



**OLFAKTOMETRYCZNA OCENA SKUTECZNOŚCI DEZODORYZACJI
GAZÓW ODLOTOWYCH W BIOFILTRZE OTWARTYM ORAZ
OSZACOWANIE EMISJI ZAPACHOWEJ Z PLACU DOJRZEWANIA KOMPOSTU
W ZAKŁADZIE UTYLIZACYJNYM PRZY UL. JABŁONIOWEJ 55 W GDAŃSKU**

Praca wykonana w ramach umowy numer 1184/2014 z dnia 04.09.2014 roku

ZLECENIODAWCA: Zakład Utylizacyjny Sp. z o.o., 80-180 Gdańsk, ul. Jabłoniowa 55

WYKONAWCA: Zespół Pracowni Zapachowej Jakości Powietrza

Kierownik zespołu pomiarowego: mgr inż. Małgorzata Friedrich

Zespół olfaktometryczny:

Antoniewicz Aleksandra
Bosak Dagmara
Jóźwiak Łukasz
Kaczmarek Agnieszka
Mozelewska Karolina
Pilczuk Szymon
Szczykowska Natalia
Wiśniewska Magdalena

Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie
Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej
Instytut Inżynierii Chemicznej
i Procesów Ochrony Środowiska
71-013 Szczecin, ul. Piastów 42
tel.: 091 449 45 21, infolinia: 091 449 46 42

Opracowanie: mgr inż. Małgorzata Friedrich

Konsultacja: prof. dr hab. inż. Joanna Kośmider

M. Friedrich
J. Kośmider

DYREKTOR INSTYTUTU

J. Nastaj
prof. dr hab. inż. Józef Nastaj

ZAŁĄCZNIK

ZU_Gdańsk_09.2014 – arkusz Microsoft Excel zawierający zestawienie wyników źródłowych

Szczecin, listopad 2014 r.



REFERENCJE WYKONAWCY

Pracownia Zapachowej Jakości Powietrza jest jednostką naukowo-dydaktyczną od ponad 30 lat zajmującą się problemem uciążliwości zapachowej. Jej dotychczasowy dorobek to: ok. 100 prac dyplomowych, habilitacja i tytuł profesora (prof. dr hab. inż. Joanny Kośmider), 3 doktoraty, liczne publikacje naukowe, ekspertyzy wykonywane na zamówienie instytucji państwowych lub przedsiębiorców.

Zespół Pracowni ma duże doświadczenie w wykonywaniu badań olfaktometrycznych w warunkach rzeczywistych. Dotychczas obiektami badań były m.in. fermy: kur, norek, trzody chlewnej; zakłady mięsne; wytwórnie: mączki rybnej, nawozów fosforowych, karmy dla zwierząt, produktów na bazie ziemniaka; obiekty gospodarki komunalnej: oczyszczalnie i przepompownie ścieków, zakłady utylizacyjne, składowiska odpadów. Wrażliwość węchowa członków zespołu oceniającego zapach jest regularnie kontrolowana na tle normy europejskiej PN-EN 13725 „Jakość powietrza – oznaczanie stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej”.

Od 2011 roku, raz do roku Pracownia poddaje się międzynarodowej ocenie w badaniach biegłości laboratoriów olfaktometrycznych *Interlaboratory Comparison of Olfactometry*. W roku 2014 uzyskała międzynarodowy certyfikat jakości potwierdzający spełnienie kryteriów normy PN-EN 13725 w zakresie ogólnej jakości pomiaru sensorycznego stężenia zapachowego.



Kel



1. CEL I ZAKRES PRAC

Celem pracy było oszacowanie:

- skuteczności biofiltra otwartego o wymiarach 61,82 m x 15,4 m, podzielonego na sześć identycznych komór wypełnionych materiałem filtrującym (rys. 1a), do których trzema identycznymi kanałami (rys. 1b) jest doprowadzane powietrze wentylacyjne z budynku kompostowni (ostatni etap oczyszczania),

oraz

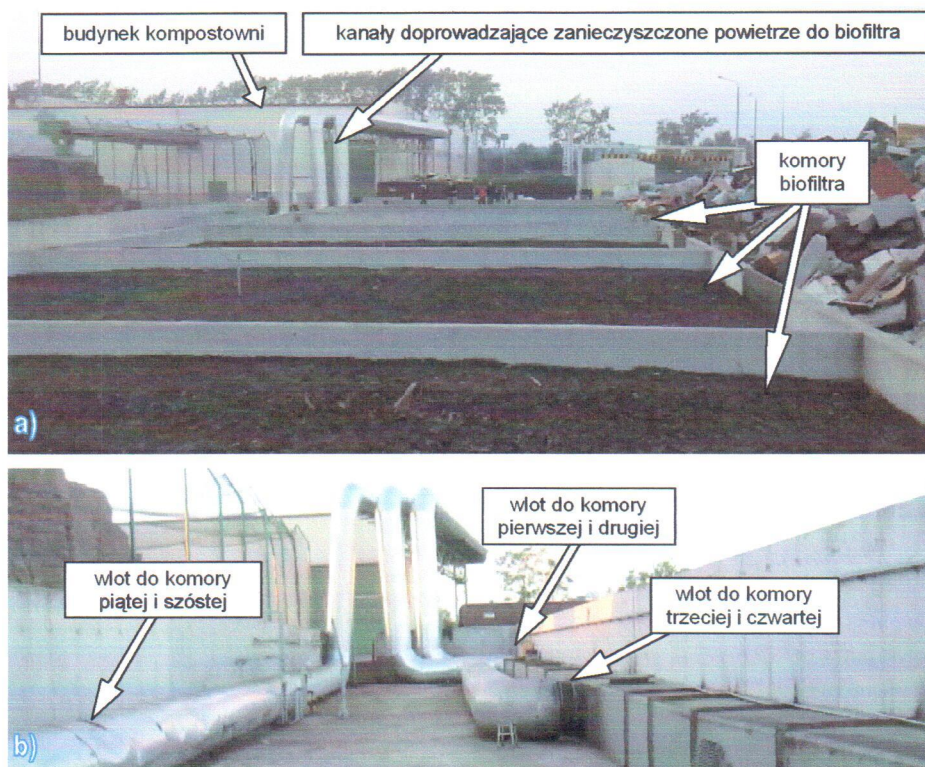
- emisji zapachowej z placu dojrzwania kompostu (rys. 2), na którym znajdują się dwa rodzaje kompostu: frakcja organiczna wysortowana ze zmieszanych odpadów komunalnych oraz odpady mokre (łącznie 20 przyz o długości ok. 100 m, szerokości podstawy około 5 m oraz wysokości ok. 2 m).

Podstawę ww. oszacowań stanowiły pomiary olfaktometryczne przeprowadzone przez Zespół Pracowni Zapachowej Jakości Powietrza w Zakładzie Utylizacyjnym w Gdańsku w terminie od 20. do 27. września br.

Zakres prac obejmował:

- pomiary rozpoznawcze, przeprowadzone w celu ustalenia właściwej procedury pobierania próbek do analizy olfaktometrycznej, w tym liczby próbek i punktów ich pobierania;
- pobranie 73 próbek zanieczyszczonego powietrza, w tym:
 - 37 próbek w celu oznaczenia skuteczności biofiltra (10 próbek na wlocie oraz 27 na wylocie)
 - 36 próbek w celu oszacowania emisji zapachowej z placu dojrzwania kompostu (21 próbek powietrza emitowanego z przyz utworzonych z frakcji organicznej wysortowanej ze zmieszanych odpadów komunalnych oraz 15 z przyz utworzonych z odpadów mokrych);
- oznaczenie stężenia zapachowego c_{od} [ou_E/m^3] w pobranych próbkach (po dwa oznaczenia dla każdej próbki – łącznie 146 pomiarów);
- pomiary parametrów gazu w punkcie pobierania próbek (temperatura, wilgotność, ciśnienie absolutne, prędkość przepływu), niezbędne do obliczenia strumienia zapachowego;
- opracowanie wyników pomiarów, w tym m.in. oszacowanie:
 - obciążenia biofiltra $[q_{od,wlot} [ou_E/s]$,
 - wskaźnika emisji zapachowej $Fq_{od} [ou_E/(s \cdot m^2)]$ odniesionego do $1 m^2$ powierzchni złoża biofiltra,
 - skuteczności dezodoryzacji w biofiltrze $\eta_{od} [\%]$,
 - wskaźników emisji zapachowej $Fq_{od} [ou_E/(s \cdot m^2)]$ odniesionych do $1 m^2$ powierzchni przyz kompostu określonego pochodzenia i o określonym etapie dojrzwania,
 - emisji zapachowej z placu kompostowania przy założeniu, że jedynym źródłem odorów jest 20 przyz (nie uwzględniono chwilowej emisji zapachowej z operacji jednostkowych związanych z przerzucaniem/układaniem przyz, której oznaczenie wymaga odrębnych badań).

Niniejszy raport zawiera opis metodyki pomiarów i obliczeń, informację o zespole pomiarowym na tle normy PN-EN 13725, wyniki pomiarów i obliczeń oraz wnioski.



Rysunek 1. Biofiltr

- a) komory biofiltra na tle budynku kompostowni
b) wlot zanieczyszczonego powietrza do biofiltra*



Rysunek 2. Plac dojrzwania kompostu

* Powietrze z budynku kompostowni jest odciągane do kolektora zbiorczego, z którego zostaje równomiernie rozprowadzone do trzech płuczek wodnych połączonych równolegle. Oczyszczone w płuczkę powietrze zostaje skierowane do jednej z trzech części biofiltra (dwóch sąsiadujących ze sobą komór).

2. METODYKA

2.1 OSZACOWANIE SKUTECZNOŚCI DEZODORYZACJI W BIOFILTRZE

Skuteczność biofiltra oceniono poprzez porównanie wielkości strumienia zapachowego q_{od} [ou_E/s] doprowadzanego rurociągiem do dwóch pierwszych komór, i strumienia zapachowego emitowanego z całej powierzchni tych komór (założono, że wytypowana do badań jedna z trzech części biofiltra jest reprezentatywna dla pozostałych).

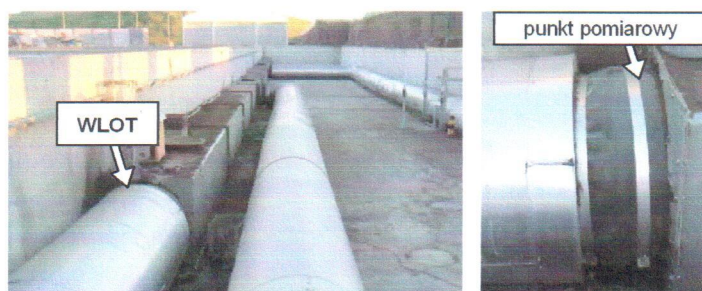
Strumień zapachowy q_{od} [ou_E/s] na wlocie do biofiltra oszacowano zgodnie z równaniem 1, na podstawie pomiarów przeprowadzonych w punkcie pokazanym na rysunku 3.

$$q_{od} = \dot{V} \cdot c_{od} \quad (1)$$

gdzie

$\dot{V}$ [m³/s] – natężenie przepływu zanieczyszczonego powietrza w warunkach standardowych dla olfaktometrii

c_{od} [ou_E/m³] – stężenie zapachowe w strumieniu zanieczyszczonego powietrza.



Rysunek 3. Lokalizacja punktu pomiarowego na wlocie do biofiltra

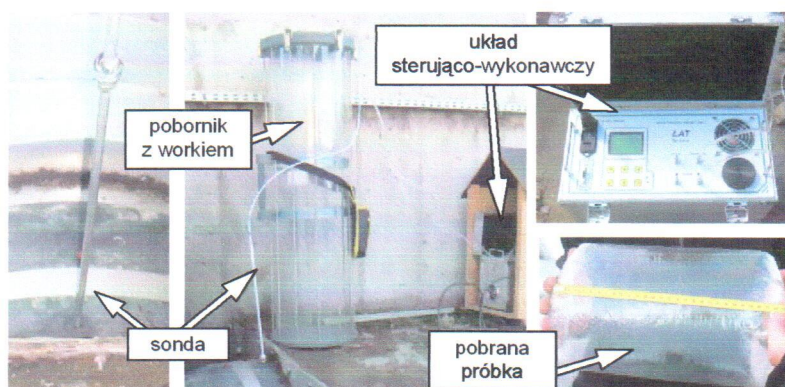
Natężenie przepływu oszacowano na podstawie pomiaru parametrów termodynamicznych zanieczyszczonego powietrza, wykonanych z użyciem miernika TESTO 400 oraz prostej rurki Pitota z termoparą (nr katalogowy: 0635 2240) sprzężonej z sondą różnicy ciśnień (nr katalogowy: 0638 1447), sondy ciśnienia absolutnego (nr katalogowy: 0638 1847) i sondy wilgotności (nr katalogowy: 0636 9740), pokazanych na rysunku 4.



Rysunek 4. Pomiar parametrów termodynamicznych zanieczyszczonego gazu na wlocie do biofiltra

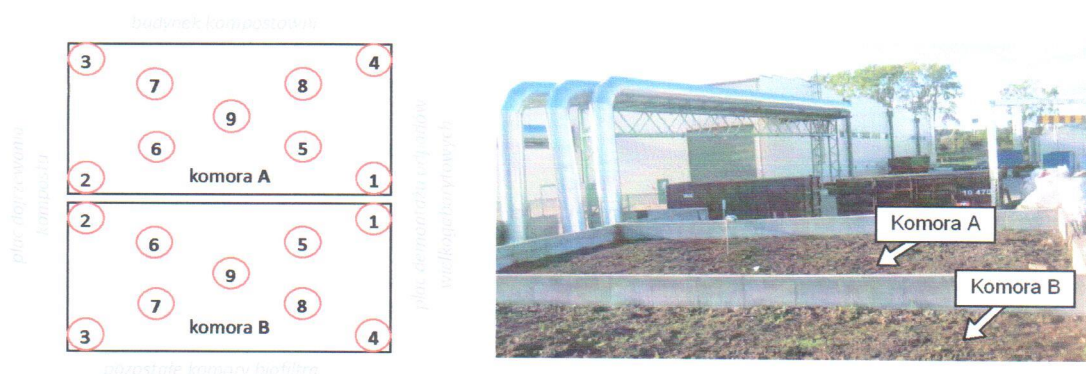
Wartość c_{od} [ou_E/m³] oszacowano na podstawie analizy olfaktometrycznej dziesięciu próbek zanieczyszczonego powietrza, pobranych o różnych porach w ciągu dwóch kolejnych dni.

Próbki do analizy olfaktometrycznej (ok. $8-10 \text{ dm}^3$ zanieczyszczonego powietrza) pobierano metodą „płuca” bez wstępnego rozcieńczania. Stosowano układ poboru próbek UPP-2 LAT, przedstawiony na rysunku 5. W poborniku umieszczano worek z folii Nalophan, który łącono z sondą w postaci około dwumetrowego przewodu teflonowego o średnicy wewnętrznej 4 mm. Sondę umieszczano w osi rurociągu z użyciem sztywnej stalowej rurki. Za pomocą układu sterująco-wykonawczego w poborniku wytwarzano podciśnienie, które powodowało zassanie zanieczyszczonego powietrza z rurociągu – poprzez sondę – do worka. Z uwagi na warunki panujące w kanale ($\sim 100\%$ wilgotności, strumień wody na dnie rurociągu) i związane z nimi wysokie prawdopodobieństwo pobrania próbki gazu z kropelkami cieczy, pominięto procedurę kondycjonowania folii, ograniczono czas pobierania próbki do 4 minut, a pobraną próbkę bezzwłocznie przewożono do Mobilnego Laboratorium (zainstalowanego około 1 km od Zakładu) gdzie natychmiast ją wstępnie statycznie rozcieńczano. Pomiar $c_{od} [\text{ou}/\text{m}^3]$ przeprowadzano zgodnie z PN-EN 13725, w sposób opisany w punkcie 2.3.



Rysunek 5. Pobieranie próbki na wlocie do biofiltra

Emisję zapachową na wylocie z biofiltra (z dwóch sąsiednich komór o powierzchni złoża $10 \text{ m} \times 15 \text{ m}$ każda) oszacowano za pomocą wskaźnika emisji $Fq_{od} [\text{ou}_E/\text{s}]$ odniesionego do 1 m^2 powierzchni złoża. Wskaźnik wyznaczono na podstawie analizy olfaktometrycznej 27 gazowych próbek pobranych z powierzchni złoża w dziewięciu punktach komory A (po dwie próbki w każdym punkcie) oraz dziewięciu punktach komory B (po jednej próbce w każdym punkcie). Rozmieszczenie punktów pomiarowych (oraz przypisane im symbole, wykorzystane w dalszej części raportu) przedstawiono na rysunku 6.



Rysunek 6. Lokalizacja punktów pomiarowych na wylocie z biofiltra

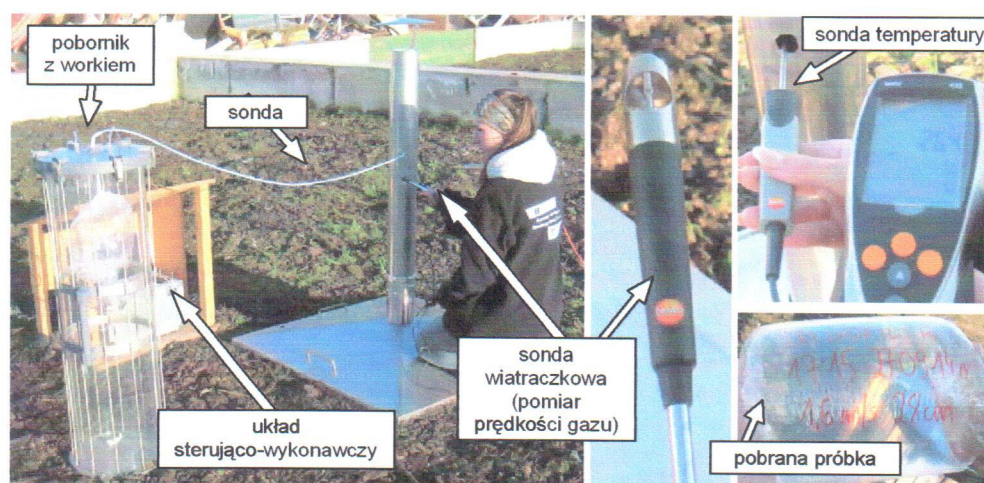
W wytypowanym punkcie komory 1 m² powierzchni złoża przykrywano za pomocą specjalnej osłony ze stali nierdzewnej (rys. 7), tak aby powietrze emitowane z przykrytej powierzchni uchodziło do atmosfery w sposób zorganizowany (metrowym kominem o średnicy wewnętrznej równej 110 mm). Po przeniesieniu osłony do nowego punktu, pobieranie próbki rozpoczynano nie wcześniej niż po 5 minutach, gwarantujących wielokrotną wymianę powietrza pod osłoną.

Próbki emitowanego powietrza (około 10 ÷ 14 dm³ gazu) pobierano metodą „płuca” bez wstępnego rozcieńczania (rys. 8), analogicznie jak opisano powyżej. Dla wszystkich punktów stosowano tę samą sondę, którą przed kolejnym użyciem przepłukiwano czystym powietrzem. Sondę umieszczano w osi przekroju komina, w połowie jego wysokości (na wysokości około 70 cm od powierzchni materiału filtrującego). Każdą próbkę pobierano do nowego worka przygotowanego z folii Nalophan i teflonowej rurki z zatyczką (pominięto procedurę kondycjonowania folii). Czas pobierania jednej próbki wynosił ok. 7-9 minut.

Podczas pobierania próbki w sposób ciągły mierzono prędkość emitowanego gazu (stosowano miernik TESTO 435 i sondę wiatraczkową o nr kat. 0635 9535/102). Za każdym razem przed lub po pobraniu próbki kontrolowano temperaturę gazu (miernik TESTO 435 z sondą o nr kat. 06131712). Ciśnienie absolutne i wilgotność gazu kontrolowano w losowych punktach i czasie.*



Rysunek 7. Osłona do pobierania próbek z aktywnych źródeł powierzchniowych



Rysunek 8. Pobieranie próbek powietrza oczyszczonego w biofiltrze

* Miernik, którym mierzono wilgotność i ciśnienie, musiał zostać wyłączony z użycia na dłuższy czas (konsekwencja ulewy).



Analizę olfaktometryczną przeprowadzano zgodnie z PN-EN 13725, w sposób opisany w punkcie 2.3.

Strumień zapachowy obliczano zgodnie z równaniem 1. Natężenie przepływu wyznaczano jako iloczyn średniej prędkości powietrza w kominie (wynik anemometrycznego pomiaru) i powierzchni przekroju komina. Za wskaźnik emisji zapachowej przyjęto średnią z oszacowanych 27 wielkości strumienia zapachowego q_{od} [ou_E/s].

2.2 OSZACOWANIE EMISJI ZAPACHOWEJ Z PLACU DOJRZEWANIA KOMPOSTU

Emisję zapachową z placu dojrzwania kompostu oszacowano z użyciem wskaźnika Fq_{od} [ou_E/s] odniesionego do 1 m² powierzchni przyzmy. Wartość Fq_{od} [ou_E/s] wyznaczono na podstawie analizy olfaktometrycznej próbek pobranych z sześciu różnych przyzm, wybranych wspólnie z Przedstawicielem Zleceniodawcy, scharakteryzowanych w tabeli 1.

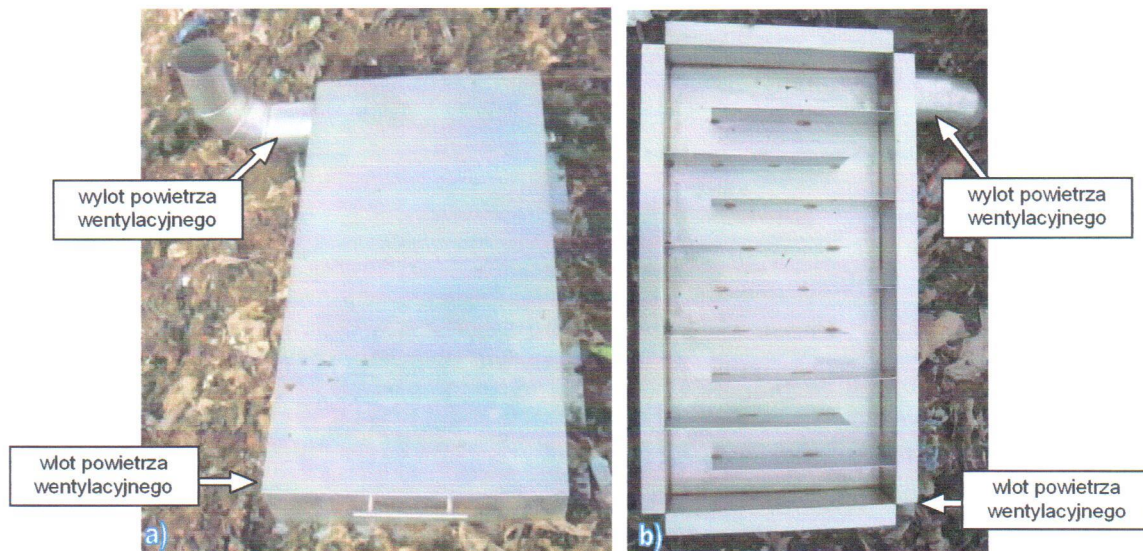
Tabela 1. Charakterystyka przyzm objętych pomiarami (dane uzyskane od Zleceniodawcy)

PRYZMA*	DATA UŁOŻENIA	NUMER PRYZMY	MIESZANKA KOMPOSTOWA
A	13-22.09.2014	3	frakcja organiczna wysortowana ze zmieszanych odpadów komunalnych
B	18-22.07.2014	8	
C	07-21.08.2014	13	
D	13-16.06.2014	18	odpady mokre
E	20.08.2014	21	
F	od 15.09.2014	20	

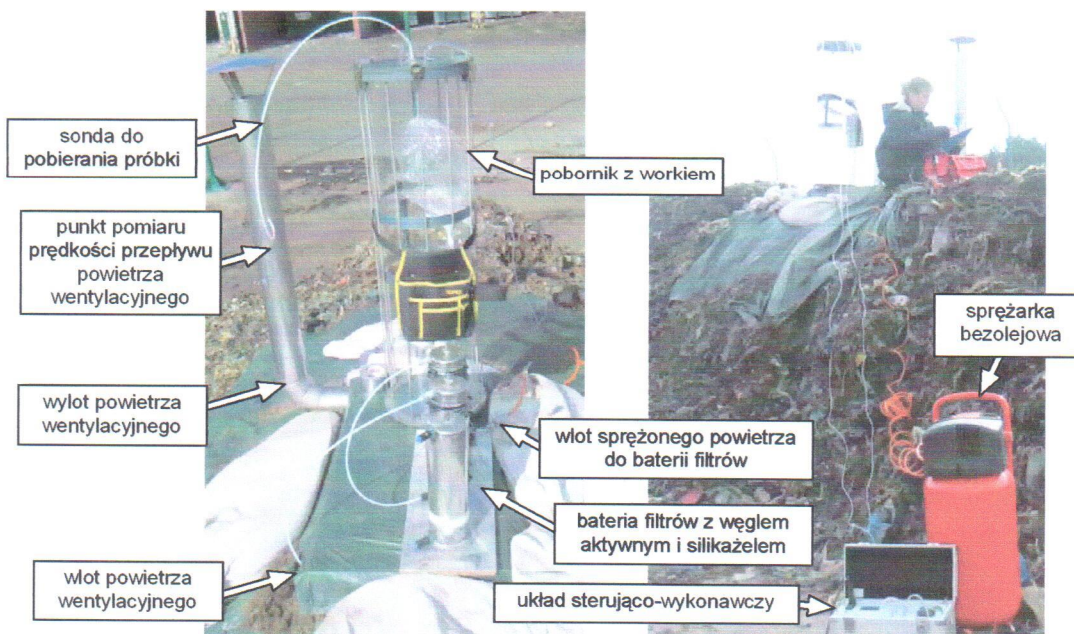
*oznaczenie przyzm stosowane w dalszej części raportu

Z jednej przyzmy, w większości przypadków, pobierano sześć próbek: trzy przed przerzuceniem oraz trzy bezpośrednio po zakończeniu procedury przerzucania przyzmy standardowo stosowanej w Zakładzie. Wyjątek stanowiły przyzmy A i F. Dla przyzmy A pobrano dodatkowe trzy próbki przed przerzucaniem (łącznie 6 próbek przed przerzuceniem i 3 po przerzuceniu) w celu porównania wyników uzyskanych dla tej samej przyzmy w dwóch kolejnych dniach. W przypadku przyzmy F nie przeprowadzono obserwacji po przerzuceniu (pryzma F była dopiero układana, więc jej przerzucanie w najbliższym czasie nie było zamierzone).

Próbki do analizy olfaktometrycznej pobierano o różnych porach dnia od 21 do 25 września br. Wybrany fragment mieszanki kompostowej, uznany za reprezentatywny dla całej przyzmy (początek przyzmy od strony budynku kompostowni), przykrywano specjalną osłoną ze stali nierdzewnej o wymiarach 1 m x 0,5 m (rys. 9). Powierzchnię przyzmy graniczącą z osłoną uszczelniano plandeką i workami z piaskiem. Następnie, powierzchnię przykrytą osłoną wentylowano sprężonym powietrzem atmosferycznym, które przed wprowadzeniem pod osłonę osuszano i oczyszczano w szeregowo połączonych filtrach wypełnionych silikażelem i węglem aktywnym (rys. 10). Pobieranie próbek zanieczyszczonego gazu z tak zorganizowanego źródła emisji rozpoczynano dopiero po 15 minutach przepłukiwania przykrytej powierzchni. Próbki (około 9 ÷ 12 dm³ zanieczyszczonego powietrza) pobierano metodą „płuca” bez wstępnego rozcieńczenia, analogicznie jak opisano powyżej. Dla każdego punktu pomiarowego (pryzmy) stosowano odrębną sondę, którą przed kolejnym użyciem przepłukiwano czystym powietrzem. Każdą próbkę pobierano do nowego worka z folii Nalophan. Worki, przed pobraniem próbki, przez 5 minut kondycjonowano w atmosferze badanego gazu.

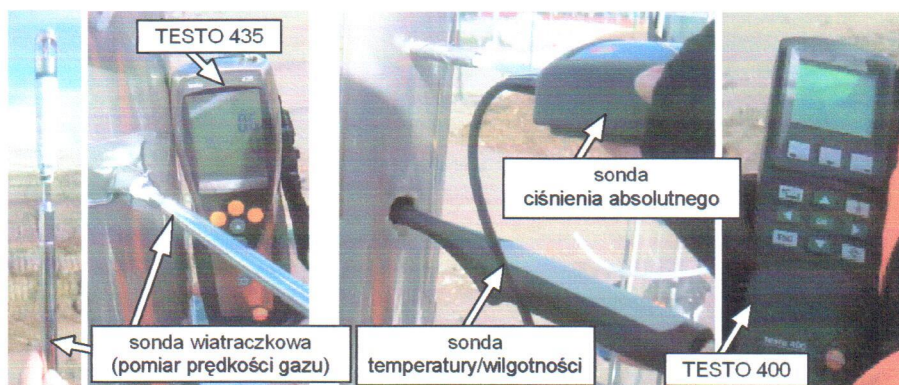


Rysunek 9. Ostona do pobierania próbek z pasywnych źródeł powierzchniowych
a) ostona przykrywająca wybrany fragment powierzchni źródła b) widok wnętrza ostony



Rysunek 10. Pobieranie próbek powietrza z nad powierzchni przyrmy

Podczas pobierania próbki w sposób ciągły mierzono prędkość emitowanego gazu (stosowano miernik TESTO 435 i sondę wiatraczkową o nr kat. 0635 9535/102). Za każdym razem przed lub po pobraniu próbki kontrolowano temperaturę gazu (miernik TESTO 435 z sondą o nr kat. 06131712; rys. 11) oraz wilgotność i ciśnienie absolutne (miernik TESTO 400 z sondą wilgotności/temperatury o nr kat. 0636 9740 oraz sondą ciśnienia absolutnego o nr kat. 0638 1847; rys. 11).



Rysunek 11. Pomiar parametrów termodynamicznych emitowanego gazu

Analizę olfaktometryczną przeprowadzano zgodnie z PN-EN 13725, w sposób opisany w punkcie 2.3.

Strumień zapachowy obliczano zgodnie z równaniem 1. Natężenie przepływu wyznaczano jako iloczyn średniej prędkości powietrza w kominie (wynik anemometrycznego pomiaru) i powierzchni przekroju komina.

Wskaźnik emisji zapachowej Fq_{od} dla każdej przyzmy obliczono jako iloraz średniej z uzyskanych wartości strumienia zapachowego dla tej przyzmy i przepływanej powierzchni mieszanki kompostowej przykrytej osłoną.

2.3 ANALIZA OLFAKTOMETRYCZNA

Próbki pobrane w sposób opisany w punktach 2.1 i 2.2, bezzwłocznie przewożono do Mobilnego Laboratorium Pracowni (rys. 12), zainstalowanego około 1 km od Zakładu (w Otominie koło Gdańska), gdzie przeprowadzano analizę olfaktometryczną.

Pomiary stężenia zapachowego zostały wykonane metodą rozcieńczeń dynamicznych, zgodnie z normą europejską PN-EN 13725:2007 „Jakość powietrza - oznaczanie stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej”. Uczestniczył w nich zespół o kontrolowanej sprawności sensorycznej. Charakterystykę osób oceniających zapach na tle PN-EN 13725 przedstawiono w tabeli 2. Do oznaczania stężenia zapachowego wykorzystywano czterostanowiskowy półautomatyczny olfaktometr dynamiczny TO7 ECOMA (rys. 13) i funkcję 100-krotnego rozcieńczenia próbki. W razie potrzeby stosowano dodatkowe wstępne rozcieńczenie statyczne przygotowywane z użyciem szklanych strzykawek (rys. 14). Podczas pomiarów kontrolowano warunki panujące w laboratorium (kontrola ciśnienia atmosferycznego, wilgotności, temperatury i stężenia CO₂).

Tabela 2. Zespół oceniających – sesja pomiarowa 20-27.09.2014 r.

OCENIAJĄCY	<i>n</i> [szt.]	<i>ITE_{n-butanol}</i> [*] [ppb]	<i>S_{ITE}</i> [*] [–]	DATA OSTATNIEGO POMIARU	<i>N</i> [szt.]
Antoniewicz Aleksandra	20	31,0	1,63	21.09.2014	306
Bosak Dagmara	20	32,4	1,83	21.09.2014	205
Kaczmarek Agnieszka	20	31,4	1,74	21.09.2014	241
Szczykowska Natalia	20	136,4 ^{**}	1,95	20.06.2014	31
Wiśniewska Magdalena	20	30,4	1,72	21.09.2014	290

n – liczba pomiarów uwzględniona w obliczeniach

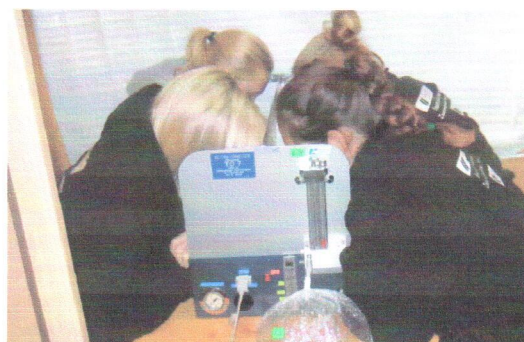
ITE_{n-butanol} – indywidualny próg wyczuwalności n-butanolu (średnia z „*n*” najwyższych pomiarów)

S_{ITE} – antylogarytm z odchylenia standardowego z „*n*” zlogarytmowanych wartości *ITE_{n-butanol}*

N – liczba pomiarów kontrolnych indywidualnego progu wyczuwalności n-butanolu w historii oceniającego



Rysunek 12. Mobilne Laboratorium PZJP



Rysunek 13. Pomiar stężenia zapachowego z użyciem TO7



Rysunek 9. Wstępne rozcieńczanie próbki z użyciem szklanych strzykawek

a) worki z odmierzoną objętością czystego powietrza, b) odmierzanie określonej objętości próbki zanieczyszczonego powietrza, c) dodawanie określonej objętości zanieczyszczonego powietrza do określonej objętości czystego powietrza

* Zgodnie z PN-EN 13725 indywidualny próg wyczuwalności n-butanolu (*ITE_{n-butanol}*), oszacowany na podstawie 10 ÷ 20 najwyższych ocen, powinien mieścić się w granicach od 20 ppb do 80 ppb, a wartość antylogarytmu z odchylenia standardowego z uwzględnionych w obliczeniach zlogarytmowanych wartości *ITE_{n-butanol}* (wartość *S_{ITE}*) nie powinna przekraczać 2,3.

** Podstawę decyzji włączenia do zespołu osoby formalnie – na dzień pomiarów – niespełniającej wymagań normy, stanowiły wyniki pomiarów rozpoznawczych, w których potwierdzono, że wrażliwość węchowa tego oceniającego nie odbiegała od pozostałych członków zespołu, formalnie spełniających wymagania PN-EN 13725.



Oceniającym prezentowano serie rozcieńczeń (Z) badanej próbki, tworzące szereg geometryczny z czynnikiem kroku 2,0. Sekwencję malejących rozcieńczeń próbki zakłócano losowymi prezentacjami ślepej próby. W czasie pojedynczego pomiaru prezentację całej serii rozcieńczeń czterem oceniającym (cykl) powtarzano trzykrotnie. Wynik prezentacji serii rozcieńczeń jednej osobie (wartość Z_{ITE}) obliczano jako średnią geometryczną między ostatnim Z_{NIE} (nie czuję) i pierwszym, z co najmniej dwóch kolejnych Z_{TAK} (czuję). Następnie obliczano średnią geometryczną ze wszystkich wartości Z_{ITE} zgromadzonych w pomiarze i sprawdzano, czy żadna indywidualna ocena nie odbiega więcej niż pięciokrotnie od średniej zespołowej (kryterium wstecznej weryfikacji). Średnia geometryczna ze wszystkich wartości Z_{ITE} , zgromadzonych w pomiarze po wstecznej weryfikacji, pomnożona - zgodnie z PN-EN 13725 - przez $1 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ stanowiła wynik pomiaru $c_{od} [\text{ou}_E/\text{m}^3]$.

W obliczeniach uwzględniono krzywą kalibracji olfaktometru (załącznik: zakładka „KRZYWA KALIBRACJI”), wyznaczoną olfaktometrycznie w czerwcu 2012 roku i zweryfikowaną w *Interlaboratory Comparison Olfactometry 2014* w czerwcu 2014 (załącznik: zakładka „ICO 2014”).

Przedział ufności (95 %) dla oszacowanej wartości stężenia/strumienia zapachowego określono zgodnie z PN-EN 13725, z zależności 2:

$$\bar{y}_D - t \cdot \frac{s_r}{\sqrt{n}} \leq m_D \leq \bar{y}_D + t \cdot \frac{s_r}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

gdzie

t – współczynnik t Studenta dla $n = \infty$ ($t = 2$ dla 95 % przedziału ufności)

n – liczba obserwacji

s_r – odchylenie standardowe ($s_r = 0,1674$) dla precyzji pomiarów $r = 0,464$ wyznaczonych w wyniku udziału zespołu Pracowni Zapachowej Jakości Powietrza WTiCh ZUT w *Interlaboratory Comparison Olfactometry 2014*

Skuteczność dezodoryzacji η_{od} [%] obliczono zgodnie z równaniem 3.

$$\eta_{od} = \frac{Q_{od, nieoczyszczony} - Q_{od, oczyszczony}}{Q_{od, nieoczyszczony}} \quad (3)$$



3. WYNIKI

3.1 BIOFILTR

Wyniki orientacyjnych pomiarów parametrów termodynamicznych gazu na wlocie do biofiltra, przeprowadzonych z użyciem miernika TESTO 400 w dniu 27. września br. między godziną 7:00 a 8:00 przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki pomiarów parametrów termodynamicznych gazu na wlocie do biofiltra

PARAMETR	CZAS POMIARU	UZYSKANA WARTOŚĆ			SONDA POMIAROWA
		ŚREDNIA	MIN.	MAX.	
Prędkość	10 min	11,8 m/s	10,0 m/s	14,2 m/s	Rurka Pitota z termoparą: TESTO 0635 2240 Sonda różnicy ciśnień: TESTO 0638 1447
	10 min	12,1 m/s	10,2 m/s	14,4 m/s	
Temperatura	10 min	31,0 °C	30,5 °C	31,3 °C	
	10 min	31,7 °C	30,1 °C	32,0 °C	
Wilgotność	10 min	99,9 %	99,9 %	99,9 %	TESTO 0636 9740
Ciśnienie absolutne	10 min	1025,5 hPa	1025,0 hPa	1025,7 hPa	TESTO 0638 1847

Wartości przyjęte do obliczenia natężenia przepływu w warunkach standardowych dla olfaktometrii:

- prędkość: **11,9 m/s**,
- przekrój poprzeczny w punkcie pomiaru: **0,6082 m²** (średnica wewnętrzna: 0,88 m)
- temperatura: **31 °C**
- ciśnienie absolutne: **1025,5 hPa**

Szacunkowa wartość natężenie przepływu w warunkach rzeczywistych, oszacowana na podstawie orientacyjnych pomiarów prędkości liniowej wynosi: 26 132 m³/h.

Wyniki oszacowania strumienia zapachowego (q_{od} [ou_E/s]) kierowanego pojedynczym kanałem do dwóch komór biofiltra przedstawiono w tabeli 4. W tabeli 4 zestawiono również wartości stężenia zapachowego (c_{od} [ou_E/m³]) oznaczone w próbkach pobranych na wlocie do biofiltra wraz z godzinami pobierania próbek i wykonywania analizy olfaktometrycznej oraz wynikami oszacowania natężenia przepływu (V [m³/h]) w warunkach pomiaru c_{od} .

Wyniki oszacowania emisji zapachowej (q_{od} [ou_E/s]) z 1 m² powierzchni złoża wypełniającego pierwszą komorę biofiltra przedstawiono w tabeli 5 oraz drugą komorę – w tabeli 6. W tabelach 5 i 6 przedstawiono również rzeczywistą wielkość strumienia (V [m³/h]) emitowanego z przykrytego osłoną fragmentu, oszacowaną na podstawie średniej prędkości zmierzonej podczas pobierania próbki oraz wartości stężenia zapachowego (c_{od} [ou_E/m³]) oznaczonych w pobranych próbkach wraz z godzinami ich pobierania i wykonywania analizy olfaktometrycznej.

Szczegółowe informacje dotyczące warunków pobierania poszczególnych próbek oraz przebiegu analizy olfaktometrycznej przedstawiono w załączniku, zakładki „BIOFILTR - WLOT”, „BIOFILTR - WYLOT A” i „BIOFILTR - WYLOT B”.



Tabela 4. Wyniki oszacowania strumienia zapachowego na wlocie do biofiltra

LP.	POBIERANIE PRÓBK			ANALIZA OLFAKTOMETRYCZNA			STRUMIEŃ ZAPACHOWY		
	DATA	GODZ.	V [m ³ /h]	GODZ.	c _{od} [ou _E /m ³]		q _{od} [ou _E /s]		
1	26.09. 2014	12 ¹⁵	25 769	12 ⁴⁰	79 471	81 612	568 861	584 984	
			25 839	12 ⁵¹	83 811		601 564		
2		13 ¹⁰	25 743	13 ²⁹	98 305	90 769	702 955	649 954	
			25 813	13 ³⁹	83 811		600 950		
3		14 ²⁴	25 775	14 ⁴³	75 356	75 356	539 535	539 259	
			25 749	14 ⁵⁴	75 356		538 983		
4		15 ⁴⁷	25 741	16 ⁰⁷	64 246	64 246	459 372	459 293	
			25 732	16 ¹⁵	64 246		459 215		
5		16 ³⁹	25 701	17 ⁰¹	103 673	86 069	740 150	614 170	
			25 676	18 ⁴²	71 454		509 633		
6		19 ³⁸	25 840	19 ⁵⁷	79 471	71 454	570 424	512 660	
			25 818	20 ⁰⁵	64 246		460 746		
7	27.09. 2014	08 ⁵⁴	25 564	9 ²⁰	51 937	49 248	368 813	350 361	
			25 659	9 ²⁹	46 698		332 832		
8		10 ³⁶	25 783	11 ⁰¹	57 764	57 764	413 701	413 905	
			25 808	11 ⁰⁹	57 764		414 110		
9		12 ⁵⁵	25 894	13 ²⁹	44 279	45 472	318 495	326 910	
			25 868	13 ³⁸	46 698		335 547		
10		14 ⁴¹	25 647	15 ¹⁶	71 454	65 976	509 044	469 832	
			25 626	15 ²⁴	60 919		433 640		
ŚREDNIA					67 216		480 819		
95% przedział					52 932		378 642		
ufności wyniku					85 354		610 570		



Tabela 5. Wyniki oszacowania strumienia zapachowego z 1 m² powierzchni złoża w pierwszej komorze biofiltra

PUNKT	POBIERANIE PRÓBK			ANALIZA OLFAKTOMETRYCZNA		STRUMIEŃ ZAPACHOWY	
	DATA	GODZ.	V [m ³ /h]	GODZ.	c _{od} [ou _E /m ³]	q _{od} [ou _E /s]	
A 1	26.09.14	12 ¹²	37,6	13 ⁵⁴	947	10	7,6
				14 ⁰⁵	807	8	
	27.09.14	7 ³⁷	41,1	9 ³⁷	619	7	
				9 ⁴⁵	587	6	
A 2	26.09.14	12 ⁴⁹	37,6	14 ¹³	2 338	24	18,1
				14 ²²	2 338	24	
	27.09.14	8 ⁰³	47,9	9 ⁵³	1 171	15	
				10 ⁰¹	999	13	
A 3	26.09.14	14 ¹³	47,9	15 ⁰⁵	1 171	15	13,2
				15 ¹³	1 235	16	
	27.09.14	9 ¹³	44,5	11 ¹⁷	999	12	
				11 ²⁴	898	11	
A 4	26.09.14	14 ⁴⁵	41,1	16 ²⁸	1 449	16	17,3
				16 ³⁷	2 217	24	
	27.09.14	9 ³⁶	58,2	11 ³³	947	15	
				11 ⁴²	999	16	
A 5	26.09.14	16 ¹⁶	54,7	19 ²⁷	2 338	34	35,5
				19 ³⁵	1 890	28	
	27.09.14	10 ⁴⁹	54,7	13 ⁴⁶	3 773	55	
				13 ⁵³	2 102	31	
A 6	26.09.14	13 ¹⁷	65,0	15 ²¹	3 578	61	38,7
				15 ²⁹	3 773	65	
	27.09.14	8 ²⁵	58,2	10 ⁰⁹	1 612	25	
				10 ¹⁷	1 449	23	
A 7	26.09.14	13 ⁴³	78,7	15 ³⁷	4 197	87	57,8
				15 ⁴⁵	3 773	78	
	27.09.14	8 ⁴⁵	68,4	10 ²⁶	2 338	43	
				10 ³⁴	2 102	38	
A 8	26.09.14	15 ¹⁸	75,3	18 ⁵¹	3 773	75	71,9
				19 ⁰⁰	3 578	72	
	27.09.14	9 ⁵⁸	71,8	11 ⁵⁰	3 773	72	
				11 ⁵⁸	3 578	69	
A 9	26.09.14	15 ⁴¹	51,3	19 ¹⁰	2 601	36	19,4
				19 ¹⁸	1 993	27	
	27.09.14	10 ¹³	47,9	12 ⁰⁸	947	12	
				12 ¹⁹	947	12	
ŚREDNIA							24,8
95% przedział ufności wyniku							19,3 31,9

Handwritten signature



Tabela 6. Wyniki oszacowania strumienia zapachowego z 1 m² powierzchni złoża w drugiej komorze biofiltra

PUNKT	POBIERANIE PRÓBK			ANALIZA OLFAKTOMETRYCZNA		STRUMIEŃ ZAPACHOWY		
	DATA	GODZ.	V [m ³ /h]	GODZ.	c _{od} [ou _E /m ³]	q _{od} [ou _E /s]		
B 1	27.09.14	11 ¹³	58,2	14 ⁰⁶	2 892	45	46,4	
				14 ¹⁹	3 050	48		
B 2		14 ³⁴	65,0	19 ⁰⁰	3 050	53	57,3	
				19 ¹²	3 578	62		
B 3		13 ²⁵	51,3	17 ⁵⁹	1 612	22	20,1	
				18 ⁰⁸	1 303	18		
B 4		12 ⁴⁷	58,2	17 ⁴¹	898	14	12,3	
				17 ⁴⁹	688	11		
B 5		11 ⁴¹	68,4	14 ³³	3 217	59	47,5	
				14 ⁴²	2 102	38		
B 6		14 ¹³	65,0	18 ⁴³	3 217	56	52,8	
				18 ⁵²	2 892	50		
B 7		13 ⁵²	44,5	18 ¹⁸	766	9	9,5	
				18 ³⁴	807	10		
B 8		12 ²²	58,2	17 ¹²	766	12	12,3	
				17 ²¹	807	13		
B 9		12 ⁰²	51,3	16 ⁵⁰	1 235	17	16,5	
				16 ⁵⁸	1 171	16		
ŚREDNIA							24,5	
95% przedział ufności wyniku							19,0 31,5	

Dla każdej z dwóch komór biofiltra objętych pomiarami średnia wartość emisji zapachowej z 1 m² powierzchni złoża wynosi około **25 ou_E/s**. Wartość tę zastosowano do obliczenia średniej emisji zapachowej z całej powierzchni komory, tj. 150 m². Oszacowana w ten sposób emisja zapachowa z jednej komory wynosi 3 750 ou_E/s, a z dwóch komór – **7 500 ou_E/s**.

Do obliczenia średniej skuteczności dezodoryzacji w biofiltrze przyjęto następujące wartości:

- strumień surowy: 500 000 ou_E/s
- strumień oczyszczony: 7 500 ou_E/s

Zakładając, że objęta pomiarami jedna z trzech części biofiltra jest reprezentatywna dla pozostałych, można stwierdzić, że średnia skuteczność biofiltra wynosi około **98,5 %**.

Uwaga: rzeczywista skuteczność dezodoryzacji może być trochę niższa, ponieważ oszacowana skuteczność dezodoryzacji nie uwzględnia nieszczelności na wlocie do biofiltra.

Handwritten signature



3.2 PLAC DOJRZEWANIA KOMPOSTU

Wyniki oszacowania strumienia zapachowego (q_{od} [ou_E/s]) w sposób wymuszony emitowanego z przykrytej osłoną powierzchni przyzmy, przedstawiono w tabelach od 7 do 12. W tabelach 7 ÷ 12 zestawiono również wartości stężenia zapachowego (c_{od} [ou_E/m³]) oznaczone w próbkach pobranych znad powierzchni przyzm wraz z godzinami pobierania próbek i wykonywania analizy olfaktometrycznej oraz wielkością strumienia czystego powietrza (V [m³/h]), którym przepłukiwano powierzchnię przyzmy pod osłoną.

Szczegółowe informacje dotyczące warunków pobierania poszczególnych próbek oraz przebiegu analizy olfaktometrycznej przedstawiono w załączniku, zakładki: „Pryzma A”, „Pryzma B”, „Pryzma C”, „Pryzma D”, „Pryzma E”, „Pryzma F”.

Wartości oszacowanych wskaźników emisji zapachowej z 1 m² powierzchni przyzmy przedstawiono w tabeli 13.

Tabela 7. Wyniki oszacowania strumienia zapachowego z przykrytej osłoną powierzchni przyzmy A

Mieszanka kompostowa: frakcja organiczna wysortowana ze zmieszanych odpadów komunalnych
Data ułożenia przyzmy: 13-22.09.2014

OPIS	POBIERANIE PRÓBK			ANALIZA OLFAKTOMETRYCZNA			STRUMIEŃ ZAPACHOWY	
	DATA	GODZ.	V [m ³ /s]	GODZ.	c _{od} [ou _E /m ³]	q _{od} [ou _E /s]		
PRZED PRZERZUCENIEM	21.09. 2014	18 ⁰⁸	0,00471	19 ³⁰ 19 ³⁹	60 220 46 162	52 725	248	194
		19 ⁴⁷	0,00463	20 ³³ 20 ⁴¹	39 695 39 695	39 695	184	
		20 ²⁸	0,00465	21 ⁰³ 21 ¹²	33 553 24 389	28 606	133	
	22.09. 2014	11 ³²	0,00555	12 ⁴⁰ 12 ⁴⁹	37 025 25 518	30 738	171	
		12 ³¹	0,00554	13 ²⁵ 13 ³⁴	43 428 43 428	43 428	240	
		13 ¹⁷	0,00551	14 ⁰⁶ 14 ¹⁶	39 731 37 673	38 688	213	
PO PRZERZUCENIU	24.09. 2014	09 ¹⁸	0,00569	9 ⁵⁰ 9 ⁵⁹	25 942 19 886	22 713	129	120
		10 ⁰⁵	0,00569	10 ⁴³ 10 ⁵²	18 856 17 880	18 362	105	
		10 ²⁶	0,00669	11 ²² 11 ³³	22 117 16 954	19 364	130	
ŚREDNIA							165	
95% przedział ufności wyniku							129 213	

Handwritten signature/initials.



Tabela 8. Wyniki oszacowania strumienia zapachowego z przykrytej osłoną powierzchni przyzmy B

Mieszanka kompostowa: frakcja organiczna wysortowana ze zmieszanych odpadów komunalnych
Data ułożenia przyzmy: 18-22.07.2014

OPIS	POBIERANIE PRÓBK			ANALIZA OLFAKTOMETRYCZNA			STRUMIEŃ ZAPACHOWY	
	DATA	GODZ.	$V [m^3/s]$	GODZ.	$c_{od} [ou_E/m^3]$		$q_{od} [ou_E/s]$	
PRZED PRZERZUCENIEM	22.09. 2014	15 ⁵⁶	0,00558	17 ⁰³ 17 ¹¹	4 197 5 191	4 667	26	28
		17 ¹¹	0,00657	17 ³⁶ 17 ⁴⁴	5 191 4 667	4 922	32	
		17 ⁴⁷	0,00657	18 ¹⁹ 18 ²⁷	4 197 3 393	3 773	25	
PO PRZERZUCENIU	23.09. 2014	09 ³¹	0,00467	10 ³³ 10 ⁴⁵	7 179 5 503	6 286	29	36
		10 ⁰⁶	0,00472	11 ⁰⁸ 11 ¹⁶	10 417 6 455	8 200	39	
		10 ³⁷	0,00470	11 ³⁰ 11 ⁴⁰	7 571 9 877	8 648	41	
ŚREDNIA							31	
95% przedział ufności wyniku							23	
							43	

Tabela 9. Wyniki oszacowania strumienia zapachowego z przykrytej osłoną powierzchni przyzmy C

Mieszanka kompostowa: frakcja organiczna wysortowana ze zmieszanych odpadów komunalnych
Data ułożenia przyzmy: 07-21.08.2014

OPIS	POBIERANIE PRÓBK			ANALIZA OLFAKTOMETRYCZNA			STRUMIEŃ ZAPACHOWY	
	DATA	GODZ.	$V [m^3/s]$	GODZ.	$c_{od} [ou_E/m^3]$		$q_{od} [ou_E/s]$	
PRZED PRZERZUCENIEM	22.09. 2014	21 ¹³	0,00663	22 ¹¹ 22 ²¹	2 892 2 892	2 892	19	14
		22 ¹⁶	0,00765	23 ⁰² 23 ¹²	2 338 2 601	2 338	18	
		13 ⁰⁰	0,00469	13 ³⁷ 13 ⁴⁸	1 569 1 449	1 569	7	
PO PRZERZUCENIU	23.09. 2014	14 ³¹	0,00562	15 ³¹ 15 ³⁹	11 227 12 160	11 227	63	40
		15 ¹³	0,00471	16 ³⁴ 16 ⁴⁴	7 775 6 455	7 775	37	
		15 ⁴¹	0,00473	16 ⁵⁵ 17 ⁰⁵	5 804 6 121	5 804	27	
ŚREDNIA							23	
95% przedział ufności wyniku							17	
							32	

Handwritten signature



Tabela 10. Wyniki oszacowania strumienia zapachowego z przykrytej osłoną powierzchni przyzmy D

Mieszanka kompostowa: odpady mokre

Data ułożenia przyzmy: 13-16.06.2014

OPIS	POBIERANIE PRÓBK			ANALIZA OLFAKTOMETRYCZNA			STRUMIEŃ ZAPACHOWY	
	DATA	GODZ.	$V [m^3/s]$	GODZ.	$c_{od} [ou_E/m^3]$		$q_{od} [ou_E/s]$	
PRZED PRZERZUCENIEM	23.09. 2014	20 ⁴⁵	0,00463	21 ³¹ 21 ⁴⁰	53 336 51 937	53 336	247	263
		21 ²²	0,00563	22 ⁰³ 22 ¹²	53 336 49 248	53 336	300	
		22 ¹⁶	0,00472	22 ⁵⁹ 23 ⁰⁷	51 937 46 698	51 937	245	
PO PRZERZUCENIU	24.09. 2014	11 ⁵⁵	0,00463	12 ³³ 12 ⁴¹	16 076 12 996	16 076	74	63
		12 ²¹	0,00467	13 ⁰⁵ 13 ¹⁷	11 080 11 685	11 080	52	
		13 ²⁰	0,00558	14 ⁰⁹ 14 ¹⁸	11 585 12 218*	11 585	65	
ŚREDNIA							129	
95% przedział ufności wyniku							94 175	

* pomiar odrzucony w wyniku wstecznej weryfikacji zespołu

Tabela 11. Wyniki oszacowania strumienia zapachowego z przykrytej osłoną powierzchni przyzmy E

Mieszanka kompostowa: odpady mokre

Data ułożenia przyzmy: 20.08.2014

OPIS	POBIERANIE PRÓBK			ANALIZA OLFAKTOMETRYCZNA			STRUMIEŃ ZAPACHOWY	
	DATA	GODZ.	V [m ³ /s]	GODZ.	c _{od} [ou _E /m ³]		q _{od} [ou _E /s]	
PRZED PRZERZUCENIEM	24.09. 2014	14 ²²	0,00640	14 ⁵² 15 ⁰¹	19 716 20 793	19 716	126	141
		14 ⁵⁴	0,00736	15 ³⁰ 15 ³⁹	20 422 18 856	20 422	150	
		15 ¹⁸	0,00738	16 ⁰⁷ 16 ¹⁶	19 886 20 972	19 886	147	
PO PRZERZUCENIU	25.09. 2014	09 ⁰⁴	0,00465	9 ³⁴ 9 ⁴⁷	29 630 27 359	29 630	138	122
		09 ³⁶	0,00564	10 ⁰⁷ 10 ¹⁷	20 972 22 117	20 972	118	
		09 ⁵⁵	0,00566	10 ⁴¹ 10 ⁵⁰	19 886 16 954	19 886	112	
ŚREDNIA							131	
95% przedział ufności wyniku							93 179	

[Signature]



Tabela 12. Wyniki oszacowania strumienia zapachowego z przykrytej osłoną powierzchni przyzmy F

Mieszanek kompostowa: odpady mokre

Data ułożenia przyzmy: od 15.09.2014

OPIS	POBIERANIE PRÓBK			ANALIZA OLFAKTOMETRYCZNA			STRUMIEŃ ZAPACHOWY	
	DATA	GODZ.	$V [m^3/s]$	GODZ.	$c_{od} [ou_E/m^3]$		$q_{od} [ou_E/s]$	
PRZED PRZERZUCENIEM	24.09. 2014	18 ¹⁶	0,00475	18 ⁵⁵ 19 ⁰⁸	33 943 32 185	33 943	161	161
		18 ⁴⁶	0,00383	19 ²⁹ 19 ³⁸	33 052 30 518	33 052	127	
		19 ¹³	0,00479	20 ⁰⁹ 20 ²¹	43 118 37 751	43 118	206	
	ŚREDNIA							161
95% przedział ufności wyniku								104 250

Tabela 13. Wyniki oszacowania emisji zapachowej z 1 m² powierzchni przyzmy

MATERIAŁ KOMPOSTOWANY	DATA UŁOŻENIA PRYZMY	WSKAŹNIK EMISJI ZAPACHOWEJ Fq_{od} [ou _E /(s·m ²)			
		PRZED PRZERZUCENIEM	PO PRZERZUCENIU	ŚREDNIA	
Fracja organiczna wysortowana ze zmieszanych odpadów komunalnych	18-22.07.14	57	73	64	99
	07-21.08.14	28	81	48	
	13-22.09.2014	394	244	310	
Odpady mokre	13-16.06.14	534	128	261	283
	20.08.14	286	248	266	
	15.09.14	327	–	327	
ŚREDNIA		178	136		

Do oszacowania łącznej emisji zapachowej z placu dojrzwania kompostu wykorzystano średnie wartości wskaźnika uzyskane dla poszczególnych rodzajów materiału kompostowanego. Założono, że jedynym źródłem odorów na placu dojrzwania kompostu jest 14 przyzm utworzonych z frakcji organicznej wysortowanej ze zmieszanych odpadów komunalnych oraz 6 przyzm utworzonych z odpadów mokrych, a każda przyzma ma około 650 m² powierzchni. Oszacowana w ten sposób średnia emisja zapachowa z placu dojrzwania kompostu (założona powierzchnia emitująca: 13 tys. m²) jest rzędu 2 mln ou_E/s. Oszacowana wartość nie uwzględnia emisji chwilowych, związanych z układaniem i przerzucaniem przyzm.