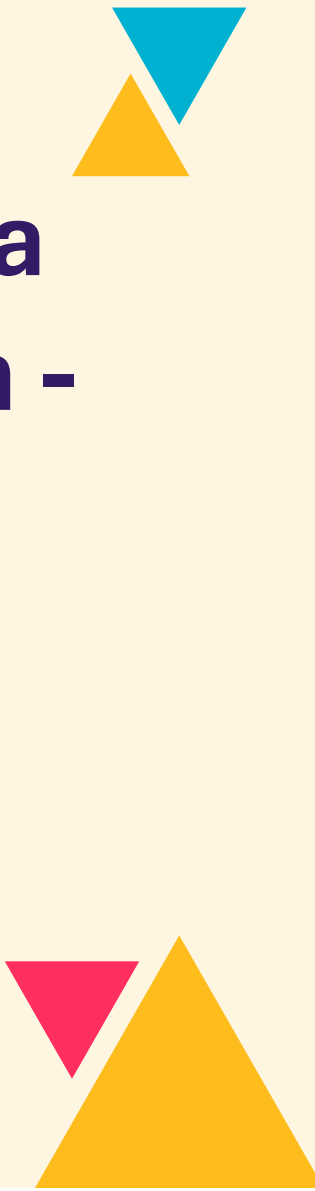


**Pomiary składu i stężenia  
gazów składowiskowych -  
problematyka wyrażona  
w studium przypadku**

Jakub Cichoń



# Agenda

1. Wstęp – opis zagadnienia
2. Różnice budowy studni odgazowujących
3. Wzorcowanie, kalibracja i sprawdzenie
4. Studium przypadku pomiarów terenowych
5. Metoda anemometryczna kontra termoanemometryczna



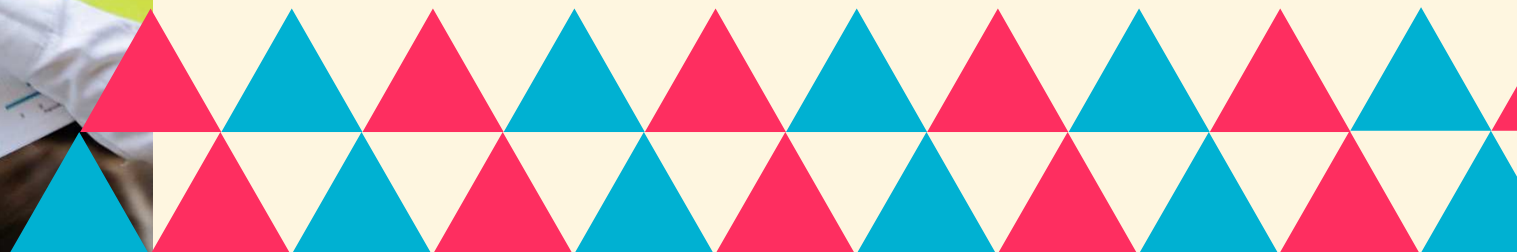


# Podstawy prawne

Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie składowisk odpadów (Dz.U. 2022 poz. 1902)

2. Dla gazu składowiskowego jest wymagany monitoring następujących substancji:

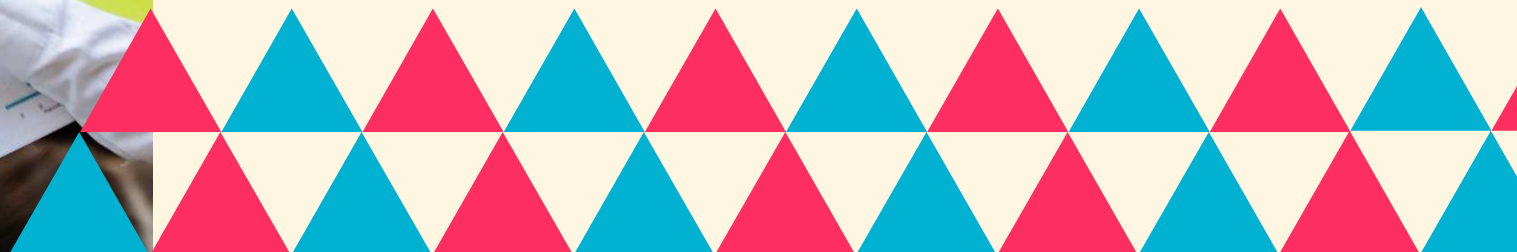
- 1) metanu ( $\text{CH}_4$ );
- 2) dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ );
- 3) tlenu ( $\text{O}_2$ ).





# Podstawy prawne

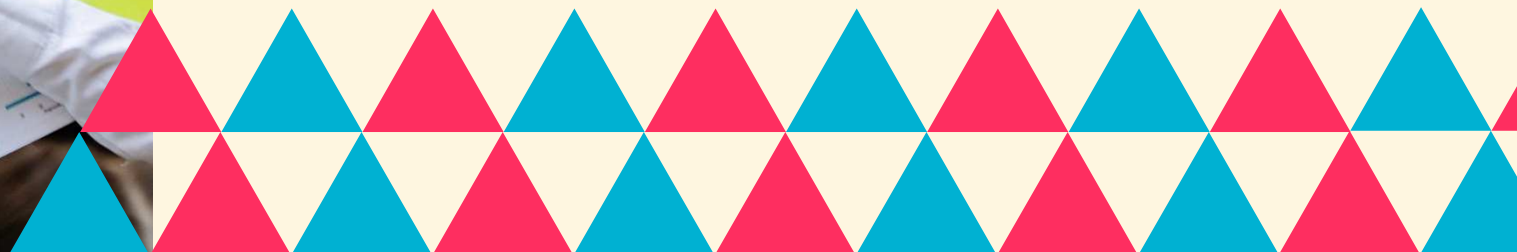
7. Pomiar emisji i składu gazu składowiskowego odbywa się:
- 1) w reprezentatywnych częściach składowiska odpadów, ustalonych w instrukcji prowadzenia składowiska odpadów;
  - 2) w miejscach jego gromadzenia;
  - 3) przed wlotem do instalacji do jego obróbki, w szczególności oczyszczania i wykorzystania lub unieszkodliwiania gazu składowiskowego





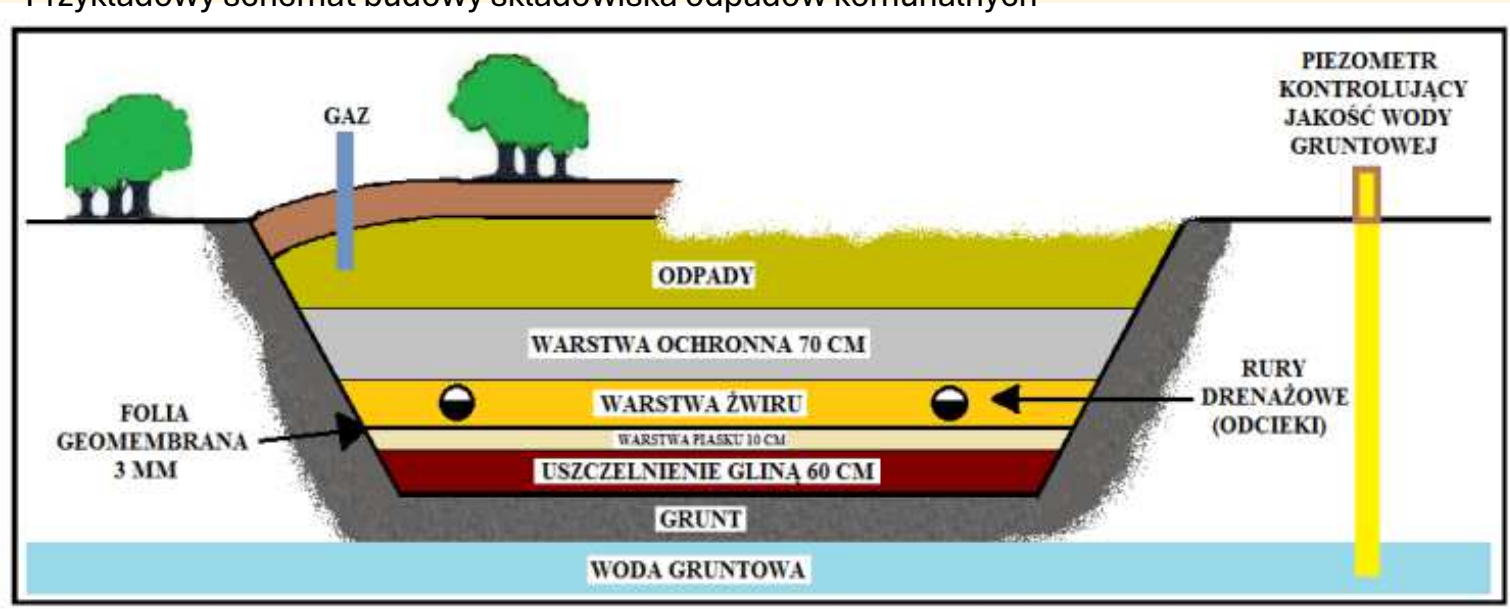
# Podstawy prawne

Parametr wskaźnikowy	Minimalna częstotliwość badań		
	Faza przedeksploatacyjna	Faza eksploatacyjna	Faza poeksploatacyjna
Skład gazu składowiskowego	Brak	co 1 miesiąc	co 6 miesięcy
Emisja gazu składowiskowego	Brak	co 1 miesiąc	co 6 miesięcy



# Budowa składowiska

Przykładowy schemat budowy składowiska odpadów komunalnych



Źródło: rozprawa doktorska pn. „Odcieki ze składowisk odpadów komunalnych jako potencjalne źródło zanieczyszczenia środowiska wodnego”  
Justyna Kapelewska

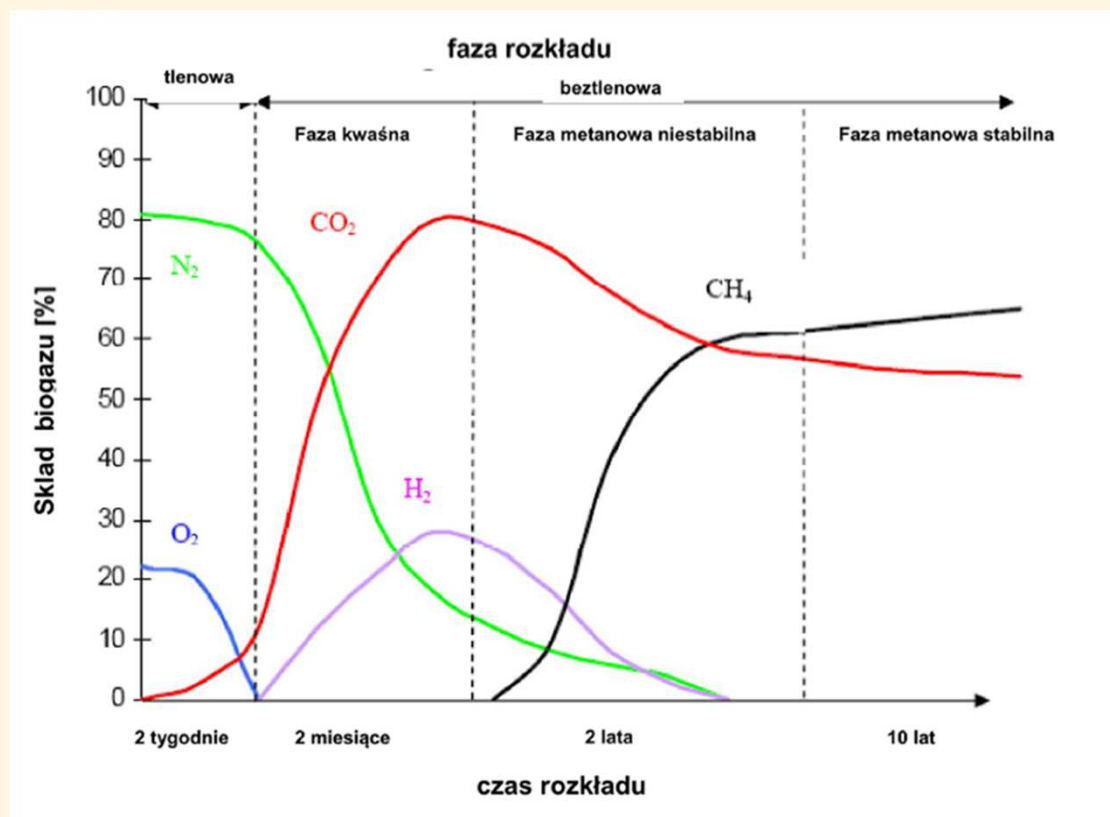
# Produkcja biogazu

Powstawanie metanu i dwutlenku węgla na składowiskach rozpoczyna się w środowisku beztlenowym przy pomocy różnych gatunków mikroorganizmów. Głównym procesem technicznym w prowadzeniu składowisk jest ich kompaktowanie, dzięki czemu odpady ulegają rozdrobnieniu i ubiciu. W konsekwencji mikroorganizmy zostają odcięte od dopływu tlenu w swoim środowisku, a powierzchnia ich rozwoju zwiększa się tworząc idealne warunki dla procesu fermentacji. W tym procesie bardzo ważną rolę odgrywają takie parametry jak: wilgotność, pH i potencjał redoks. Na stabilność procesów może wpływać zmiana pór roku, a co za tym idzie zróżnicowane warunki atmosferyczne.



# Fazy produkcji biogazu

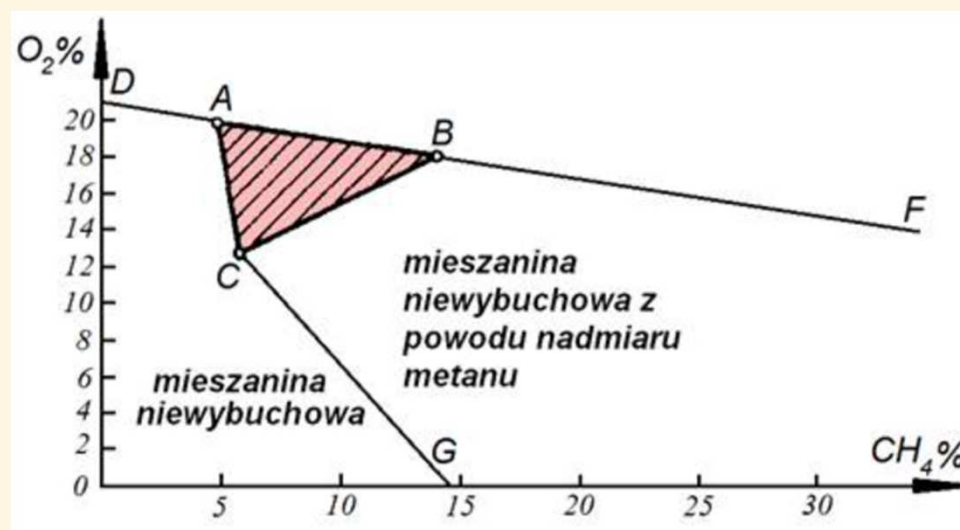
Produkcja mieszaniny gazów na składowisku odpadów komunalnych jest silnie skorelowana z typem i właściwościami odpadów, z czasem ich rozkładu przez bakterie oraz warunków atmosferycznych. Ilość dostarczanej wody do złoża jest kluczowa w tym procesie.



Źródło: Biszek M. i in. „Ocena metod pomiaru i szacowanie emisji biogazu ze składowisk odpadów”

# Charakterystyka fizyko-chemiczna

Specyfikę wybuchowości metanu opisuje diagram Cowarda. Do wybuchu dochodzi tylko w przypadku spełnienia trzech czynników. Odpowiedniego stężenia metanu względem stężenia tlenu oraz czynnik zapalny np. iskra. Metan wybuha w zakresie stężenia od 5-10% objętości, w innym przypadku ulega łagodnemu spalaniu.



# Różnice budowy studni odgazowujących



# Wzorcowanie, kalibracja sprawdzenie

Jak często kalibrować oraz w jakich punktach?

Kalibracja powinna zostać przeprowadzona w przypadku, gdy sprawdzenie urządzenia nie spełnia założonych kryteriów.

Punkty kalibracji w większości urządzeń pomiarowych określa producent. W ten sposób stosowane wzorce należy dobrać do wymagań technicznych analizatora.



# Wzorcowanie, kalibracja sprawdzenie

Jak często wykonywać sprawdzenia pośrednie?

Sprawdzenie przeprowadza się przed i po pomiarach.

W przypadku badań terenowych w takim medium jak mieszanina gazów składowiskach o dużej wilgotności jest to bardzo ważna kwestia z uwagi na możliwość zanieczyszczenia celek i detektorów pomiarowych. W konsekwencji może to doprowadzić do dużych błędów w pomiarach.



# Wzorcowanie, kalibracja sprawdzenie

W jakich punktach wykonywać sprawdzenie pośrednie?

Z uwagi na panujące warunki terenowe sprawdzenie najlepiej przeprowadzić w dwóch skrajnych punktach pomiędzy oczekiwanymi wynikami badań lub po prostu na krańcach zakresu pomiarowego metody. Najprostszą metodą nie wymagającą dodatkowych materiałów jest sprawdzenie analizatora w powietrzu atmosferycznym.



# Wzorcowanie, kalibracja sprawdzenie

Certyfikowane wzorce używane do kalibracji i do  
sprawdzenia

Zgodnie z wymaganiami certyfikowane materiały odniesienia przeznaczone do kalibracji wyposażenia pomiarowo badawczego powinny być zgodne z normą 17 034 (Ogólne wymagania dotyczące kompetencji producentów materiałów odniesienia). Do przeprowadzenia sprawdzeń okresowych wystarczą gazy wzorcowe zgodne z normą PN-EN ISO/IEC 17025.



# Wzorcowanie, kalibracja i sprawdzenie

## Kryteria sprawdzenia WPB

Określają granice wyniku jakie musi spełnić urządzenie podczas przeprowadzania jego okresowego sprawdzenia. Oszacowując takie kryterium należy wziąć pod uwagę niepewność pomiarową urządzenia oraz niepewność certyfikowanego materiału odniesienia. W przypadku, gdy do niepewności pomiarowej metody nie został wliczony błąd pomiaru to należy go także uwzględnić, ponieważ może to istotnie wpływać na wyniki sprawdzenia analizatora.



# Wzorcowanie, kalibracja i sprawdzenie

## Wybór punktów do wzorcowania analizatorów

Główny Urząd Miar w swojej ofercie wzorcowań analizatorów gazu sugeruje minimalną ilość pięciu punktów pomiarowych. W tym przypadku najważniejsze jest żeby zweryfikować punkty skrajne zakresu, a w następnej kolejności równomiernie rozłożyć punkty wzorcowań na funkcji liniowej wyników. Przed wzorcowaniem należy zadać sobie pytanie, czy w naszym zakresie analizatora nie występują swoiste odchylenia w określonych przedziałach wyników.



# Wzorcowanie, kalibracja sprawdzenie

## Monitorowanie wzorcowania

Najprostszym sposobem jest prosta statystyka błędu maksymalnego w funkcji czasu. Jednocześnie ta metoda posiada najlepszy stosunek pracochłonności do efektów. Monitorowanie w ten sposób analizatora biogazu pozwala ocenić jego stan techniczny oraz zareagować w odpowiednim czasie w przypadku, gdy wyniki pomiaru zaczynają odbiegać od wartości rzeczywistych



# Wzorcowanie, kalibracja sprawdzenie

## Obsługa analizatorów przy pomocy dzielnika gazów

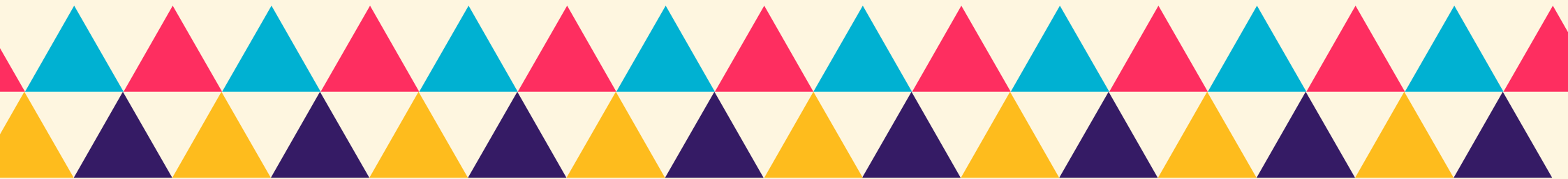
Istotnym aspektem w którym zaleca się zastosowanie dzielnika jest doświadczenie walidacyjne w którym powinna zostać zbadana liniowość pomiarów stosowanych analizatorów. Jednocześnie dobrą praktyką laboratoryjną jest okresowe sprawdzanie liniowości. Na podstawie tego typu testów można wyciągnąć wnioski o potrzebie zastosowania kalibracji miernika.



# Studium przypadku pomiarów terenowych

**Brak szczelności studni spowodowany jej budową lub uszkodzeniem.**

Rozpatrywany przypadek zakłada sytuację nieoczywistą w której na pierwszy rzut oka można przeoczyć defekt. Nie zmienia to faktu, że analizując wyniki w trakcie pomiarów można stwierdzić nieprawidłowość. W przypadku, gdy obserwujemy wyraźne stężenia  $\text{CH}_4$  oraz  $\text{CO}_2$  zawartość tlenu powinna być bliska lub równa zero. Na tej podstawie można wysunąć wnioski o nieszczelności układu, a wyniki powinny uznać się za niereprezentatywne.



# Studium przypadku pomiarów terenowych



## Uszkodzona studnia – czy powinno się ją badać?

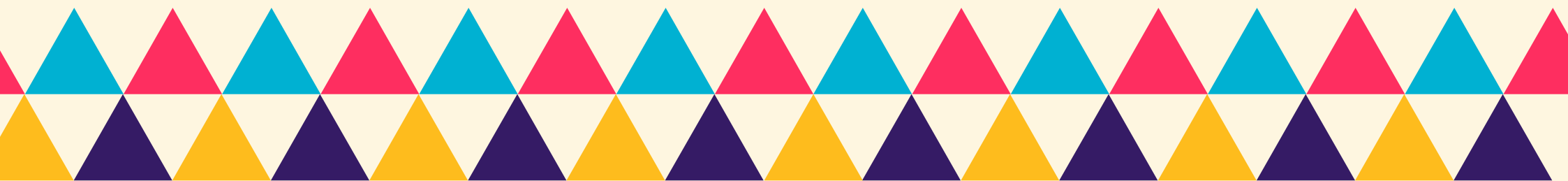
Przyczyną najczęstszą i prawdopodobnie jedyną uszkodzenia studni odgazowujących jest ciężki sprzęt pracujący na składowisku. Zniszczenie górnej części studni wystającej ponad poziom składowiska nie zawsze musi oznaczać wyłączenie punktu pomiarowego z monitoringu. Do badania takiej studni można zastosować szczelny, workowy rękaw z tworzywa sztucznego z króćcem pomiarowym. Jeśli studnia pracuje poprawnie to podczas pomiarów zauważyć będzie można spadające stężenie tlenu. Spadek ten będzie proporcjonalny do wydajności pracy studni.

# Studium przypadku pomiarów terenowych

## Suma stężenia objętości gazów składowiskowych przekracza 100%

Pomiary stężenia mieszaniny gazów na składowiskach odpadów charakteryzują się dużą zmiennością w krótkim czasie. Przeprowadzając pomiary w czasie rzeczywistym oraz zapisując je w formularzu bez zatrzymania pomiarów przy pomocy analizatora może skutkować zakłamanym wynikiem, który objawia się tym, że suma badanego stężenia mieszaniny gazów jest równa lub większa 100 % objętości.

CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	SUMA
59%	41%	0%	100%
28%	16%	18%	62%
45%	25%	0%	70%
1%	2%	20%	23%








# Metoda anemometryczna vs termoanemometryczna



Prędkość przepływu gazu jest jedną z ważniejszych składowych emisji gazów składowiskowych do atmosfery. Technicznie istnieje wiele technologii pomiaru tej wielkości, ale tylko dwie spełniają kryteria, które umożliwiają ich zastosowanie na składowiskach odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne. Obie technologie posiadają wady i zalety, które są dla nich rozbieżne.



# Zalety

## Anemometr wiatraczkowy

- Wysoka stabilność pomiaru
- Brak istotnej różnicy wyniku pomiędzy pomiarem w powietrzu atmosferycznym a mieszaniną gazów składowiskowych
- Pomiar o większym przekroju poprzecznym badanej studni

## Termoanemometr

- Wysoka czułość
- Większa dokładność i rozdzielczość pomiaru
- Kompaktowość sondy
- Brak punktu startu pomiaru

# Wady

## Anemometr wiatraczkowy

- Wysoki punkt startu pomiaru
- Im mniejszy promień łopatki tym wyższy punkt startu pomiaru
- Duża bezwładność obrotowa
- Mniejsza dokładność i rozdzielczość
- Ograniczeniem jest wielkość sondy
- Zużycie i zacieranie się łożyska wiatraczka

## Termoanemometr

- Brak stabilności pomiaru przy wahającym się przepływie
- Różnica wpływu medium na pomiar temperatury
- Krucha budowa grzanego drucika
- Podwyższone niebezpieczeństwo przy pracy z gazami łatwo palnymi

# Średnica przekroju vs pomiar przepływu anemometrem



Przepływ niewymuszony w instalacjach odgazowujących składowiska zazwyczaj osiąga maksymalne wartości 3-4 m/s, ale znacznie częstszym zjawiskiem są wyniki prędkości zbliżone do zera. W takim przypadku anemometry wiatraczkowe o niedużej średnicy nie mają możliwości przedstawienia reprezentatywnego wyniku z przyczyny wysokiego punktu startu śmigła. Rozwiązaniem jest zwiększanie średnicy wiatraczka, dzięki czemu można zwiększyć dokładność oraz znacząco obniżyć punkt startu. Niestety opory podczas obrotu są nieproporcjonalnie większe w stosunku do siły nacisku na łopatkę, a co za tym idzie średnicy sondy. Z innej strony budowa studni odgazowujących ogranicza możliwość zastosowania wyposażenia o większym promieniu.



Testo.pl

## Jakie założenia przyjąć do oceny bezpieczeństwa korzystania z urządzenia?

Podczas tworzenia instrukcji badawczej należy wziąć pod uwagę aspekt bezpieczeństwa obsługi urządzenia w punkcie pomiarowym, w tym przypadku w styczności z łatwopalną mieszaniną gazów. Do oceny bezpieczeństwa w pierwszej kolejności należy uwzględnić certyfikację i dopuszczenia WPB do określonych warunków. Jeśli producent tego nie przedstawia pozostaje tylko opcja porównania temperatury zapłonowej gazów z wytwarzaną temperaturą przez grzany drucik sondy, a ryzyko powstania iskry poprzez zastosowanie materiałów z tworzyw sztucznych.



## **Potwierdzenie ważności wyników w metodzie termoanemometrycznej – różnice pomiędzy powietrzem atmosferycznym a mieszaniną gazów składowiskowych**

Problematyka potwierdzenia spójności pomiarowej w metodzie termoanemometrycznej polega na braku informacji w jaki sposób zachowa się urządzenie podczas pomiarów gazów składowiskowych w stosunku do przeprowadzonego wzorcowania, czy sprawdzenia pośredniego w powietrzu atmosferycznym. Najprostszym rozwiązaniem tego problemu jest doświadczenie walidacyjne porównujące obie metody anemometryczne w rzeczywistym punkcie badawczym o wysokim stężeniu gazów składowiskowych.



Tunel aerodynamiczny Instytutu Mechaniki Górotworu Polskiej Akademii Nauk



# Literatura



1. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 kwietnia 2013 r. w sprawie składowisk odpadów
  2. Poradnik metodyczny w zakresie PRTR dla składowisk odpadów komunalnych. A. Klimek i inni
  3. Określenie emisji biogazu ze składowiska odpadów komunalnych. L. Rogalski, J. Rzepka 2011 r.
  4. Ocena możliwości zastosowania parametru wilgotności gazu składowiskowego do określania produktywności gazowej składowiska odpadów. G. Kołodziejak, J. Zaleska-Bartosz 2014 r.
  5. Metodyka pomiarów emisji gazów ze składowisk odpadów komunalnych. J. Niemczewska 2013 r.
  6. Monitoring studni do produkcji biogazu na składowisku odpadów. K. Hebda, G. Kołodziejak 2021 r.
  7. Rozprawa doktorska pn. „Odcieki ze składowisk odpadów komunalnych jako potencjalne źródło zanieczyszczenia środowiska wodnego”. J. Kapelewska
- 