

*Grzegorz Przydatek*

## **ANALIZA PRZEMIAN ZACHODZĄCYCH W ZŁOŻU CZYNNEGO SKŁADOWISKA ODPADÓW**

---

### ***ANALYSIS OF TRANSFORMATIONS OCCURRING IN THE ACTIVE LANDFILL AREA***

#### ***Streszczenie***

W artykule omówiono podstawowe zagadnienia związane z procesami rozkładu bioodpadów deponowanych na gminnym składowisku. Uzyskane w reprezentatywnym punkcie wyniki badania składu gazu wysypiskowego w latach 2004 – 2008 podczas eksploatacji składowiska poddano analizie, z uwzględnieniem parametrów jakościowo – ilościowych składowanych odpadów, okresu ich deponowania oraz warunków eksploatacji składowiska. Szczególną uwagę zwrócono na 30 % udział odpadów ulegających biodegradacji przy jednoczesnym rozwoju procesów tlenowych zachodzących w złożu odpadów. Skład gazu wykazał przewagę procesów aerobowych przy zawartości tlenu w granicach 4,9 - 9,7 % nad procesami anaerobowymi przy spadającej zawartości metanu do 2,3 % i 0 % zawartości dwutlenku węgla. Artykuł zakończono wnioskami wskazującymi głównie na niedostateczne zagęszczenie deponowanych odpadów, co w rezultacie powodowało łatwy dostęp tlenu do złoża odpadów.

**Słowa kluczowe:** odpady komunalne, składowisko odpadów, gaz wysypiskowy

#### ***Summary***

*A summary of the work concerns the basic issues related to the composition process of bio-waste deposited on the municipal landfill. Study of the landfill gas composition obtained in the representative point was analyzed during the exploitation of the landfill in the years 2004 – 2008. During the study the quantity and the quality parameters of deposited waste, conditions of its exploitation and the time of deposition were under consideration. Particular attention was also paid to the 30 % share biodegradable waste and the development of aerobic processes during the operation of the landfill. The composition of the gas has demonstrated*

*the domination of aerobic processes by an oxygen content within the limits of the 4,9 – 9,7 % over anaerobic processes in the downtrend content of methane to 2,3 % and 0 % carbon content.*

*At the end of the article some conclusions concerning mainly an inadequate density of deposited waste which results in an easy oxygen access to the surface layers of the waste.*

**Key words:** municipal waste, landfill, landfill gas

## WPROWADZENIE

W 2008 roku na terenie kraju odnotowano liczbę 711 składowisk, na których deponowano odpady komunalne zawierające w znaczącym odsetku odpady ulegające biodegradacji, będące źródłem emisji metanu do atmosfery w następstwie ich rozkładu [KPGO 2010]. Zgodnie z obowiązującymi uregulowaniami prawnymi w ochronie środowiska w przypadku składowisk, na których deponowane są bioodpady, wymagane jest ich wyposażenie w instalację do odprowadzania gazu wysypiskowego, co wynika przede wszystkim z konieczności ograniczenia szkodliwych emisji do atmosfery.

Gaz wysypiskowy jest mieszaniną gazów wytwarzanych podczas beztlenowej fermentacji substancji organicznych z udziałem bakterii metanowych. Termin ten oznacza grupę beztlenowych procesów biochemicznych, w których substancje organiczne (węglowodany, białka i tłuszcze) są rozkładane do alkoholi i niższych kwasów organicznych, a następnie do metanu, dwutlenku węgla i wody [Piechocki 2000]. W szczególności proporcje metanu do dwutlenku węgla mogą się zmieniać w bardzo szerokich granicach w zależności od intensywności przebiegu dwóch zasadniczych procesów rozkładu: aerobowego i anaerobowego. Do biochemicznych przemian masy odpadów dochodzi na skutek dużej różnorodności ich składu morfologicznego i chemicznego [Szymański i in. 2007]. Zawartość frakcji ulegającej biodegradacji, w tym papieru i makulatury, odpadów kuchennych i ogrodowych oraz zielonych w odpadach komunalnych w warunkach krajowych na terenach wiejskich wynosi 43% [KPGO 2010].

W fazie zaawansowanej i stabilnej metanogenezy zawartość metanu waha się zwykle w granicach 50 - 60%, a dwutlenku węgla 30 - 40% [Dudek 2003]. Skład tej mieszaniny w szczególności uzależniony jest od składu deponowanych odpadów, wieku składowiska oraz zawartości wilgoci w złożu. Istotny pozostaje również sposób eksploatacji składowiska, przyczyniający się do rozwoju procesów beztlenowych przy zachowaniu zagęszczania odpadów i przykrywania ich warstwą inertną. Wobec istniejącego podziału oprócz składowisk beztlenowych wymieniane są także tlenowe, bez zagęszczania deponowanych odpadów. Zawartość substancji organicznej w odpadach stwarza ponadto poważne zagrożenie dla środowiska i ludzi, w tym ryzyko samozapłonu i wybuchu, w przypadku mieszaniny metanu z powietrzem (5–15%) [Żygadło 2002]. Dotyczy to głównie

słabo izolowanych składowisk odpadów komunalnych, gdzie na skutek rozcieńczenia gazu wysypiskowego przez tlen w infiltracji z powietrzem powstaje zagrożenie [Zamorska-Wojdyła i in., 2011]. Kolejne zagrożenie wynikające z emisji gazu wysypiskowego dotyczy wpływu na rozwój efektu cieplarnianego. Zarówno dwutlenek węgla jak i metan wzmacniają ten efekt, na co ogólnie wydatny wpływ w 10 % mają składowiska odpadów [Zygadło 2002].

Jednym z działań stosowanych w celu ograniczenia tych emisji do atmosfery z terenu składowisk odpadów jest właściwa eksploatacja, a do rozwiązań należy ujęcie gazu przy wykorzystaniu środków technicznych, w tym odgazowania czynnego. Natomiast dla zachowania warunków bezpiecznego użytkowania składowiska i ochrony środowiska, niezbędne jest przede wszystkim rozpoznanie procesów i przemian zachodzących w złożu odpadów.

### CELE PRACY I METODYKA BADAŃ

Celem pracy jest rozpoznanie przemian procesu rozkładu odpadów ulegających biodegradacji deponowanych na gminnym składowisku w Guzowie.

Zakres badań obejmował:

– pomiary składu gazu wysypiskowego, które przeprowadzano w cyklu co miesięcznym (jeden raz w miesiącu) w latach 2004–2008 w zakresie zawartości takich substancji jak : metan ( $\text{CH}_3$ ), dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ) i tlen ( $\text{O}_2$ ). Były one wykonywane na etapie eksploatacji składowiska w reprezentatywnym punkcie pomiarowym (rys. 2), będącym studzienką pomiarowo – kontrolną wykonaną z rury perforowanej o średnicy 100–150 mm, uszczelnionej zewnętrznie korkiem iłowym. Pomiary wykonywano w warunkach statycznych przy użyciu przenośnego analizatora z wbudowaną pompką o regulowanej wydajności, umożliwiającej zasysanie gazu zalegającego w studziencie pomiarowo-kontrolnej, posadowionej ponad uszczelnieniem podłoża tego obiektu,

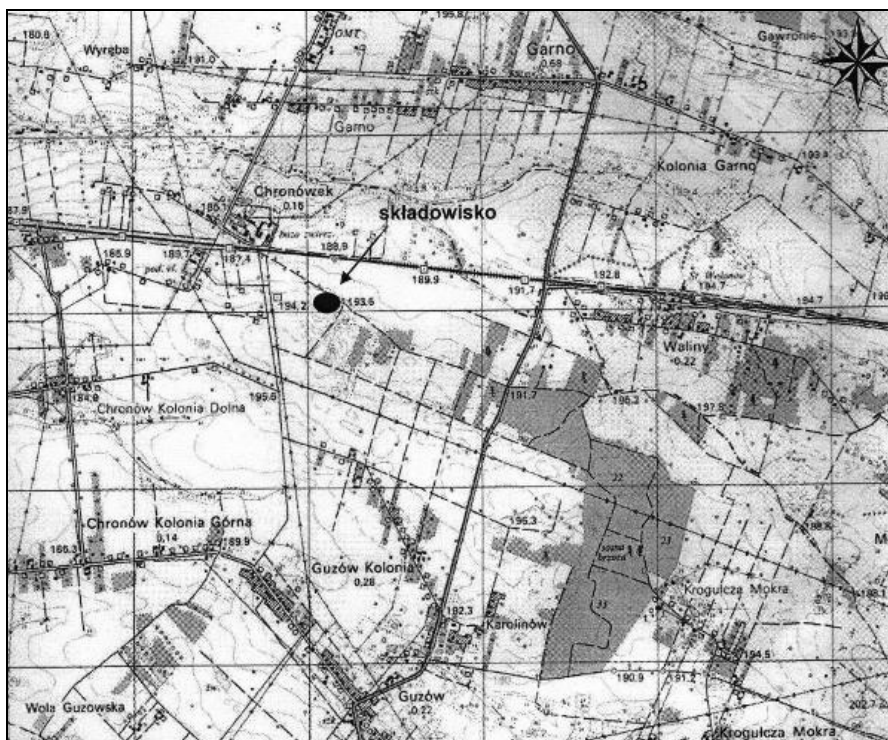
– analizę ilościowo - jakościową zdeponowanych na terenie składowiska odpadów w latach 2004 - 2008,

– analizę składu gazu wysypiskowego na podstawie wyników średniego udziału substancji w każdym z badanych miesięcy i jego odchylenia w latach 2004–2008.

### POŁOŻENIE SKŁADOWISKA

Analizowane składowisko odpadów komunalnych zostało wybudowane w latach 90-tych XX wieku i znajduje się w południowej części województwa mazowieckiego na terenie gminy Orońsko (rys. 1). Jego powierzchnia całkowita wynosi 2,04 ha, w tym kwatery 1,30 ha, z której wykorzystano 0,80 ha. Obiekt ten położony jest w oddaleniu od zbudowań mieszkalnych i gospodarczych oraz

cieków wodnych, w miejscowości Guzów. Wg. Wosia [1999] gmina Orońsko należy do łódzkiej dzielnicy klimatycznej, a teren składowiska znajduje w strefie umiarkowanej (kontynentalnej).



**Rysunek 1.** Położenie składowiska na terenie gminy Orońsko  
**Figure 1.** The location of the landfill in the commune of Orońsko

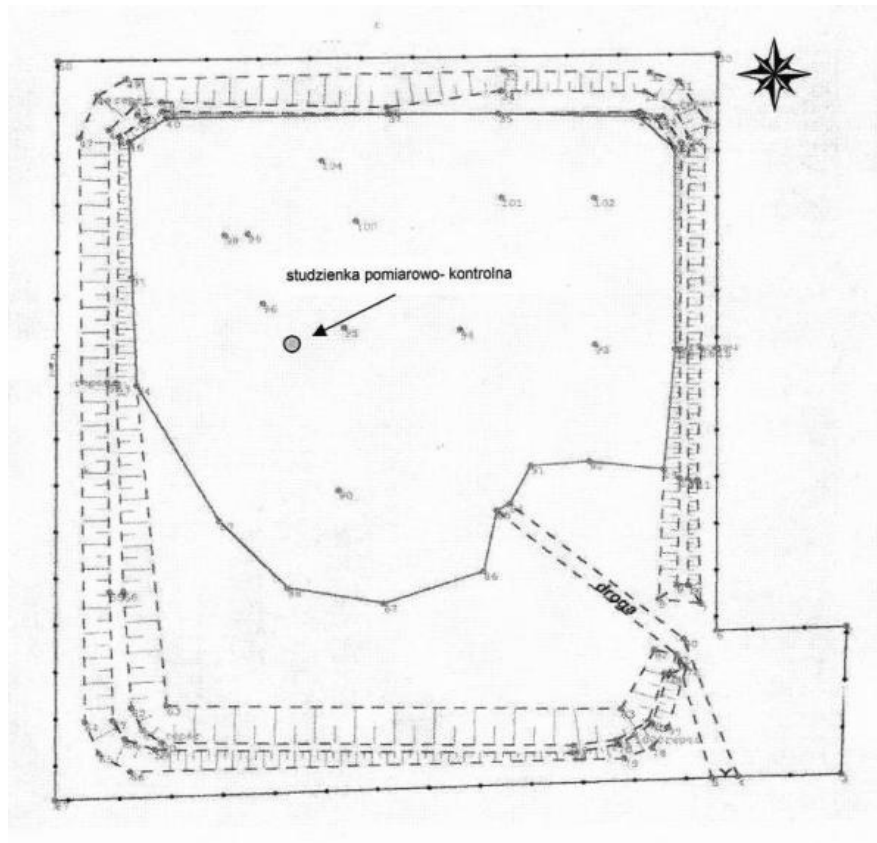
Średnia temperatura powietrza na tym obszarze w styczniu waha się od -4 do -3°C, zaś w lipcu najczęściej odnotowywana to 18°C. Średnia temperatura roczna wynosi około 7°C [Przydatek 2009].

### BUDOWA I EKSPLOATACJA SKŁADOWISKA

W granicach składowiska znajduje się jedna kwatera, która ma charakter podpoziomowo-nadpoziomowy, ze względu na zlokalizowanie w obniżeniu terenu. Na tym obiekcie nie prowadzono wtórnej segregacji odpadów.

Naturalne podłoże tego obiektu stanowią utwory o współczynniku przepuszczalności  $k = 10^{-5} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ , a dno uszczelniono gruntem mineralnym - glina o miąższości 0,5 m [Dokumentacja...1989].

Składowisko eksploatowano metodą poziomą, uwzględniającą układanie odpadów warstwami o miąższości 1 m, które dzielono na pasy robocze. Odpady wyładowywano na wyznaczone dzienne działki robocze i rozplanowywano oraz zagęszczano mechanicznie przy użyciu sprzętu ciężkiego, tworząc cienkie warstwy pośrednie (30 – 50 cm).



**Rysunek 2.** Usytuowanie studzienki pomiarowo – kontrolnej na terenie składowiska odpadów komunalnych w Guzowie [Przydatek G. 2009]

**Figure 2.** Location of measuring well in the landfill site in Guzowo [Przydatek G. 2009]

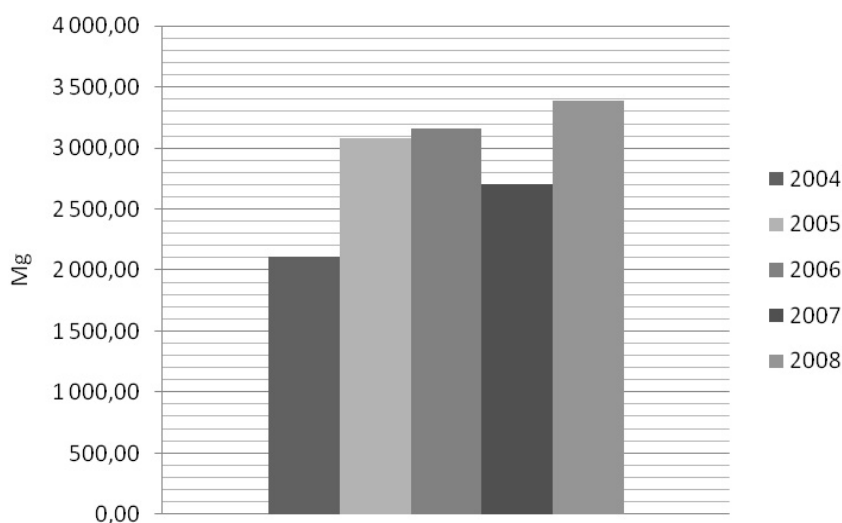
Łączna objętość zdeponowanych odpadów po okresie około 14 lat eksploatacji składowiska wynosiła  $27\,000\text{ m}^3$ , co stanowiło 88 % wypełnienia kwatery przy współczynniku zagęszczania  $I_s = 0,4$  i średniej miąższości złoża 1,5 m.

## WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

W latach 2004 - 2008 ilość zdeponowanych odpadów na składowisku wahała się od 2 113,7 Mg do 3 386,2 Mg przy średniej dobowej 11 Mg (tab.1). Najmniejszą ilość odpadów przyjęto do składowania w 2004 roku, a największą w 2008 roku, co wykazuje wzrost (rys. 3). Największy udział (77,51 %) wśród zdeponowanych odpadów przypada na zakwalifikowane do niesegregowanych, natomiast najniższy (0,02 %) do innych niewymienionych odpadów, dopuszczonych do składowania. Odpady obojętne do których zaliczano glebę i ziemię oraz odpady poremontowe stanowiły 17 % ogólnej masy odpadów (tab. 1).

Na podstawie składu morfologicznego odpadów do ulegających biodegradacji poddanych unieszkodliwianiu poprzez składowanie na analizowanym obiekcie zaliczono odpady : materiałów tekstylnych, spożywcze, w tym pochodzenia zwierzęcego, papieru i tektury oraz organiczne pozostałe (rys 4).

Łączny udział odpadów ulegających biodegradacji w ogólnej masie stanowił 30 %, co oznacza niższą zawartość o 13 % w stosunku do ogólnego udziału wspomnianej frakcji w odpadach wytwarzanych w warunkach krajowych na terenach wiejskich. Wykazana różnica wynika z możliwości zagospodarowania odpadów ulegających biodegradacji we własnym zakresie przez wytwórców poprzez kompostowanie.



**Rysunek 3.** Ilość odpadów zdeponowanych na składowisku w Guzowie w latach 2004–2008

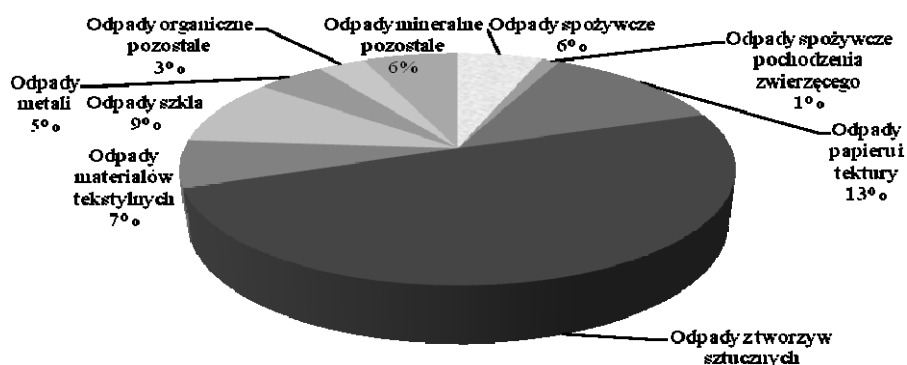
**Figure 3.** The quantity of deposited waste on the landfill in Guzowo in the years 2004-2008

**Tabela 1.** Ilość i rodzaj odpadów zdeponowanych na składowisku odpadów komunalnych w Guzowie w latach 2004–2008**Table 1.** The quantity and type of deposited waste on the landfill in Guzowo in the years 2004-2008

Rodzaj odpadu	Kod odpadu	Masa [Mg]				
		2004	2005	2006	2007	2008
Inne niewymienione odpady	02 03 99	2,4	-	-	-	-
Gleba i ziemia, w tym kamienie, inne niż wymienione w 17 05 03	17 05 04	340	660	690	415	62
Zmieszane odpady z budowy, remontów i demontażu inne niż wymienione w 17 09 01, 17 09 02 i 17 09 03	17 09 04	84	50	65	49	50
Ustabilizowane komunalne osady ściekowe	19 08 05	-	68,6	-	-	-
Inne niewymienione frakcje zbierane w sposób selektywny	20 01 99	249,6	326,1	67	-	-
Niesegregowane (zmieszane) odpady komunalne	20 03 01	1440,1	1975,88	2332,8	2234,2	2974,20

Źródło: Opracowanie własne

Znaczący 50 % udział w składzie morfologicznym odpadów przypada na tworzywa sztuczne o długim okresie rozkładu. Pozostałe odpady o cechach surowców wtórnych typu szkło i metale zaliczane do frakcji grubej podobnie jak i inne przeznaczone do recyklingu stanowiły 14 %, a mineralne zaliczane do frakcji drobnej – 6 %.

**Rysunek 4.** Skład morfologiczny odpadów zdeponowanych na składowisku w Guzowie [Przydatek 2009]**Figure 4.** Morphological composition of deposited waste on the landfill in Guzowo [Przydatek 2009]

Średnia zawartość tlenu w badanym gazie wysypiskowym w latach 2004–2008 wahała się od 4,9 do 9,7% (tab. 2). Wg. Mirowskiego [2006] zawartość tlenu w biogazie zawiera się w granicach 0,3–0,6%. Najniższa średnia zawartość tlenu przypada na miesiąc styczeń, z kolei najwyższa na miesiąc kwiecień. W miesiącu styczniu również odnotowano najniższe średnie temperatury. Średnia zawartość dwutlenku węgla w badanym gazie wysypiskowym kształtowała się na poziomie 0%, co za Rosik – Dulewską [2007] odzwierciedla obecność mikroorganizmów tlenowych, niesprzyjających ustaleniu warunków beztlenowych. W przypadku metanu będącego gazem cieplarnianym jego zawartość w badanym gazie wysypiskowym wykazuje spadek od 5,5 do 2,3%. Najwyższą zawartość metanu odnotowano w styczniu, a najniższą w ciągu kolejnych siedmiu miesięcy, począwszy od miesiąca maja.

**Tabela 2.** Średnie miesięczne wartości CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> w próbkach składnikowych gazu wysypiskowego w latach 2004–2008

**Table 2.** The average monthly value of CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> in samples of landfill gas in years 2004–2008

Miesiąc/zawartość [%]/odchylenie średniej	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	d
tlen	4,9	4,9	9,6	9,7	9,5	9,3	9,0	8,7	9,5	9,1	9,2	9,4	1,222222
dwutlenek węgla	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
metan	5,5	5,4	2,5	2,5	2,5	2,4	2,4	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	0,841667

Źródło: Opracowanie własne.

Osiągnięty współczynnik zagęszczania odpadów  $I_s = 0,4$  odbiega od wymaganego, który powinien zawierać się w granicach 0,5 – 0,8. Różnica ta wynika z zagęszczania gromadzonych na terenie składowiska odpadów przy zastosowaniu spycharki gaśnicowej. Natomiast prawidłowy poziom zagęszczenia wg. Żygadło [2002] możliwy jest do osiągnięcia podczas zagęszczania kompektorem.

W masie deponowanych odpadów okresowo zagęszczanych udział tych ulegających biodegradacji kształtował się na poziomie, mogącym wpływać na aktywność złoża. Wskazuje to, że w rezultacie rozkładu substancji organicznej zawartej w odpadach na składowisku prowadzonym beztlenowo produktami końcowymi powinien być niewielki udział masy bakteryjnej i biogaz zawierający głównie metan i dwutlenek węgla [Żygadło 2002].

Pomiary składu gazu wysypiskowego na przedmiotowym obiekcie nie wykazały obecności dwutlenku węgla. Na bardzo niskim poziomie kształtowała się zawartość metanu, wykluczająca niestabilną i stabilną fazę metanogenezy. Z kolei udział tlenu przekracza oczekiwany jego poziom, wskazujący na przebieg procesów aerobowych związanych częściowo z fazą tlenową. Zauważalna przewaga procesów tlenowych nad beztlenowymi może być powodowana łatwością dostępu tlenu do złoża odpadów, a także częściową mineralizacją za-



wartej substancji organicznej, ze względu na okres składowania. W miesiącu styczniu zaznaczył się spadek zawartości tlenu przy wzroście zawartości metanu. Znaczący spadek tego ostatniego składnika w gazie wysypiskowym stwierdzono podczas wzrostu temperatury w otoczeniu składowiska, pomimo przyrastającej masy składowanych odpadów, w tym ulegających biodegradacji.

Większe odchylenia faktyczne wartości szeregu od średniej arytmetycznej dotyczą zawartości tlenu i potwierdzają większe wahania zmian w stosunku do zawartości metanu.

### WNIOSKI

Po analizie wyników badania składu gazu wysypiskowego w złożu odpadów komunalnych sformułowano następujące wnioski:

- znaczący średni udział tlenu w gazie wysypiskowym w przedziale od 4,9 do 9,7 % wskazuje na rozwój procesów tlenowych w złożu, co jest związane z niskim współczynnikiem zagęszczania odpadów, sprzyjającym penetracji złoża odpadów przez tlen ,
- niski udział metanu w granicach 2,4 – 5,5 % i jego postępujący spadek pomimo przyrostu masy deponowanych odpadów, w tym ulegających biodegradacji wynika z przewagi procesów aerobowych nad anaerobowymi, a także częściowej ich mineralizacji,
- niewykrywalna zawartość dwutlenku węgla potwierdza brak inicjacji procesu rozwoju mikroorganizmów sprzyjających ustaleniu warunków beztlenowych,
- rozwój procesów aerobowych następuje w okresie wzrostu temperatury otoczenia i skutkuje wzrostem zawartości tlenu, przy spadku zawartości metanu w złożu w wyniku zaniku procesów anaerobowych,
- wyższe odchylenie szeregu od średniej arytmetycznej wynika z dominacji procesów tlenowych w masie deponowanych odpadów.

### BIBLIOGRAFIA

- Dudek J. 2003. *Wykorzystanie biogazu ze składowisk odpadów komunalnych do celów energetycznych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej 155, Mechanika 25 Częstochowa. s. 2.
- Mirowski T. 2006. *Odnawialne źródła energii do wytwarzania energii Elektrycznej*. Polityka Energetyczna Tom 9. Zeszyt specjalny. s. 7.
- Piechocki J. 2000. *Możliwości otrzymywania i wykorzystania biogazu w rolnictwie*. Instal, 7/8. s. 38-41
- Przydatek G. 2009. *Wniosek o wydanie pozwolenia zintegrowanego dla składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne położonego w miejscowości Guzów*. Orońsko s. 39–40.
- Rosik-Dulewska Cz. 2007. *Podstawy gospodarki odpadami*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa ss. 320.

- Szymański K i in. 2007. *Monitoring składowisk odpadów. Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska*. VIII Ogólnopolska konferencja naukowa. Darłówko s.1, 80–81.
- Woś A. 1999. *Klimat Polski*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa ss. 301.
- Zamorska-Wojdyła D. i in. 2011. *Quality Evaluation of Biogas and Selected Methods of its Analysis*. Ecological Chemistry and Engineering S. Versita, Warsaw. s. 78
- Żygadło M. 2002. *Gospodarka odpadami komunalnymi*. Kielce. Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej ss. 286.
- Krajowy plan gospodarki odpadami 2014. Uchwała Nr 217 Rady Ministrów z dnia 24 grudnia 2010 r. (M.P. 2010 nr 101 poz. 1183). ss.40
- Dokumentacja archiwalna składowiska odpadów komunalnych w Guzowie 1988 - 2008

Dr inż. Grzegorz Przydatek  
Instytut Techniczny PWSZ  
ul. Zamenhofa 1a  
33-300 Nowy Sącz