająca	D/T	Z <sub>TAK</sub>	Z <sub>NIE</sub>	Z <sub>ITE</sub>	C <sub>od,OT</sub> [ou/m <sup>3</sup> ]
1	nad komorą rozdzielczą KR 3 od strony zawietrznej	8:50	MS	2	3	5	4	2
			RB	2	3	5	4	
			MS	4	5	5	5	
			RB	4	5	5	5	
2	7 metrów od pkt 1, na zawietrznej stronie komory rozdzielczej	8:55	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
3	zawietrzna strona komory osadu czynnego nr 2	9:00	MS	2	3	5	4	3
			RB	2<	1	3	2	
			MS	2	3	5	4	
			RB	2<	1	3	2	
4	7 metrów od pkt 3, na zawietrznej stronie komory osadu czynnego nr 2	9:10	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
5	10 metrów od osadnika wstępnego poziomego podłużnego nr 4, na zawietrznej stronie	9:20	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
6	4 metry od komory defosfatacji, na zawietrznej stronie	9:25	MS	4	5	8	6	10
			RB	7	8	16	11	
			MS	7	8	16	11	
			RB	7	8	16	11	
7	nad piaskownikiem przedmuchiwany podłużnym przy krawędzi na zawietrznej stronie	9:30	MS	30	31	61	43	43
			RB	30	31	61	43	
			MS	30	31	61	43	
			RB	30	31	61	43	
8	10 metrów od pkt 7, na zawietrznej stronie piaskownika przedmuchiwane podłużnego	9:40	MS	4	5	8	6	14
			RB	15	16	31	22	
			MS	7	8	16	11	
			RB	15	16	31	22	
9	15 metrów od pkt 8, na zawietrznej stronie piaskownika przedmuchiwane podłużnego	9:50	MS	2<	1	3	2	2
			RB	2<	1	3	2	
			MS	2<	1	3	2	
			RB	2<	1	3	2	
10	na rogu budynku sit od strony zawietrznej	10:00	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	

c.d. tabeli 8-2

L.p.	Punkt receptorowy	Godz. pomiaru	Osoba oceniająca	D/T	Z <sub>TAK</sub>	Z <sub>NIE</sub>	Z <sub>ITE</sub>	C <sub>od,OT</sub> [ou/m <sup>3</sup> ]
11	przy zamkniętych wrotach do budynku sit	10:10	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
12	6 metrów od budynku przeróbki osadów, na nawietrznej stronie i 10 metrów od budynku instalacji suszenia osadów ściekowych	10:20	MS	2	3	5	4	3
			RB	2	3	5	4	
			MS	2<	1	3	2	
			RB	2<	1	3	2	
13	25 metrów od zbiornika osadu nadmiernego na zawietrznej stronie	10:25	MS	7	8	16	11	13
			RB	15	16	31	22	
			MS	7	8	16	11	
			RB	7	8	16	11	
14	zawietrzna strona zbiornika osadu nadmiernego	10:35	MS	30	31	61	43	43
			RB	30	31	61	43	
			MS	30	31	61	43	
			RB	30	31	61	43	
15	5 metrów od zbiornika osadu przefermentowanego na zawietrznej stronie	10:45	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	

**Tabela 8-3 Wyniki pomiarów olfaktometrycznych OT w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 2 lipca 2013 r.**

**Table 8-3 Results of the field olfactometry determined at the Wastewater Treatment Plant “Piaseczno” on July 2, 2013**

L.p.	Punkt receptorowy	Godz. pomiaru	Osoba oceniająca	D/T	Z <sub>TAK</sub>	Z <sub>NIE</sub>	Z <sub>ITE</sub>	C <sub>od,OT</sub> [ou/m <sup>3</sup> ]
1	nad komorą rozdzielczą KR 3 od strony zawietrznej	09:05	MS	4	5	8	6	10
			RB	15	16	31	22	
			MS	7	8	16	11	
			RB	4	5	8	6	
2	7 metrów od pkt 1, na zawietrznej stronie	09:10	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
3	przy krawędzi osadnika wtórnego nr 4, na zawietrznej stronie	09:15	MS	<2	1	3	2	2
			RB	<2	1	3	2	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	

c.d. tabeli 8-3

L.p.	Punkt receptorowy	Godz. pomiaru	Osoba oceniająca	D/T	Z <sub>TAK</sub>	Z <sub>NIE</sub>	Z <sub>ITE</sub>	C <sub>od,OT</sub> [ou/m <sup>3</sup> ]
4	5 metrów od pkt 3, na zawietrznej stronie	09:20	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
5	Nad komorą osadu czynnego, przy krawędzi od zawietrznej strony	09:25	MS	<2	1	3	2	2
			RB	2	3	5	4	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
6	6 metrów od pkt 5, na zawietrznej stronie	09:30	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
7	25 metrów od pkt 8, na zawietrznej stronie	09:45	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
8	nad osadnikiem wstępnym podłużnym, przy krawędzi od zawietrznej strony	09:50	MS	4	5	8	6	5
			RB	2	3	5	4	
			MS	2	3	5	4	
			RB	4	5	8	6	
9	nad komorą połączeniową KR 2	09:55	MS	7	8	16	11	11
			RB	7	8	16	11	
			MS	7	8	16	11	
			RB	7	8	16	11	
10	4 metry od pkt 11, na zawietrznej stronie	10:00	MS	2	3	5	4	4
			RB	2	3	5	4	
			MS	2	3	5	4	
			RB	2	3	5	4	
11	nad komorą defosfatacji	10:05	MS	4	5	8	6	6
			RB	4	5	8	6	
			MS	4	5	8	6	
			RB	4	5	8	6	
12	nad piaskownikiem, przy krawędzi od nawietrznej strony	10:10	MS	30	31	61	43	31
			RB	30	31	61	43	
			MS	15	16	31	22	
			RB	15	16	31	22	

c.d. tabeli 8-3

L.p.	Punkt receptorowy	Godz. pomiaru	Osoba oceniająca	D/T	Z <sub>TAK</sub>	Z <sub>NIE</sub>	Z <sub>ITE</sub>	C <sub>od,OT</sub> [ou/m <sup>3</sup> ]
13	nad piaskownikiem, przy krawędzi od zawietrznej strony	10:15	MS	15	16	31	22	22
			RB	30	31	61	43	
			MS	7	8	16	11	
			RB	15	16	31	22	
14	25 metrów od pkt 13, na zawietrznej stronie	10:20	MS	<2	1	3	2	2
			RB	<2	1	3	2	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
15	poza terenem oczyszczalni, 10 metrów od budynku garażowo-magazynowego	10:25	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
16	15 metrów od budynku sit, na zawietrznej stronie	10:30	MS	<2	1	3	2	3
			RB	<2	1	3	2	
			MS	2	3	5	4	
			RB	2	3	5	4	
17	przy zamkniętych wrotach do budynku sit	10:35	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
18	5 metrów od stacji odsiarczania biogazu, na zawietrznej stronie	10:40	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
19	nad zbiornikiem osadu nadmiernego	10:50	MS	<2	1	3	2	3
			RB	<2	1	3	2	
			MS	2	3	5	4	
			RB	2	3	5	4	
20	3 metry od budynku przeróbki osadu, na zawietrznej stronie	10:55	MS	<2	1	3	2	3
			RB	2	3	5	4	
			MS	2	3	5	4	
			RB	2	3	5	4	
21	przy otwartych wrotach budynku przeróbki osadu	11:00	MS	15	2	31	8	17
			RB	15	16	31	22	
			MS	15	16	31	22	
			RB	15	16	31	22	

**Tabela 8-4 Wyniki pomiarów olfaktometrycznych OT w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 3 lipca 2013 r.**

**Table 8-4 Results of the field olfactometry determined at the Wastewater Treatment Plant “Piaseczno” on July 3, 2013**

L.p.	Punkt receptorowy	Godz. pomiaru	Osoba oceniająca	D/T	Z <sub>TAK</sub>	Z <sub>NIE</sub>	Z <sub>ITE</sub>	C <sub>od,OT</sub> [ou/m <sup>3</sup> ]
1	nad komorą rozdzielczą KR 3	08:30	MS	4	5	8	6	10
			RB	15	16	31	22	
			MS	7	8	16	11	
			RB	4	5	8	6	
2	7 metrów od pkt 1, na zawietrznej stronie	08:35	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
3	przy krawędzi osadnika wtórnego nr 4, na zawietrznej stronie	08:40	MS	<2	1	3	2	2
			RB	<2	1	3	2	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
4	5 metrów od pkt 3, na zawietrznej stronie	08:45	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
5	nad komorą osadu czynnego, przy krawędzi od zawietrznej strony	08:50	MS	<2	1	3	2	2
			RB	2	3	5	4	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
6	6 metrów od pkt 5, na zawietrznej stronie	08:55	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
7	25 metrów od pkt 8, na zawietrznej stronie	09:00	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
8	nad osadnikiem wstępnym podłużnym, przy krawędzi od zawietrznej strony	09:05	MS	4	5	8	6	5
			RB	2	3	5	4	
			MS	2	3	5	4	
			RB	4	5	8	6	

c.d. tabeli 8-4

L.p.	Punkt receptorowy	Godz. pomiaru	Osoba oceniająca	D/T	Z <sub>TAK</sub>	Z <sub>NIE</sub>	Z <sub>ITE</sub>	C <sub>od,OT</sub> [ou/m <sup>3</sup> ]
9	nad komorą połączeniową KR 2	09:10	MS	7	8	16	11	11
			RB	7	8	16	11	
			MS	7	8	16	11	
			RB	7	8	16	11	
10	5 metrów od pkt 9, na zawietrznej stronie	09:15	MS	<2	1	3	2	2
			RB	2	3	5	4	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
11	4 metry od komory defosfatacji, od zawietrznej strony	09:20	MS	<2	1	3	2	3
			RB	2	3	5	4	
			MS	2	3	5	4	
			RB	<2	1	3	2	
12	nad komorą defosfatacji	09:25	MS	2	3	5	4	5
			RB	2	3	5	4	
			MS	4	5	8	6	
			RB	4	5	8	6	
13	nad piaskownikiem, przy krawędzi od zawietrznej strony	09:30	MS	30	31	61	43	43
			RB	30	31	61	43	
			MS	30	31	61	43	
			RB	30	31	61	43	
14	23 metry od pkt 13, na zawietrznej stronie	09:35	MS	2	3	5	4	4
			RB	2	3	5	4	
			MS	2	3	5	4	
			RB	2	3	5	4	
15	27 metrów od pkt 14, na zawietrznej stronie	09:40	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
16	15 metrów od budynku sit, na zawietrznej stronie	09:45	MS	<2	1	3		2
			RB	<2	1	3		
			MS	<2	1	3		
			RB	2	3	5		
17	przy zamkniętych wrotach do budynku sit	09:50	MS	2	3	5		4
			RB	2	3	5		
			MS	2	3	5		
			RB	2	3	5		



c.d. tabeli 8-4

L.p.	Punkt receptorowy	Godz. pomiaru	Osoba oceniająca	D/T	Z <sub>TAK</sub>	Z <sub>NIE</sub>	Z <sub>ITE</sub>	C <sub>od,OT</sub> [ou/m <sup>3</sup> ]
18	5 metrów od stacji odsiarczania biogazu, na zawietrznej stronie	09:55	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
19	nad zbiornikiem osadu nadmiernego	10:00	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
20	3 metry od budynku przeróbki osadu, na zawietrznej stronie	10:05	MS	2	3	5	4	3
			RB	2	3	5	4	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
21	przy otwartych wrotach budynku przeróbki osadu	10:10	MS	15	16	31	22	31
			RB	15	16	31	22	
			MS	30	31	61	43	
			RB	30	31	61	43	
22	5 metrów od zbiornika osadu przefermentowanego, na zawietrznej stronie	10:15	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	

**Tabela 8-5 Wyniki pomiarów olfaktometrycznych OT w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 4 lipca 2013 r.**

**Table 8-5 Results of the field olfactometry determined at the Wastewater Treatment Plant “Piaseczno” on July 4, 2013**

L.p.	Punkt receptorowy	Godz. pomiaru	Osoba oceniająca	D/T	Z <sub>TAK</sub>	Z <sub>NIE</sub>	Z <sub>ITE</sub>	C <sub>od,OT</sub> [ou/m <sup>3</sup> ]
1	nad komorą rozdzielczą KR 3	08:30	MS	15	16	31	22	22
			RB	15	16	31	22	
			MS	15	16	31	22	
			RB	15	16	31	22	
2	10 metrów od pkt 1, na zawietrznej stronie	08:35	MS	2	3	5	4	4
			RB	2	3	5	4	
			MS	2	3	5	4	
			RB	2	3	5	4	
3	30 metrów od komory osadu czynnego, na zawietrznej stronie	08:40	MS	2	3	5	4	3
			RB	<2	1	3	2	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	2	3	5	4	

c.d. tabeli 8-5

L.p.	Punkt receptorowy	Godz. pomiaru	Osoba oceniająca	D/T	Z <sub>TAK</sub>	Z <sub>NIE</sub>	Z <sub>ITE</sub>	C <sub>od,OT</sub> [ou/m <sup>3</sup> ]
4	nad komorą osadu czynnego, przy krawędzi od zawietrznej strony	08:45	MS	4	5	8	6	4
			RB	<2	1	3	2	
			MS	2	3	5	4	
			RB	2	3	5	4	
5	przy krawędzi osadnika wtórnego nr 4, na zawietrznej stronie	08:50	MS	<2	1	3	2	2
			RB	<2	1	3	2	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
6	przy krawędzi osadnika wtórnego nr 3, na zawietrznej stronie	08:55	MS	<2	1	3	2	2
			RB	<2	1	3	2	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
7	nad osadnikiem wstępnym podłużnym, przy krawędzi od zawietrznej strony	09:00	MS	<2	1	3	2	3
			RB	<2	1	3	2	
			MS	2	3	5	4	
			RB	2	3	5	4	
8	15 metrów od pkt 7, na zawietrznej stronie	09:05	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
9	nad piaskownikiem, przy krawędzi od zawietrznej strony	09:10	MS	7	8	16	11	8
			RB	7	8	16	11	
			MS	4	5	8	6	
			RB	4	5	8	6	
10	35 metrów od pkt 9, na zawietrznej stronie	09:15	MS	<2	1	3	2	2
			RB	<2	1	3	2	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
11	przy bramie głównej oczyszczalni ścieków	09:20	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
12	10 metrów od budynku sit, na zawietrznej stronie	09:25	MS	<2	1	3	2	2
			RB	<2	1	3	2	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	

c.d. tabeli 8-5

L.p.	Punkt receptorowy	Godz. pomiaru	Osoba oceniająca	D/T	Z <sub>TAK</sub>	Z <sub>NIE</sub>	Z <sub>ITE</sub>	C <sub>od,OT</sub> [ou/m <sup>3</sup> ]
13	przy uchylonych wrotach do budynku sit	09:30	MS	15	16	31	22	16
			RB	15	16	31	22	
			MS	7	8	16	11	
			RB	7	8	16	11	
14	nad zbiornikiem osadu nadmiernego	09:35	MS	2	3	5	4	3
			RB	2	3	5	4	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	2	3	5	4	
15	pomiędzy budynkiem przeróbki osadów a budynkiem instalacji suszenia osadów ściekowych	09:40	MS	4	5	8	6	8
			RB	4	5	8	6	
			MS	7	8	16	11	
			RB	7	8	16	11	
16	przy otwartych wrotach budynku przeróbki osadu	09:45	MS	30	31	61	43	31
			RB	15	16	31	22	
			MS	30	31	61	43	
			RB	15	16	31	22	
17	10 metrów od komory defosfatacji, od zawietrznej strony	09:50	MS	<2	1	3	2	3
			RB	<2	1	3	2	
			MS	2	3	5	4	
			RB	2	3	5	4	
18	nad komorą defosfatacji	09:55	MS	<2	1	3	2	2
			RB	<2	1	3	2	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
19	nad komorą połączeniową KR 2	10:00	MS	7	8	16	11	11
			RB	7	8	16	11	
			MS	7	8	16	11	
			RB	7	8	16	11	
20	5 metrów od pkt 19, na zawietrznej stronie	10:05	MS	<2	1	3	2	2
			RB	<2	1	3	2	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	

**Tabela 8-6 Wyniki pomiarów olfaktometrycznych OT w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 5 lipca 2013 r.**

**Table 8-6 Results of the field olfactometry determined at the Wastewater Treatment Plant “Piaseczno” on July 5, 2013**

L.p.	Punkt receptorowy	Godz. pomiaru	Osoba oceniająca	D/T	Z <sub>TAK</sub>	Z <sub>NIE</sub>	Z <sub>ITE</sub>	C <sub>od,OT</sub> [ou/m <sup>3</sup> ]
1	nad komorą rozdzielczą KR 3, od zawietrznej strony	08:30	MS	4	5	8	6	10
			RB	7	8	16	11	
			MS	7	8	16	11	
			RB	7	8	16	11	
2	7 metrów od pkt 1, na zawietrznej stronie	08:35	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
3	przy krawędzi osadnika wtórnego nr 4, na zawietrznej stronie	08:40	MS	<2	1	3	2	2
			RB	<2	1	3	2	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
4	5 metrów od pkt 3, na zawietrznej stronie	08:45	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
5	6 metrów od pkt 6, na zawietrznej stronie	08:50	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
6	nad komorą osadu czynnego, przy krawędzi od zawietrznej strony	08:55	MS	2	3	5	4	3
			RB	2	3	5	4	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
7	20 metrów od pkt 8, na zawietrznej stronie	09:00	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
8	nad osadnikiem wstępnym podłużnym, przy krawędzi od zawietrznej strony	09:05	MS	2	3	5	4	5
			RB	2	3	5	4	
			MS	4	5	8	6	
			RB	4	5	8	6	

c.d. tabeli 8-6

L.p.	Punkt receptorowy	Godz. pomiaru	Osoba oceniająca	D/T	Z <sub>TAK</sub>	Z <sub>NIE</sub>	Z <sub>ITE</sub>	C <sub>od,OT</sub> [ou/m <sup>3</sup> ]
9	nad komorą połączeniową KR 2	09:10	MS	7	8	16	11	11
			RB	7	8	16	11	
			MS	7	8	16	11	
			RB	7	8	16	11	
10	5 metrów od pkt 9, na zawietrznej stronie	09:15	MS	2	3	5	4	4
			RB	2	3	5	4	
			MS	2	3	5	4	
			RB	2	3	5	4	
11	nad komorą defosfatacji	09:20	MS	4	5	8	6	6
			RB	4	5	8	6	
			MS	4	5	8	6	
			RB	4	5	8	6	
12	nad piaskownikiem, przy krawędzi od zawietrznej strony	09:25	MS	30	31	61	43	43
			RB	30	31	61	43	
			MS	30	31	61	43	
			RB	30	31	61	43	
13	15 metrów od pkt 12, na zawietrznej stronie	09:30	MS	<2	1	3	2	2
			RB	<2	1	3	2	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
14	10 metrów od pkt 13, na zawietrznej stronie	09:35	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
15	15 metrów od budynku sit, na zawietrznej stronie	09:40	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	
16	przy zamkniętych wrotach do budynku sit	09:45	MS	<2	1	3	2	2
			RB	<2	1	3	2	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
17	3 metry od budynku instalacji suszenia osadów ściekowych, na zawietrznej stronie	09:50	MS	<2	1	3	2	2
			RB	<2	1	3	2	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	

c.d. tabeli 8-6

L.p.	Punkt receptorowy	Godz. pomiaru	Osoba oceniająca	D/T	Z <sub>TAK</sub>	Z <sub>NIE</sub>	Z <sub>ITE</sub>	C <sub>od,OT</sub> [ou/m <sup>3</sup> ]
18	pomiędzy budynkiem przeróbki osadów a budynkiem instalacji suszenia osadów ściekowych	09:55	MS	4	5	8	6	10
			RB	7	8	16	11	
			MS	7	8	16	11	
			RB	7	8	16	11	
19	przy otwartych wrotach budynku przeróbki osadu	10:00	MS	15	16	31	22	31
			RB	15	16	31	22	
			MS	30	31	61	43	
			RB	30	31	61	43	
20	3 metry od budynku przeróbki osadu, na zawietrznej stronie	10:05	MS	2	3	5	4	3
			RB	2	3	5	4	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
21	nad zbiornikiem osadu nadmiernego	10:10	MS	<2	1	3	2	2
			RB	<2	1	3	2	
			MS	<2	1	3	2	
			RB	<2	1	3	2	
22	5 metrów od zbiornika osadu prefermentowanego, na zawietrznej stronie	10:15	MS	0	-	-	-	0
			RB	0	-	-	-	
			MS	0	-	-	-	
			RB	0	-	-	-	

Na podstawie przeprowadzonych badań olfaktometrycznych wskazano obiekty ciągu technologicznego, w otoczeniu których zmierzono największe wartości stężenia zapachowego oraz określono zasięg ich oddziaływania.

Na powierzchni piaskownika przedmuchiwanego podłużnego zmierzone wartości stężenia zapachowego wynosiły od 8 ou/m<sup>3</sup> w dniu 4 lipca, przez 31 ou/m<sup>3</sup> w dniu 2 lipca do 43 ou/m<sup>3</sup> w dniach 11 czerwca, 3 i 5 lipca 2013 r. W odległości od około 25 do 35 metrów od piaskownika, na zawietrznej stronie, wartości stężenia zapachowego wynosiły od 0 do 4 ou/m<sup>3</sup>. W dniach 3 i 5 lipca w odległości 50 metrów od piaskownika nie wyczuwano odorów, wartość stężenia zapachowego wynosiła 0 ou/m<sup>3</sup>.

W dniu 11 czerwca 2013 r., nad zbiornikiem osadu nadmiernego uzyskano wartość 43 ou/m<sup>3</sup> oraz w odległości 25 metrów wartość 13 ou/m<sup>3</sup>. W czasie pozostałych serii pomiarowych, na powierzchni zbiornika osadu nadmiernego wartości stężeń zapachowych wynosiły od 0 do 3 ou/m<sup>3</sup>.

W dniu 4 lipca 2013 r. w otoczeniu komory rozdzielczej KR3 zmierzono wartość stężenia zapachowego wynoszącą  $22 \text{ ou/m}^3$ , zasięg oddziaływania źródła był w tym dniu większy niż 10 m. W odległości 10 m od krawędzi źródła zmierzono wartość wynoszącą  $4 \text{ ou/m}^3$ . W pozostałych dniach pomiarowych zmierzono wartości od 2 do  $10 \text{ ou/m}^3$ , zasięg oddziaływania był mniejszy niż 7 metrów.

Nad komorą defosfatacji wartości stężenia zapachowego wynosiły od 2 do  $6 \text{ ou/m}^3$  a w odległości 4 metrów od 3 do  $10 \text{ ou/m}^3$ . Większe wartości stężenia zapachowego, zmierzone w pewnej odległości od komory defosfatacji niż nad jej powierzchnią, mogą świadczyć o nakładaniu się odorów z innego obiektu ciągu technologicznego, prawdopodobnie komory połączeniowej KR2, na powierzchni której podczas 3 serii pomiarowych zmierzono wartość stężenia zapachowego wynoszącą  $11 \text{ ou/m}^3$ . W odległości 5 metrów od komory przyłączeniowej zmierzone wartości, wynoszące od 2 do  $\text{ou/m}^3$  do  $4 \text{ ou/m}^3$  prawdopodobnie są wynikiem oddziaływania zarówno komory połączeniowej, jak i komory defosfatacji.

W otoczeniu komory osadu czynnego stwierdzono wartości stężenia zapachowego wynoszące od 3 do  $4 \text{ ou/m}^3$  w 4 przypadkach zasięg oddziaływania był mniejszy niż 7 metrów, jedynie w dniu 4 lipca 2013 r. w odległości 30 metrów zmierzono wartość  $3 \text{ ou/m}^3$ .

Przy krawędzi osadnika wtórnego oraz na jego powierzchni zmierzono wartości od 2 do  $5 \text{ ou/m}^3$ . W odległości od 5 do 25 metrów nie wykryto odorów.

W otoczeniu budynku sit wartości stężenia zapachowego wynosiły od 0 do  $4 \text{ ou/m}^3$ , przy uchylonych wrotach wartości wynosiły  $16 \text{ ou/m}^3$ . W odległości od 10 do 15 metrów od budynku sit wartości stężeń zapachowych wynosiły od 2 do  $3 \text{ ou/m}^3$ .

Przy otwartych wrotach budynku przeróbki osadu wartości stężeń zapachowych wynosiły od 17 do  $31 \text{ ou/m}^3$ . Pomędzy budynkami przeróbki osadów i instalacji suszenia osadów ściekowych wartości stężeń zapachowych wynosiły od 8 do  $10 \text{ ou/m}^3$ . W odległości 3 metrów od budynku przeróbki osadu wartości wynosiły od 2 do  $3 \text{ ou/m}^3$ .

Przy stacji odsiarczania biogazu oraz zbiorniku osadu przefermentowanego podczas prowadzenia badań nie wykryto odorów.

W czasie prowadzonych pomiarów zakres oddziaływania poszczególnych obiektów ciągu technologicznego zawierał się w granicach działki oczyszczalni ścieków.

Na podstawie pomiarów olfaktometrycznych OT, w danych warunkach meteorologicznych, wskazano obiekty najbardziej istotne z punktu widzenia oddziaływania

zapachowego i określono zakres oddziaływania obiektów technologicznych oczyszczalni ścieków.

Sprawdzona w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” procedura pomiarów olfaktometrycznych OT może być wykorzystana w ocenie oddziaływania zapachowego innych oczyszczalni ścieków.



## 9. Wnioski

Na podstawie studiów literaturowych oraz badań terenowych i laboratoryjnych sformułowano następujące wnioski końcowe:

1. Ze względu na skomplikowaną zależność między stężeniem poszczególnych związków chemicznych i rodzajem odorantów w powietrzu, a indywidualną wrażliwością węchową poszczególnych osób, warunkami meteorologicznymi, topograficznymi, różnymi typami źródeł odorów, przyjęcie właściwej metodyki określania stężeń odorów w powietrzu jest zagadnieniem trudnym. Wynika to także z faktu, że poszczególne metody badawcze mają ograniczone zakresy stosowalności.

2. W ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych stosowane są różne metody badawcze. Z uwagi na fakt braku określonej procedury pomiarowej od momentu pobrania próbki do jej analizy oraz braku zdefiniowanych zależności między stężeniami poszczególnych odorantów i ich mieszanin, a stężeniami zapachowymi, żadna z metod stosowanych w Polsce nie stanowi metody referencyjnej.

3. Na podstawie wykonanych badań, analizy ich wyników zastosowanymi metodami statystycznymi (analiza korelacji i regresji) oraz dyskusji wyników nie można wskazać zależności między poszczególnymi metodami badawczymi, stosowanymi w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych.

4. Zakres badania odorów powinien być określony w zależności od celu badań ponieważ wyniki jednorazowych pomiarów stężeń zapachowych lub stężeń odorantów nie są reprezentatywne dla danego obiektu ciągu technologicznego oczyszczalni ścieków komunalnych. Wartości stężeń zapachowych czy stężeń odorantów zmierzonych w otoczeniu tych samych obiektów ciągów technologicznych w zależności od daty pomiaru mogą różnić się nawet kilkudziesięciokrotnie, np. wartości stężeń siarkowodoru zmierzone w hali krat w Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w Warszawie wynosiły od 0,05 do 1,86 mg/m<sup>3</sup>.

5. Próbkę powietrza pobierane z oczyszczalni ścieków komunalnych są niestabilne w czasie. W miarę upływu czasu zmienia się ich skład chemiczny. Zmiany składu chemicznego, zachodzące w analizowanych próbkach powietrza, mogą istotnie wpłynąć na wartości stężeń zapachowych. Wyniki analizy olfaktometrycznej wykonanej po 6 i 30 godzinach próbek powietrza pobranych z otoczenia piaskownika we Wrocławskiej

Oczyszczalni Ścieków „Janówek” różniły się o 30%. Wyniki badań olfaktometrem terenowym są pozbawione błędów wynikających z niestabilności próbki w czasie.

6. Wykorzystanie substancji wskaźnikowych, takich jak siarkowodór albo amoniak, nie może stanowić jedynej metody stosowanej w ocenie oddziaływania zapachowego. Uszeregowanie obiektów pod względem wartości stężeń odorantów występujących w ich otoczeniu jest inne niż w przypadku uszeregowania pod względem wartości stężeń zapachowych. Wzrost lub zmniejszenie stężenia pojedynczych odorantów, takich jak amoniak czy siarkowodór, nie zawsze odpowiada wzrostowi lub obniżeniu wartości stężeń zapachowych.

7. Wartości stężeń zapachowych, określonych metodą olfaktometrii terenowej, są mniejsze niż wartości stężeń zapachowych, określonych metodą olfaktometrii niebezpośredniej.

8. Pomiar stężenia zapachowego lub stężeń poszczególnych odorantów w analizowanych próbkach powietrza stanowi tylko część procedury oceny oddziaływania zapachowego. Do przeprowadzenia oceny oddziaływania zapachowego konieczna jest standaryzacja metody pobierania próbek i określenie częstotliwości wykonywania pomiarów.

9. Obiekty ciągów technologicznych oczyszczalni ścieków są różnymi typami źródeł odorantów. Zgodnie z normą PL-EN 13725, do pobierania próbek powietrza ze źródeł powierzchniowych do analizy olfaktometrycznej niebezpośredniej zaleca się stosowanie osłon strumienia. Często konstrukcja poszczególnych obiektów ciągu technologicznego uniemożliwia pobieranie próbek powietrza z wykorzystaniem osłon strumienia, np. ze względu na rozmiary obiektu.

10. Należy dążyć do unormowania metod oceny oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków. Stosowanie różnych metodyk może prowadzić do odmiennych wniosków, np. w procedurach ocen oddziaływania na środowisko, zwłaszcza w przypadku ustanowienia dopuszczalnych wartości stężeń zapachowych bez odniesienia ich do metody badawczej. Z tego m. in. względu konieczne jest określenie standardów zapachowej jakości powietrza w odniesieniu do konkretnej metody badawczej, w tym przypadku do metody olfaktometrii terenowej.

11. Dobór metod badawczych, stosowanych w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych, jest uzależniony od celu badań, którym może być np. ocena skuteczności wprowadzenia zmian technologicznych, mających na celu ograniczenie

emisji odorów. Wybór metody zależy również od możliwości technicznych (np. dostęp do aparatury), czasowych i finansowych. Stosowanie różnych metod badawczych stwarza możliwość szerokiej interpretacji wyników badań, co w połączeniu z brakiem przepisów prawnych i standardów zapachowej jakości powietrza powoduje problemy z formalną oceną zapachowej jakości powietrza.

12. Oznaczanie stosunkowo małych stężeń odorantów, z zakresu od 2 do 500 [ou/m<sup>3</sup>], czyli stężeń występujących z największym prawdopodobieństwem w pewnej odległości od źródła, jest możliwe dzięki stosowaniu bezpośredniej olfaktometrii dynamicznej z wykorzystaniem olfaktometru terenowego. Duże stężenia odorantów, jakie najczęściej występują w źródle, mogą być oznaczane z wykorzystaniem niebezpośredniej olfaktometrii dynamicznej.

13. Metoda olfaktometrii terenowej może być stosowana w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków. Procedura pomiarów stężeń zapachowych olfaktometrem terenowym w oczyszczalniach ścieków komunalnych i ich otoczeniu powinna składać się z 3 głównych etapów: koncepcyjnego metodycznego i technicznego przygotowania badań, przeprowadzenia pomiarów terenowych oraz opracowania wyników i raportu z badań.

14. W warunkach znacznego zanieczyszczenia powietrza odorami w celu ograniczenia adaptacji węchu do warunków panujących w trakcie badań, osoby oceniające powinny nosić półmaskę gazową przez cały czas trwania serii pomiarowej, tj. w trakcie przemieszczania się od jednego punktu receptorowego do następnego. Półmaska gazowa może być ściągana jedynie w punktach receptorowych na czas wykonania pomiarów olfaktometrycznych.

15. Podczas trwania całej serii pomiarowej należy wykonywać obserwacje i pomiary meteorologiczne. Pomiary te, w szczególności kierunku i prędkości wiatru, powinny być wykonywane w każdym punkcie receptorowym przed wykonaniem analizy olfaktometrycznej. Informacja o prędkości i kierunku wiatru jest bardzo istotna m. in. podczas wyznaczania punktów receptorowych, w celu określenia zasięgu oddziaływania poszczególnych źródeł odorów.

16. Wykonana praca wskazuje na potrzebę dalszych badań, które powinny prowadzić do określenia standardów zapachowej jakości powietrza w odniesieniu do konkretnej metody badawczej, w tym przypadku do metody olfaktometrii terenowej.

## Bibliografia

- Ábalos, M., Bayona, J.M. i Pawliszyn, J. 2000, "Development of a headspace solid-phase microextraction procedure for the determination of free volatile fatty acids in waste waters", *Journal of Chromatography A*, vol. 873, no. 1, pp. 107-115.
- Ábalos, M., Prieto, X. i Bayona, J.M. 2002, "Determination of volatile alkyl sulfides in wastewater by headspace solid-phase microextraction followed by gas chromatography–mass spectrometry", *Journal of Chromatography A*, vol. 963, no. 1-2, pp. 249-257.
- Amoore, J. E., Hautala, E., 1983, "Odor as an aid to chemical safety: odor thresholds compared with threshold limit values and volatilities for 214 industrial chemicals in air and water dilution.", *Journal of Applied Toxicology*, vol. 3, no. 6, pp. 272-290.
- Barczak, R. 2010, "Metody pobierania próbek do oznaczeń olfaktometrycznych", *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej seria „Inżynieria Środowiska”*. Zeszyt „Współczesne problemy inżynierii i ochrony środowiska”, vol. 58, pp. 61-75.
- Barczak, R., Kulig, A. i Szydłowski, M. 2012, "Olfactometric Methods Application for Odour Nuisance Assessment of Wastewater Treatment Facilities in Poland", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 30, ed. Renato Del Rosso, AIDIC, Italy pp. 187-192.
- Barczak, R., Sówka, I., Nych, A., Skrzętołowicz, M. i Zwoździak, P. 2010, "Application of the standard Sniffin' Sticks method to the determination Odor Inspector's olfactory sensitivity in Poland", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 23, ed. Renato Del Rosso, AIDIC, Italy vol. 23, pp. 13.
- Benzo, M., Mantovani, A. 2012, "Measurement of Odour Concentration of Immissions Using a New Field Olfactometer and Markers' Chemical Analysis", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 30, ed. Renato Del Rosso, AIDIC, Italy, pp. 103-108.
- Boholt, K. 1992, "Odour Abatement Policy in Denmark.", *Studies in Environmental Science*, vol. 51, no. C, pp. 361-367.
- Bokowa, A. 2008, "Ambient Odour Assessment - Comparison of Two Techniques used for Assessing Ambient Odours", *Odour and VOC's: Measurement Regulation and Control*, University of Kassel, Germany.

- Bokowa, A.H. 2010, "The effect of sampling on the measured odour concentration", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 23, ed. Renato Del Rosso, AIDIC, Italy pp. 43-48.
- Bokowa, A.H. 2012, "Ambient Odour Assessment Similarities and Differences Between Different Techniques", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 30, ed. Renato Del Rosso, AIDIC, Italy pp. 313-318.
- Bourgeois, W. i Stuetz, R.M. 2002, "Use of a chemical sensor array for detecting pollutants in domestic wastewater", *Water research*, vol. 36, no. 18, pp. 4505-4512.
- Brandt, R.C., Elliott, H.A., Adviento-Borbe, M.A.A., Wheeler, E.F., Kleinman, P.J.A. i Beegle, D.B. 2008, "Field olfactometry assessment of dairy manure land application methods", *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2008*, 29 June 2008 through 2 July 2008, pp. 6744.
- Bulliner IV, E.A., Koziel, J.A., Cai, L. i Wright, D. 2006, "Characterization of livestock odors using steel plates, solid-phase microextraction, and multidimensional gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry", *Journal of the Air and Waste Management Association*, vol. 56, no. 10, pp. 1391-1403.
- Busini, V., Capelli, L., Sironi, S., Nano, G., Rossi, A.N. i Bonati, S. 2012, "Comparison of Calpuff and Aermod Models for Odour Dispersion Simulation" *Chemical Engineering Transactions*, vol. 30, ed. Renato Del Rosso, pp. 205-210.
- Cai, L., Koziel, J.A., Davis, J., Lo, Y. i Xin, H. 2006, "Characterization of volatile organic compounds and odors by in-vivo sampling of beef cattle rumen gas, by solid-phase microextraction, and gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, vol. 386, no. 6, pp. 1791-1802.
- Cai, L., Koziel, J.A., Lo, Y. i Hoff, S.J. 2009, "Analysis of odor-causing VOCs and semi-VOCs associated with particulate matter in swine barns using SPME-GC-MS-olfactometry", *13th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose, ISOEN*, 15 April 2009 through 17 April 2009, pp. 411.
- Capelli, L., Sironi, S., Del Rosso, R., Céntola, P., Rossi, A. i Austeri, C. 2011, "Olfactometric approach for the evaluation of citizens' exposure to industrial emissions in the city of Terni, Italy", *Science of The Total Environment*, vol. 409, no. 3, pp. 595-603.
- Capelli, L., Sironi, S., Barczak, R., Grande, M., i Del Rosso, R. 2012, "Validation of a method for odor sampling on solid area sources", *Water Science and Technology*, vol. 66, no. 8, pp. 1607-1613.

- Capelli, L., Sironi, S., Del Rosso, R., Bianchi, G. i Davoli, E. 2012, "Olfactory and toxic impact of industrial odour emissions", *Water Science and Technology*, vol. 66, no. 7, pp. 1399-1406.
- Cheng, X., Peterkin, E.D. i Burlingame, G.A. 2007, "Study of the effect of DMSO on VOS odour production in a wastewater plant", *Water Science and Technology*, vol. 55, no. 5, pp 327-333.
- Cheng, X., Peterkin, E. i Burlingame, G.A. 2005, "A study on volatile organic sulfide causes of odors at Philadelphia's Northeast Water Pollution Control Plant", *Water research*, vol. 39, no. 16, pp. 3781-3790.
- Cheng, X., Wodarczyk, M., Lendzinski, R., Peterkin, E. i Burlingame, G.A. 2009, "Control of DMSO in wastewater to prevent DMS nuisance odors", *Water research*, vol. 43, no. 12, pp. 2989-2998.
- Cyprowski, M., Krajewski, J.A., 2003, "Czynniki szkodliwe dla zdrowia występujące w oczyszczalniach ścieków komunalnych", *Medycyna Pracy* vol. 54, no. 1, pp. 73-81.
- Czerwiński, J. i Sobczuk, H. 2009, "Mikroekstrakcja do fazy stacjonarnej (SPME) oraz GC-MS jako szybka i tania technika oznaczania związków złowonnych", *Chemik Nauka-Technika-Rynek*, vol. 11, pp. 431-434.
- Czerwiński, J., Sobczuk, H. i Wasąg, H. 2009, "The measurement of odour air pollution in industrial objects by gas chromatography and stationary phase microextraction", *Przemysł Chemiczny*, vol. 88, no. 5, pp. 428-431.
- Devos, M., Patte, F., Rouault, J., Laffort P., i L. J. Van Gemert. "Standardization of human olfactory thresholds" 165pp. 1990. IRL Press/OUP, Oxford", 1991, *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, vol. 100, no. 4, pp. 1054.
- Dourado, H., Santos, J., Reis, J.,N. i Melo, A.M.V. 2012, "The Effects of Atmospheric Turbulence on Peak-to-mean Concentration Ratio and Its Consequence on the Odour Impact Assessment Using Dispersion Models", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 30, ed. Renato Del Rosso, AIDIC, Italy, pp. 163-168.
- E-Szkoła olfaktometrii. Wykład - Metody skalowania, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, <http://www.zut.edu.pl/index.php?id=5960>, 2012.
- Frechen, F.-. 2012, "Evaluation of Oec Data for Preparation of the New VDI Guideline 3885/1", w *Chemical Engineering Transactions*, vol. 30, ed. Renato Del Rosso, AIDIC, Italy, pp. 19-24.

- Frechen, F. 2004, "Odour emission inventory of German wastewater treatment plants - Odour flow rates and odour emission capacity", *Water Science and Technology*, vol. 50, no 4, pp. 139–14.
- Frechen, F. i Köster, W. 1998, "Odour emission capacity of wastewaters — Standardization of measurement method and application", *Water Science and Technology*, vol. 38, no. 3, pp. 61-69.
- Friedrich, M. i Kośmider, J. 2009, "Weryfikacja prognozy zapachowej uciążliwości. Przykład fermy trzody chlewnej.", *Ochrona powietrza i problemy odpadów*, vol. 43, no. 4, pp. 128-136.
- Główny Urząd Statystyczny 2012, *Ochrona środowiska 2012*, Warszawa.
- Godayol, A., Alonso, M., Besalú, E., Sanchez, J.M. i Anticó, E. 2011, "Odour-causing organic compounds in wastewater treatment plants: Evaluation of headspace solid-phase microextraction as a concentration technique", *Journal of Chromatography A*, vol. 1218, no. 30, pp. 4863-4868.
- Goldstein, N., "Neighbor Friendly Odor Management", *BioCycle March 2006*, vol. 47, no. 3, p. 43-48
- Gostelow, P. i Parsons, S.A. 2000, "Sewage treatment works odour measurement", *Water Science and Technology*, vol. 41, 6, pp. 33-40.
- Gostelow, P. i Parsons, S.A. 2001, "Hydrogen sulphide measurement" in *Odours in Wastewater Treatment. Measurement, Modeling and Control*, ed. R.M. Stuetz & F.-. Frechen, IWA Publishing, Alliance House, London, pp. 120-129.
- Gostelow, P., Parsons, S.A. i Lovell, M. 2004, "Integrated odour modelling for sewage treatment works", *Water Science and Technology*, vol. 50, no. 4, pp. 169-176.
- Gostelow, P., Parsons, S.A. i Stuetz, R.M. 2001, "Odour measurements for sewage treatment works", *Water Research*, vol. 35, no. 3, pp. 579-597.
- Guillot, J.M. 2012, "Odour Measurement: Focus on Main Remaining Limits Due to Sampling", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 30, ed. Renato Del Rosso, Florence, AIDIC, Italy, pp. 295-300.
- Guz, Ł., Sobczuk, H. i Suchorab, Z. 2010, "Pomiar odorów za pomocą przenośnego miernika z matrycą półprzewodnikowych czujników gazu", *Przemysł Chemiczny*, vol. 89, no. 4, pp. 378-381.

- Guz, Ł., Sobczuk, H. i Wasąg, H. 2009, "Device for determination of odour chemical substances in air", *Przemysł Chemiczny*, vol. 88, no. 5, pp. 446-447.
- Haas, T., Lammers, P.S., Diekmann, B., Horner, G. i Boeker, P. 2008, "A method for online measurement of odour with a chemosensor system", *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol. 132, no. 2, pp. 545-550.
- Harreveld, A.P., Mannebeck, D. i Maxeiner, B. 2008, "Proficiency testing as the key element in implementing EN 13275 olfactometry.", committee for the European Normalization (CEN). 1999. TC264/WG2. Odours. Brussels, Belgium. 3rd IWA international conference on Odour and VOCs, .
- Haz-Map . Available: <http://hazmap.nlm.nih.gov/> [2012, 08/09].
- Héroux, M., Pagé, T., Gélinas, C. i Guy, C. 2004, "Evaluating odour impacts from a landfilling and composting site: Involving citizens in the monitoring", *Water Science and Technology*, vol. 50, no. 4, pp. 131-137.
- Higuchi, T. 2002, "Odor measurement in Japan", East Asia workshop on odor measurement and control review, Japan Ministry of the Environment.
- Hławiczka, S. 1989, "Determination of odour nuisance range in the vicinity of municipal wastewater treatment plants on the basis of H<sub>2</sub>S emission", *Archiwum Ochrony Środowiska*, vol. 15, no. 1-2, pp. 53-66.
- Hobson, J. i Yang, G. 2001, "Odour mapping using H<sub>2</sub>S measurements" in *Odours in Wastewater Treatment. Measurement, Modeling and Control*, ed. R.M. Stuetz & F.-. Frechen, IWA Publishing, Alliance House, London, pp. 214-231.
- Hudson, N. i Ayoko, G.A. 2008, "Odour sampling. 2. Comparison of physical and aerodynamic characteristics of sampling devices: A review", *Bioresource technology*, vol. 99, no. 10, pp. 3993-4007.
- Hudson, N., Ayoko, G.A., Dunlop, M., Duperouzel, D., Burrell, D., Bell, K., Gallagher, E., Nicholas, P. i Heinrich, N. 2009, "Comparison of odour emission rates measured from various sources using two sampling devices", *Bioresource technology*, vol. 100, no. 1, pp. 118-124.
- Jiang, J. 2001, "What are the areas for further research?", *Water Science and Technology*, vol. 44, no. 9, pp. 17.



- Jonassen, K., Pedersen, P., Riis, A. i Sorensen, K. 2012, "Does the Choice of Olfactometric Laboratory Affect the Efficiency of Odour Abatement Technologies?", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 30, ed. Renato Del Rosso, Florence, AIDIC, Italy, pp. 43-48.
- Juda, J. i Chróściel, S. 1974, *Ochrona powietrza atmosferycznego*, WNT, Warszawa.
- Kapusta, K. 2007, "Ochrona zapachowej jakości powietrza. Doświadczenia światowe w świetle potrzeby unormowań prawnych w Polsce", *Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko*, vol. 4, pp. 31-50.
- Kamigawara, K., (Noise and Odor Division The Ministry of the Environment, Japan) 2002 Tokio, "Odor Regulation and Odor measurement in Japan.", *Annual Meeting of Odour Research and Engineering Association*, pp. 48-53.
- Kim, K., Jeon, E., Choi, Y. i Koo, Y. 2006, "The emission characteristics and the related malodor intensities of gaseous reduced sulfur compounds (RSC) in a large industrial complex", *Atmospheric Environment*, vol. 40, no. 24, pp. 4478-4490.
- Koe, L.C.C., Liang, D.T. i Stuetz, R.M. 2004, *Odours and Volatile Organic Compounds II - Measurement, Regulation and Control Techniques*, *Water Science and Technology*. vol. 50 no. 4.
- Korzeniowska-Rejmer, E. i Generowicz, A. 2012, Wpływ warunków meteorologicznych i terenowych na rozprzestrzenianie zanieczyszczeń ze składowisk komunalnych w powietrzu atmosferycznym, *Czasopismo techniczne*, vol. 108, no. 4, pp. 113-127.
- Kośmider, J. 2000, "Problemy normalizacji oznaczania stężenia odorów", *Normalizacja*, vol. 1, pp. 8-14.
- Kośmider, J. 1998, "Uciążliwość zapachowa. Metodyka terenowych oznaczeń stężenia odorów w powietrzu na przykładzie fermy norek", *Archiwum Ochrony Środowiska*, vol. 1-2, pp. 19-32.
- Kośmider, J., Mazur-Chrzanowska, B. i Wszyński, B. 2002, *Odory*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kośmider, J. i Wszyński, B. 2001, "Zapachowa uciążliwość oczyszczalni ścieków komunalnych", *Archiwum Ochrony Środowiska*, vol. 27, no. 3, pp. 69-83.
- Kośmider, J. 2005, "Projektowane standardy zapachowej jakości powietrza i możliwości oceny skutków wprowadzenia regulacji", *Ochrona powietrza i problemy odpadów*, vol. 39, no. 3, pp. 77-82.

- Kośmider, J. 2007, "Pomiary stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej zgodnie z PN-EN 13725:2007", *Wodociągi - Kanalizacja*, vol. 10, no. 34-35.
- Kośmider, J. i Krajewska, B. 2007, "Determining temporary odour concentration under field conditions - Comparison of methods", *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 16, no. 2, pp. 215-225.
- Kośmider, J. i Gabriel, U. 2007, "Zapachowa jakość powietrza w zakładzie utylizacji odpadów komunalnych", *Ochrona powietrza i problemy odpadów*, vol. 41, no. 6, pp. 166-176.
- Koziel, J.A., Cai, L., Wright, D.W. i Hoff, S.J. 2009, "Field air sampling with SPME for ranking and prioritization of downwind livestock odors with MDGCMS-Olfactometry", 13th International Symposium on Olfaction and Electronic Nose, ISOEN, 15 April 2009 through 17 April 2009, pp. 333.
- Koziel, J.A., Cai, L., Wright, D.W. i Hoff, S.J. 2006, "Solid-phase microextraction as a novel air sampling technology for improved, GC-olfactometry-based assessment of livestock odors", *Journal of chromatographic science*, vol. 44, no. 7, pp. 451-457.
- Krajewska, B. i Kośmider, J. 2005, "Standardy zapachowej jakości powietrza", *Ochrona powietrza i problemy odpadów*, vol. 39, no. 6, pp. 181-191.
- Kulig, A., Ossowska-Cypryk, K., Skorupski, W. i Wieczorek, B. 1984, "Proste metody badania zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego", *Materiały PZITS*, no. 412/7, Warszawa.
- Kulig, A. 2004a, "Metody pomiarowo-obliczeniowe w ocenach oddziaływania na środowisko obiektów gospodarki komunalnej", *Oficyna Wydawnicza PW*, Warszawa.
- Kulig, A. 2004b, "Aktualne problemy w ocenach środowiskowych obiektów gospodarki komunalnej - funkcjonowanie obszarów ograniczonego użytkowania oraz oceny oddziaływania odorantów", *Problemy Ocen Środowiskowych*, vol. 27, no. 4, pp. 10-19.
- Kulig, A., Sinicyń, G., Czyżkowski, B., Lelicińska-Serafin, K., Heidrich, Z. i Podedworna, J. 2008, "Identification and survey of the sources of potential olfactory impact in municipal management in Poland" in *Chemistry for Agriculture*, eds. H. Górecki, Z. Dobrzański, J. Hoffman i J. Zwoździak, Czech-Pol Trade, Czech Republic, pp. 549-563.
- Kulig, A., Lelicińska-Serafin, K., Podedworna, J., Sinicyń, G., Heidrich, Z. i Czyżkowski, B. 2009a, "Charakterystyka i ocena oddziaływania zapachowego źródeł odorantów w gospodarce ściekowej i odpadowej w Polsce na podstawie badań ankietowych", *Chemik Nauka-Technika-Rynek*, vol. 11, pp. 414-420.

- Kulig, A., Lelicińska-Serafin, K., Podedworna, J., Sinicyn, G., Heidrich, Z. i Czyżkowski, B. 2009b, "Inwentaryzacja źródeł odorantów w gospodarce ściekowej i odpadowej w Polsce oraz ocena ich uciążliwości na podstawie badań ankietowych, Przemysł Chemiczny, vol. 88, no. 5, pp. 484-492.
- Kulig, A. i Barczak, R. 2010, "Research into the influence of "Effective Microorganisms" (EM) on reduced noxiousness of selected odorant sources", Environment Protection Engineering, vol. 36, no. 1, pp. 13-24.
- Kulig, A., Lelicińska-Serafin, K., Podedworna, J., Sinicyn, G., Heidrich, Z. i Czyżkowski, B. 2010, "Identyfikacja, inwentaryzacja i charakterystyka źródeł odorantów w gospodarce komunalnej w Polsce" w współczesna problematyka odorów, ed. M.I. Szyrkowska & J. Zwoździak, WN-T, Warszawa, pp. 14-53.
- Kulig, A. i Lelicińska-Serafin, K. 2011, "Oddziaływanie zapachowe zakładów gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce - badania inwentaryzacyjne", Ochrona powietrza i problemy odpadów, vol. 45, no. 1, pp. 1-10.
- Kulig, A. i Szyłak-Szydłowski, M. 2013, "Analiza skarg ludności na uciążliwość zapachową w województwie mazowieckim", Materiały konferencyjne. Uciążliwości odorowe. Występowanie, zapobieganie, aspekty prawne. Sopot. 16-17 kwietnia.
- Laor, Y., Koziel, J.A., Cai, L. i Ravid, U. 2008, "Chemical-sensory characterization of dairy manure odor using headspace solid-phase microextraction and multidimensional gas chromatography mass spectrometry-olfactometry", Journal of the Air and Waste Management Association, vol. 58, no. 9, pp. 1187-1197.
- Latos, M., Karageorgos, P., Kalogerakis, N. i Lazaridis, M. 2011, "Dispersion of odorous gaseous compounds emitted from wastewater treatment plants", Water, air, and soil pollution, vol. 215, no. 1-4, pp. 667-677.
- Lo, Y.-M., Koziel, J.A., Cai, L., Hoff, S.J., Jenks, W.S. i Xin, H. 2008, "Simultaneous chemical and sensory characterization of volatile organic compounds and semi-volatile organic compounds emitted from swine manure using solid phase microextraction and multidimensional gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry", Journal of environmental quality, vol. 37, no. 2, pp. 521-534.
- Loriato, A., Salvador, N., Santos, J., Moreira, D.M. i Costa Junior, N. 2012, "Odor - a Vision on the Existing Regulation", Chemical Engineering Transactions, vol. 30, ed. Renato Del Rosso, Florence, AIDIC, Italy, pp. 25-30.

- Madany, A. i Bartochowska, M. 1995, "Przegląd polskich modeli rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń atmosferycznych", Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej seria „Inżynieria Środowiska”, vol. 19, pp. 73-110.
- Mahin, T.D. 2001, "Comparison of different approaches used to regulate odours around the world", Water Science and Technology, vol. 44, no. 9, pp. 87-102.
- Maine Department of Environmental Protection (DEP) 2009 verified 14 Nov. 2010, Report on Odor and Gas Management at Solid Waste Facilities, Maine DEP, Division of Solid Waste Manage, Augusta.
- Markiewicz, M.,T. 2004, Podstawy modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- McGinley, Charles M. (St. Croix Sensory, Inc.) 2002, "Standardized Odor Measurement Practices for Air Quality Testing", Air and Waste Management Association Symposium on Air Quality Measurement Methods and Technology - 2002, San Francisco, CA, 13-15 listopada, 2002.
- McGinley, M.A. i Mann, J.L. 1998, update 1999, "European Versus United States Odour/Odor Standards of Evaluation", Water Environment Federation 71st Annual Conference: Orlando, FL, 3-7 października 1998 .
- McGinley, M.A. i McGinley, C.M. 2001, "The New European Olfactometry Standard: Implementation, Experience and Perspectives", Air and Waste Management Association, 2001 Annual Conference Technical Program, Session No: EE-6b.
- McGinley, M.A. i McGinley, C.M. 2004, "Comparison of field olfactometers in a controlled chamber using hydrogen sulfide as the test odorant", Water Science and Technology, vol. 50, no 4, pp. 75-82.
- McIntyre, A. 2000, "Application of dispersion modelling to odour assessment: A practical tool or a complex trap?", London, UK, Int Water Assoc.
- Micone, P.G. i Guy, C. 2007, "Odour quantification by a sensor array: An application to landfill gas odours from two different municipal waste treatment works", Sensors and Actuators, B: Chemical, vol. 120, no. 2, pp. 628-637.
- Mochalski, P., Wzorek, B., Śliwka, I. i Amann, A. 2009, "Suitability of different polymer bags for storage of volatile sulphur compounds relevant to breath analysis", Journal of

- Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences, vol. 877, no. 3, pp. 189-196.
- Muñoz, R., Sivret, E.C., Parcsi, G., Lebrero, R., Wang, X., Suffet, I.H. i Stuetz, R.M. 2010, "Monitoring techniques for odour abatement assessment", *Water research*, vol. 44, no. 18, pp. 5129-5149.
- Navaratnasamy, M., Feddes, J.J.R. i Edeogu, I.K. 2004, Comparison of wind tunnel and vented flux chamber in measuring odour emission rates, Paper No, 044184. ASAE/CSAE Annual international meeting, Ottawa, Ontario, ASAE, ST Joseph, Michigan.
- Newby, B.D. i McGinley, M.A. 2004, "Ambient odour testing of concentrated animal feeding operations using field and laboratory olfactometers", *Water Science and Technology*, vol. 50, no 4, pp 109–114.
- Nicell, J.A. 2009, "Assessment and regulation of odour impacts", *Atmospheric Environment*, vol. 43, no. 1, pp. 196-206.
- Nicolas, J., Craffe, F. i Romain, A.C. 2006, "Estimation of odor emission rate from landfill areas using the sniffing team method", *Waste Management*, vol. 26, no. 11, pp. 1259-1269.
- Nicolas, J., Cors, M., Romain, A. i Delva, J. 2010, "Identification of odour sources in an industrial park from resident diaries statistics", *Atmospheric Environment*, vol. 44, no. 13, pp. 1623-1631.
- Nielsen, A.T. i Jonsson, S. 2002, "Trace determination of volatile sulfur compounds by solid-phase microextraction and GC-MS", *Analyst*, vol. 127, no. 8, pp. 1045-1049.
- Piringer, M., Petz, E., Groehn, I. i Schauburger, G. 2007, "A sensitivity study of separation distances calculated with the Austrian Odour Dispersion Model (AODM)", *Atmospheric Environment*, vol. 41, no. 8, pp. 1725-1735.
- Płodzik, A., Czarnowska, K. i Nowakowski, W. 2006, "Ocena stopnia uciążliwości odorowej oczyszczalni ścieków "Czajka" w Warszawie", *Ochrona powietrza i problemy odpadów*, vol. 42, no. 3, pp. 84-88.
- Podedworna, J., Kulig, A. i Heidrich, Z. 2010, "Oddziaływanie zapachowe obiektów technologicznych "średnich" oczyszczalni ścieków (400-100 000 RLM) - analiza na podstawie wyników badań ankietowych", *Gaz, woda i technika sanitarna*, vol. 10, pp. 22-29.

- Radon, K., Peters, A., Praml, G., Ehrenstein, V., Schulze, A., Hehl, O. i Nowak, D. 2004, "Livestock odours and quality of life of neighbouring residents", *Annals of Agriculture and Environmental Medicine*, vol. 11, no. 1, pp. 59-62.
- Ras, M.R., Borrull, F. i Marcé, R.M. 2008, "Determination of volatile organic sulfur compounds in the air at sewage management areas by thermal desorption and gas chromatography–mass spectrometry", *Talanta*, vol. 74, no. 4, pp. 562-569.
- Ras, M.R., Marcé, R.M. i Borrull, F. 2008, "Solid-phase microextraction—Gas chromatography to determine volatile organic sulfur compounds in the air at sewage treatment plants", *Talanta*, vol. 77, no. 2, pp. 774-778.
- Sattler, M. i Devanathan, S. 2007, "Which meteorological conditions produce worst-case odors from area sources?", *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol 57, pp. 1296-1306.
- Schulz, T.J. i van Harreveld, A.P. 1996, "International moves towards standardisation of odour measurement using olfactometry", *Water Science and Technology*, vol. 34, no. 3-4, pp. 541-547.
- Sironi, S., Capelli, L., Céntola, P., Del Rosso, R. i il Grande, M. 2007, "Continuous monitoring of odours from a composting plant using electronic noses", *Waste Management*, vol. 27, no. 3, pp. 389-397.
- Sironi, S., Capelli, L., Céntola, P., Del Rosso, R. i Pierucci, S. 2010, "Odour impact assessment by means of dynamic olfactometry, dispersion modelling and social participation", *Atmospheric Environment*, vol. 44, no. 3, pp. 354-360.
- Sobczuk, H., Guz, Ł. i Wasąg, H. 2009, "Czujniki tlenkowe w pomiarach zapachowych powietrza", *Chemik Nauka-Technika-Rynek*, vol. 11, pp. 440-443.
- Sohn, J.H., Hudson, N., Gallagher, E., Dunlop, M., Zeller, L. & Atzeni, M. 2008, "Implementation of an electronic nose for continuous odour monitoring in a poultry shed", *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol. 133, no. 1, pp. 60-69.
- Sówka, I. 2011, *Metody identyfikacji odorotwórczych gazów emitowanych z obiektów przemysłowych*, Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, Seria: Monografie, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011, Wrocław.
- Sówka, I., Nych, A. i Zwoździak, J. 2011, "Zastosowanie niemieckich rozwiązań w ocenie uciążliwości zapachowej w Polsce", *Rocznik Ochrona Środowiska*, vol. 13, pp. 1275-1288.

- Sówka, I., Zwoździak, J., Nych, A., Szklarczyk, M., Skrętowicz, M. i Zwoździak, P. 2009, "Ocena uciążliwości zapachowej wybranego źródła przemysłowego na podstawie badań ankietowych", *Chemik Nauka-Technika-Rynek*, vol. 11, pp. 400-401.
- Sówka, I., Nych, A., Zwoździak, J. i Szklarczyk, M. 2009b, Zastosowanie badań ankietowych do oceny zapchowej jakości powietrza, W: *Polska inżynieria środowiska pięć lat po wstąpieniu do Unii Europejskiej*. T. 1, ed. Pawłowska Małgorzata; Ozonk, Janusz; Politechnika Lubelska. Wydział Inżynierii Środowiska, Monografie - Polska Akademia Nauk. Komitet Inżynierii Środowiska; nr 58.
- St. Croix Sensory, 2006, Standard Procedure for Testing Individual Odor Sensitivity.
- Stellacci, P., Liberti, L., Notarnicola, M. i Haas, C.N. 2010, "Hygienic sustainability of site location of wastewater treatment plants: A case study. I. Estimating odour emission impact", *Desalination*, vol. 253, no. 1-3, pp. 51-56.
- Stuetz R. M., Frechen F. 2001, "Odours in Wastewater Treatment. Measurement, Modeling and Control", IWA Publishing, Alliance House, London.
- Sucker, K., Both, R. i Winneke, G. 2001, Adverse effects of environmental odours: Reviewing studies on annoyance responses and symptom reporting, *Water Science and Technology*, vol. 44 no. 9, pp. 43-51.
- Turkmen, M., Dentel, S.K., Chiu, P.C. i Hepner, S. 2004, "Analysis of sulfur and nitrogen odorants using solid-phase microextraction and GC-MS", *Water Science and Technology*, vol. 50 no. 4, pp. 115-120.
- Turkmen, M., Dentel, S.K. i Germain, A.M. 2005, "Odor characterization from landfill cover material", *Journal of Solid Waste Technology and Management*, vol. 31, no. 1, pp. 21-29.
- Ueno, H., Amano, S., Merecka, B. i Kośmider, J. 2009, "Difference in the odor concentrations measured by the triangle odor bag method and dynamic olfactometry", *Water Science and Technology*, vol. 59, no. 7, pp. 1339-1342.
- Van Harreveld, A.P. 2004, "Odour management tools - Filling the gaps", *Water Science and Technology*, vol. 50, no. 4, pp. 1-8.
- Van Langenhove, H. i Van Broeck, G. 2001, Applicability of sniffing team observations: Experience of field measurements", *Water Science and Technology*, vol. 44, no. 9, pp. 65-70.

- Vincent, A., J. 2001, "Source of odours in wastewater treatment" in *Odours in Wastewater Treatment. Measurement, Modeling and Control*, eds. R.M. Stuetz i F. Frechen, IWA Publishing, Aliance House, London, pp. 69-92.
- Walpot, J.I. 1992, "Policy options for a reduction in odour nuisance", *Studies in Environmental Science*, vol. 51, no. C, pp. 327-330.
- Wang, B., Sivret, E., Parcsi, G., Wang, X. i Stuetz, R. 2012, "Characterising Volatile Organic Compounds from Sewer Emissions by Thermal Desorption Coupled with Gas-chromatography-mass Spectrometry", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 30, ed. Renato Del Rosso, Florence, AIDIC, Italy, pp. 73-78.
- Wikibooks [http://pl.wikibooks.org/wiki/Uci%C4%85%C5%BCliwo%C5%9B%C4%87\\_zapachowa/Olfaktometria\\_in%C5%BCynierska/Olfaktometria\\_terenowa](http://pl.wikibooks.org/wiki/Uci%C4%85%C5%BCliwo%C5%9B%C4%87_zapachowa/Olfaktometria_in%C5%BCynierska/Olfaktometria_terenowa) [2012 05 30].
- Wikibooks [http://pl.wikibooks.org/wiki/Uci%C4%85%C5%BCliwo%C5%9B%C4%87\\_zapachowa/Standardy\\_zapachowej\\_jako%C5%9Bci\\_powietrza](http://pl.wikibooks.org/wiki/Uci%C4%85%C5%BCliwo%C5%9B%C4%87_zapachowa/Standardy_zapachowej_jako%C5%9Bci_powietrza) [2013 01 07].
- Wikipedia [http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Nasal\\_Ranger\\_schem.png](http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Nasal_Ranger_schem.png) [2012 08 10].
- Witherspoon, J.R. i Barnes, J.L. 2004, "Comparison of methods used to measure odour at wastewater treatment plant fencelines" *Environmental Odour Management International Conference*, Cologne. pp. 363-375.
- Young, M. 1916, "Smells or effluvia considered from the chemical, physical and physiological points of view", *Public health*, vol. 29, no. 0, pp. 241-246.
- Zarra, T., Naddeo, V. i Belgiorno, V. 2007, "Portable gas chromatography-mass spectrometry as a tool for estimating the odour emissions of composting plants in air pollution management", *Proceeding of 10 International Conference on Environmental Science and Technology*.
- Zarra, T., Naddeo, V., Belgiorno, V., Reiser, M. i Kranert, M. 2008, "Odour monitoring of small wastewater treatment plant located in sensitive environment", *Water Science and Technology*, vol. 58, no. 1, pp. 89-94.
- Zhang, S., Cai, L., Caraway, E.A., Koziel, J.A., Parker, D.B., Celen, I., Hetchler, B., Jacobson, L., Schmidt, D.R., Clanton, C.J., Heathcote, K.Y., Hoff, S.J., Anderson-Bereznicki, S. i Heber, A. 2008, "Characterization and quantification of livestock odorants using sorbent tube sampling and thermal desorption coupled with multidimensional gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry (TD-MDGC-MS-O)", *American Society of Agricultural*



and Biological Engineers Annual International Meeting 2008, 29 June 2008 through 2 July 2008, pp. 7367.

Zhang, S., Cai, L., Koziel, J.A., Hoff, S.J., Schmidt, D.R., Clanton, C.J., Jacobson, L.D., Parker, D.B. i Heber, A.J. 2010, "Field air sampling and simultaneous chemical and sensory analysis of livestock odorants with sorbent tubes and GC–MS/olfactometry", *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 146, no. 2, pp. 427-432.

## **Wykaz norm i przepisów prawnych**

- [1] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska, Dz. U. nr 62 poz. 627 z 2001 r. z późn. zm.
- [2] Dyrektywa Rady z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych (91/271/EWG), Dziennik Urzędowy L 135 , 30/05/1991 P. 0040 - 0052.
- [3] Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 26 września 2011 r. w sprawie wysokości stawek opłat za korzystanie ze środowiska na rok 2012, Monitor Polski nr 94, poz. 958 z 2011 r.
- [4] Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 16 września 2011 r. w sprawie wysokości stawek kar za przekroczenie warunków wprowadzania ścieków do wód lub do ziemi oraz za przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu, na rok 2012, Monitor Polski nr 94, poz. 957 z 2011 r.
- [5] Standard Test Method for Measurement of Odor in Atmospheres (dilution method), US–ASTM D-1391, American Society for Testing and Materials, 1978 r.
- [6] Parts 1-4 Olfactometry, Odour Threshold Determination, Fundamentals, VDI 3881, Verein Deutsche Ingenieure, drafted in 1980 & revised in 1989.
- [7] Method of the Measurement of the Odor of a Gaseous Effluent, AFNOR X-43-101, Bureau de Normalisation, Paris, France drafted in 1981 & revised in 1986.
- [8] Provisional Standard: Air Quality. Sensory Odour Measurement using an Olfactometer. NVN 2820, Netherlands Normalization Institute, The Netherlands drafted in 1987 & issued in 1995.
- [9] Guidelines for Abatement of Air Pollution from Industries, 6/1990, Danish Environmental Protection Agency, 1990.

- [10] Jakość powietrza – Oznaczanie stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej, PN-EN 13725:2007, Polski Komitet Normalizacyjny, 2007.
- [11] Part 1 Olfactometry Determination of Odour Intensity, VDI 3882, Verein Deutscher Ingenieure, 1992.
- [12] Standard Practice for Suprathreshold Intensity Measurement, US-ASTM E544-99, American Society for Testing and Materials, 1989.
- [13] Oznaczanie zawartości amoniaku w powietrzu, PN-Z-04041:1971, Polski Komitet Normalizacyjny, 1971
- [14] Ochrona czystości powietrza -- Badania zawartości siarki i jej związków -- Oznaczanie siarkowodoru na stanowiskach pracy metodą spektrofotometryczną, PN-Z-04015-13:1996, Polski Komitet Normalizacyjny, 1996.
- [15] Part 1 Measurement of Odour Impact by Field Inspection – Measurement of the impact frequency of recognisable odours – Grid Measurement, VDI 3940, Verein Deutscher Ingenieure, 2006.
- [16] Part 2 Measurement of odour impact by field inspection - Measurement of the impact frequency of recognizable odours - Plume measurement, VDI 3940, Verein Deutscher Ingenieure, 2006.
- [17] Part 3 Measurement of odour impact by field inspection - Determination of odour intensity and hedonic odour tone, VDI 3940, Verein Deutscher Ingenieure, 2010.
- [18] Part 5 Measurement of odour impact by field inspection - Determination of odour intensity and hedonic odour tone - Instructions and examples of use, VDI 3940, Verein Deutscher Ingenieure, 2012.
- [19] Effects and assessment of odours - Psychometric assessment of odour annoyance – Questionnaires, VDI 3883, Verein Deutscher Ingenieure, 1997.
- [20] Zbiór Reguł ATV-DVWK M 204P 2003, Zmniejszanie emisji substancji zapachowych (odorantów) z oczyszczalni ścieków - stan techniki i jej zastosowanie, materiały pomocnicze, Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa, 2003.
- [21] Air Quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry, AS/NZS 4323.3:2001, Australian and New Zealand Standard, 2001.
- [22] Analiza gazu - Przygotowanie gazowych mieszanin wzorcowych - Statyczna metoda objętościowa, PN-EN ISO 6144:2010, Polski Komitet Normalizacyjny, 2010.

- [23] Sprzęt ochrony układu oddechowego Pochłaniacz(-e) i filtropochłaniacz(-e) Wymagania, badanie, znakowanie, PN-EN 14387+A1:2012, Polski Komitet Normalizacyjny, 2012.
- [24] Sprzęt ochrony układu oddechowego Filtry Wymagania, badanie, znakowanie, PN-EN 143:2004P, Polski Komitet Normalizacyjny, 2004.

## Spis tabel

Tabela 2-1 Skala intensywności zapachu, opisana w niemieckiej normie VDI- 3882 [11].....	27
Tabela 2-2 Skale Odor Intensity Referencing Scales (OIRS) [12].....	28
Tabela 2-3 Skala intensywności zapachu .....	29
Tabela 4-1 Metoda wyznaczania oszacowania indywidualnego w oparciu o wyniki D/T uzyskane OT Nasal Ranger® .....	58
Tabela 4-2 Progi węchowej wyczuwalności wg Ammore’a i Hautali (1983) – a, Devos i wsp. (1991) - b, Haz-Map (2012) – c oraz progi detekcji chromatografu .....	69
Tabela 8-1 Zestawienie zalet i wad analizowanych metod badawczych w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków .....	102
Tabela 8-2 Wyniki pomiarów olfaktometrycznych OT w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 11 czerwca 2013 r. ....	115
Tabela 8-3 Wyniki pomiarów olfaktometrycznych OT w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 2 lipca 2013 r.....	116
Tabela 8-4 Wyniki pomiarów olfaktometrycznych OT w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 3 lipca 2013 r.....	119
Tabela 8-5 Wyniki pomiarów olfaktometrycznych OT w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 4 lipca 2013 r.....	120
Tabela 8-6 Wyniki pomiarów olfaktometrycznych OT w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 5 lipca 2013 r.....	124

## Spis rysunków

Rys. 2-1 Pomiary olfaktometryczne olfaktometrem T08 wyprodukowanym przez firmę Ecoma (Hohenstein Institute) .....	19
Rys. 2-2 Pomiary olfaktometryczne olfaktometrem AC'SCENT International Olfactometer firmy St. Croix Sensory (Dr. Albert J. Heber, Purdue University, West Lafayette, IN, USA) .....	19
Rys. 2-3 Pomiary olfaktometryczne olfaktometrem terenowym Nasal Ranger® (fot. wł.) .....	23
Rys. 2-4 Klasyfikacja metod badawczych stosowanych w ocenie oddziaływania zapachowego oczyszczalni ścieków komunalnych (oprac. wł.) .....	45
Rys. 3-1 Schemat realizacji zadań przedstawionych w pracy (oprac. wł.) .....	49
Rys. 4-1 Olfaktometr terenowy Nasal Ranger® (fot. wł.) .....	53
Rys. 4-2 Budowa OT Nasal Ranger® (oprac. wł.) .....	54
Rys. 4-3 Schemat ideowy działania OT Nasal Ranger® (Wikipedia, 2012) .....	54
Rys. 4-4 Schemat blokowy procedury pomiaru wartości D/T olfaktometrem terenowym Nasal Ranger® (oprac. wł.) .....	56
Rys. 4-5 Pomiar wartości D/T przy użyciu OT Nasal Ranger® (fot. wł.) .....	57
Rys. 4-6 Pobieranie próbek powietrza z biofiltra, z wykorzystaniem osłony strumienia, do oznaczeń olfaktometrycznych niebezpośrednich (fot. wł.) .....	60
Rys. 4-7 Obudowa ze stali do pobierania emisyjnych próbek powietrza z powierzchniowych źródeł aktywnych (fot. wł.) .....	61
Rys. 4-8 Pobieranie próbek powietrza do oznaczeń olfaktometrycznych niebezpośrednich z piaskownika (źródło pasywne) za pomocą obudowy z wymuszonym przepływem powietrza (fot. wł.) .....	62
Rys. 4-9 Pobieranie próbek powietrza do oznaczeń olfaktometrycznych niebezpośrednich, oznaczeń siarkowodoru i amoniaku metodą kolorymetryczną, oznaczeń tioli i siarczków metodą chromatograficzną oraz pomiar D/T przy użyciu OT w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” (fot. wł.) .....	62
Rys. 4-10 Pobieranie próbek powietrza do oznaczeń olfaktometrycznych niebezpośrednich - komora zbiorcza we Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek” (fot. wł.) .....	63

Rys. 4-11 Pobieranie próbek powietrza do oznaczeń siarkowodoru i amoniaku - komora zbiorcza na Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w Warszawie (fot. wł.).....	65
Rys. 4-12 Pobieranie próbek powietrza do tedlarowych worków do oznaczeń chromatograficznych oraz próbek do oznaczeń siarkowodoru i amoniaku metodą kolorymetryczną – otoczenie reaktorów biologicznych w Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym (fot. wł.) .....	68
Rys. 5-1 Schemat przedstawiający metody pomiarów odorów i odorantów, zastosowane na poszczególnych obiektach ciągów technologicznych na wybranych oczyszczalniach ścieków komunalnych (oprac. wł.) .....	75
Rys. 5-2 Schemat technologiczny Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w Warszawie (oprac. wł.) ..	76
Rys. 5-3 Schemat technologiczny Oczyszczalni Ścieków w Mińsku Mazowieckim (oprac. wł.) .....	78
Rys. 5-4 Schemat technologiczny Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym (oprac. wł.).....	79
Rys. 5-5 Schemat technologiczny Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek” we Wrocławiu (oprac. wł.) .....	80
Rys. 5-6 Oznaczanie wartości D/T przy użyciu OT oraz pobieranie próbek powietrza do oznaczeń olfaktometrycznych niebezpośrednich - hala krat we Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek” (fot. wł.).....	81
Rys. 5-7 Schemat technologiczny Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” (oprac. wł.) .....	82
Rys. 6-1 Zależność między stężeniami zapachowymi określonymi metodą olfaktometrii terenowej - $C_{od,OT}$ a określonymi metodą olfaktometrii niebezpośredniej - $C_{od,E}$ w hali krat w Oczyszczalni Ścieków „Czajka” oraz w otoczeniu zagęszczacza grawitacyjnego i w punkcie odbioru odwodnionego osadu w pomieszczeniu stacji mechanicznego zagęszczania i odwadniania osadu we Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek” .....	85
Rys. 6-2 Zależność między stężeniami zapachowymi określonymi metodą olfaktometrii terenowej - $C_{od,OT}$ a stężeniami siarkowodoru określonymi metodą kolorymetryczną nad komorą zbiorczą, w hali krat oraz w otoczeniu piaskownika w Oczyszczalni Ścieków „Czajka” .....	85
Rys. 6-3 Zależność między wartościami stężenia zapachowego określonymi metodą olfaktometrii terenowej - $C_{od,OT}$ a stężeniami amoniaku określonymi metodą	

	kolorymetryczną nad komorą zbiorczą, w hali krat oraz w otoczeniu piaskownika w Oczyszczalni Ścieków „Czajka” .....	86
Rys. 6-4	Zależność między wartościami stężenia zapachowego określonymi metodą olfaktometrii terenowej - $c_{od,OT}$ a intensywnością zapachu określoną metodą organoleptycznej oceny według sześciostopniowej skali w otoczeniu obiektów ciągów technologicznych w oczyszczalniach ścieków w Mińsku Mazowieckim i Rybieniu Starym.....	87
Rys. 6-5	Zależność między stężeniami zapachowymi określonymi metodą olfaktometrii terenowej - $c_{od,OT}$ a metodą olfaktometrii niebezpośredniej - $c_{od,E}$ w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” .....	88
Rys. 6-6	Zależność między średnimi wartościami stężenia zapachowego określonymi metodą olfaktometrii terenowej - $c_{od,OT}$ a stężeniami siarkowodoru określonymi metodą kolorymetryczną w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” .....	89
Rys. 6-7	Zależność między średnimi wartościami stężenia zapachowego określonymi metodą olfaktometrii terenowej - $c_{od,OT}$ a stężeniami amoniaku określonymi metodą kolorymetryczną w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” .....	89
Rys. 6-8	Zależność między średnimi wartościami stężenia zapachowego określonymi metodą olfaktometrii terenowej - $c_{od,OT}$ a średnimi wartościami stężenia metanotolu określonymi metodą chromatograficzną w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” .....	90
Rys. 6-9	Zależność między średnimi wartościami stężenia zapachowego określonymi metodą olfaktometrii terenowej - $c_{od,OT}$ a średnimi wartościami stężenia siarczku dimetylu określonymi metodą chromatograficzną w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” .....	90
Rys. 6-10	Uszeregowanie obiektów ciągu technologicznego Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w Warszawie pod względem średnich wartości stężeń zapachowych, otrzymanych metodą wykorzystującą OT i olfaktometrii niebezpośredniej .....	92
Rys. 6-11	Uszeregowanie obiektów Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w Warszawie pod względem intensywności zapachu .....	93
Rys. 6-12	Uszeregowanie obiektów Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w Warszawie pod względem wartości stężeń $NH_3$ otrzymanych metodą kolorymetryczną .....	94

Rys. 6-13 Pobieranie próbek powietrza do oznaczeń siarkowodoru i amoniaku metodą kolorymetryczną z zagęszczacza osadu z terenu Oczyszczalni Ścieków „Czajka” (fot. wł.).....	95
Rys. 6-14 Uszeregowanie obiektów oczyszczalni ścieków „Czajka” w Warszawie pod względem wartości stężeń H <sub>2</sub> S otrzymanych metodą kolorymetryczną .....	96
Rys. 6-15 Zależność między stężeniami siarkowodoru zmierzonymi bezpośrednio po pobraniu próbek powietrza z otoczenia obiektów ciągów technologicznych w oczyszczalniach ścieków w Mińsku Mazowieckim i Rybieniu Starym a stężeniami zmierzonymi po upływie 4 godzin.....	97
Rys. 8-1 Schemat blokowy procedury pomiarów olfaktometrycznych OT w oczyszczalniach ścieków komunalnych (oprac. wł.) .....	105
Rys. 8-2 Rozmieszczenie punktów receptorowych na terenie Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 11 czerwca 2013 r. (oprac. wł.) .....	110
Rys. 8-3 Rozmieszczenie punktów receptorowych na terenie Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 2 lipca 2013 r. (oprac. wł.) .....	111
Rys. 8-4 Rozmieszczenie punktów receptorowych na terenie Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 3 lipca 2013 r. (oprac. wł.) .....	112
Rys. 8-5 Rozmieszczenie punktów receptorowych na terenie Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 4 lipca 2013 r. (oprac. wł.) .....	113
Rys. 8-6 Rozmieszczenie punktów receptorowych na terenie Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” w dniu 5 lipca 2013 r. (oprac. wł.) .....	114



## Załączniki

Spis załączników:

Załącznik nr 1. Wyniki badań odorów i odorantów w Oczyszczalni Ścieków „Czajka” .....	154
Załącznik nr 2 Wyniki badań odorów i odorantów w Oczyszczalni Ścieków w Mińsku Mazowieckim.....	159
Załącznik nr 3 Wyniki badań odorów i odorantów w Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym.....	160
Załącznik nr 4 Wyniki badań odorów we wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek” we Wrocławiu.....	162
Załącznik nr 5 Wyniki badań odorów i odorantów w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” .....	164
Załącznik nr 6 Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Czajka” .....	166
Załącznik nr 7 Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym.....	171
Załącznik nr 8 Wyniki pomiarów meteorologicznych z Oczyszczalni Ścieków w Mińsku Mazowieckim.....	173
Załącznik nr 9 Wyniki pomiarów meteorologicznych we wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek” .....	174
Załącznik nr 10 Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno” .....	175

### Załącznik nr 1.

#### Wyniki badań odorów i odorantów w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”

Tabela 1.1. Wartości stężeń zapachowych określonych metodą olfaktometrii terenowej oraz olfaktometrii niebezpośredniej, intensywności zapachu ocenianej metodą organoleptyczną według skali przedstawionej w tabeli 2-3 oraz stężeń amoniaku i siarkowodoru określonych metodą kolorymetryczną w Oczyszczalni Ścieków „Czajka” w Warszawie<sup>1)</sup>

Table 1.1. Values of odour concentrations assessed by field olfactometry and delayed olfactometry, odour intensity assessed by organoleptic method according to the scale show in table 2-3 and concentrations of ammonia and hydrogen sulfide assessed by colorimetric method in Wastewater Treatment Plant “Czajka” in Warsaw

Data badania	9.10.2009					25.11.2009				
Punkt receptorowy	Oznaczone parametry, metoda oznaczania									
	Stężenie zapachowe [ou/m <sup>3</sup> ], olfaktometria terenowa	Stężenie zapachowe [ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ], olfaktometria niebezpośrednia	Intensywność zapachu, i [-], ocena intensywności zapachu	Stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie zapachowe [ou/m <sup>3</sup> ], olfaktometria terenowa	Stężenie zapachowe [ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ], olfaktometria niebezpośrednia	Intensywność zapachu, i [-], ocena intensywności zapachu	Stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria
Nad komorą zbiorczą	95	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	49	4743	5	0,320	0,800
Hala krat	222	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	347	2608	3-4	0,120	1,860
Biofiltr	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	2	0,080	n.w.
Piaskowniki	471	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	370	400	4-5	0,130	3,200
Separator piasku	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	268	186	2	0,110	0,008
Osadnik wstępny	246	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	10	155	3	0,090	n.w.
Reaktory biologiczne	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5	46	2-3	0,080	0,017
Pompownia osadu recykulowanego	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	5	n.b.	5	0,150	n.w.
Zagęszczacz grawitacyjny	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	222	n.b.	0	0,130	n.w.
Plac magazynowy osadu	22	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	12	140	5	0,140	n.w.

<sup>1)</sup> n.w. – nie wykryto; n.b.- nie badano

Tabela 1.1. cd.

Data badania	09.03.2010					23.03.2010				
Punkt receptorowy	Oznaczone parametry, metoda oznaczania									
	Stężenie zapachowe [ou/m <sup>3</sup> ], olfaktometria terenowa	Stężenie zapachowe [ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ], olfaktometria niebezpośrednia	Intensywność zapachu, i [-], ocena intensywności zapachu	Stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie zapachowe [ou/m <sup>3</sup> ], olfaktometria terenowa	Stężenie zapachowe [ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ], olfaktometria niebezpośrednia	Intensywność zapachu, i [-], ocena intensywności zapachu	Stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria
Nad komorą zbiorczą	53	n.b.	5	n.w.	0,067	28	80	n.b.	n.b.	n.b.
Hala krat	222	n.b.	5	n.w.	1,500	142	26926	n.b.	n.b.	n.b.
Biofiltr	471	n.b.	5	n.w.	1,667	278	17321	n.b.	n.b.	n.b.
Piaskowniki	205	n.b.	3-4	n.w.	0,033	234	232	n.b.	n.b.	n.b.
Separator piasku	91	n.b.	3-4	n.w.	0,067	14	42	n.b.	n.b.	n.b.
Osadnik wstępny	12	n.b.	3-4	n.w.	n.w.	11	40	n.b.	n.b.	n.b.
Reaktory biologiczne	6	n.b.	2-2,5	0,030	n.w.	5	45	n.b.	n.b.	n.b.
Pompownia osadu recykulowanego	7	n.b.	2-3	n.w.	n.w.	22	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zagęszczacz grawitacyjny	10	n.b.	3	n.w.	n.w.	8	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Plac magazynowy osadu	91	n.b.	3-5	0,200	0,033	43	111	n.b.	n.b.	n.b.

<sup>1)</sup> n.w. – nie wykryto; n.b.- nie badano

Tabela 1.1. cd.

Data badania	12.04.2010					20.04.2010				
Punkt receptorowy	Oznaczone parametry, metoda oznaczania									
	Stężenie zapachowe [ou/m <sup>3</sup> ], olfaktometria terenowa	Stężenie zapachowe [ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ], olfaktometria niebezpośrednia	Intensywność zapachu, i [-], ocena intensywności zapachu	Stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie zapachowe [ou/m <sup>3</sup> ], olfaktometria terenowa	Stężenie zapachowe [ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ], olfaktometria niebezpośrednia	Intensywność zapachu, i [-], ocena intensywności zapachu	Stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria
Nad komorą zbiorczą	12	n.b.	0-3,5	0,133	0,100	163	6633	n.b.	n.b.	n.b.
Hala krat	296	n.b.	5	0,017	10	19	26870	n.b.	n.b.	n.b.
Biofiltr	11	n.b.	3-4	0,017	0,83	153	10954	n.b.	n.b.	n.b.
Piaskowniki	10	n.b.	2,5-3	0,017	0,167	22	1249	n.b.	n.b.	n.b.
Separator piasku	8	n.b.	2,5-3	n.w.	0,033	17	33	n.b.	n.b.	n.b.
Osadnik wstępny	10	n.b.	3	n.w.	n.w.	8	78	n.b.	n.b.	n.b.
Reaktory biologiczne	5	n.b.	2	0,017	n.w.	5	35	n.b.	n.b.	n.b.
Pompownia osadu recykulowanego	5	n.b.	2	n.w.	n.w.	4	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zagęszczacz grawitacyjny	16	n.b.	3-3,5	n.w.	n.w.	6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Plac magazynowy osadu	22	n.b.	4-4,5	0,017	n.w.	50	271	n.b.	n.b.	n.b.

<sup>1)</sup> n.w. – nie wykryto; n.b.- nie badano

Tabela 1.1. cd.

Data badania	11.05.2010					15.06.2010				
Punkt receptorowy	Oznaczone parametry, metoda oznaczania									
	Stężenie zapachowe [ou/m <sup>3</sup> ], olfaktometria terenowa	Stężenie zapachowe [ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ], olfaktometria niebezpośrednia	Intensywność zapachu, i [-], ocena intensywności zapachu	Stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie zapachowe [ou/m <sup>3</sup> ], olfaktometria terenowa	Stężenie zapachowe [ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ], olfaktometria niebezpośrednia	Intensywność zapachu, i [-], ocena intensywności zapachu	Stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria
Nad komorą zbiorczą	163	1414	5	0,033	0,150	354	1612	5	0,130	0,043
Hala krat	49	3074	4-5	0,033	6,670	22	107	4	0,083	0,050
Biofiltr	268	7550	5	0,200	11,670	43	4604	4	0,100	0,900
Piaskowniki	37	1062	3-4	0,033	0,460	14	98	3-4	0,120	n.w.
Separator piasku	12	40	5	0,033	0,033	10	60	3-4	0,083	0,008
Osadnik wstępny	12	58	3-3,5	0,050	0,250	31	99	3-4	0,130	n.w.
Reaktory biologiczne	n.b.	55	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	90	n.b.	n.b.	n.b.
Pompownia osadu recykulowanego	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	22	n.b.	3	0,100	n.w.
Zagęszczacz grawitacyjny	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	22	n.b.	3	0,067	n.w.
Plac magazynowy osadu	22	1400	5	0,267	0,043	10	165	5	0,670	n.w.

<sup>1)</sup> n.w. – nie wykryto; n.b.- nie badano

Tabela 1.1. cd.

Data badania	20.07.2010					07-08.09.2010				
Punkt receptorowy	Oznaczone parametry, metoda oznaczania									
	Stężenie zapachowe [ou/m <sup>3</sup> ], olfaktometria terenowa	Stężenie zapachowe [ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ], olfaktometria niebezpośrednia	Intensywność zapachu, i [-], ocena intensywności zapachu	Stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie zapachowe [ou/m <sup>3</sup> ], olfaktometria terenowa	Stężenie zapachowe [ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ], olfaktometria niebezpośrednia	Intensywność zapachu, i [-], ocena intensywności zapachu	Stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria
Nad komorą zbiorczą	91	474	2-5	0,170	0,033	395	1296	5	0,167	0,083
Hala krat	18	38497	5	0,130	23,330	141	12000	4-5	0,200	1,333
Biofiltr	19	7769	3-4	0,100	0,600	347	9000	4	0,133	7,330
Piaskowniki	9	1052	4	0,133	0,100	255	3098	4-5	0,167	0,026
Separator piasku	5	260	4	0,167	0,183	5	63	3	0,100	0,010
Osadnik wstępny	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6	n.b.	3-4	0,130	0,050
Reaktory biologiczne	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	6	80	3-4	0,100	0,017
						8	60			
Pompownia osadu recykulowanego	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Zagęszczacz grawitacyjny	549	n.b.	5	0,300	41,660	43	n.b.	5	0,130	33,330
	534									
Plac magazynowy osadu	50	670	5	0,430	0,067	5	157	5	0,390	0,010
	5	310								
	7	157								

<sup>1)</sup> n.w. – nie wykryto; n.b.- nie badano

## Załącznik nr 2.

### Wyniki badań odorów i odorantów w Oczyszczalni Ścieków w Mińsku Mazowieckim

Tabela 2.1. Wartości stężeń zapachowych określonych metodą olfaktometrii terenowej, intensywności zapachu ocenianej metodą organoleptyczną według skali przedstawionej w tabeli 2-3 oraz stężeń amoniaku i siarkowodoru określonych metodą kolorymetryczną w Oczyszczalni Ścieków w Mińsku Mazowieckim<sup>1)</sup>

Table 2.1. Values of odour concentrations assessed by field olfactometry, odour intensity assessed by organoleptic method according to the scale show in table 2-3 and concentrations of ammonia and hydrogen sulfide assessed by colorimetric method in Wastewater Treatment Plant in Mińsk Mazowiecki

Data badania	15.06.2011				13.07.2011			
Punkt receptorowy	Oznaczane parametry, metoda oznaczania							
	Stężenie zapachowe [ou/m <sup>3</sup> ], olfaktometria terenowa	Intensywność zapachu, i [-], ocena intensywności zapachu	Stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie zapachowe [ou/m <sup>3</sup> ], olfaktometria terenowa	Intensywność zapachu, i [-], ocena intensywności zapachu	Stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria
Powierzchnia komory zbiorczej	31	3-4	n.w.	0,02	n.b	n.b	n.b	n.b.
Hala krat	187	5	n.w.	n.w.	11	5	0,03	n.w.
Piaskownik	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	366	5	0,20	0,13
Piaskownik z napowietrzaniem i tłuszczownikiem	22	4	n.w.	n.w.	31	5	0,03	n.w.
Fermenter osadu	395	5	n.w.	0,047	58	5	0,20	0,01
Zagęszczacz osadu	268	5	0,07	0,037	33	5	0,10	n.w.
Budynek odwadniania i higienizacji osadu	398	4	0,37	1,67	395	5	0,33	0,07

<sup>1)</sup> n.w. – nie wykryto; n.b.- nie badano

### Załącznik nr 3.

#### Wyniki badań odorów i odorantów w Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym

Tabela 3.1. Wartości stężeń zapachowych określonych metodą olfaktometrii terenowej, intensywności zapachu ocenianej metodą organoleptyczną według skali przedstawionej w tabeli 2-3 oraz stężeń amoniaku i siarkowodoru określonych metodą kolorymetryczną w Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym<sup>1)</sup>

Table 3.1. Values of odour concentrations assessed by field olfactometry, odour intensity assessed by organoleptic method according to the scale show in table 2-3 and concentrations of ammonia and hydrogen sulfide assessed by colorimetric method in Wastewater Treatment Plant in Rybienko Stare

Data badania	14.06.2011				29.06.2011			
Punkt receptorowy	Oznaczone parametry, metoda oznaczania							
	Stężenie zapachowe [ou/m <sup>3</sup> ], olfaktometria terenowa	Intensywność zapachu, i [-], ocena intensywności zapachu	Stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie zapachowe [ou/m <sup>3</sup> ], olfaktometria terenowa	Intensywność zapachu, i [-], ocena intensywności zapachu	Stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria
Krata wstępna	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Pomieszczenie sitopiaskownika	13	3,5	0,25	0,03	25	5	0,07	0,02
Pomieszczenie płuczki piasku	16	4,5	0,10	0,17	14	3	n.w.	0,06
Komora defosfatacji	4	1 - 2	0,15	n.w.	7	4	0,05	0,01
Komora denitryfikacji	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Komora tlenowej stabilizacji osadu	50	4,5	0,10	0,06	33	5	0,05	0,03
Pomieszczenie odwadniania i higienizacji osadu	11	3,5	0,20	0,02	37	4	0,07	n.w.
Plac magazynowy osadu	16	5	0,07	n.w.	19	5	0,03	0,01

<sup>1)</sup> n.w. – nie wykryto; n.b.- nie badano



Tabela 3.1. cd.

Data badania	12.07.2011			
Punkt receptorowy	Oznaczone parametry, metoda oznaczania			
	Stężenie zapachowe [ou/m <sup>3</sup> ], olfaktometria terenowa	Intensywność zapachu, i [-], ocena intensywności zapachu	Stężenie amoniaku [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria	Stężenie siarkowodoru [mg/m <sup>3</sup> ], kolorymetria
Krata wstępna	26	4 - 5	0,13	0,02
Sitopiaskownik	16	5	0,20	n.w.
Pomieszczenie płuczki piasku	19	5	0,13	0,03
Komora defosfatacji	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Komora denitryfikacji	9	3	n.w.	n.w.
Komora tlenowej stabilizacji osadu	37	4	0,13	n.w.
Pomieszczenie odwadniania i higienizacji osadu	14	4	0,03	n.w.
Plac magazynowy osadu	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

<sup>1)</sup> n.w. – nie wykryto; n.b.- nie badano

**Załącznik nr 4.**

**Wyniki badań odorów we wrocławskiej**

**Oczyszczalni Ścieków „Janówek” we Wrocławiu**

Tabela 4.1. Wartości stężeń zapachowych uzyskanych metodą olfaktometrii terenowej we Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek” we Wrocławiu

Table 4.1. Values of odour concentrations assessed by field olfactometry in Wastewater Treatment Plant “Janówek” in Wrocław

Nr punktu receptorowego	Punkt receptorowy	Data	Stężenie zapachowe $C_{od,OT}$ [ou/m <sup>3</sup> ]
1	Komora wejściowa, na pomoście	24.04.2012	141
2	Komora wejściowa, przy krawędzi, strona zawietrzna, w pobliżu punktu poboru próbki powietrza do olfaktometrii niebezpośredniej		234
3	7 m od wrót do hali krat, ok. 15 m od komory wejściowej		16
4	Budynek hali krat przy kracie z sitem małym, w pobliżu punktu poboru próbki powietrza do olfaktometrii niebezpośredniej		240
5	Budynek hali krat, przy kracie z sitem dużym		123
6	Budynek hali krat, na pomoście nad kratami		218
7	Budynek piaskowników, na początku piaskownika, w pobliżu punktu poboru próbki powietrza do olfaktometrii niebezpośredniej		132
8	Budynek piaskowników, na środku piaskownika		187
9	Budynek piaskowników, przy końcu piaskowników, na pomoście		163
10	Na rogu budynku pompowni		6
11	Budynek stacji mechanicznego odwadniania osadu, pomieszczenie załadunku osadu, w punkcie poboru próbki powietrza do olfaktometrii niebezpośredniej	25.04.2012	215
12	Zagęszczacz grawitacyjny, zawietrzna krawędź w punkcie poboru próbki powietrza do olfaktometrii niebezpośredniej		268
13	W odległości około 8 metrów od zagęszczacza grawitacyjnego, strona zawietrzna		16
14	W odległości około 25 metrów od zagęszczacza grawitacyjnego, strona zawietrzna		23
15	WKF, nad kratką zasłaniającą kanał, w pobliżu punktu poboru próbki powietrza do olfaktometrii niebezpośredniej		367
16	WKF, 5 metrów od kratki zasłaniającej kanał		161
17	WKF, około 10 metrów od kratki zasłaniającej kanał		96

Tabela 4.2. Wartości stężenia zapachowego uzyskanego metodą olfaktometrii niebezpośredniej we Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek” we Wrocławiu<sup>1)</sup>

Table 4.2. Values of odour concentrations assessed by delayed olfactometry in Wastewater Treatment Plant “Janówek” in Wrocław

Nr punktu receptorowego	Punkt receptorowy	Data	Stężenie zapachowe $C_{od,E}$ po 6 h, [ $ou_E/m^3$ ]	Stężenie zapachowe $C_{od,E}$ po 30 h, [ $ou_E/m^3$ ]
2	Komora wejściowa	24.04.2012	569	520
4	Budynek krat		6896	6494
7	Budynek piaskowników		2438	1722
11	Budynek stacji mechanicznego odwadniania osadu, pomieszczenie załadunku osadu	25.04.2012	419	n.b.
12	Zagęszczacz grawitacyjny		181	n.b.
15	WKF		10413	n.b.

<sup>1)</sup> n.b.- nie badano

### Załącznik nr 5.

#### Wyniki badań odorów i odorantów w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”

Tabela 5.1. Wartości stężenia zapachowego uzyskanego metodą olfaktometrii terenowej i olfaktometrii niebezpośredniej w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”

Table 5.1. Values of odour concentrations assessed by field olfactometry and delayed olfactometry in the screen room at the Wastewater Treatment Plant “Piaseczno”

L.p.	Godzina pobrania próbki	Stężenie zapachowe $C_{od,OT}$ [ou/m <sup>3</sup> ]	Stężenie zapachowe $C_{od,E}$ [ou <sub>E</sub> /m <sup>3</sup> ]
1	09:54	141	2400
2	10:04	142	2500
3	10:20	123	2100
4	10:27	142	1200
5	10:42	78	1500
6	10:55	106	940
7	11:09	91	1600
8	11:22	49	1800
9	11:34	68	1300
10	12:07	16	940
11	12:20	68	1100
12	12:35	91	1300
13	12:48	13	1100
14	13:03	16	1100
15	13:15	22	1300
16	13:27	12	1300
17	13:41	16	790
18	13:55	37	940

Tabela 5.2. Stężenia siarkowodoru i amoniaku określone metodą kolorymetryczną w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków "Piaseczno"

Table 5.2. Concentrations of hydrogen sulfide and ammonia assessed by colorimetric method in the screen room at the the Wastewater Treatment Plant “Piaseczno”

L.p.	Godzina pobrania próbki	Stężenie H <sub>2</sub> S [mg/m <sup>3</sup> ]	Stężenie NH <sub>3</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]
1	9:50-10:20	1,43	0,12
2	10:25-10:55	1,67	0,18
3	11:04-11:34	1,96	0,16
4	12:05-12:35	2,33	0,18
5	12:45-13:15	1,81	0,18
6	13:25-13:55	1,66	0,13

Tabela 5.3. Stężenia metanotiolu, etanotiolu, siarczku dimetylu określone metodą chromatograficzną w budynku sit w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”

Table 5.3. Concentrations of methanethiol, ethanethiol and dimethyl sulfide assessed by chromatography in the screen room at the the Wastewater Treatment Plant “Piaseczno”

L.p.	Godzina pobrania próbki	Stężenie metanotiolu [µg/m <sup>3</sup> ]	Stężenie etanotiolu [µg/m <sup>3</sup> ]	Stężenie siarczku dimetylu [µg/m <sup>3</sup> ]
1	9:50-10:05	-	-	10,8
	9:57	730	1	-
2	10:05-10:20	-	-	11,1
	10:12	580	1	-
3	10:25-10:40	-	-	8,4
	10:33	550	1	-
4	10:40-10:55	-	-	10,1
	10:48	520	<1	-
5	11:04-11:19	-	-	11,3
	11:12	510	<1	-
6	11:19-11:34	-	-	12,5
	11:27	600	<1	-
7	12:05-12:20	-	-	10,1
	12:12	410	1	-
8	12:20-12:35	-	-	10,0
	12:28	500	2	-
9	12:45-13:00	-	-	7,8
	12:52	400	1	-
10	13:00-13:15	-	-	6,9
	13:07	280	1	-
11	13:25-13:40	-	-	10,3
	13:33	350	1	-
12	13:40-13:55	-	-	9,4
	13:47	300	2	-

### Załącznik nr 6.

#### Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”

Tabela 6.1. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”. Data wykonania pomiarów 9 października 2009 r.  
Table 6.1. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Czajka” in Warsaw on October 9, 2009

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	7
Opis punktu pomiarowego	Nad komorą zbiorczą	Hala krat	Piaskownik	Osadnik wstępny	Na końcu osadnika wstępnego	Plac składowy osadu nr 1	Plac składowy osadu nr 2
kierunek wiatru	S, SSW	n.b.	SWW, W	NW		NW, N	
prędkość wiatru [m/s]	1,38; 2,9; 1,64	n.b.	2,08; 2,58; 2,83	2,68; 3,39 porywisty		1,62; 3,08; 2,66	
zachmurzenie	6/8	n.b.	6/8	5/8	5/8	5/8	5/8
temperatura powietrza	t <sub>s</sub> [°C]	10,8; 11; 11	13,8	8,4; 8,3; 8,2	12,8; 12,8		13,2; 12,2; 12,2
	t <sub>m</sub> [°C]	8,4; 8,6; 8,6	10,5	11,2; 11; 11	8,8; 8,8		8,8; 8,2; 8
wilgotność powietrza [%]	73	67	69; 70; 69	59		55; 58; 56	

Tabela 6.2. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”. Data wykonania pomiarów 25 listopada 2009 r.  
Table 6.2. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Czajka” in Warsaw on November 25, 2009

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Opis punktu pomiarowego	Nad komorą zbiorczą	Hala krat	Piaskownik	Biofiltr	Separator piasku	Reaktor biologiczny	Osadnik wstępny	Plac składowy osadu	Pompownia osadu recykulowanego	Tłó	Zagęszczacze osadu		
kierunek wiatru	SW	n.b.	SW, W		W	SW, S, W		SW	SW	SW	SW		
prędkość wiatru [m/s]	1,90 1,38	n.b.	1,38 1,58		1,34 1,52	1,18 1,30		1,70 1,58	1,58 1,36	0,53 0,35	1,46 1,32		
zachmurzenie	8/8	n.d.	8/8										
temperatura powietrza	t <sub>s</sub> [°C]	9,2; 9,3	n.b.	10,1; 10,1		11,2; 11,3		11,8	11,9; 11,3	11,8; 12; 12,2		10,4	10,9; 10,9
	t <sub>m</sub> [°C]	9; 9	n.b.	9,9; 9,9		10,2; 10,2		10,2	10; 9,9	10,2; 10,4; 10,4		9,8	9,8; 9,8
wilgotność powietrza [%]	95 96	n.b.	98 98		89 87,5	82 82		79 84	82 82 83		86 86	87 88	

Tabela 6.3. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”. Data wykonania pomiarów 9 marca 2010 r.

Table 6.3. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Czajka” in Warsaw on March 9, 2010

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	10	
Opis punktu pomiarowego	Nad komorą zbiorczą	Hala krat	Biofiltr	Piaskownik	Separator pisaku	Plac składowy	Zagęszczacz grawitacyjny	Reaktor biologiczny	Osadnik wstępny	Pompownia osadu recykulowanego	Tłó	
kierunek wiatru	SW, W	n.b.	SW, W	SW, W	SW, W	SW	SW, W, N	W		W	SW, W	
prędkość wiatru [m/s]	1,94; ,46	n.b.	2,35; 2,5	2,02; 2,2	1,08	1,8; 1,18	0,69; 0,83	1,46; 1,22		0,43; 0,31	0,31	
zachmurzenie	0/8	n.d.	0/8			4/8	7/8				ciemno	
temperatura powietrza	t <sub>s</sub> [°C]	-0,2; -0,1	n.b.	0; -0,1	-0,2; -0,1	-0,2; -0,1	0,4; 0,1	-0,4; -0,4	-0,5; -0,6		-0,8	-1,2
	t <sub>m</sub> [°C]	-3,4; -3,4	n.b.	-3; -2,8	-3,2; -3	-3,2; -3	-2,4; -1,4	-3,7; -3,6	-3,1; -3,1		-2,8	-3
wilgotność powietrza [%]	45; 45	n.b.	50; 50	49; 49	49; 49	49; 49	49; 49	56; 56		64	67	

Tabela 6.4. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”. Data wykonania pomiarów 23 marca 2010 r.

Table 6.4. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Czajka” in Warsaw on March 23, 2010

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Opis punktu pomiarowego	Nad komorą zbiorczą, część otwarta	Nad komorą zbiorczą, część zamknięta	Biofiltr	Piaskownik - początek	Piaskownik - koniec	Separator piasku	Osadnik wstępny	Reaktor Biologiczny	Pompownia osadu recykulowanego	Zagęszczacz grawitacyjny	Plac składowy osadu	
kierunek wiatru	SW, S		SW, S		SW, S, SE		S		SW, S, SE		SW	SW
prędkość wiatru [m/s]	2,32		1,7		2,6		3,51		2,0		1,44	1,82
temperatura powietrza	t <sub>s</sub> [°C]	9,7		10,5		12		13,2		13,8		14,6
	t <sub>m</sub> [°C]	6,4		7,3		7,5		8		8		8,6
wilgotność powietrza [%]	61,5		64		53		48		43		41,5	43

Tabela 6.5. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”. Data wykonania pomiarów 20 kwietnia 2010 r.

Table 6.5. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Czajka” in Warsaw on April 20, 2010

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Opis punktu pomiarowego	Nad komora zbiorczą	Biofiltr	Hala krat	Piaskownik – początek	Piaskownik – koniec	Separator piasku	Osadnik wstępny	Reaktor Biologiczny	Pompownia osadu recykulowanego	Zagęszczacz grawitacyjny	Plac składowy osadu
kierunek wiatru	NW, W		n.b.	NW, N, NE	W, SW		NW			W, SW	
prędkość wiatru [m/s]	1,18	0,73; 0,82	n.b.	0,61	3,89		2,85			2,64	
temperatura powietrza	$t_s$ [°C]	7,8	8	n.b.	10,2	10,9		11,8			13
	$t_m$ [°C]	2,4	2,8	n.b.	4,4	5,2		5,2			6,8
wilgotność powietrza [%]	35	37	n.b.	36	38,5		32			38	

Tabela 6.6. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”. Data wykonania pomiarów 11 maja 2010 r.

Table 6.6. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Czajka” in Warsaw on May 11, 2010

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Opis punktu pomiarowego	Nad komorą zbiorczą	50 m od komory zbiorczej	Biofiltr	50 m od biofiltra	Piaskownik początek	Piaskownik koniec	Separator piasku	Hala krat	Plac składowy osadu	Osadnik wstępny Ciąg 2	Osadnik wstępny Ciąg 1	
kierunek wiatru	NW							n.b.	NW			
prędkość wiatru [m/s]	1,36; 1,72		2,34; 2,18		1,4; 1,68		1,46; 0,88		n.b.	1,68; 0,56	1,0; 1,6	
zachmurzenie	8/8							n.b.	Od 7/8 do 2/8	1/8		
temperatura powietrza	$t_s$ [°C]	12,8; 12,8		12,4; 12,2		12,8; 12,7		14; 13,6; 13,6		n.b.	15,2; 15,6	18; 17,9
	$t_m$ [°C]	12; 12,1		11,6; 11,6		11,9; 11,8		12,8; 12,6; 12,4		n.b.	13,2; 13,2	13,6; 13,8
wilgotność powietrza [%]	92		92		92		87,5		n.b.	78,5	63	



Tabela 6.7. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”. Data wykonania pomiarów 15 czerwca 2010 r.

Table 6.7. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Czajka” in Warsaw on June 15, 2010

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Opis punktu pomiarowego	Nad komorą zbiorczą	Hala krat	50 m od komory zbiorczej	50 m od biofiltra	Biofiltr	Piaskownik	Separator piasku	Plac składowy osadu	Zagęszczacz grawitacyjny	Osadnik wstępny	Pompownia osadu recykulowanego	
kierunek wiatru	W	n.b.	W	W	W	W	W, NW	NW, W	W	W, SW	SW	
prędkość wiatru [m/s]	3,96; 2,66; 2,62	n.b.	3,96; 2,66; 2,62	2,28; 2,65		3,71; 1,92; 1,76		2,56; 2,02	1,68; 1,47	0,88; 0,6	0,37; 0,31; 1,98	
zachmurzenie	3/8		3/8		6/8	3/8		6/8	2/8			
temperatura powietrza	t <sub>s</sub> [°C]	15,2; 15,6; 16	n.b.	15,2; 15,6; 16	16,4; 16,4		18,2; 18,2	19,1; 19,2	18,0; 17,8; 17,2	21,8; 22; 22,6	21; 21,2	20,4; 21
	t <sub>m</sub> [°C]	11,6; 12,2; 12,6	n.b.	11,6; 12,2; 12,6	11,8; 11,4		13,0; 12,8	12,2; 12,4	14,2; 13,6; 13,2	14,2; 14; 14,6	13,4; 13,6	13,6; 14,3
wilgotność powietrza [%]	65; 67; 68	n.b.	65; 67; 68	58; 50		55; 54	58,5; 44	63; 63; 64	43; 40; 41	42; 41	46; 47,5	

Tabela 6.8. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”. Data wykonania pomiarów 20 lipca 2010 r.

Table 6.8. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Czajka” in Warsaw on July 20, 2010

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12
Opis punktu pomiarowego	Nad komorą zbiorczą	Okolo 25 m od komory zbiorczej	Biofiltr	Piaskownik	Separator piasku	Hala krat	Plac składowy osadu nr 1	Plac składowy osadu nr 2	Plac składowy osadu nr 3	Zagęszczacz grawitacyjny	Tłó
kierunek wiatru	NW, N		N, NE			n.b.	N, NE				
prędkość wiatru [m/s]	0,34		1,01	1,8; 1,68		n.b.					
zachmurzenie	3/8					n.b.	3/8				
temperatura powietrza	23,4; 23,4		25,2; 25,4	26,6; 26,8; 26,6		n.b.	26,4; 26,6		27,8		27,6
	18,6; 18,8		19; 19	19,4; 19,6; 19,2		n.b.	19,4; 19,6		20		20
wilgotność powietrza [%]	63; 65		56; 54	51; 51; 50		n.b.	52; 52		49		50

Tabela 6.9. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Czajka”. Data wykonania pomiarów 07-08 września 2010 r. Punkty 1-5 w dniu 7 września, punkty 6-12 w dniu 8 września 2010 r.

Table 6.9. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Czajka” in Warsaw on September 7-8, 2010

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Opis punktu pomiarowego	Nad komorą zbiorczą	Biofiltr	Piaskownik	20 m od biofiltra	Hala krat	Bioreaktor (strefa beztlenowa)	Bioreaktor (strefa tlenowa)	Plac składowy osadu	Osadnik wstępny	Tłó	Zagęszczacz grawitacyjny	Separator piasku	
kierunek wiatru [°]	N, NE					N		NE, N	NE, E	E, SE	NE, N	E, SE	
prędkość wiatru [m/s]	1,0; 0,9		2,32; 1,31 (porywisty)		n.b.	2,99; 2,34		1,06; 1,28	1,50; 1,80	1,35; 1,51	1,06; 1,28	1,35; 1,51	
zachmurzenie	3/8		6/8	8/8	n.b.	3/8							
temperatura powietrza	t <sub>s</sub> [°C]	10,2; 10,4		10,4; 10,4		n.b.	15,6; 15,7		19; 19,2; 18,6	17,2; 17,8; 17,6	19,8; 19,8	19; 19,2; 18,6	19,8; 19,8
	t <sub>m</sub> [°C]	9,9; 9,8		10; 10		n.b.	12,6; 12,6		13,8; 14; 13,6	13; 13,1; 13,2	14,2; 14	13,8; 14; 13,6	14,2; 14
wilgotność powietrza [%]	96,5; 93		95; 95		n.b.	71; 70		48; 56; 57	62; 58,5; 61	54; 53	48; 56; 57	54; 53	

**Załącznik nr 7.**

**Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym**

Tabela 7.1. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym. Data wykonania pomiarów 14 czerwca 2011 r.  
Table 7.1. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant in Rybienio Stare on June 14, 2011

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6
Opis punktu pomiarowego	Pomieszczenie płuczki i piasku	Pomieszczenie zagęszczania osadu	Pomieszczenie sitopiaskownika	Przy komorze defosfatacji	Przy komorze stabilizacji tlenowej	Zadaszony plac magazynowy osadu
kierunek wiatru [°]	n.b.	W	W	W	W	W
prędkość wiatru [m/s]	n.b.	1,2; 1,48 (na dole)	0,98; 0,32	4,73	4,41	2,79
zachmurzenie	2/8					
temperatura powietrza	t <sub>s</sub> [°C]	18,4	24,2 (zewnątrz)	22	25,6	
	t <sub>m</sub> [°C]	14,4	16,4 (zewnątrz)	16,2	16,4	
wilgotność powietrza [%]	65	45	55	38		

Tabela 7.2. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym. Data wykonania pomiarów 29 czerwca 2011 r.  
Table 7.2. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant in Rybienio Stare on June 29, 2011

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6
Opis punktu pomiarowego	Przy komorze defosfatacji	Przy komorze stabilizacji tlenowej	Pomieszczenie sitopiaskownika	Pomieszczenie płuczki i piasku	Pomieszczenie zagęszczania osadu	Wiata z osadem
kierunek wiatru [°]	NW	NW	n.b.	n.b.	n.b.	od E przez N do W
prędkość wiatru [m/s]	2,24	2,24	n.b.	n.b.	n.b.	1,78
zachmurzenie	8/8	8/8	n.b.	n.b.	n.b.	8/8
temperatura powietrza	t <sub>s</sub> [°C]	23,4	23,4	21,8	21	22,4
	t <sub>m</sub> [°C]	19,2	19,2	18,4	18,4	19,4
wilgotność powietrza [%]	68	68	72	78	76	59

Tabela 7.3. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków w Rybieniu Starym. Data wykonania pomiarów 12 lipca 2011 r.  
 Table 7.3. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant in Rybienko Stare on July 12, 2011

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	
Opis punktu pomiarowego	Przy komorze denitryfikacji (komora niedotleniona)	Przy komorze stabilizacji tlenowej	Pomieszczenie sitopiaskownika	Pomieszczenie płuczki i piasku	Pomieszczenie zagęszczania osadu	Przy kratkach	
kierunek wiatru [°]	W, NW	W, NW	n.b.	n.b.	n.b.	W, NW	
prędkość wiatru [m/s]	1,86	1,94	n.b.	n.b.	n.b.	3,81, 2,77	
zachmurzenie	8/8	8/8	n.b.	n.b.	n.b.	3/8	
temperatura powietrza	t <sub>s</sub> [°C]	19,4	19,4	21,4	20	19,8	20,8
	t <sub>m</sub> [°C]	15,6	15,4	15,8	16,4	16,4	15,2
wilgotność powietrza [%]	67	66	56	70	69	55	

### Załącznik nr 8.

#### Wyniki pomiarów meteorologicznych z Oczyszczalni Ścieków w Mińsku Mazowieckim

Tabela 8.1. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków w Mińsku Mazowieckim. Data wykonania pomiarów 15 czerwca 2011 r.

Table 8.1. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant in Mińsk Mazowiecki on June 15, 2011

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6
Opis punktu pomiarowego	Fermenter	Zagęszczacz z osadu	Nad komorą zbiorczą	Piaskownik z napowietrzaniem i tłuszczownikiem	Pomieszczenie krat	Budynek odwadniania i higienizacji osadu
kierunek wiatru [°]	W	W	n.b.	W	n.b.	n.b.
prędkość wiatru [m/s]	2,74 1,39 1,14	1,60	n.b.	1,24 1,58 1,4	n.b.	n.b.
zachmurzenie	8/8	8/8	n.b.	8/8	n.b.	n.b.
temperatura powietrza	$t_s$ [°C]	20,4		21,2	n.b.	22,6 (wewnątrz)
	$t_m$ [°C]	14,6		15	n.b.	16 (wewnątrz)
wilgotność powietrza [%]	53	53		59	n.b.	50

Tabela 8.2. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków w Mińsku Mazowieckim. Data wykonania pomiarów 13 lipca 2011 r.

Table 8.2. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant in Mińsk Mazowiecki on July 13, 2011

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	
Opis punktu pomiarowego	Fermenter	Zagęszczacz osadu	Piaskownik z napowietrzaniem i tłuszczownikiem	Pomieszczenie krat	Piaskownik	Budynek odwadniania i higienizacji osadu	
kierunek wiatru [°]	SE	SE	SE	SE	SE	SE	
prędkość wiatru [m/s]	1,98	1,4	1,20	1,28	1,44	0,98	
zachmurzenie	3/8						
temperatura powietrza	$t_s$ [°C]	22,2	22	21,8	24,2	24	24,8 (23,6 – zewnątrz)
	$t_m$ [°C]	15,5	15,4	15,4	17,8	17,4	18,6 (17,4 – zewnątrz)
wilgotność powietrza [%]	49	49	51	53	52	55	

### Załącznik nr 9.

#### Wyniki pomiarów meteorologicznych we wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek”

Tabela 9.1. Wyniki pomiarów meteorologicznych we wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek”. Data wykonania pomiarów 24 czerwca 2012 r.

Table 9.1. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Janówek” in Wrocław on June 24, 2012

Nr punktu pomiarowego		1	2	3	4
Opis punktu pomiarowego		Komora wejściowa	Budynek hali krat	Budynek piaskownikó w	Na rogu budynku pompowni
kierunek wiatru [°]		SSE-SSW	n.b.	n.b.	S
prędkość wiatru [m/s]		1,14	n.b.	n.b.	3,36
zachmurzenie		2/8	n.b.	n.b.	2/8
temperatura	t <sub>s</sub> [°C]	14,4	17	15	15,6
powietrza	t <sub>m</sub> [°C]	9,8	11,2	10	10
wilgotność powietrza [%]		55	49	52	48

Tabela 9.2. Wyniki pomiarów meteorologicznych we wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków „Janówek”. Data wykonania pomiarów 25 czerwca 2012 r.

Table 9.2. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Janówek” in Wrocław on June 25, 2012

Nr punktu pomiarowego		1	2	3
Opis punktu pomiarowego		Budynek stacji mechanicznego odwadniania osadu	Zagęszczacz grawitacyjny	Wydzielone komory fermentacyjne
kierunek wiatru [°]		n.b.	N-NE	E
prędkość wiatru [m/s]		n.b.	1,36	0,98
zachmurzenie		n.b.	8/8	8/8
temperatura	t <sub>s</sub> [°C]	10,8	11,6	12,2
powietrza	t <sub>m</sub> [°C]	8,6	8,8	8,4
wilgotność powietrza [%]		75	69	60

**Załącznik nr 10.****Wyniki pomiarów meteorologicznych  
w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”**

Tabela 10.1. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”. Data wykonania pomiarów 11 czerwca 2013 r.

Table 10.1. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Piaseczno” on June 11, 2013

Godzina wykonania pomiarów		9:00	9:30	9:55	10:25	10:45
kierunek wiatru [°]		NNE				
prędkość wiatru [m/s]		1,1	1,24	0,95	1,02	0,99
zachmurzenie		0/8				
temperatura powietrza	t <sub>s</sub> [°C]	15,6	15,8	16,0	16,4	17
	t <sub>m</sub> [°C]	13,0	13,2	13,4	13,6	13,8
wilgotność powietrza [%]		75	75	75	74	70

Tabela 10.2. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”. Data wykonania pomiarów 2 lipca 2013 r.

Table 10.2. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Piaseczno” on July 2, 2013

Godzina wykonania pomiarów		9:00	9:30	9:55	10:35	11:00
kierunek wiatru [°]		SSW	SSW	S	S	SSE
prędkość wiatru [m/s]		1,1	2,02	1,03	1,25	0,65
zachmurzenie		0/8				
temperatura powietrza	t <sub>s</sub> [°C]	20,2	20,8	21,4	22,2	22,4
	t <sub>m</sub> [°C]	15	15,6	15,8	16	16
wilgotność powietrza [%]		57	58	56	53	51

Tabela 10.3. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”. Data wykonania pomiarów 3 lipca 2013 r.

Table 10.3. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Piaseczno” on July 3, 2013

Godzina wykonania pomiarów		8:25	8:57	9:23	9:38	10:17
kierunek wiatru [°]		SSW				SSE
prędkość wiatru [m/s]		1,26	1,04	0,97	1,15	1,23
zachmurzenie		0/8				
temperatura powietrza	t <sub>s</sub> [°C]	21,4	21,8	22,2	23	23,4
	t <sub>m</sub> [°C]	16	16,4	16,4	16,4	16,6
wilgotność powietrza [%]		57	58	55	51	50

Tabela 10.4. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”. Data wykonania pomiarów 4 lipca 2013 r.

Table 10.4. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Piaseczno” on July 4, 2013

Godzina wykonania pomiarów		8:25	9:02	9:27	9:53	10:07
kierunek wiatru [°]		E				
prędkość wiatru [m/s]		0,9	1,11	1,23	1,36	1,05
zachmurzenie		0/8				
temperatura powietrza	t <sub>s</sub> [°C]	22,8	23,6	24,4	25,6	26,2
	t <sub>m</sub> [°C]	16,8	17	17,8	18,2	19
wilgotność powietrza [%]		55	52	52	51	51

Tabela 10.5. Wyniki pomiarów meteorologicznych w Oczyszczalni Ścieków „Piaseczno”. Data wykonania pomiarów 5 lipca 2013 r.

Table 10.5. Results of measurements of meteorological in Wastewater Treatment Plant “Piaseczno” on July 5, 2013

Godzina wykonania pomiarów		8:25	8:58	9:26	9:57	10:17
kierunek wiatru [°]		S				
prędkość wiatru [m/s]		1,21	1,34	0,97	1,42	1,32
zachmurzenie		0/8				
temperatura powietrza	t <sub>s</sub> [°C]	22,8	23,8	24,4	25,4	26,2
	t <sub>m</sub> [°C]	16,8	17,2	17,8	18	18,6
wilgotność powietrza [%]		55	52	52	48	48