

BADANIA GAZU SKŁADOWISKOWEGO NA HAŁDZIE ODPADÓW W ŁODZI PRZY UL. ZAMIEJSKIEJ 1

**MIEJSKIE PRZEDSIĘBIORSTWO OCZYSZCZANIA –
ŁÓDŹ SP. Z O.O.**

Opracował: dr inż. Rafał Lewicki

Sprawdził: dr inż. Marek Żelichowski

Handwritten signature of Marek Żelichowski in black ink, consisting of a stylized 'J' followed by 'elichowski'.

GRUDZIEŃ 2022

Prawa Autorskie

Publikacja Firmy Usługowej Marek Żelichowski (FUMŻ).

Publikację niniejszą przygotowano z należytą starannością, jednakże FUMŻ i jej dystrybutorzy nie biorą odpowiedzialności za możliwe nieścisłości.

Nic w tej publikacji nie powinno być traktowane jako oferta lub zobowiązanie ze strony FUMŻ, jeśli umowa nie stanowi inaczej.

Żadna część niniejszego opracowania nie może zostać reprodukowana, przechowywana lub przekazywana w jakikolwiek sposób i jakiejkolwiek formie elektronicznej czy kopii bez pisemnego zezwolenia posiadacza praw autorskich.

Wydanie 1.1, 29 grudnia 2022 r.

© Firma Usługowa Marek Żelichowski

ul. Długosza 1

41-219 Sosnowiec

Polska

Telefon: +48 322930737 Tel. kom.: +48 602234243

email: marek.zeli@gmail.com

Nazwa i logo FUMŻ są znakami firmowymi Firmy Usługowej Marek Żelichowski.

Wszystkie inne znaki firmowe są własnością wymienionych firm.

Niniejszy raport został przygotowany zgodnie z posiadaną wiedzą, należytą dokładnością i starannością w zakresie warunków umowy z Klientem i na podstawie uzgodnionego wysiłku i zaangażowania zasobów w projekt. FUMŻ nie ponosi żadnej odpowiedzialności w związku z zagadnieniami wykraczającymi poza ten zakres.

This Report has been prepared with reasonable skill, care and diligence within the terms of the agreement with the Client and based on the agreed effort and resource commitment to the project. We disclaim any responsibility in respect of any matters arising outside this scope.

SPIS TREŚCI

1. Podstawa opracowania.....	7
3. Wnioski i zalecenia.....	8
4. Dane wyjściowe opracowania.....	11
5. Model produkcji biogazu składowiskowego	21
6. Instalacja sond gazowych.....	25
7. Badania w sondach gazowych	29
8. Badania sondą penetracyjną.....	45
9. Opinia dotycząca bezpiecznego postępowania z gazem podczas usuwania hałdy	51
10. Wytyczne do oceny ryzyka prac związanych z usuwaniem odpadów	59

SPIS TABEL

Tabela 1 Przegląd udostępnionej informacji źródłowej.....	12
Tabela 2 Prognoza produkcji biogazu składowiskowego	22
Tabela 3 Pomiary parametrów gazu w sondach	29
Tabela 4 Analiza wyników pomiarów gazu	38
Tabela 5 Wyniki pomiarów temperatury w sondach.....	40
Tabela 6 Warunki rozkładu odpadów ze względu na temperaturę	40
Tabela 7 Wyniki pomiarów sondą penetracyjną.....	47
Tabela 8 Wartości GSV stosowane przy ocenie ryzyka zagrożenia gazem (wg CIRIA 665).....	52
Tabela 9 Zalecane okresy i częstotliwość monitoringu [9]	52
Tabela 10 Wskaźnik GSV dla sond gazowych.....	54
Tabela 11 Opcje postępowania z gazem.....	56

SPIS FOTOGRAFII

Fot. 1 Widok na hałdę od strony zachodniej (ze składowiska balastu).....	18
Fot. 2 Urwisko od strony południowo-zachodniej	18
Fot. 3 Sonda gazowa przed instalacją	26
Fot. 4 Instalacja sondy gazowej	26
Fot. 5 Zainstalowana sonda gazowa GW1	27
Fot. 6 Instalacja sondy gazowej GW5	27
Fot. 7 Instalacja sondy 3"	28
Fot. 8 Pomiar ciśnienia gazu w sondzie (1)	41
Fot. 9 Pomiar ciśnienia gazu w sondzie (2)	41
Fot. 10 Pomiar składu gazu w sondzie	42
Fot. 11 Pomiar prędkości przepływu gazu w sondzie	42
Fot. 12 Pomiar prędkości przepływu gazu w sondzie GW2 (epizod 0,18 m/s)	43

Fot. 13 Pomiar składu gazu w sondzie GW7	43
Fot. 14 Pomiar temperatury w sondzie gazowej	44
Fot. 15 Pomiar sondą penetracyjną na skarpie hałdy	48
Fot. 16 Pomiar sondą penetracyjną	48
Fot. 17 Odkrywka TP1	49
Fot. 18 Dowód na przepływ gazu mimo zerowego wskazania anemometru	53

SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1 Mapa hałdy z podziałem na kwatery (Wycinek Planu Zagospodarowania Terenu, Biuro Architektoniczne NOW, 1996)	19
Rysunek 2 Lokalizacja hałdy (Google Earth, 2018)	20
Rysunek 3 Wykres prognozy produkcji biogazu składowiskowego	22
Rysunek 4 Wyniki modelowania GW-3 (ATMO-ex-INiG, 2000)	23
Rysunek 5 Wyniki modelowania – dane wyjściowe ATMO-ex-INiG, 2000	23
Rysunek 6 Lokalizacje sond gazowych	25
Rysunek 7 Pomiar składu gazu w studni odciekowej S-2	28
Rysunek 8 Wykresy parametrów gazu – sonda GW1	30
Rysunek 9 Wykresy parametrów gazu – sonda GW2	30
Rysunek 10 Wykresy parametrów gazu – sonda GW3	31
Rysunek 11 Wykresy parametrów gazu – sonda GW4	31
Rysunek 12 Wykresy parametrów gazu – sonda GW5	32
Rysunek 13 Wykresy parametrów gazu – sonda GW6	32
Rysunek 14 Wykresy parametrów gazu – sonda GW7	33
Rysunek 15 Fazy produkcji gazu w składowisku odpadów (Rettenberger 2005)	34
Rysunek 16 Wykresy składu gazu podczas pompowania – sonda GW1	35
Rysunek 17 Wykresy składu gazu podczas pompowania – sonda GW2	35
Rysunek 18 Wykresy składu gazu podczas pompowania – sonda GW3	36
Rysunek 19 Wykresy składu gazu podczas pompowania – sonda GW4	36
Rysunek 20 Wykresy składu gazu podczas pompowania – sonda GW5	37
Rysunek 21 Wykresy składu gazu podczas pompowania – sonda GW6	37
Rysunek 22 Temperatura w sondach gazowych	40
Rysunek 23 Wyniki pomiarów metanu sondą penetracyjną	46
Rysunek 24 Wyniki pomiarów ditlenku węgla sondą penetracyjną	46
Rysunek 25 Lokalizacje badań sondą penetracyjną (Google Earth – Garmin Foretrex 401)	50
Rysunek 26 Wartości wskaźnika GSV w sondach gazowych	55

1. Podstawa opracowania

Umowa Nr 320/K/2022 z 27.10.2022 na wykonanie:

- badań hałdy odpadów potocznie zwaną „Górką Walczaka” pod względem występowania w niej gazów składowiskowych
- przygotowanie opinii do oceny ryzyka i zagrożenia gazem przez Wykonawcę wyznaczonego do przemieszczania odpadów.

2. Zakres opracowania

1. Dostawa i instalacja sond gazowych (6 kompletów) do maksymalnej głębokości 4m. Sondy zostaną zainstalowane na koronie hałdy w celu penetracji miejsc z największym prawdopodobieństwem wystąpienia gazu. Po zakończeniu badań przewidzianych w niniejszym zakresie sondy pozostaną na hałdzie do ewentualnej kontynuacji pomiarów w razie potrzeby.
2. Przeprowadzenie badań parametrów gazu w zainstalowanych sondach wraz z określeniem podstawowych składników gazu i siarkowodoru, ciśnienia i natężenia przepływu oraz temperatury wewnątrz sond. Zgodnie z odnośnymi wytycznymi jako absolutne minimum wymagane są cztery pomiary w ciągu miesiąca. Oferta przewiduje wykonanie 4 pomiarów w odstępach tygodniowych.
3. Przeprowadzenie badań gazu płytką sondą penetracyjną w lokalizacjach, w których występuje uzasadnione podejrzenie występowania gazu.
4. Określenie teoretycznej zasobności złoża w biogaz na podstawie danych z wyżej wspomnianej ekspertyzy oraz parametrów hałdy pozyskanych w trakcie badań.
5. Dokumentacja i opracowanie wyników.
6. Przedstawienie obiektywnej opinii co do dalszego bezpiecznego postępowania z gazem podczas usuwania hałdy.
7. Opracowanie wytycznych do oceny ryzyka prac związanych z usuwaniem odpadów z hałdy przez wykonawcę wyznaczonego do przemieszczenia odpadów.

3. Wnioski i zalecenia

1. Badania gazu w sondach wskazują na stosunkowo niewielki potencjał gazowy hałdy z tendencją spadkową. Mimo upływu 26 lat od chwili zakończenia składowania odpadów, hałda jest w dalszym ciągu aktywna pod względem generacji gazu w resztkowych ilościach oraz wymiany gazowej z atmosferą.
2. Maksymalne (i minimalne) zmierzone w sondach stężenia gazów wyniosły:

- metanu	61,65% obj.	(2,67% obj.)
- ditlenku węgla	29,47% obj.	(5,43% obj.)
- siarkowodoru	64 ppm	(0 ppm)
3. Stosunkowo wysokie stężenia gazów częściowo mogą być spowodowane faktem braku odgazowania hałdy, co przyczyniło się do utworzenia stacjonarnego „rezerwuaru gazu” w jej wnętrzu. Brak odgazowania, czyli odprowadzania produktów reakcji rozkładu odpadów, przyczynił się do spowolnienia procesów biodegradacji.
4. Również lokalizacja sond, w miejscach najbardziej prawdopodobnego występowania gazu, wpłynęła na wykrycie wysokich stężeń gazów. Podejście takie uzasadnione było zamierzonym wykorzystaniem wyników badań do oceny ryzyka zagrożenia gazem przy przemieszczaniu odpadów i usuwaniu hałdy.
5. Modelowanie teoretyczne wskazuje na zasobność gazową hałdy na poziomie wydajności rzędu 17 – 25 m³/h (400 – 600 m³/d). Jest to potencjał niski w stosunku do ilości składowanych odpadów. Potencjał ten, potwierdzony symulacją z wariantami danych wyjściowych, jest porównywalny z wcześniejszymi prognozami. Rozproszenie tak niewielkich ilości gazu na rozpatrywanej powierzchni skutkuje znikomymi emisjami, co potwierdzają wykonane pomiary, brak śladów uszkodzenia roślinności przez emitowany gaz oraz brak odorów charakterystycznych dla składowiska.
6. Teza „rezerwuaru gazu” potwierdzona została wynikami badań, a w szczególności nieobecnością tlenu w pobranych z sond próbkach gazu oraz brakiem mierzalnego strumienia gazu. Fakt ten świadczy o reprezentatywności próbek, szczelności zainstalowanych sond oraz względnej szczelności okrywy korony hałdy.
7. Teza o „resztkowych ilościach gazu” i końcowych fazach jego generacji poparta jest:
 - nieznacznymi ciśnieniami gazu panującymi w szczelnych sondach (maksymalne zmierzone ciśnienie to 10 Pa = 1 mm słupa wody)
 - brakiem mierzalnego strumienia gazu (anemometr o progu detekcji 0,01 m/s nie wykrył przepływu gazu poza jednym odosobnionym przypadkiem)
 - składem gazu i wartościami wskaźnika CH₄/CO₂
 - stosunkowo niskim stężeniem siarkowodoru w gazie
 - niskimi temperaturami panującymi w złożu odpadów
 - wiekiem odpadów i wynikami modelowania prognozy generacji gazu, porównywalnych z modelem opracowanym w roku 2000

8. Niska temperatura złoża wskazuje na rozkład materii organicznej w warunkach psychrofilnych, charakteryzujących się niską wydajnością i długim czasem procesu.
9. Pomiary sondą penetracyjną na skarpach i u podnóża hałdy potwierdzają powyższe tezy, a w szczególności wymianę gazową z atmosferą. W warstwie przypowierzchniowej hałdy występują śladowe stężenia metanu (maksymalny odczyt 0,15% obj.) i niewielkie stężenia ditlenku węgla (maksymalny odczyt 4,67% obj.).
10. W dostępnej studni zbiorczej odcieków S-2 nie wykryto metanu, jedynie śladowe stężenie ditlenku węgla, co może świadczyć o niedrożności drenażu (zjawisko spodziewane po 25 latach od instalacji), jak również o niskiej intensywności generacji gazu. Wnioski co do drożności drenażu można będzie wyciągnąć dopiero po rozpoczęciu odpompowywania odcieków ze studni. Jeśli drenaż okaże się nawet częściowo drożny, należy być przygotowanym na pojawienie się gazu w studniach zbiorczych. Opcją podwyższającą bezpieczeństwo wykonywania prac jest pozostawienie odpompowywania odcieków ze studni do chwili odkrycia warstw odpadów znajdujących się bezpośrednio nad drenażem, co umożliwi choćby częściowe uwolnienie gazu na otwartej przestrzeni.
11. Analiza wyników pomiarów potwierdza wniosek o generacji gazów w fazach końcowych: VI (penetracja powietrza), VII (utlenianie metanu) i VIII (ditlenku węgla).
12. Obliczone wartości wskaźnika GSV, stosowanego do oceny ryzyka zagrożenia gazami obiektów budowlanych według norm i wytycznych brytyjskich, wskazują na niejednorodny poziom ryzyka związanego z gazem na terenie hałdy – od „niskiego” do „wysokiego”.
13. Ocena ta narzuca nie wyklucza planowanych robót przy rozbiórce i usunięciu hałdy. Przy zachowaniu adekwatnych procedur i środków bezpieczeństwa ryzyko może być sprowadzone do poziomu akceptowalnego. Tym bardziej, że potencjał gazowy hałdy oceniono jako niski, prace prowadzone będą na otwartym powietrzu i niezwiązane będą z ochroną typowych obiektów budowlanych.
14. Przy ocenie ryzyka zagrożenia gazem należy uwzględnić następujące punkty:
 - możliwość wystąpienia lokalnych „kieszeni gazowych”, które podczas rozbiórki hałdy mogą uwolnić nagromadzony gaz
 - zagrożenie wybuchem mieszanin metanu z powietrzem
 - zagrożenie pożarem
 - zagrożenie zatrucia siarkowodorem i związkami śladowymi zawartymi w gazie składowiskowym
 - możliwość aktywizacji generacji gazu przy długotrwałym pozostawieniu odpadów wyekspozowanych na czynniki atmosferyczne. Dostęp powietrza i wód opadowych może chwilowo aktywizować procesy rozkładu i generować większe od przewidywanych ilości gazu
 - potrzebę monitoringu gazu w trakcie wykonywanych prac

- potrzebę zapewnienia pracownikom odpowiednich środków ochrony osobistej, włącznie z osobistymi czujnikami gazu
- potrzebę opracowania Dokumentu Oceny Ryzyka i Zabezpieczenia przed Wybuchem, zgodnie z wymogami rozporządzenia (Dz.U. 2010 Nr 138 poz.931)
- uwzględnienie obecności gazu składowiskowego przy opracowaniu procedur wykonywania prac oraz procedur awaryjnych
- konieczność przeszkolenia pracowników ze szczególnym uwzględnieniem obecności gazu na terenie hałdy
- konieczność nadzoru Zleceniodawcy nad przestrzeganiem wymogów bezpieczeństwa przy wykonywaniu prac przez Wykonawcę

15. Z technicznie możliwych opcji postępowania z gazem przy uwzględnieniu planowanych prac, najbardziej adekwatną wydaje się być opcja etapowego pasywnego napowietrzenia złoża i wywietrzenia gazu.

4. Dane wyjściowe opracowania

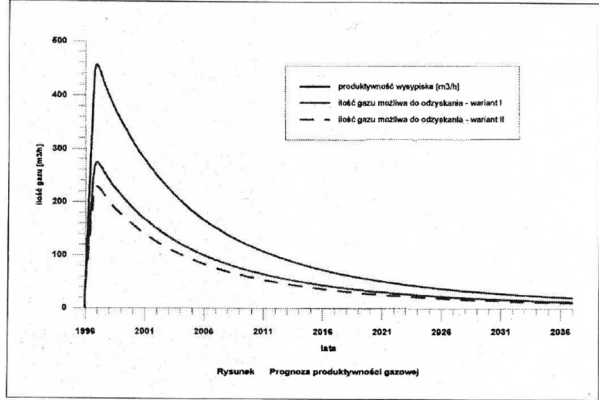
Wykorzystane informacje:


1. Wyniki pomiarów gazu 28.10.2022, 08.11.2022, 14.11.2022, 18.11.2022
2. Opinia ekspercka (Ekspertyza) w zakresie ustalenia oraz kodów odpadów z tymczasowego miejsca magazynowania odpadów pochodzenia komunalnego, zlokalizowanego przy ul. Zamiejskiej 1, 91-842 Łódź, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, wrzesień 2022
3. Operat techniczny z pomiaru objętości hałdy w Łodzi ul. Zamiejska 2 – teren firmy Miejskie Przedsiębiorstwo Oczyszczania Łódź Sp. z o.o., ALLGEO, luty 2021
4. Ocena oddziaływania na środowisko likwidacji i rekultywacji tymczasowego składowiska odpadów komunalnych Łódź -Lublinek, ATMO-ex, luty 2000
5. Raport z badań wykonanych w Laboratorium Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska ul. Piotrkowska 120 90-006 Łódź, Nr 126, maj 1998 (1873_001.pdf)
6. Opinia na temat oddziaływania na środowisko dotycząca okresowego przeładowywania odpadów na terenie istniejącego składowiska na Lublinku, IOŚ, kwiecień 1997 (1877_001)
7. Dokumentacja fotograficzna budowy, 1996/1997 (1878_001, 1879_001, FOTOGRAFIE – 05_zdjęcia z realizacji-Górka Walczaka)
8. Projekt techniczny – Stacja przeładunkowa i sortownia odpadów komunalnych w rejonie starej oczyszczalni Lublinek – technologia składowani odpadów na składowisku, AUGUR, październik 1995
9. S. Wilson et al., Ground Gas Handbook, Whitless Publishing, 2009
10. BS 8485:2015+A1:2019 Code of practice for the design of protective measures for methane and carbon dioxide ground gases for new buildings, 31 Jan 2019
11. CIRIA C665 Assessing Risks Posed by Hazardous Ground Gases to Buildings, CIRIA 2007


Tabela 1 Przegląd udostępnionej informacji źródłowej

Źródło	Informacje istotne dla niniejszego opracowania	Uwagi
2	<p>Kody odpadów:</p> <p>1. 17 05 04 - Odpady z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych oraz infrastruktury drogowej (włączając glebę i ziemię z terenów zanieczyszczonych); Gleba i ziemia (włączając glebę i ziemię z terenów zanieczyszczonych oraz urobek z pogłębiania); Gleba i ziemia, w tym kamienie, inne niż wymienione w 17 05 03,</p> <p>2. 19 12 09 - Odpady z instalacji i urządzeń służących zagospodarowaniu odpadów, z oczyszczalni ścieków oraz z uzdatniania wody pitnej i wody do celów przemysłowych; Odpady z mechanicznej obróbki odpadów (np. obróbki ręcznej, sortowania, zgniatania, granulowania) nieujęte w innych grupach; Minerale (np. piasek, kamienie),</p> <p>3. 19 12 12 - Odpady z instalacji i urządzeń służących zagospodarowaniu odpadów, z oczyszczalni ścieków oraz z uzdatniania wody pitnej i wody do celów przemysłowych; Odpady z mechanicznej obróbki odpadów (np. obróbki ręcznej, sortowania, zgniatania, granulowania) nieujęte w innych grupach; Inne odpady (w tym zmieszane substancje i przedmioty) z mechanicznej obróbki odpadów inne niż wymienione w 19 12 11,</p> <p>4. 20 02 02 - Odpady komunalne łącznie z frakcjami gromadzonymi selektywnie; Odpady z ogrodów i parków (w tym z cmentarzy); Gleba i ziemia, w tym kamienie.</p> <p>Uzyskane wyniki badań jednoznacznie wskazują na obojętny charakter zmagazynowanych odpadów dla środowiska. Podczas prowadzenia prac rozbiórkowych hałdy zaleca się prowadzenie monitoringu emisji tlenu węgla i metanu ze względu na brak instalacji do odgazowania składowanych odpadów</p>	Klasyfikacja odpadów uwzględniona przy opracowywaniu modelu prognozy produkcji gazu składowiskowego.
3	<p>Powierzchnia opracowania 12 257 m²</p> <p>Średnia wysokość hałdy 6 mb</p> <p>Obszar / wymiary hałdy ok 230 mb x 60 mb</p> <p>Rzędna terenu 175.3 m (układ wysokości ŁAM)</p> <p>MAX wysokość hałdy 187.4 mb</p> <p>Przyjęty poziom odniesienia 174,36 mb</p> <p>Objętość hałdy = 94 tys m³</p>	
4	<p>Str. 3</p> <p>Dwie kwatery o powierzchni około 2,5 ha</p> <p>Zagłębienie około 2 m ppt</p>	Informacje wykorzystane do opracowania modelu prognozy produkcji gazu składowiskowego.

Źródło	Informacje istotne dla niniejszego opracowania	Uwagi
	<p>Pryzma odpadów o wymiarach 500 x 35 x 8 m zawiera w części wyniesionej ponad rzędną terenu 196.000 ton odpadów komunalnych o objętości 140,000 m³ i zagęszczeniu 1,4 Mg/m³. Uszczelnione folią polietylenową o dużej gęstości i wyposażone w drenaż do odprowadzania odcieków. Eksploatację rozpoczęto 6 stycznia 1996 i trwała do października 1996 r. Odpady były składowane warstwami oddzielanymi od siebie przesypką gruntu oraz zagęszczane kompaktorem. Na składowisku złożono około 157 tys. Mg odpadów komunalnych i około 3,3 tys. Mg gruzu. Str. 5 Gaz produkowany w warstwie odpadów odbierany jest systemem drenażowym, który służy również do odbioru odcieków. Str. 9 Powierzchnia wysypiska nie posiada warstwy rekultywacyjnej – przewidywana była rozbiórka warstwy odpadów. Pryzma przykryta jest jedynie warstwą ziemi glebowej. Str. 16 6.2 Ochrona zdrowia i bezpieczeństwa pracowników 6.3 Odzież ochronna i sprzęt ochrony osobistej Str. 18 6.4 Warunki bezpieczeństwa 6.5 Wpływ na zdrowie mieszkańców Str. 20 Odcieki odbierane są przy pomocy sączków drenarskich (rury PEHD o średnicy 100 mm), ułożonych wzdłuż obu kwater w kierunku rurociągów zbierających odcieki (rury PEHD o średnicy 200 mm). Rurociągi zbiorcze usytuowane są prostopadle do sączków drenarskich i połączone w kolektor (rura PEHD o średnicy 250 mm) doprowadzający odcieki do studni. Wszystkie elementy drenażu ułożone są ze spadkiem 1% umożliwiającym swobodny spływ odcieków. Każda kwatery posiada oddzielny drenaż i studnię zbiorczą na odcieki o głębokości 3500 m i średnicy 150 mm każda, usytuowanych tuż przy granicy wysypiska. Odcieki do studni wpływają na wysokości 1000 mm od jej dna. Wewnątrz każdej studni zainstalowana są pompy pływakowe sterowane automatycznie lub w razie potrzeby ręcznie, służące do odprowadzania odcieków do kolektora sanitarnego o średnicy 600 mm, usytuowanego wzdłuż ogrodzenia wysypiska po jego zewnętrznej stronie. Studnie zabezpieczone są od góry</p>	<p>W studzience zbiorczej odcieków S-2 nie wykryto typowego gazu składowiskowego.</p> <p>6.3 – nie uwzględniono osobistych detektorów gazu</p> <p>Opis istotny do zrozumienia działania systemu i odprowadzania gazu ze składowiska.</p>

Źródło	Informacje istotne dla niniejszego opracowania	Uwagi
	<p>pokrywami, w których zamontowano po dwa kominki wentylacyjne wykonane z rury PVC o średnicy 100 mm.</p> <p>Str. 27 / 28</p> <p>7.2.1.5 Emisja zorganizowana – odgazowanie przymy odpadów</p> <p>Do sporządzenia prognozy ilościowej gazu wysypiskowego przyjęto następujące założenia:</p> <ul style="list-style-type: none"> - okres składowania odpadów 10 miesięcy - powierzchnia wysypiska 2,5 ha - ilość odpadów komunalnych 157 tys. ton - skład odpadów: <ul style="list-style-type: none"> Papier 17,3% Metale 6,5% Szkło 12,9% Tekstylia 9,1% Tworzywa sztuczne 8,8% Odpady organiczne 35,3% Inne 10,1% <p>Prognozę produkcji biogazu wykonano posługując się programem GW-3. Wyniki przedstawia poniższy wykres:</p>  <p>Rysunek Prognoza produktywności gazowej</p> <p>Str. 29</p> <p>Rozważania teoretyczne na podstawie testów aktywnego odgazowania ze studni zbiorczych odcieków</p>	<p>Dane uwzględniono przy opracowywaniu modelu prognozy produkcji gazu składowiskowego.</p> <p>Jako dane wyjściowe do modelu przyjęto przytoczony skład odpadów.</p> <p>Wyniki modelu GW-3 porównano z modelem w niniejszym raporcie.</p>

Źródło	Informacje istotne dla niniejszego opracowania	Uwagi
	Zagospodarowanie biogazu – 3 warianty 1 2000-2002 (150-200 m ³ /h) 2003-2009 (80-120 m ³ /h) – kogeneracja 2 agregaty 2 do 2009 (80 m ³ /h) – kogeneracja 1 agregat 3 do 2009 (80 m ³ /h) – kogeneracja 2 agregat, nadwyżki kocioł i pochodnia	Realizacja systemu odgazowania i wykorzystanie gazu nie doszły do skutku. Składowisko nie posiadało i nie posiada typowego systemu odgazowania.
5	Pomiary stężeń zanieczyszczeń w powietrzu	Brak odniesienia do oceny potencjału gazowego i oceny ryzyka. Maksymalne stężenie CH ₄ wyniosło 1655 µg/m ³
6	Str. 3 2 Stan istniejący obiektu Składowisko odpadów komunalnych Łódź-Lublinek eksploatowane było w okresie 9 miesięcy, tj. od stycznia do września 1996 r. W czasie tym zdeponowano na nim ok. 157 tys. ton odpadów bytowych i ok. 3,5 tys. ton odpadów budowlanych, głównie gruzu, usypując formę wniesioną średnio na ok. 12 m n.p.t. obecnie bryła wysypiska (wierzchowina i skarpy) została zrekultywowana technicznie, poprzez odpowiednie uformowanie i przykrycie gruntem mineralnym. Str. 4 (...) stanowiska [placów [przeładunkowych] nie będą kolizyjne dla środowiska. Ich potencjalne oddziaływanie będzie się mieściło z zasięgu oddziaływania istniejącego wysypiska	Dane uwzględniono przy opracowywaniu modelu prognozy produkcji gazu składowiskowego. Mapka lokalizacji pomiarów zanieczyszczeń powietrza raport WIOŚ – [5] raport WIOŚ
7	 Formowanie nasypu odpadów i droga wjazdowa na hałdę	Fotografie wykorzystano do porównania sytuacji aktualnej z historyczną.

Źródło	Informacje istotne dla niniejszego opracowania	Uwagi
	 <p>Skarpa od strony kanału awaryjnego zrzutu ścieków z kolektora „Polesie” (pn-zach)</p>	
8	<p>Objętość całkowita 131 570 m³, w tym: Ziemia izolacyjna 20 220 m³ Odpady 111 350 m³ Str. 32a „nie przewiduje się odgazowania terenu składowiska” W przypadku gdy analizy potwierdzą potrzebę odgazowania czynnego, w ramach projektu rekultywacji wykonany zostanie projekt odgazowania. Charakterystyka odpadów - skład odpadów: Papier 17,3% Metale 6,5% Szkło 12,9% Tekstylia 9,1% Tworzywa sztuczne 8,8% Odpady organiczne 35,3% Inne 10,1% Str. 40 Ogólne warunki zabezpieczenia pracy na terenie składowiska 7 Do szczególnie zagrożonych obiektów gospodarki odpadami należą studnie zbiorcze odcieków. Do ich obsługi należy zabezpieczyć sprzęt ochronny:</p>	<p>Dane uwzględniono przy opracowywaniu modelu prognozy produkcji gazu składowiskowego.</p>

Źródło	Informacje istotne dla niniejszego opracowania	Uwagi
	(...) - wykrywacze zawartości gazu - maski przeciwgazowe - aparaty powietrzne - przenośne urządzenia do wentylacji i przewietrzania	Uwzględniono zagrożenie gazem, osobiste detektory gazu i inny sprzęt ochronny

Inspekcje obiektu przeprowadzone w dniach 7 października (wstępna) i 7 listopada potwierdziły informacje zawarte w przytoczonych opracowaniach.

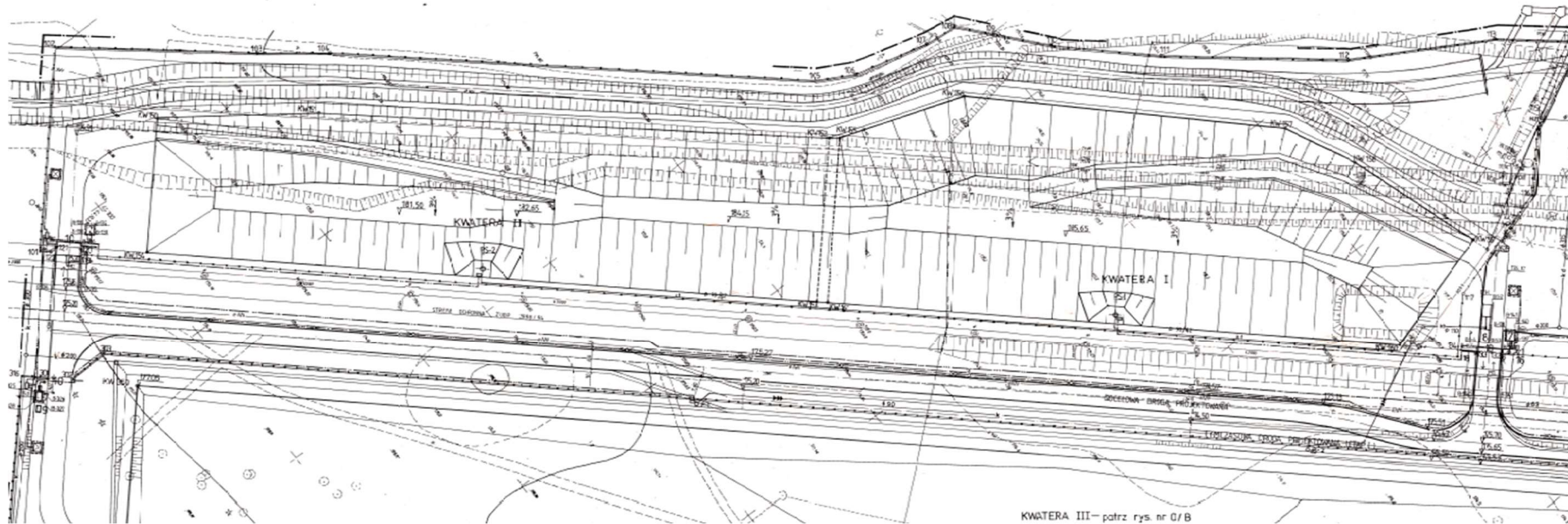


Fot. 1 Widok na hałdę od strony zachodniej (ze składowiska balastu)

Hałda odpadów wznosi się na około 12 – 13 m nad poziom terenu. Porośnięta jest gęstą roślinnością – drzewami, krzewami, bylinami i trawą – bez widocznych śladów oddziaływania gazu składowiskowego na strefę korzeniową. Zlokalizowano jedną z dwóch zbiorczych studni odciekowych i uskutecznilo do niej dostęp. Miejscami widoczne są osuwiska i strome skarpy z widocznymi na powierzchni odpadami. Wjazd na koronę hałdy znajduje się od strony północno-wschodniej. Południowo-zachodni skraj hałdy kończy się urwiskiem o wysokości około 10 m, z widocznymi odpadami.



Fot. 2 Urwisko od strony południowo-zachodniej



Rysunek 1 Mapa hałdy z podziałem na kwatery (Wycinek Planu Zagospodarowania Terenu, Biuro Architektoniczne NOW, 1996)



Rysunek 2 Lokalizacja hałdy (Google Earth, 2018)

5. Model produkcji biogazu składowiskowego

Przy opracowywaniu modelu prognozy produkcji biogazu oparto się na danych o ilości i jakości odpadów, zawartych w udostępnionych materiałach (Tabela 1, Rozdział 4).

Jakiegokolwiek modelowanie teoretyczne jest zawsze procesem upraszczającym niezwykle skomplikowane procesy rozkładu zachodzące w składowanych odpadach. Każde modelowanie teoretyczne zawiera nieuniknione błędy, wynikające z niedokładności dostępnych danych i natury samego modelu. Dlatego też uzasadnione jest przedstawianie produkcji biogazu jako zakresu wartości, zawartych pomiędzy dwoma krzywymi: tzw. „konserwatywną” – zaniżoną i „optymistyczną” – zawyżoną. Krzywa „konserwatywna” używana jest zwykle do doboru urządzeń wykorzystujących energię z biogazu, a krzywa „optymistyczna” do zaprojektowania systemu odgazowania z uwzględnieniem zapasu projektowego.

Do celów prognozowania przyjęto:

- okres eksploatacji kwatery między styczniem a październikiem 1996
- 196 000 Mg zdeponowanych odpadów
- udział frakcji w różnym stopniu ulegających biodegradacji na podstawie materiałów źródłowych, zweryfikowanych ekspertyzą [1] klasyfikującą kody odpadów.

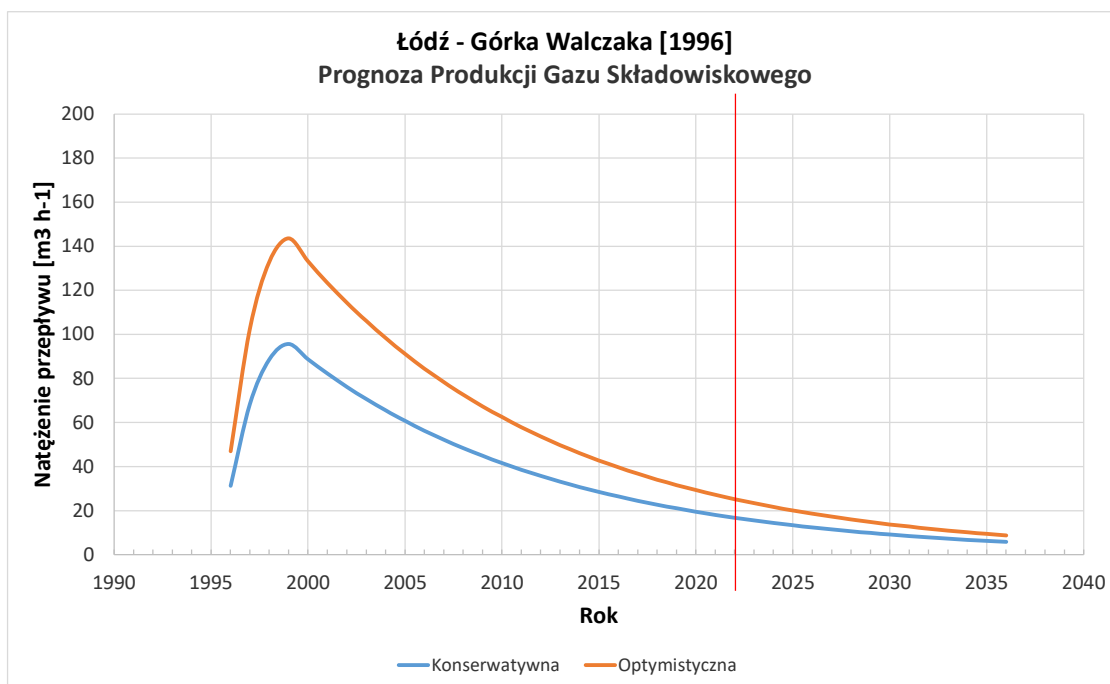
Materiały źródłowe podają kilka różniących się od siebie danych dotyczących ilości zdeponowanych odpadów:

[8] AUGUR 1995 –	150 000 Mg (projekt)
[6] IOŚ 1997 –	160 500 Mg
[4] ATMO-ex 2000 –	196 000 Mg
[3] ALLGEO 2021 –	94 000 Mg ($d = 1,0 \text{ Mg/m}^3$) lub 131 600 Mg ($d = 1,4 \text{ Mg/m}^3$) co wynika z obliczonej objętości hałdy $94\,000 \text{ m}^3$ i przełożeniu na gęstości (d) cytowane w pozostałych opracowaniach

Ponieważ opracowanie dotyczy m.in. zagrożenia gazem i bezpieczeństwa pracowników, zastosowano podejście zachowawcze (tzw. „najgorszy scenariusz” czyli maksymalną możliwą ilość generowanego gazu) i przyjęto wartość maksymalną, aby uniknąć niedoszacowania skali zagrożeń.

Rysunek 3 i Tabela 2 przedstawiają wyniki modelowania produkcji biogazu na hałdzie odpadów zwanej potocznie „Górką Walczaka”.

Zachowawcze podejście do modelowania w celu otrzymania maksymalnej ilości gazu wymagało nieuwzględnienia czynników wpływających na obniżenie stopnia generacji gazu, tj. eksploatacji kwatery na całej powierzchni, znacznego napowietrzenia odpadów i rekultywacji przy pomocy stosunkowo płytkiej warstwy gleby.

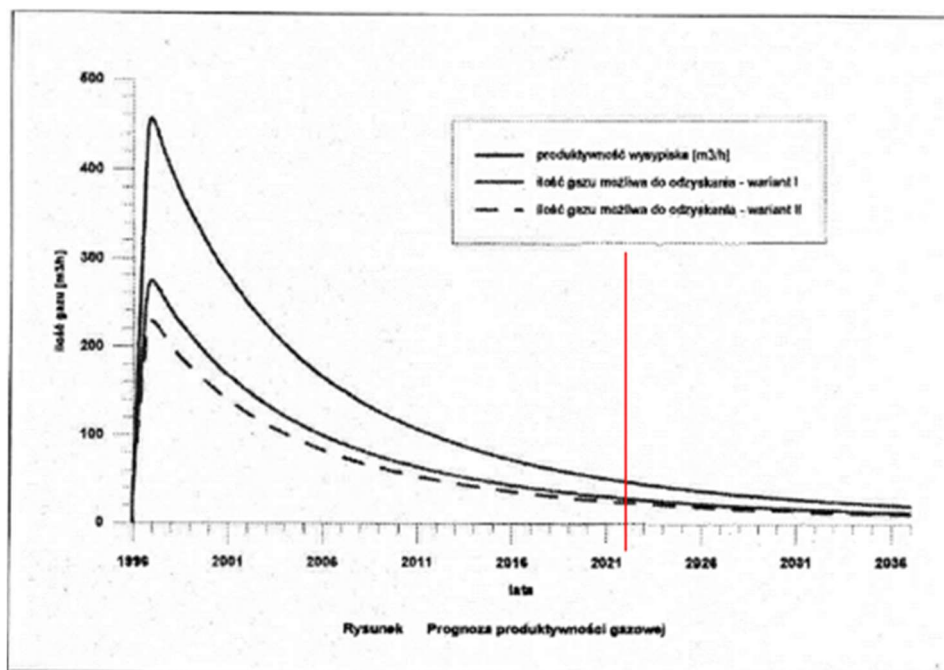


Rysunek 3 Wykres prognozy produkcji biogazu składowiskowego

Tabela 2 Prognoza produkcji biogazu składowiskowego

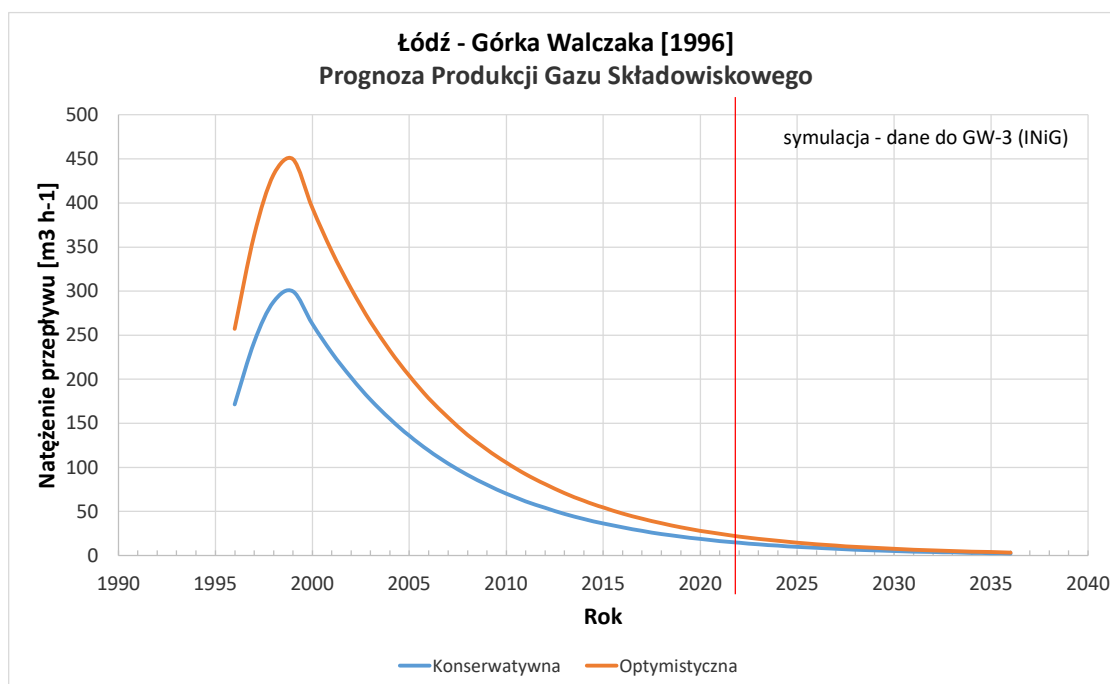
Rok	Natężenie przepływu biogazu [(N)m³/h]		Rok	Natężenie przepływu biogazu [(N)m³/h]	
	Prognoza Konservatywna	Prognoza Optymistyczna		Prognoza Konservatywna	Prognoza Optymistyczna
1996	31	47	2016	26	40
1997	68	102	2017	25	37
1998	89	133	2018	23	34
1999	96	143	2019	21	32
2000	89	133	2020	20	29
2001	82	123	2021	18	27
2002	76	114	2022	17	25
2003	71	106	2023	16	23
2004	66	98	2024	14	22
2005	61	91	2025	13	20
2006	56	84	2026	12	19
2007	52	78	2027	12	17
2008	48	73	2028	11	16
2009	45	67	2029	10	15
2010	42	62	2030	9	14
2011	39	58	2031	9	13
2012	36	54	2032	8	12
2013	33	50	2033	7	11
2014	31	46	2034	7	10
2015	29	43	2035	6	9

Wyniki modelowania teoretycznego wskazują na produkcję biogazu w roku 2022 wahającą się pomiędzy 17 a 25 m³/h z tendencją spadkową w następnych latach.



Rysunek 4 Wyniki modelowania GW-3 (ATMO-ex-INiG, 2000)

W modelu GW-3 stosowanym przez Instytut Nafty i Gazu z Krakowa (INiG), cytowanym w [4], najprawdopodobniej przyjęto, że całość deponowanych odpadów ulegnie biodegradacji. Założenie to poparte jest stromym wzrostem krzywej produkcji gazu oraz ilością generowanego gazu w rok po zaprzestaniu deponowania odpadów. Tezę tę sprawdzono poprzez symulację, która dała porównywalny wynik (Rysunek 5).



Rysunek 5 Wyniki modelowania – dane wyjściowe ATMO-ex-INiG, 2000

Do celów niniejszego opracowania przeprowadzono kilka symulacji modelu w oparciu o wyżej wymienione dane źródłowe o znacznym rozrzucie.

Informacjami najbardziej istotnymi dla sformułowania wniosków są wyniki dla roku 2022 wykazujące porównywalne natężenia przepływu gazu pomimo różniących się między sobą danych. Nawet wyniki przeszacowanego przez model GW-3 potencjału gazowego mieszczą się w tych ramach.

Model oparty na najbardziej realistycznych danych wykazuje w roku 2022 natężenie przepływu rzędu 17 – 25 m³/h, model GW-3 – 25 – 40 m³/h, a symulacja z danymi przypuszczalnie użytymi przez INiG – 14 – 22 m³/h. Wyniki pozostałych sześciu symulacji mieściły się w granicach 12-37 m³/h.

Jest to ten sam rząd wielkości, charakterystyczny dla końcowej, nisko intensywnej fazy generacji gazu składowiskowego, w której mikroorganizmy rozkładają resztkowe ilości substratów rozproszonych w bryle składowiska.

W fazach końcowych istotny jest też zauważalny spadek temperatury złoża, który wpływa na spowolnienie procesów rozkładu oraz sprzyja aktywności bakterii psychrofilnych, wytwarzających gaz z niską intensywnością przez długi okres czasu.

6. Instalacja sond gazowych

W dniu 28 października 2022 r. zainstalowano pięć z sześciu sond gazowych. Jedna z nich (GW5) uległa uszkodzeniu podczas instalacji. Sondę GW 5 zainstalowano 7 listopada 2022 r. Wybór lokalizacji sond uwarunkowany był najwyższym prawdopodobieństwem obecności gazu. sondy rozmieszczono wzdłuż korony hałdy w odległościach około 25 m od siebie (Rysunek 6).



Rysunek 6 Lokalizacje sond gazowych

Każda sonda składała się z dwóch 1-metrowych odcinków stalowej rury o średnicy 3/4" i dwóch odcinków stalowej rury pełnej o takiej samej średnicy. Nagwintowane z obu końców rury łączono mufami podczas instalacji. Najniższa sekcja rury perforowanej została zaślepiona i zaostzona. Ostatnią, górną sekcję pozostawiono 0,4 – 0,7 m nad poziomem terenu i zaopatrzono w zawór kulowy oraz króciec do poboru próbek gazu.



Fot. 3 Sonda gazowa przed instalacją

Sondy zainstalowano do głębokości 3,5 – 4 m pod powierzchnią terenu. Znaczne zagęszczenie odpadów powodowało trudności z instalacją sond, dlatego też powzięto decyzję o użyciu ładowarki.



Fot. 4 Instalacja sondy gazowej



Fot. 5 Zainstalowana sonda gazowa GW1



Fot. 6 Instalacja sondy gazowej GW5

Po instalacji sprawdzono drożność sond i wykonano pierwszy pomiar parametrów gazu. Po pomiarach zawory zamknięto i pozostawiono sondy do ustabilizowania warunków gazowych.

W dniu 7 listopada, w lokalizacji 007 (Rysunek 6) zainstalowano dodatkowo do celów porównawczych sondę o średnicy 3”.



Fot. 7 Instalacja sondy 3”

Po ostatnim pomiarze wykonanym do celów niniejszego opracowania sondy pozostawiono do ewentualnych dalszych badań.



Rysunek 7 Pomiar składu gazu w studni odciekowej S-2

Poza nieznacznym stężeniem ditlenku węgla (0,05%) w studni nie wykryto obecności metanu i siarkowodoru. Może to świadczyć o nieskuteczności drenażu do odprowadzania gazu, niedrożności kolektora lub o zalaniu drenażu odciekami, jak również o niskiej intensywności generacji gazu.

7. Badania w sondach gazowych

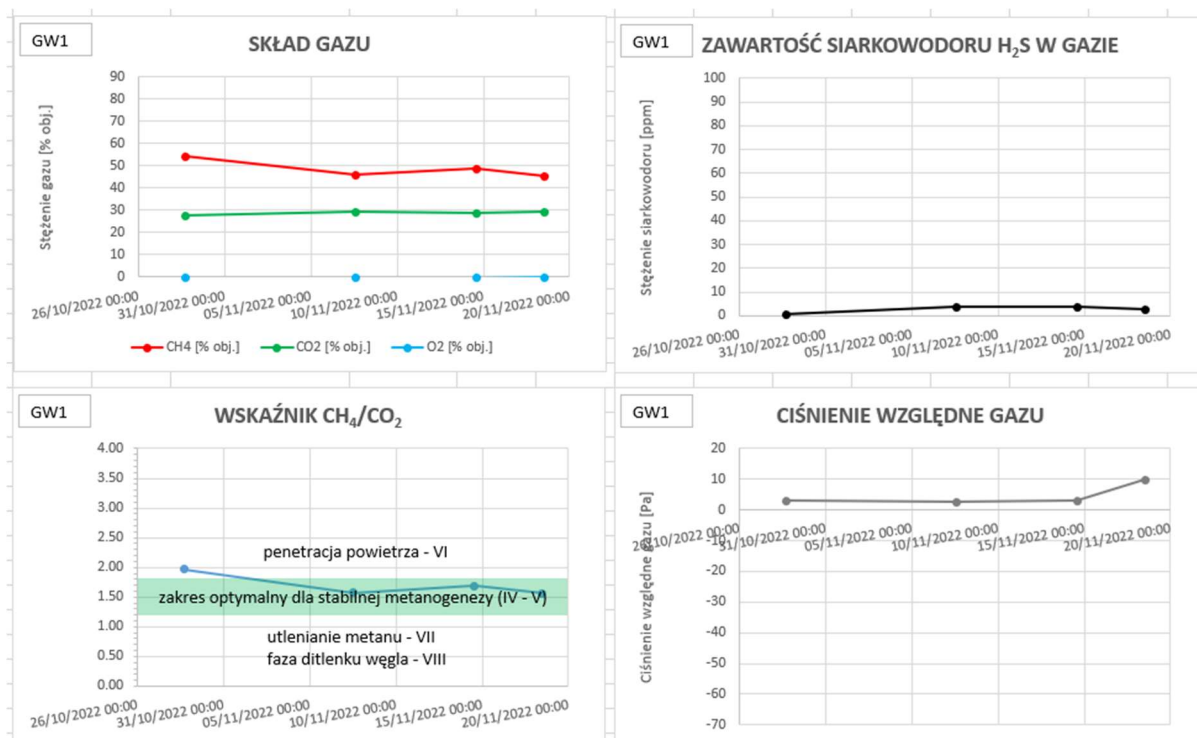
W celu zebrania danych niezbędnych do oceny sytuacji na hałdzie wykonano pomiary parametrów gazu oraz temperatury w sondach.

Skład, ciśnienie i natężenie przepływu gazu pomocne są przy określeniu fazy generacji gazu i stadium rozkładu odpadów. Temperatura złoża odzwierciedla warunki rozkładu odpadów.

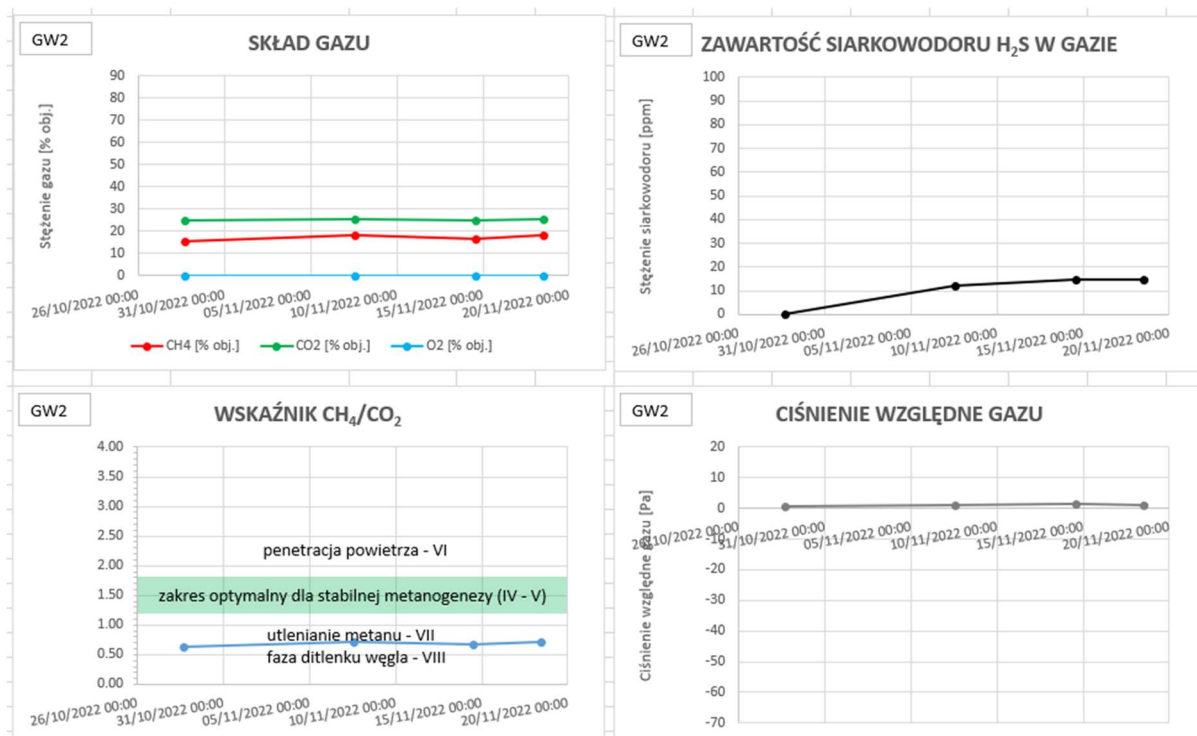
W okresie miesiąca wykonano cztery pomiary gazu, zgodnie z wytycznymi [9]. Szczegóły omówione będą dalej, przy interpretacji wyników oraz w Rozdziale 9.

Tabela 3 Pomiary parametrów gazu w sondach

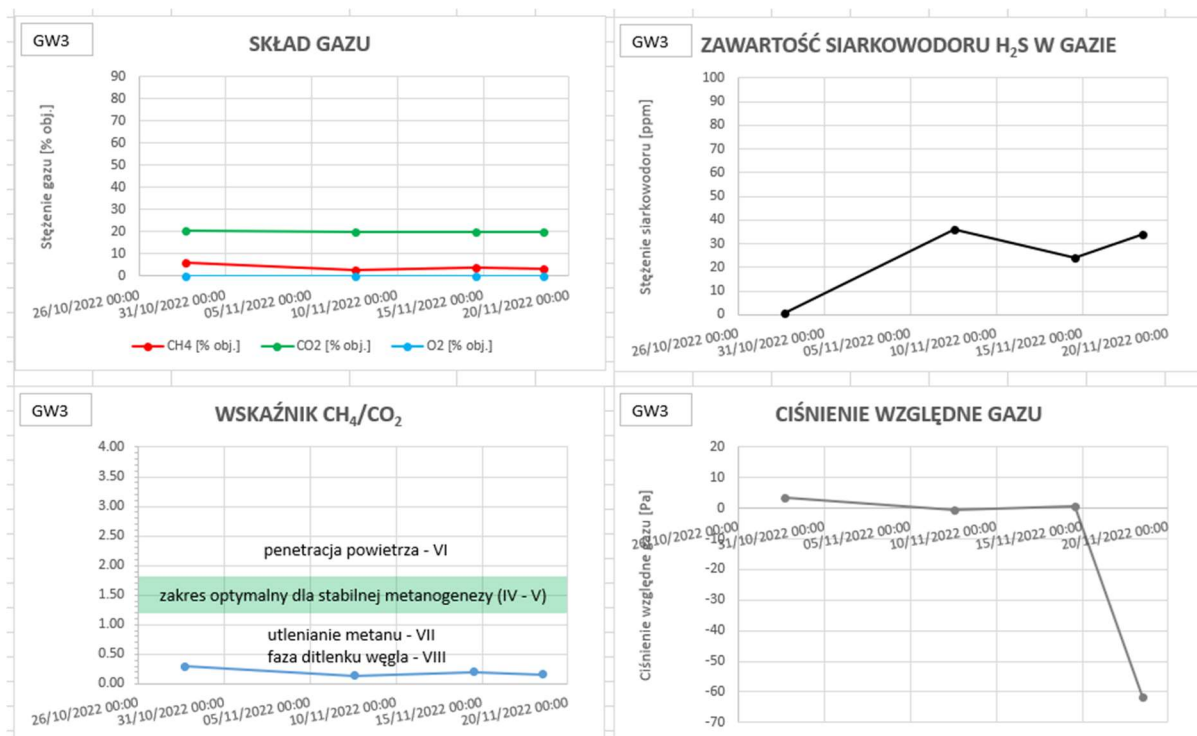
Punkt pomiaru	Data i Godz.	CH ₄ [% obj.]	CO ₂ [% obj.]	O ₂ [% obj.]	N ₂ [% obj.]	H ₂ S [ppm]	CH ₄ /CO ₂	Ciśnienie gazu [Pa]	Prędkość przepływu gazu [m/s]	Uwagi 1	Uwagi 2
GW1	28/10/2022 16:45	54,24	27,62	0,0	18,14	1	1,96	3,0		CH ₄ spada	instalacja
GW1	07/11/2022 13:10	46,34	29,47	0,0	24,19	4	1,57	2,8	0	wahania ciśnienia	
GW1	14/11/2022 13:34	48,72	28,84	0,0	22,44	4	1,69	3,0		wahania ciśnienia	
GW1	18/11/2022 11:25	45,71	29,19	0,1	25,00	3	1,57	10,0		wahania ciśnienia	
GW2	28/10/2022 16:35	15,48	24,71	0,0	59,81	0	0,63	0,6			instalacja
GW2	07/11/2022 13:27	18,12	25,53	0,0	56,35	12	0,71	1,2	0,18		
GW2	14/11/2022 13:12	16,77	25,21	0,0	58,02	15	0,67	1,6			
GW2	18/11/2022 11:48	18,29	25,60	0,0	56,11	15	0,71	1,0			
GW3	28/10/2022 16:30	6,07	20,53	0,0	73,40	1	0,30	3,3		CH ₄ spada i wzrasta	instalacja
GW3	07/11/2022 13:47	2,67	19,81	0,0	77,52	36	0,13	-0,7	0	wahania ciśnienia	
GW3	14/11/2022 13:34	4,04	19,88	0,0	76,08	24	0,20	0,6		wahania ciśnienia	
GW3	18/11/2022 12:08	3,10	19,83	0,0	77,07	34	0,16	-61,7		rosnące podciśnienie!	
GW4	28/10/2022 16:25	25,10	21,40	0,0	53,50	1	1,17	-0,5		CH ₄ spada	instalacja
GW4	07/11/2022 13:55	20,50	22,24	0,1	57,16	64	0,92	0,7	0	CH ₄ spada	
GW4	14/11/2022 13:41	21,98	22,12	0,0	55,90	60	0,99	0,7		CH ₄ spada	
GW4	18/11/2022 12:15	21,27	21,82	0,2	56,71	8	0,97	2,0		CH ₄ spada	
GW5	07/11/2022 14:06	41,30	25,24	0,1	33,36	1	1,64	1,7	0	wahania ciśnienia	instalacja
GW5	14/11/2022 14:00	61,65	24,98	0,0	13,37	2	2,47	5,0		wahania ciśnienia	
GW5	18/11/2022 12:35	54,86	24,59	0,0	20,55	1	2,23	2,0		wahania ciśnienia	
GW6	28/10/2022 16:20	16,68	22,94	0,1	60,28	0	0,73	0,6			instalacja
GW6	07/11/2022 14:15	32,90	27,93	0,1	39,07	10	1,18	2,9	0	wahania ciśnienia	
GW6	14/11/2022 14:16	34,81	27,35	0,0	37,84	11	1,27	1,8		wahania ciśnienia	
GW6	18/11/2022 12:47	33,19	27,38	0,0	39,43	12	1,21	2,2		wahania ciśnienia	
GW7	07/11/2022 15:34	7,13	10,29	11,1	71,48	1	0,69			sonda 3"	instalacja
GW7	14/11/2022 13:05	8,38	9,37	12,8	69,45	0	0,89			sonda 3"	
GW7	14/11/2022 13:07	7,45	8,49	13,6	70,46	0	0,88			sonda 3"	
GW7	18/11/2022 11:44	6,07	5,43	16,6	71,90	1	1,12			sonda 3"	
GW8	07/11/2022 17:00	0,00	0,00	20,9	79,10	0				studnia odciekowa	



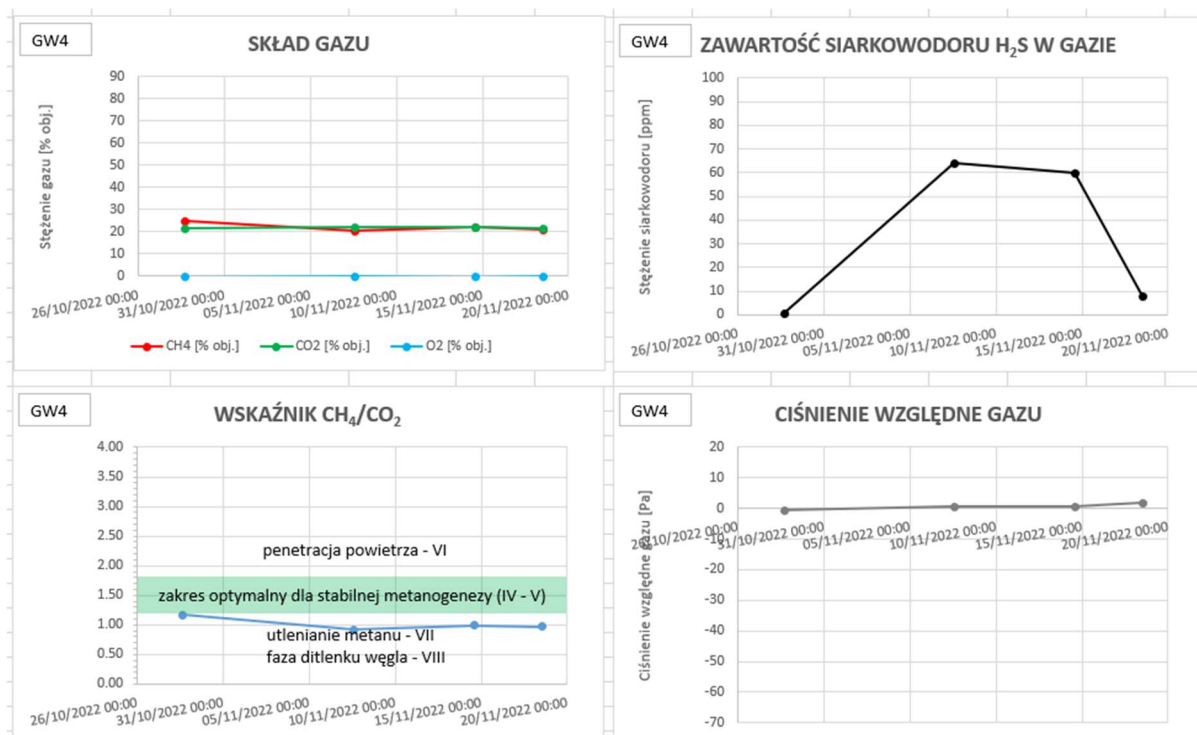
Rysunek 8 Wykresy parametrów gazu – sonda GW1



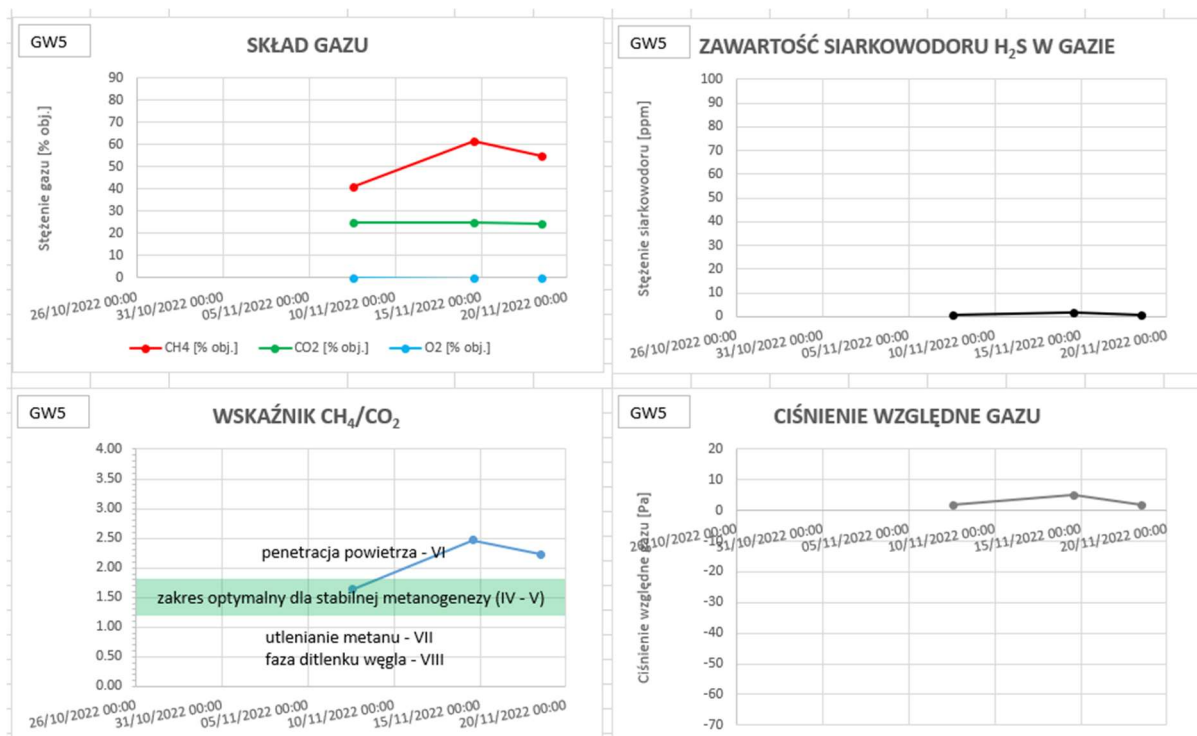
Rysunek 9 Wykresy parametrów gazu – sonda GW2



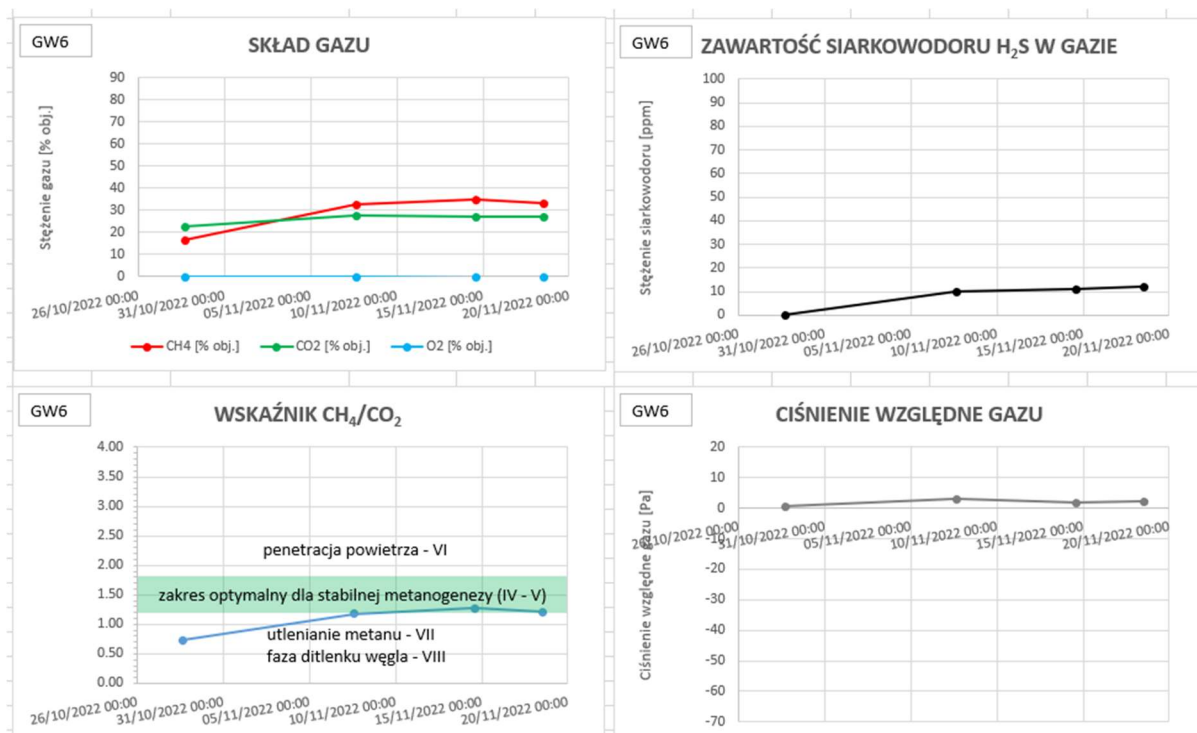
Rysunek 10 Wykresy parametrów gazu – sonda GW3



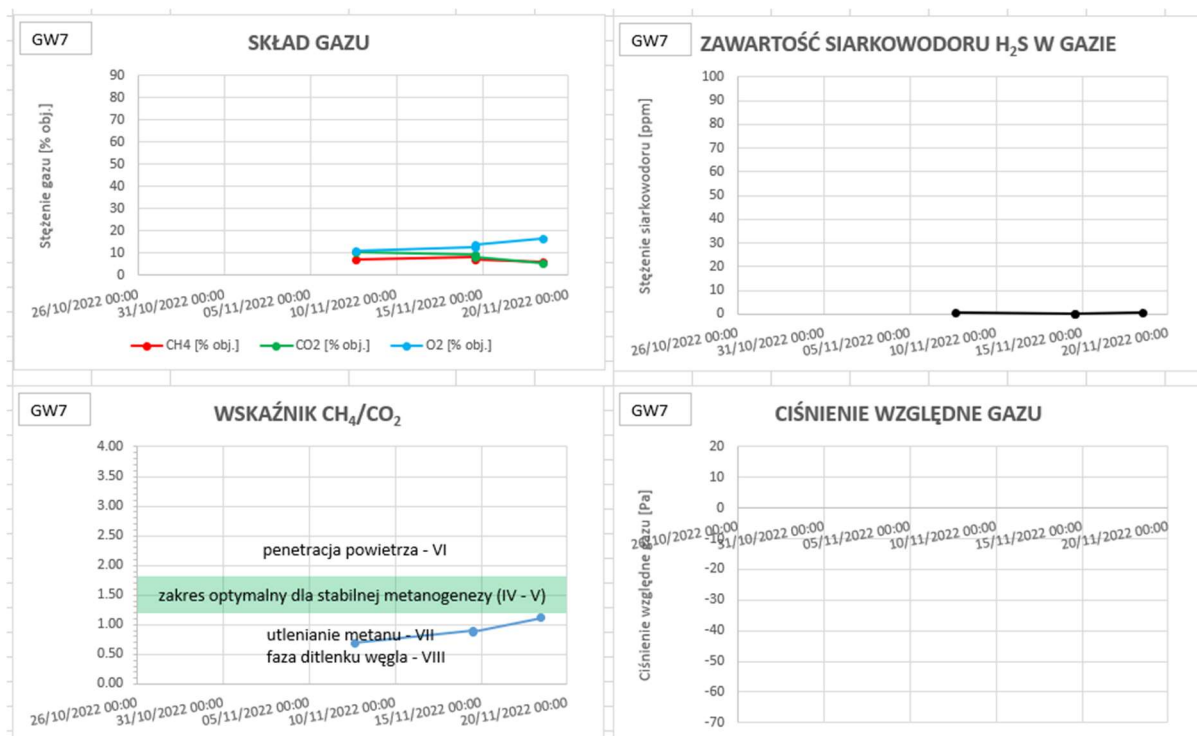
Rysunek 11 Wykresy parametrów gazu – sonda GW4



Rysunek 12 Wykresy parametrów gazu – sonda GW5



Rysunek 13 Wykresy parametrów gazu – sonda GW6



Rysunek 14 Wykresy parametrów gazu – sonda GW7

Ponieważ prędkości przepływu gazu w sondach były poniżej progu czułości anemometru – 0,01 m/s (za wyjątkiem jednego epizodu w sondzie GW2, w którym chwilowo odnotowano 0,18 m/s), podczas kolejnych sesji pomiarowych przeprowadzono test dłuższego, dziesięciominutowego pompowania, aby zaobserwować ewentualne zmiany składu gazu w trakcie opróżniania wnętrza sondy. Spadek stężeń gazów wskazywałby na niewielki rezerwuar gazu w bezpośrednim sąsiedztwie sondy. Utrzymywanie się stężeń na stałym poziomie mogłoby być dowodem na rezerwuar gazu, którego pompa analizatora nie jest w stanie wyczerpać w okresie testu.

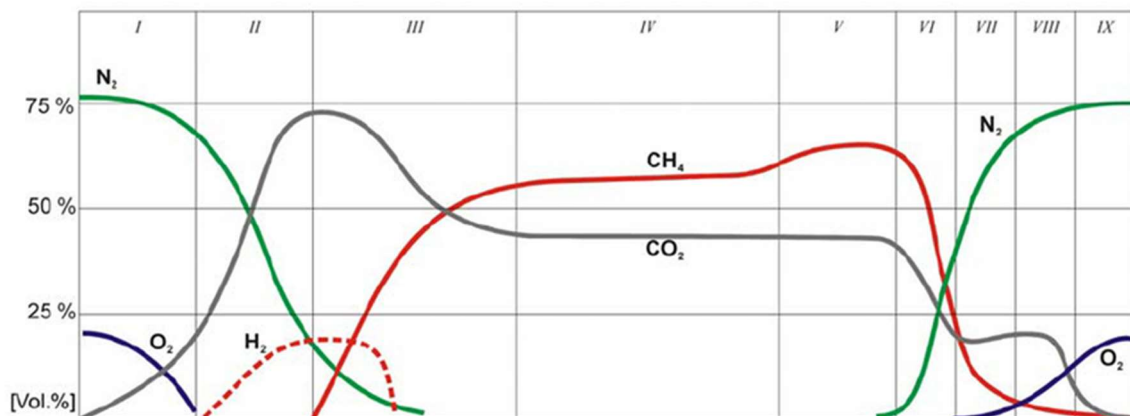
Wyniki testów przedstawiono graficznie na Rysunkach 16 – 21.

Wydajność pompy analizatora Biogas Optima 7 wynosi 0,8 dm³/min.

Pompowanie przez okres 10 minut daje objętość 0,8 dm³/min x 10 min = 8 dm³.

Wnioski z analizy wyników pomiarów przedstawiono w Tabeli 4.

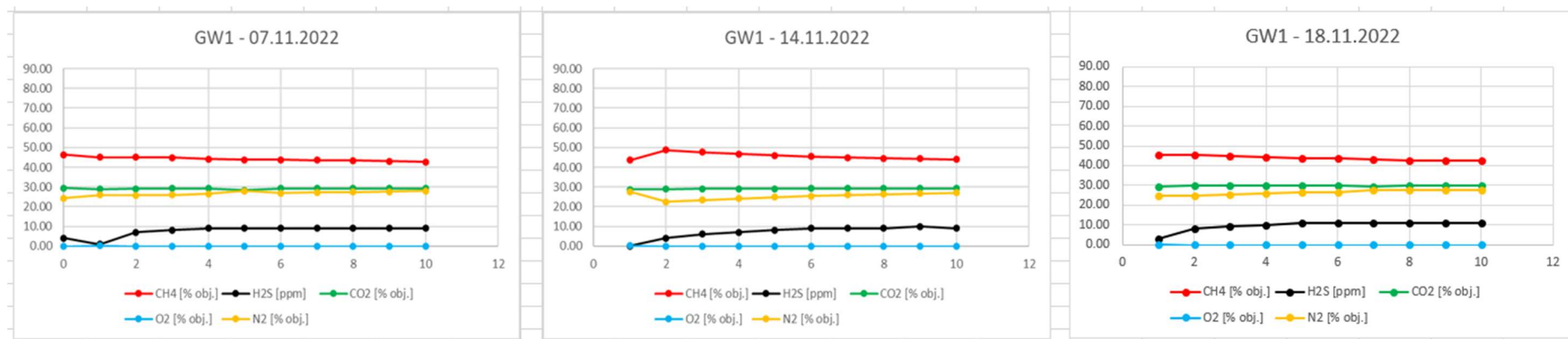
Do określenia fazy generacji gazu i rozkładu odpadów posłużono się wykresem Rettenbergera (Rysunek 15).



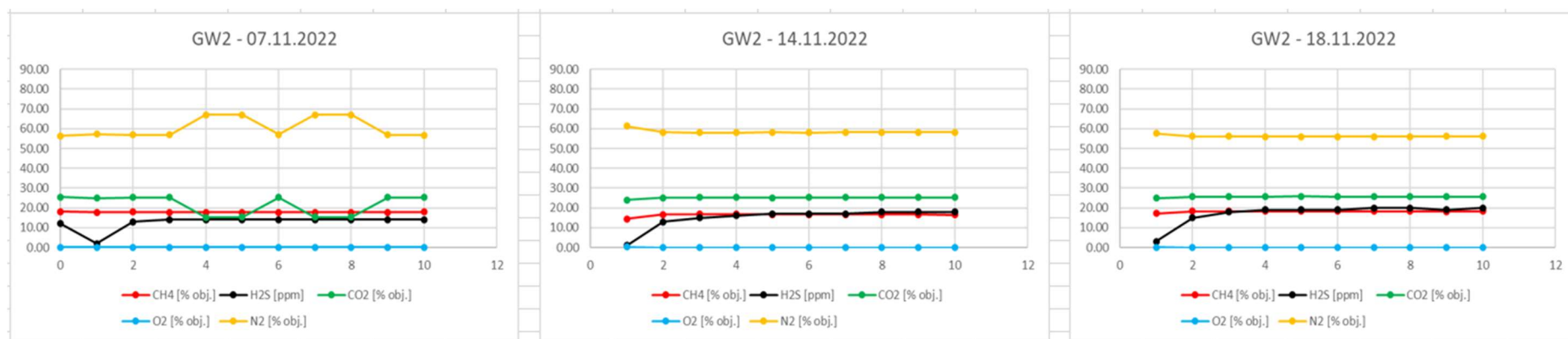
Rysunek 15 Fazy produkcji gazu w składowisku odpadów (Rettenberger 2005)

Fazy produkcji biogazu składowiskowego podczas rozkładu materii organicznej:

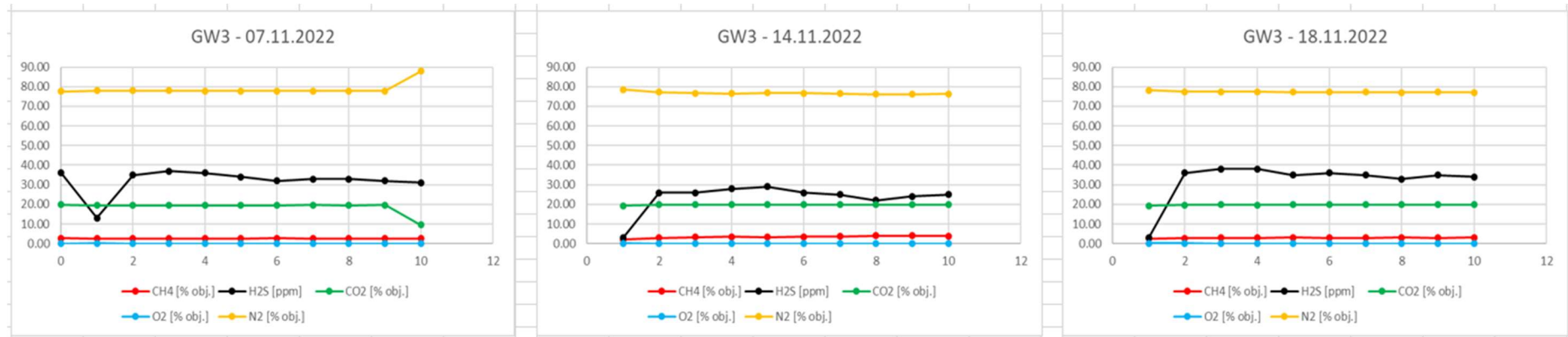
- Faza I – tlenowa (aerobowa)
- Faza II – kwasogenna (kwasowa)
- Faza III – niestabilna kwasogenna (octowa)
- Faza IV – stabilna beztlenowa metanogeneza
- Faza V – metanogeneza długoterminowa
- Faza VI – penetracja powietrza
- Faza VII – utlenianie (oksydacja) metanu
- Faza VIII – faza ditlenku węgla (aerobowa)
- Faza IX – faza powietrzna (aerobowa, mineralizacja)



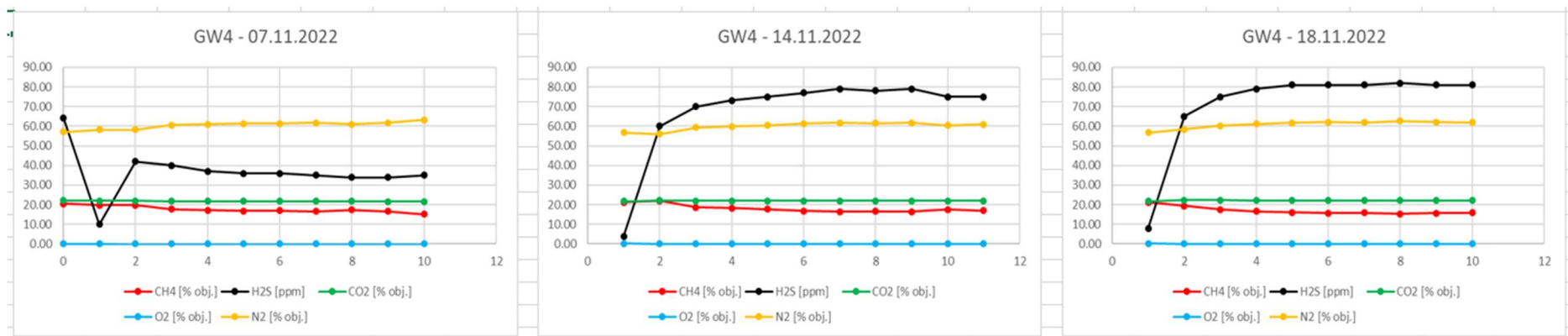
Rysunek 16 Wykresy składu gazu podczas pompowania – sonda GW1



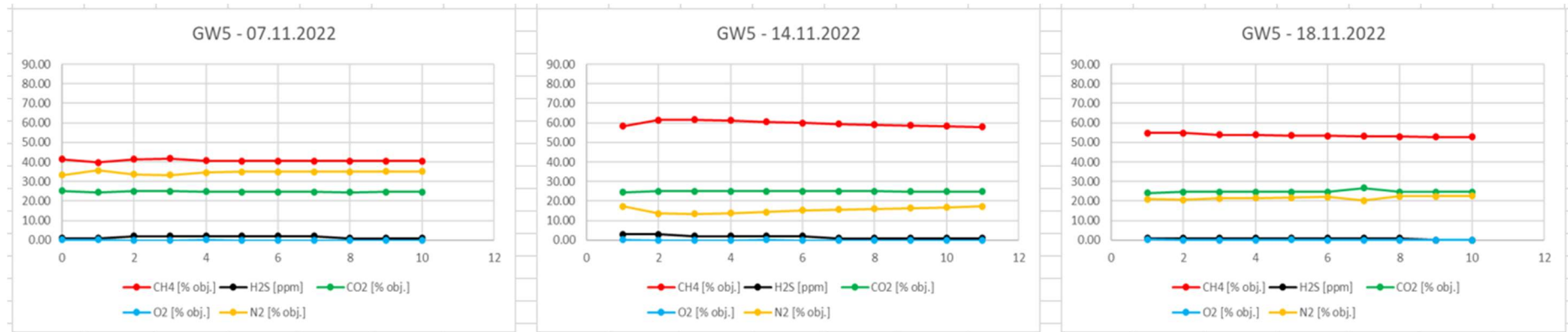
Rysunek 17 Wykresy składu gazu podczas pompowania – sonda GW2



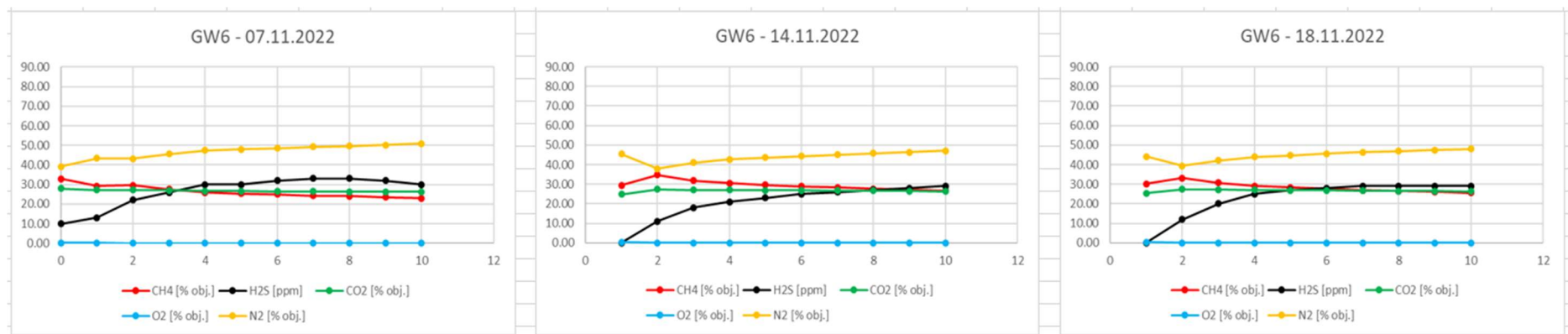
Rysunek 18 Wykresy składu gazu podczas pompowania – sonda GW3



Rysunek 19 Wykresy składu gazu podczas pompowania – sonda GW4



Rysunek 20 Wykresy składu gazu podczas pompowania – sonda GW5



Rysunek 21 Wykresy składu gazu podczas pompowania – sonda GW6

Tabela 4 Analiza wyników pomiarów gazu

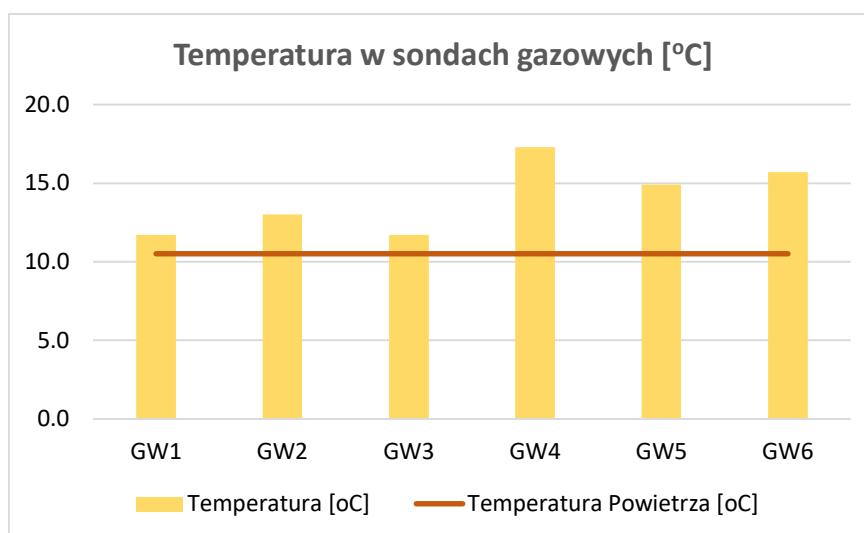
Sonda	Skład gazu	Ciśnienie i strumień gazu	Siarkowodór	Wskaźnik CH ₄ /CO ₂	Uwagi
GW1	CH ₄ : 45 – 54%, spadek CO ₂ : 27 – 29%, stabilne O ₂ : 0 – 0,1%	Nieznaczne, wahające się, 3 – 10 Pa. Strumień poniżej progu detekcji (<8 dm ³ /h).	Nieznaczne stężenie 1 – 3 ppm	Między fazą VI a V	Faza VI – penetracja powietrza. Koniec fazy V – stabilnej metanogenezy.
	CH ₄ : stabilne, niewielki spadek CO ₂ : stabilne O ₂ : 0%		Niskie stężenie ok. 10 ppm, stabilne	Nieznaczny spadek Faza V	Pompowanie Faza V
GW2	CH ₄ : 15 – 18%, nieznacznym wzrost CO ₂ : 25%, stabilne O ₂ : 0%	Nieznaczne, 0,6 – 1,6 Pa. Strumień poniżej progu detekcji z chwilowym epizodem 147 dm ³ /h.	Niskie stężenie 12 – 15 ppm	Fazy VII i VIII	Faza VII – utlenianie metanu
	CH ₄ : stabilne, niewielki spadek CO ₂ : stabilne, epizody spadku i powrotu do stałego poziomu O ₂ : 0%		Niskie stężenie 10 – 20 ppm Niewielki wzrost z czasem	Stały poza czterema epizodami Faza VII	Pompowanie Faza VII – utlenianie metanu
GW3	CH ₄ : 3 – 6%, spadek CO ₂ : 19 – 20%, stabilne O ₂ : 0%	Nieznaczne, wahające się, negatywne -61,7 – 3,3 Pa. Strumień poniżej progu detekcji (<8 dm ³ /h).	Podwyższone stężenie 24 – 36 ppm	Fazy VII i VIII	Faza VIII – ditlenku węgla. Aktywna wymiana gazowa z atmosferą.
	CH ₄ : stabilne CO ₂ : stabilne O ₂ : 0%		Podwyższone stężenie Wahania w czasie rzędu 10 – 40 ppm	Nieznacznym wzrost Faza VIII	Pompowanie Faza VIII – ditlenku węgla.

Sonda	Skład gazu	Ciśnienie i strumień gazu	Siarkowodór	Wskaźnik CH ₄ /CO ₂	Uwagi
GW4	CH ₄ : 20 – 25%, spadek CO ₂ : 21 – 22%, stabilne O ₂ : 0 – 0,1%	Nieznaczne, wahające się, negatywne -0,5 – 2,0 Pa. Strumień poniżej progu detekcji (<8 dm ³ /h).	Podwyższone stężenie 8 – 64 ppm, spadek	Fazy VII i VIII	Faza VII – utlenianie metanu. Aktywna wymiana gazowa z atmosferą.
	CH ₄ : stabilne, nieznaczny spadek CO ₂ : stabilne O ₂ : 0%		Podwyższone stężenie 40 – 80 ppm, wzrost z czasem	Niewielki spadek. Faza VII – utlenianie metanu.	Pompowanie Faza VII – utlenianie metanu.
GW5	CH ₄ : 41 – 62%, spadek CO ₂ : 24 – 25%, stabilne O ₂ : 0 – 0,1%	Nieznaczne, wahające się, 1,7 – 5 Pa. Strumień poniżej progu detekcji (<8 dm ³ /h).	Nieznaczne stężenie 1 – 2 ppm	Faza VI	Faza VI – penetracja powietrza
	CH ₄ : wzrost i spadek w czasie; nieznaczny spadek podczas pompowania CO ₂ : stabilne O ₂ : 0%		Nieznaczne stężenie Stabilne	Wzrost i niewielki spadek Faza VI	Pompowanie Faza VI – penetracja powietrza. Sonda nieustabilizowana przy pierwszym pomiarze.
GW6	CH ₄ : 16 – 35%, spadek CO ₂ : 23 – 28%, stabilne O ₂ : 0%	0,6 – 2,9 Pa. Strumień poniżej progu detekcji (<8 dm ³ /h).	Niskie stężenie 10 – 12 ppm	Faza VII i VIII	Faza VII – utlenianie metanu
	CH ₄ : spadek podczas pompowania; stabilne CO ₂ : stabilne O ₂ : 0%		Podwyższone stężenie 10 – 35 ppm Niewielki wzrost podczas pompowania	Niewielki wzrost w czasie. Nieznaczny spadek podczas pompowania. Faza VII – utlenianie metanu	Pompowanie Faza VII – utlenianie metanu. Wyczerpywanie się rezerwuaru gazu.
GW7	CH ₄ : 6 – 8%, spadek CO ₂ : 5 – 9%, spadek O ₂ : 11 – 16% Rozcieńczenie powietrzem	Pomiar niewykonalny. Sonda otwarta do atmosfery.	Nieznaczne stężenie 0 – 1 ppm	Faza VII i VIII	Faza VII – utlenianie metanu. Rozcieńczenie powietrzem. Pompowania nie przeprowadzono.

W dniu 7 listopada 2022 r. wykonano pomiary temperatury w sondach (Tabela 5, Rysunek 22) przy temperaturze otoczenia wynoszącej 10,5°C.

Tabela 5 Wyniki pomiarów temperatury w sondach

Punkt pomiaru	Data i Godz.	Temperatura [°C]
GW1	07/11/2022 15:53	11,7
GW2	07/11/2022 16:06	13,0
GW3	07/11/2022 16:15	11,7
GW4	07/11/2022 16:20	17,3
GW5	07/11/2022 16:27	14,9
GW6	07/11/2022 16:40	15,7



Rysunek 22 Temperatura w sondach gazowych

Temperatura jest wskaźnikiem aktywności złoża odpadów generujących gaz (Tabela 6).

Tabela 6 Warunki rozkładu odpadów ze względu na temperaturę

Aktywność bakterii (typ procesu)	Optymalna temperatura [°C]	Wydajność procesu w składowisku odpadów	Czas trwania procesu w składowisku odpadów
PSYCHROFILE	<25	NISKA	DŁUGOTRWAŁY (dekady – setki lat)
MEZOFILE	30 – 40	ŚREDNIA	ŚREDNIOTRWAŁY (lata – dekady)
TERMOFILE	>40	WYSOKA	KRÓTKOTRWAŁY (miesiące – lata)

Temperatury zmierzone w sondach wskazują na psychrofilny proces rozkładu odpadów, charakteryzujący się stosunkowo niską intensywnością i długotrwałą produkcją biogazu. Wyniki

potwierdzają obserwacje dotyczące wieku odpadów i parametrów wytwarzanego na składowisku gazu.



Fot. 8 Pomiar ciśnienia gazu w sondzie (1)



Fot. 9 Pomiar ciśnienia gazu w sondzie (2)



Fot. 10 Pomiar składu gazu w sondzie



Fot. 11 Pomiar prędkości przepływu gazu w sondzie



Fot. 12 Pomiar prędkości przepływu gazu w sondzie GW2 (epizod 0,18 m/s)



Fot. 13 Pomiar składu gazu w sondzie GW7



Fot. 14 Pomiar temperatury w sondzie gazowej

8. Badania sondą penetracyjną

Badanie sondą penetracyjną przeprowadzono w 30. losowo wybranych lokalizacjach (Rysunek 25), gdzie można było się spodziewać największych emisji powierzchniowych gazów – na skarpach i u podnóża skarp. Badanie polegało na nakłuciu gruntu stalową sondą o średnicy 8 mm, w dolnym końcu zakończoną ostrzem i perforacją. Zagłębienie sondy zależało od zagęszczenia gruntu i wahała się od 30 do 80 cm. Górny koniec sondy połączony był z analizatorem gazów. Gaz nagromadzony w sondzie pompowany był do chwili ustabilizowania się odczytu. Jest to prosta i sprawdzona metodyka, stosowana do pomiarów obecności gazów gruntowych w warstwie powierzchniowej badanego terenu. W lokalizacjach odkrywek TP1 i TP2 grunt był zbyt zwięzły, aby można było wejść wprowadzić sondę do uzyskania miarodajnego pomiaru. Pomiar nad odkrywkami nie wykazały obecności gazu składowiskowego.

Wyniki pomiarów zamieszczono w Tabeli 7 i na przedstawiono na Rysunkach 23 i 24.

Maksymalne stężenie metanu wyniosło 0,15% obj. a ditlenku węgla 4,67% obj.

W 15. lokalizacjach nie wykryto metanu a jedynie ditlenek węgla.

W badanych próbkach gazu praktycznie nie wykryto siarkowodoru. Stężenie 1 ppm w GW28 jest na granicy progu detekcji analizatora.

Maksymalna wartość wskaźnika CH_4/CO_2 wyniosła 0,67, co świadczy o daleko posuniętej aeracji warstwy przypowierzchniowej oraz zachodzących w niej procesach utleniania metanu.

Uzyskane wyniki są istotnym elementem oceny ryzyka zagrożenia gazem, ponieważ dają obraz sytuacji bezpośrednio przy powierzchni terenu (prace przygotowawcze prowadzone są na powierzchni, bez naruszania gruntu).

Dolna granica wybuchowości metanu wynosi 4,4% obj.

Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. z dn.3 lipca 2018 r. poz. 1286) ustala następujące wartości Najwyższego Dopuszczalnego Stężenia (NDS) i Najwyższego Dopuszczalnego Stężenia Chwilowego (NDSCh):

dla siarkowodoru	NDS – 7 mg/m ³ (10 ppm)	NDSCh – 14 mg/m ³ (20 ppm)
dla ditlenku węgla	NDS – 9 000 mg/m ³ (0,5% obj.)	NDSCh – 27 000 mg/m ³ (1,5% obj.)

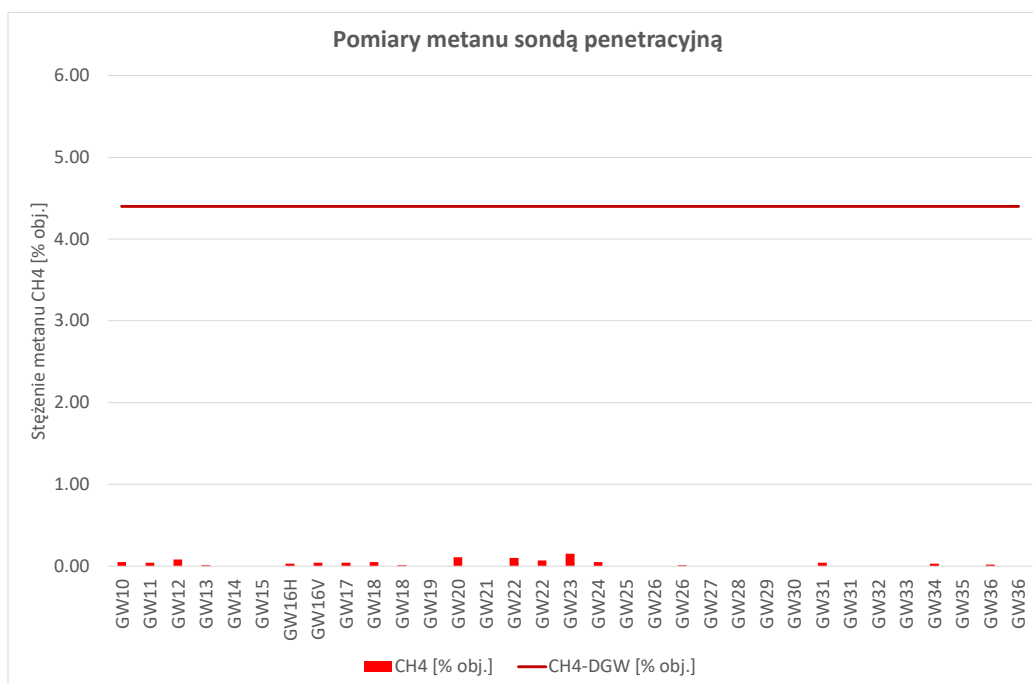
Dla ilustracji na poniższych wykresach (Rysunki 22 i 23) przedstawiono wyniki pomiarów wykonanych przy pomocy sondy penetracyjnej i analizatora gazowego w odniesieniu do przytoczonych wyżej wartości.

Nie sporządzono wykresu dla siarkowodoru, gdyż wykryto go tylko w jednej lokalizacji na granicy detekcji instrumentu pomiarowego.

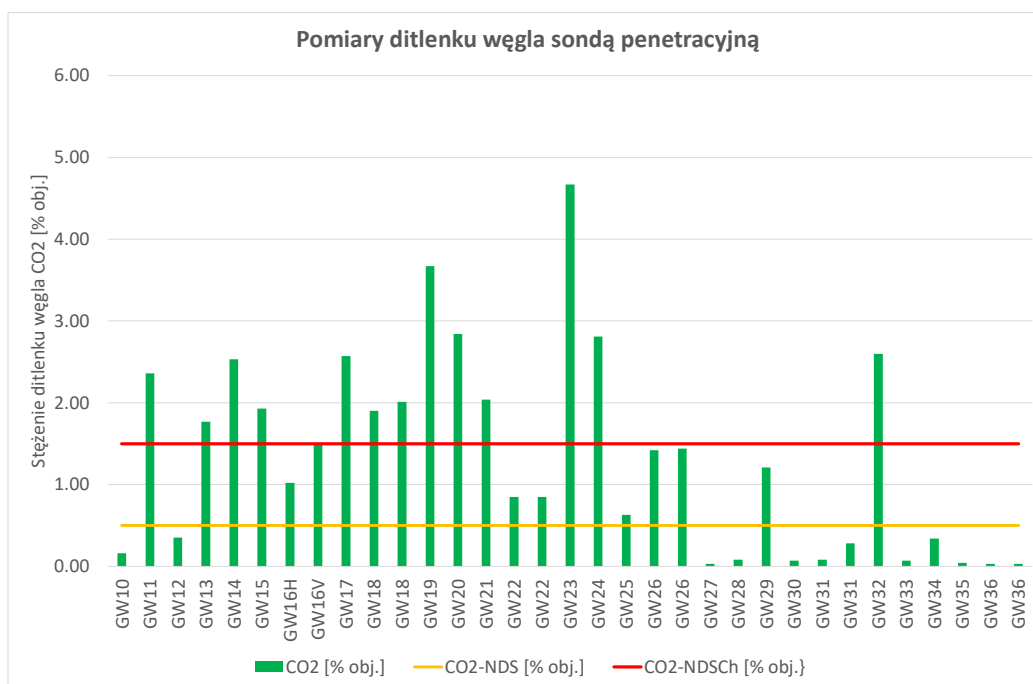
Przedstawione wyniki wykazują, że w warstwie przypowierzchniowej terenu w badanych lokalizacjach:

- nie wykryto stężeń metanu, które mogłyby stworzyć zagrożenie wybuchowe lub pożarowe
- nie wykryto stężeń siarkowodoru, które mogłyby stworzyć zagrożenie zatrucia
- wykryto stężenia ditlenku węgla powyżej wartości NDS i NDSCh.

Dla upewnienia się o stopniu rozcieńczenia powietrzem emitowanego gazu, po wyciągnięciu sondy wykonano kilkanaście pomiarów gazu na wysokości kilku centymetrów nad poziomem terenu bezpośrednio nad otworem pozostałym po wyciągnięciu sondy. W żadnym przypadku nie odnotowano stężeń jakie zmierzono wewnątrz sondy. Metan był niewykrywalny, a stężenie ditlenku węgla tylko w kilku przypadkach wyniosło 0,01 – 0,02 % obj., czyli było na granicy detekcji analizatora. Fakt ten świadczy o praktycznie niemierzalnym strumieniu gazu i natychmiastowej jego dyspersji w powietrzu atmosferycznym.



Rysunek 23 Wyniki pomiarów metanu sondą penetracyjną



Rysunek 24 Wyniki pomiarów ditlenku węgla sondą penetracyjną

Tabela 7 Wyniki pomiarów sondą penetracyjną

Punkt pomiaru	Data i Godz	CH4 [% obj.]	CO2 [% obj.]	O2 [% obj.]	N2 [% obj.]	H2S [ppm]	CH4/CO2
GW10	18/11/2022 13:03	0,05	0,16	20,6	79,19	0	0,31
GW11	18/11/2022 13:07	0,04	2,36	18,3	79,30	0	0,02
GW12	18/11/2022 13:10	0,08	0,35	20,4	79,17	0	0,23
GW13	18/11/2022 13:18	0,01	1,77	18,8	79,42	0	0,01
GW14	18/11/2022 13:22	0,00	2,53	18,0	79,47	0	0,00
GW15	18/11/2022 13:26	0,00	1,93	18,5	79,57	0	0,00
GW16H	18/11/2022 13:32	0,03	1,02	19,4	79,55	0	0,03
GW16V	18/11/2022 13:34	0,04	1,49	19,4	79,07	0	0,03
GW17	18/11/2022 13:42	0,04	2,57	17,9	79,49	0	0,02
GW18	18/11/2022 13:50	0,05	1,90	18,9	79,15	0	0,03
GW18	18/11/2022 13:53	0,01	2,01	18,8	79,18	0	0,00
GW19	18/11/2022 14:03	0,00	3,67	16,9	79,43	0	0,00
GW20	18/11/2022 14:06	0,11	2,84	17,8	79,25	0	0,04
GW21	18/11/2022 14:10	0,00	2,04	18,6	79,36	0	0,00
GW22	18/11/2022 14:18	0,10	0,85	20,0	79,05	0	0,12
GW22	18/11/2022 14:20	0,07	0,85	20,0	79,08	0	0,08
GW23	18/11/2022 14:27	0,15	4,67	15,8	79,38	0	0,03
GW24	18/11/2022 14:34	0,05	2,81	17,6	79,54	0	0,02
GW25	18/11/2022 14:40	0,00	0,63	20,3	79,07	0	0,00
GW26	18/11/2022 14:43	0,00	1,42	19,5	79,08	0	0,00
GW26	18/11/2022 14:45	0,01	1,44	19,5	79,05	0	0,01
GW27	18/11/2022 15:07	0,00	0,03	21,0	78,97	0	0,00
GW28	18/11/2022 15:30	0,00	0,08	21,2	78,72	1	0,00
GW29	18/11/2022 15:33	0,00	1,21	20,0	78,79	0	0,00
GW30	18/11/2022 15:36	0,00	0,07	21,2	78,73	0	0,00
GW31	18/11/2022 15:42	0,04	0,08	20,9	78,98	0	0,50
GW31	18/11/2022 15:44	0,00	0,28	20,9	78,82	0	0,00
GW32	18/11/2022 15:47	0,00	2,60	18,2	79,20	0	0,00
GW33	18/11/2022 15:52	0,00	0,07	21,1	78,83	0	0,00
GW34	18/11/2022 15:55	0,03	0,34	20,7	78,93	0	0,09
GW35	18/11/2022 16:04	0,00	0,04	21,2	78,76	0	0,00
GW36	18/11/2022 16:15	0,02	0,03	21,2	78,75	0	0,67
GW36	18/11/2022 16:17	0,00	0,03	21,2	78,77	0	0,00



Fot. 15 Pomiar sondą penetracyjną na skarpie hałdy



Fot. 16 Pomiar sondą penetracyjną



Fot. 17 Odkrywka TP1



Rysunek 25 Lokalizacje badań sondą penetracyjną (Google Earth – Garmin Foretrex 401)

9. Opinia dotycząca bezpiecznego postępowania z gazem podczas usuwania hałdy

W Polsce brak jest odnośnych norm, regulujących sytuacje podobne do występującej na hałdzie odpadów. Dlatego też do celów niniejszego opracowania wykorzystano sprawdzoną w praktyce normę brytyjską (BS8485:2015+A1:2019 – Code of Practice for the Design of Protective Measures for Methane and Carbon Dioxide Ground Gases for New Buildings) i wytycznymi CIRIA C665 (Assessing Risks Posed by Hazardous Ground Gases to Buildings). Dokumenty te od wielu lat stosowane są w Wielkiej Brytanii głównie do posadowienia na terenach zanieczyszczonych, pokopalnianych, zagrożonych emisjami radonu, zamkniętych składowiskach odpadów, itp. Obiektów, budynków i przemysłowych struktur zamkniętych, zawierających fundamenty, kanały i typ podobne struktury podziemne i naziemne.

Standard i wytyczne opierają się na podejściu zachowawczym i opracowano je ze znacznym zapasem bezpieczeństwa, głównie do wstępnego określenia zagrożeń gazami gruntowymi oraz scenariusza dalszych działań – od zaakceptowania sytuacji bez wprowadzania zmian, poprzez szczegółową ocenę ryzyka, do wyszczególnienia stopnia i metod zabezpieczenia obiektu przed skutkami oddziaływania gazów.

Zastosowana jest sześciostopniowa skala ryzyka, oparta na wskaźniku GSV. Wskaźnik GSV (ang. Gas Screening Value) jest iloczynem stężenia metanu [% obj.] i natężenia przepływu gazu [dm^3/h]. Wskaźnik stosowany jest do oceny ryzyka zagrożenia gazem obiektów budowlanych (głównie budynków) na gruntach zanieczyszczonych, na składowiskach odpadów i w ich bezpośrednim sąsiedztwie, zgodnie z metodyką opisaną w opracowaniu C665 i w normie brytyjskiej BS8485. Nie ma przeciwwskazań do zastosowania go w przypadku innych robót budowlanych w miejscach, gdzie występują zagrożenia gazem, np. instalacji farm fotowoltaicznych, rozbudowy lub likwidacji składowisk.

Przy ocenie ryzyka należy wziąć pod uwagę, że w przypadku hałdy odpadów przy ulicy Zamiejskiej 1 w Łodzi nie będą wykonywane żadne typowe prace budowlane a jedynie roboty ziemne, polegające na stopniowym rozkopywaniu, usuwaniu i przemieszczaniu odpadów na otwartym powietrzu przy pomocy sprzętu budowlanego, z bezpośrednim kontaktem pracowników z odpadami ograniczonym do absolutnego minimum. Dlatego też, w danym przypadku uzasadnione jest obniżenie stopnia ryzyka określonego w przytoczonych normie i wytycznych, stosowanych głównie dla obiektów budowlanych, które w konsekwencji należy zabezpieczać przed oddziaływaniem gazów gruntowych.

Natychmiastowa dyspersja ulatniających się do atmosfery stosunkowo niewielkich ilości gazu uzasadnia również pominięcie zagrożenia ekspozycją na ditlenek węgla.

Jedynymi realnymi zagrożeniami związanymi z gazem, wpływającymi na bezpieczeństwo wykonywanych prac, będą:

- zagrożenie wybuchem mieszaniny metanu z powietrzem
- zagrożenie pożarem
- zagrożenie ekspozycją pracowników na siarkowodór i inne związki śladowe obecne w gazie.

Wartości wskaźnika określają umowny poziom ryzyka (Tabela 8).

$$\text{GSV} = \text{Stężenie Gazu CH}_4 [\% \text{ obj.}] \times \text{Natężenie Przepływu Gazu [dm}^3/\text{h}]$$

Przykładowo:

$$\text{GSV} = 29,7 \% \text{ CH}_4 \times 0,927 \text{ m}^3/\text{h} = 0,297 \times 927 \text{ dm}^3/\text{h} = 275$$

Tabela 8 Wartości GSV stosowane przy ocenie ryzyka zagrożenia gazem (wg CIRIA 665)

GSV	Klasyfikacja Ryzyka
<0.07	bardzo niskie
<0.7	niskie
<3.5	umiarkowane
<15	podwyższone
<70	wysokie
>70	bardzo wysokie

Okres i częstotliwość monitoringu gazu w badanych lokalizacjach zależą od potencjału generacji gazu u źródła oraz od wrażliwości chronionego obiektu [9] (Tabela 4).

Tabela 9 Zalecane okresy i częstotliwość monitoringu [9]

		Potencjał generacji gazu u źródła				
		Bardzo niski	Niski	Średni	Wysoki	Bardzo wysoki
Wrażliwość obiektu	Niska	4 / 1	6 / 2	6 / 3	12 / 6	12 / 12
	Średnia	6 / 2	6 / 3	9 / 6	12 / 12	24 / 24
	Wysoka	6 / 3	9 / 6	12 / 6	24 / 12	24 / 24

Zapis **4 / 1** oznacza wykonanie **czterech pomiarów** w ciągu **jednego miesiąca**.

Ponieważ, z uwagi na wiek odpadów, początkowo oceniono potencjał generacji gazowej hałdy na niski lub bardzo niski, a obiekty budowlane nie będą na hałdzie występować, do celów niniejszego opracowania przyjęto wykonanie czterech pomiarów w ciągu jednego miesiąca. Ocena potencjału gazowego w Rozdziale 3. potwierdziła początkową ocenę potencjału gazowego hałdy.

Do obliczenia wskaźnika GSV przyjęto dane zamieszczone w Tabeli 3. Zgodnie wytycznymi, w przypadku, gdy wartość któregoś z parametrów jest niższa od progu detekcji instrumentu pomiarowego, do obliczeń przyjmuje się jego próg detekcji. W przypadku sond gazowych zainstalowanych na hałdzie, uwaga ta dotyczy pomiaru prędkości przepływu gazu. wszędzie tam, gdzie anemometr wskazywał „0”, przyjęto do obliczeń wartość 0,01 m/s. Przepływ gazu miał miejsce, czego dowodem jest umieszczenie nad wylotem przyrządu pomiarowego osobistego czujnika gazu, który wykazywał obecność metanu cały czas podczas pomiaru prędkości wypływu gazu (Fot. 18).



Fot. 18 Dowód na przepływ gazu mimo zerowego wskazania anemometru

W zasadzie, można by pominąć epizod odczytu prędkości wypływu gazu wynoszącej 0,18 m/s w sondzie GW2, ponieważ kilkakrotne powtórzenie pomiaru dało wynik zerowy. Jednakże z uwagi na zachowawcze podejście do spraw bezpieczeństwa i analizę sytuacji eliminującą błąd pomiaru, zdecydowano pozostawić ten wynik. Zastosowano zasadę, że lepiej przeszacować zagrożenie, niż je niedoszacować.

Wyniki obliczeń wskaźnika GSV, uwzględniające temperaturę otoczenia oraz ciśnienie atmosferyczne, przedstawiono w Tabeli 10 i na Rysunku 26.

Tabela 10 Wskaźnik GSV dla sond gazowych

Nr Sondy	CH ₄ [% obj.]	Prędkość wypływu gazu [m/s]	Natężenie przepływu, [(N)dm ³ /h]	GSV	Limit GSV	Klasyfikacja Ryzyka
GW1	48,72	0,01	8,18	4,0	<15	podwyższone
GW2	16,77	0,18	147,3	24,7	<70	wysokie
GW3	4,04	0,01	8,18	0,3	<0.7	niskie
GW4	21,98	0,01	8,18	1,8	<3.5	umiarkowane
GW5	61,65	0,01	8,18	5,0	<15	podwyższone
GW6	34,81	0,01	8,18	2,8	<3.5	umiarkowane

Wyniki wskazują na:

- jedną lokalizację z wysokim ryzykiem
- dwie lokalizacje z podwyższonym ryzykiem
- dwie lokalizacje z umiarkowanym ryzykiem
- jedną lokalizację z niskim ryzykiem.

Reasumując:

- ocena ryzyka według przytoczonych wytycznych dotyczy ochrony obiektów budowlanych na terenach z zagrożeniem gazowym

- w przypadku robót ziemnych na otwartym terenie i przy stosunkowo niewielkich ilościach gazu, gdzie następuje jego natychmiastowa dyspersja w powietrzu, zastosowanie adekwatnych procedur i środków ochrony osobistej, pozwala na akceptację nawet „wysokiego” (w rozumieniu normy i wytycznych) ryzyka

- pomiary gazu w warstwie przypowierzchniowej potwierdzają uzasadnienie obniżenia stopnia ryzyka zagrożenia gazem.

Możliwe opcje postępowania z gazem przedstawiono poniżej (Tabela 11).



Rysunek 26 Wartości wskaźnika GSV w sondach gazowych

Tabela 11 Opcje postępowania z gazem

Opcja	Rozwiązanie techniczne	Zalety	Wady
1	Odgazowanie aktywne	Sprawdzony sposób odprowadzania gazu ze składowisk, dający maksimum możliwej kontroli procesu. W trakcie odgazowania możliwe przejście do wymuszonego napowietrzania odpadów i przyspieszenia procesu stabilizacji.	Wymaga znacznych nakładów kapitałowych i eksploatacyjnych oraz czasu. W przypadku słabo uszczelnionego składowiska istnieje ryzyko pożarów podpowierzchniowych spowodowanych zaciąganiem powietrza do złoża. Nie ma możliwości równoległego i bezpiecznego prowadzenia prac ziemnych z uwagi na wysokie ryzyko uszkodzenia infrastruktury oraz utratę kontroli procesu. Opcja nieproporcjonalna technicznie i finansowo w stosunku do niskiego potencjału źródła generacji gazu.
2	Odgazowanie pasywne	Sprawdzony sposób odprowadzania gazu ze starych składowisk. Koszty znacznie niższe w porównaniu z opcją nr 1.	W praktyce brak kontroli procesu odgazowania. Proces długotrwały, wymagający lat. Nie ma możliwości równoległego prowadzenia prac ziemnych z uwagi na wysokie ryzyko uszkodzenia infrastruktury. Opcja nieproporcjonalna technicznie i finansowo w stosunku do niskiego potencjału źródła generacji gazu.
3	Wymuszone (aktywne) napowietrzenie	Sprawdzony kontrolowany sposób wstrzymania generacji gazu na starych składowiskach i wysypiskach.	Jak w opcji nr 1.
4	Pasywne (bierne) napowietrzenie złoża i wywietrzenie gazu	Sprawdzony sposób eliminacji zagrożenia gazem w przypadku źródeł gazu z niewielkim potencjałem generacji. Przy zachowaniu środków ostrożności, może być prowadzone równoległe do procesu rozbiórki i usuwania hałdy. Znacznie niższe koszty w porównaniu z opcjami nr 1, 2 i 3. Opcja proporcjonalna technicznie i finansowo w stosunku do potencjału źródła generacji gazu.	Niższy stopień kontroli procesu w porównaniu z opcjami nr 1, 2 i 3. Podwyższone ryzyko zagrożenia gazem podczas prac ziemnych. Możliwość występowania lokalnych „kieszeni gazowych”, które mogą uwalniać nagromadzony gaz podczas rozbiórki hałdy. Możliwość chwilowej intensyfikacji generacji gazu przy kontakcie odpadów z wodami opadowymi.

5	Brak działań (status quo)	Nie wymaga nakładów finansowych.	Brak kontroli sytuacji. Zagrożenie gazem pozostaje na niezmiennym poziomie. Nieakceptowalne z uwagi na bezpieczeństwo przewidywanych prac.
---	------------------------------	----------------------------------	--

Analiza opcji, przedstawionych w Tabeli 11, wskazuje na opcję nr 4, jako najbardziej adekwatną do sytuacji na składowisku i planowanego usunięcia hałdy.

Wstępny plan działań można określić w następujących punktach:

1. Kontynuacja okresowych pomiarów w zainstalowanych sondach do chwili rozpoczęcia prac.
2. Analiza zebranych danych w celu weryfikacji i uaktualnienia oceny ryzyka zagrożenia gazem.
3. Prace przygotowawcze – usunięcie drzew i krzewów z terenu hałdy bez naruszania powierzchni gruntu lub z minimalnym jej naruszeniem. Wykonawca tych prac musi być zaznajomiony z potencjalnym zagrożeniem gazem, wykonać swoją własną ocenę ryzyka i zastosować odpowiednie środki bezpieczeństwa. Wymóg minimalizacji naruszania gruntu jest jednym ze środków zapobiegających uwolnieniu gazów z bryły składowiska, co ma istotne znaczenie przy używaniu sprzętu stanowiącego potencjalne źródło zapłonu (np. pił mechanicznych z silnikiem o zapłonie iskrowym).
4. Prace przygotowawcze – wykonanie próbnego rowu/wykopu odgazowującego na terenie hałdy.
5. Monitoring gazu w rowie i jego bezpośrednim sąsiedztwie. Rozważyć możliwość wykorzystania istniejących sond gazowych.
6. Uaktualnienie oceny ryzyka zagrożenia gazem i planu robót z uwzględnieniem punktów 2 i 5.
7. Wykonanie instalacji napowietrzania złoża w postaci wykopów i rowów wentylacyjnych) i wywietrzanie gazu. Szczegóły instalacji do uzgodnienia po ocenie skuteczności wykopu próbnego.
8. Kontynuacja monitoringu gazu w instalacji.
9. Podjęcie decyzji o rozpoczęciu prac ziemnych przy usuwaniu hałdy po osiągnięciu akceptowalnego poziomu ryzyka, tj. stężeń gazu w powietrzu zapewniających bezpieczną pracę.
10. Rozpoczęcie prac ziemnych przy rozbiórce i usuwaniu hałdy.
11. Nadzór nad przestrzeganiem przyjętych procedur i nad stosowaniem przyjętych środków bezpieczeństwa przez cały okres prowadzenia prac.

10. Wytyczne do oceny ryzyka prac związanych z usuwaniem odpadów

Wytyczne do oceny ryzyka:

- nie zastępują oceny ryzyka, podają jedynie informacje o możliwych zagrożeniach
- Wykonawca oceny ryzyka może, ale nie musi brać pod uwagę przedstawionych wytycznych; może zastosować swoje kryteria oceny ryzyka oraz zachowania bezpieczeństwa na budowie
- Wykonawca powinien poddać wytyczne krytycznej ocenie i w razie potrzeby je zweryfikować
- Wykonawca powinien przeanalizować dane przytoczone w niniejszym opracowaniu i w razie potrzeby lub wątpliwości dokonać ich weryfikacji
- wytyczne zawierają możliwie pełną listę zagrożeń i obserwacji pomocnych do opracowania oceny ryzyka i jego eliminacji lub minimalizacji
- pomimo zachowania najwyższej staranności, lista może być niekompletna, ponieważ nie ma możliwości przewidzenia absolutnie wszystkiego co może wydarzyć się przy wykonywaniu prac podczas usuwania hałdy.

Ocena ryzyka i środki przedsięwzięte do jego eliminacji lub minimalizacji do akceptowalnego poziomu są wyłącznie odpowiedzialnością Wykonawcy prac.

Niniejsze wytyczne odnoszą się jedynie do zagadnień związanych z obecnością gazu na terenie budowy. Pozostałe aspekty bezpieczeństwa wykonywania prac związane z zagrożeniami wynikającymi z kontaktu z odpadami, ociekami, bioareozolami, robotami ziemnymi, separacją odpadów, załadunkiem i rozładunkiem, pracą sprzętu budowlanego, ruchem pojazdów, itp. stanowią osobne rozdziały planu BIOZ (Bezpieczeństwa i Ochrony Zdrowia) dla całego przedsięwzięcia i są regulowane oddzielnymi przepisami.

W ogólnych zarysach, prace zmierzające do usunięcia hałdy odpadów polegać będą planowej rozbiórce obiektu, separacji odpadów na miejscu, przygotowaniu wyselekcjonowanych odpadów do transportu, załadunku na środki transportowe i wywiezieniu do miejsca przeznaczenia.

Ocena ryzyka zagrożenia gazem powinna uwzględniać:

- konceptualny model składowiska
- lokalizację i topografię składowiska
- morfologię odpadów określoną na podstawie materiałów źródłowych, z uwzględnieniem faktu, że „czyste” kategorie odpadów w rzeczywistości nie istnieją. Występowanie zanieczyszczeń odpadów komunalnych niesklasyfikowanymi lub niebezpiecznymi odpadami jest zjawiskiem przewidywalnym.
- ilość zdeponowanych odpadów

- wiek i stopień rozkładu odpadów
- historię eksploatacji składowiska (sposób składowania, zagęszczania i uszczelniania)
- potencjał gazowy składowiska, oszacowany na 17 – 25 m³/h. Należy uwzględnić fakt, że aktualnie hałda generuje gaz w niewielkich ilościach i jednocześnie stanowi swego rodzaju „rezerwuuar gazu”. Wskutek niskiej intensywności generacji gazu, gromadzi się on w bryle składowiska i bez naruszenia w miarę ustabilizowanej okrywy wymiana gazowa z atmosferą jest ograniczona. Wstępna klasyfikacja zagrożenia gazem według wytycznych brytyjskich wykazała niejednorodny poziom wskaźnika zagrożenia na koronie hałdy. Zachowawczo należy przyjąć najwyższą wartość wskaźnika na cały teren składowiska.
Naruszenie okrywy i bryły składowiska może spowodować intensyfikację emisji gazu, szczególnie w przypadku napotkania tzw. „kieszeni gazowych”. Dostęp powietrza i wód opadowych może chwilowo aktywizować procesy rozkładu i generować większe od przewidywanych ilości gazu.
Maksymalne (i minimalne) zmierzone w sondach stężenia gazów wyniosły:

- metanu	61,65% obj.	(2,67% obj.)
- ditlenku węgla	29,47% obj.	(5,43% obj.)
- siarkowodoru	64 ppm	(0 ppm)
- zagrożenia powodowane przez gaz. Do nich zalicza się:
 - a) zagrożenie toksykologiczne – zatrucie siarkowodorem i związkami śladowymi zawartymi w gazie. Zatrucie ditlenkiem węgla możliwe jest raczej w przestrzeniach ograniczonych i zamkniętych.
 - b) zagrożenie uduszeniem – wyparcie powietrza przez gaz składowiskowy (niedobór tlenu) oraz ditlenek węgla jako czynnik duszący, również odnoszące się raczej do przestrzeni ograniczonych i zamkniętych
 - c) zagrożenie wybuchem, powodowane przez metan i jego mieszaniny z powietrzem
 - d) zagrożenie pożarowe, powodowane przez gazy palne oraz samozapłony odpadów
- plan i specyfikę robót, w których występują zagrożenia gazem. Spodziewane jest, że naruszenie zdeponowanych odpadów może spowodować lokalną intensyfikację emisji gazu.
- występowanie przestrzeni zamkniętych i ograniczonych, w których może gromadzić się gaz. Należy rozpatrzyć przestrzenie zamknięte i ograniczone, takie jak wszelkiego rodzaju wykopy, rowy, odkrywki, studzienki inspekcyjne, studnie odciekowe.
- stosowany sprzęt, narzędzia i wyposażenie mogące stanowić potencjalne źródła zapłonu. Należy rozpatrzyć możliwe źródła zapłonu wymienione przez normę PN-EN 1127-1:2019-10 oraz wyposażenie i sprzęt, którego użycie planuje się podczas wykonywania robót.
- procedury bezpieczeństwa, w tym monitoring jakości powietrza. Punkt ten dotyczy:
 - a) metodyki prowadzenia prac
 - b) rozpoznawania symptomów niebezpieczeństwa
 - c) warunków pogodowych (np. gwałtowny spadek ciśnienia atmosferycznego może spowodować intensyfikację emisji gazu)
 - d) monitoringu atmosfery – kontroli i wykrywania stężeń wybuchowych i toksycznych gazów, niedoboru tlenu
 - e) zakazu pracy w pojedynkę
 - f) zakazu palenia tytoniu oraz używania otwartego ognia i eliminacja pozostałych źródeł zapłonu w określonych w ocenie ryzyka miejscach

- g) prac szczególnie niebezpiecznych, wymagających pisemnego polecenia
- h) kryteriów wstrzymania i wznowienia prac

- przedsięwzięte środki bezpieczeństwa, w tym zapewnienie środków ochrony osobistej, sprzętu ppoż. i ratowniczego. Należy rozważyć eliminację lub minimalizację możliwości tworzenia się atmosfer wybuchowych, ograniczenie czasu przebywania pracowników w strefach zagrożenia do niezbędnego minimum, używanie osobistych czujników gazów – gazu palnego (metanu), tlenu i siarkowodoru. Należy zwrócić uwagę, że maski z pochłaniaczami mogą być stosowane w przypadku stężeń siarkowodoru nieprzekraczających 100 ppm. Powyżej tej wartości należy stosować aparaty do oddychania.

- wydzielenie i oznakowanie stref niebezpiecznych. Ze względu na gaz, dotyczy to klasyfikacji i określenia stref zagrożenia wybuchem oraz stref zagrożonych pożarowo.

- kwalifikacje i doświadczenie personelu

- przeszkolenie personelu w zakresie bezpieczeństwa prac przy zagrożeniu gazem. Personel powinien być zapoznany z identyfikacją zagrożeń, oceną ryzyka, dokumentem zagrożenia przed wybuchem, używaniu sprzętu ochrony osobistej, procedurami bezpieczeństwa, postępowania w razie wypadku i udzielania pierwszej pomocy.

- organizację pierwszej pomocy medycznej i wyposażenie apteczki

- wytypowanie lub zatrudnienie osoby odpowiedzialnej za bezpieczeństwo wykonywania prac, dysponującej stosownymi uprawnieniami włącznie z prawem do wstrzymania robót, wyposażonej w odpowiedni sprzęt monitoringowy

- dokumentację oceny ryzyka i związanych z nią dokumentów, np. procedur awaryjnych, dokumentu oceny ryzyka wybuchu i zapobiegania przed wybuchem, list kontrolnych i raportów dziennych

- regularne przeglądy dokumentacji i odpowiednie aktualizacje oceny ryzyka

- procedury nadzoru nad przestrzeganiem przyjętych zasad bezpieczeństwa

- przepływ informacji dotyczącej zagrożeń, oceny ryzyka, sytuacji awaryjnych, zdarzeń typu „near miss”, tj. sytuacji zagrożenia niezakończonych wypadkiem

- listę kontaktów stanowiącą część procedur awaryjnych, włącznie z listą wewnętrzną Wykonawcy, listą Zleceniodawcy oraz zewnętrznych służb ratunkowych.