

Potencjał produkcji biogazu dla wybranych składowisk odpadów komunalnych w województwie łódzkim

Wstęp

Odpady komunalne trafiające na składowiska zawierają materię organiczną, która jest rozkładana głównie do metanu i dwutlenku węgla. Mieszanina metanu i dwutlenku węgla, zwana dalej biogazem, może być wykorzystywana do produkcji energii, ze względu na wysoką wartość opałową ($17,9 \text{ MJ/m}^3$ – przy zawartości metanu 50%). Z 1Mg odpadów komunalnych, w warunkach Polskich, może powstać od 60-180 m³ biogazu [1]. Szybkość produkcji biogazu z określonej ilości odpadów wraz z upływem czasu zmniejsza się. Określenie produkcji biogazu ze składowiska, w którym odpady były składowane przez kilka lat, wymaga uwzględnienia różnych szybkości produkcji biogazu z odpadów zdeponowanych na składowisku w poszczególnych latach. Do opisu szybkości produkcji biogazu wybrano prosty model Tabasarana [1], który nie wymaga dużej ilości danych. Błędy związane z szacowaniem produkcji biogazu są związane głównie z brakiem szczegółowych informacji o odpadach, zdeponowanych na składowisku w poszczególnych latach. Znając szybkość produkcji biogazu z danego składowiska należy podjąć decyzję, czy powstający biogaz może być wykorzystany do produkcji energii, czy też spalony w pochodni. Natomiast, jeśli szybkość produkcji biogazu jest na tyle mała, że nie jest możliwe wykorzystania biogazu do spalania, to powstający przez wiele lat (nawet do 100 lat) biogaz, należy unieszkodliwić, ze względu na fakt, że zawarty w nim metan powoduje 21 razy większy efekt cieplarniany niż dwutlenek węgla. W biofiltrze następuje utlenienie metanu przez mikroorganizmy do dwutlenku węgla. W pracy przedstawiono charakterystykę 16 składowisk w województwie łódzkim, które miały być zamknięte z dniem 31-12-2011 roku [5]. Na podstawie uzyskanych danych obliczono potencjał tworzenia biogazu i zaproponowano rozwiązania dla poszczególnych składowisk.

1. Charakterystyka wybranych składowisk odpadów komunalnych w województwie łódzkim.

W raporcie o stanie środowiska w województwie łódzkim opublikowano listę składowisk, które miały zostać zamknięte do 31 grudnia 2009 (tabela 1). Informacje o ilości zdeponowanych odpadów w poszczególnych latach na składowiskach uzyskano z Urzędu Marszałkowskiego w Łodzi i Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska w Łodzi. Z listy przedstawionej w tabeli 1 zamknięto 50% składowisk. Brak daty zamknięcia składowiska, informuje, że dane składowisko jest nadal eksploatowane. Analizując ilość zdeponowanych odpadów na składowiskach zaobserwowano, że w 11 składowiskach zdeponowano poniżej 10 000 Mg odpadów komunalnych. Liczba składowisk, w których zdeponowano odpady w ilości od 10000 do 100 000 Mg wynosi 2. Do składowisk na których zdeponowano więcej niż 100 000 Mg odpadów komunalnych należą składowiska w Sulejowie, Bartochowie oraz Lubochni.

Tabela 1. Zestawienie składowisk odpadów komunalnych, które miały zostać zamknięte z dniem 31-12-2009r.

Nr.	Powiat, nazwa składowiska	Rok powstania	Rok zamknięcia	Masa odpadów Mg
Powiat łączycki				
1	Wysypisko odpadów komunalnych w Sławęcini e	1988		1 691,8
Powiat łowicki				
2	Składowisko odpadów komunalnych w Czatoninie	1993	2010	3 863,0
Powiat opoczyński				
3	Składowisko gminne w Domasznie	1985		11 835,3
Powiat pajęczański				
4	Gminne składowisko odpadów stałych w Studzienicy	1995		1 274,0
Powiat piotrkowski				
5	Składowisko stałych odpadów komunalnych w Czarnocinie	1997	2011	6 231,0
6	Składowisko odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Młynarach	1992		28 099,5
7	Składowisko odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Sulejowie	1973	2010	103 391,4
8	Składowisko odpadów komunalnych w Makolicach	1992	2010	1 417,0
9	Składowisko odpadów stałych w Łochyńsku	1992		6 427,0
Powiat poddębicki				
10	Gminne składowisko odpadów stałych w Gostkowie	1989	2010	4 290,0
11	Gminne składowisko odpadów w Zygrach	1993	2010	3 272,0
Powiat sieradzki				
12	Składowisko odpadów komunalnych w Bartochowie	1987	2 010	508 993,0
Powiat tomaszowski				
13	Składowisko odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Brzustowie	1992	2010	5 752,6
14	Składowisko odpadów komunalnych w Lubochni	2002		340 981,0
Powiat wieluński				
15	Gminne składowisko odpadów stałych w Marzętach	1986		3 573,5
16	Składowisko odpadów komunalnych w Strobiniu Kolonii	1998		3 015,6

W tabeli 2 przedstawiono krótką charakterystykę składowisk odpadów komunalnych, które miały zostać zamknięte z dniem 31-12-2009 roku w województwie łódzkim. System odgazowywania posiadają dwa największe składowiska w Bartochowie i w Lubochni oraz małe składowisko w Sławęcini e. Jedynie 6 składowisk spośród 16, posiada system odbioru powstających odcieków. Monitoring wód podziemnych nie jest prowadzony dla składowisk w Sławęcini e, Czatoninie, Łochyńsku oraz Zygrach, w których ilość zdeponowanych odpadów nie przekracza 10 000 Mg. Z analizy danych wynika, że aż 4 składowiska nie posiadają systemu izolacji (naturalnego lub sztucznego) odpadów od ziemi. Do tej grupy należą składowiska w Czatoninie, Łochyńsku, Gostkowie oraz Bartochowie. Na szczególną uwagę zasługuje składowisko w Bartochowie, w którym zdeponowano 508993 Mg odpadów i może stanowić duże zagrożenie dla wód podziemnych. Analizując stopień wypełnienia można zaobserwować, że 7 składowisk na 16, posiada wypełnienie większe niż 70%.

Tabela 2. Charakterystyka składowisk odpadów komunalnych.

Lp.	Odgazowywanie	Odbiór odcieków	Monitoring wód podziemnych	System izolacji	Wypełnienie składowiska
1	tak	tak	nie	tak	40
2	nie	nie	nie	nie	78
3	nie	nie	tak	tak	66
4	nie	tak	tak	tak	46
5	nie	tak	tak	tak	85
6	nie	nie	tak	tak	78
7	nie	nie	tak	tak	95
8	nie	nie	tak	tak	34
9	nie	tak	nie	nie	49
10	nie	nie	tak	nie	64
11	nie	nie	nie	tak	33
12	tak	nie	tak	nie	88
13	nie	nie	tak	tak	80
14	tak	tak	tak	tak	78
15	nie	nie	tak	tak	29
16	nie	tak	tak	tak	69

2. Prognozowanie zmian produkcji biogazu z wybranych składowisk oraz propozycje rozwiązań

Ze względu na małą ilość informacji o odpadach zdeponowanych na poszczególnych składowiskach do opisu szybkości produkcji biogazu wykorzystano model Tabasarana [1], opisanego równaniem (1).

$$G_o = 1,87 \cdot C_{\text{org}} \cdot (0,014T + 0,28) \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{Mg}} \right] \quad (1)$$

gdzie:

G_o - potencjalna produkcja biogazu z jednostki masy odpadów [m^3/Mg];

C_{org} - zawartość węgla organicznego w odpadach [kg/Mg];

T - temperatura w złożu odpadów [$^{\circ}\text{C}$].

W obliczeniach przyjęto dla wszystkich składowisk odpadów komunalnych, że zawartość węgla organicznego w odpadach wynosiła $114,4 \text{ kg}/\text{Mg}$, a temperatura 20°C . Policzona potencjalna produkcja biogazu z 1 Mg odpadów komunalnych wynosiła 120 m^3 . Uzyskana wartość jest zgodna z danymi przedstawionymi w literaturze [2].

Do określenia zmian produkcji biogazu w czasie wykorzystano równanie reakcji pierwszego rzędu (2):

$$G_t = G_o \cdot (1 - e^{-k \cdot t}) \quad \left[\frac{\text{m}^3}{\text{Mg}} \right] \quad (2)$$

gdzie:

G_t - ilość biogazu wyprodukowana z jednostki masy odpadów po czasie t [m^3/Mg].

k - stała szybkości rozkładu [r-1].

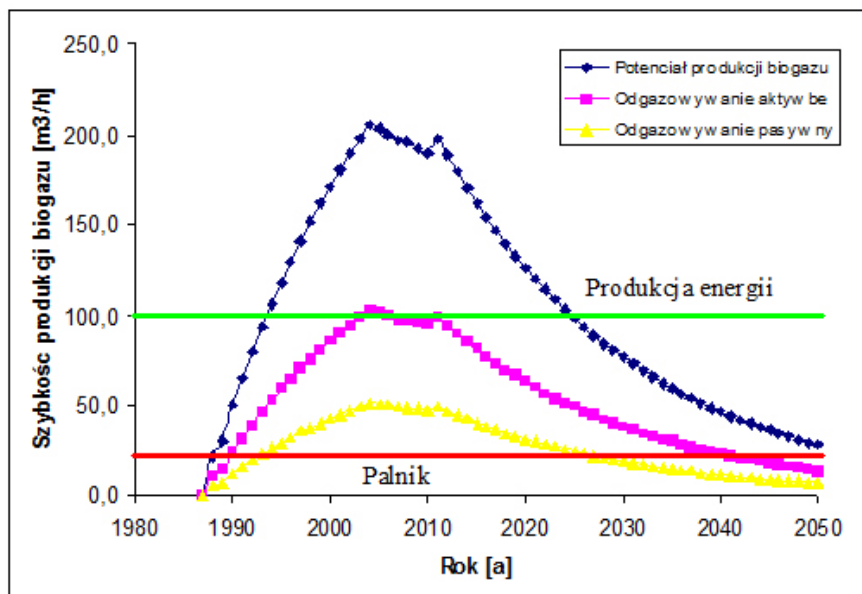
Składowiska przedstawione w tabeli 1, nie posiadają systemu recyrkulacji odcieków. Według danych literaturowych [1] stała szybkości rozkładu (k) dla składowisk nie mających recyrkulacji odcieków wynosi 0,05 r-1.

W tabeli 3 przedstawiono potencjalną szybkość produkcji biogazu z wybranych składowisk odpadów komunalnych w województwie łódzkim w latach 2011, 2020, 2030, 2040 i 2050. Aby można było wykorzystać biogaz do produkcji energii (silnik spalinowy), szybkość produkcji biogazu powinna być większa od 100 m³/h [6]. Gdy szybkość produkcji biogazu jest mniejsza od 100 m³/h, a większa od 25 m³/h, powstający biogaz może być spalony w pochodni [6]. Gdy podczas odgazowywania stosuje się aktywny system jego pozyskiwania, można uzyskać jedynie 50% potencjalnej szybkości produkcji biogazu, a przy pasywnym jedynie 25%.

Tabela 3. Potencjalna szybkość produkcji biogazu z wybranych składowisk odpadów komunalnych w województwie łódzkim.

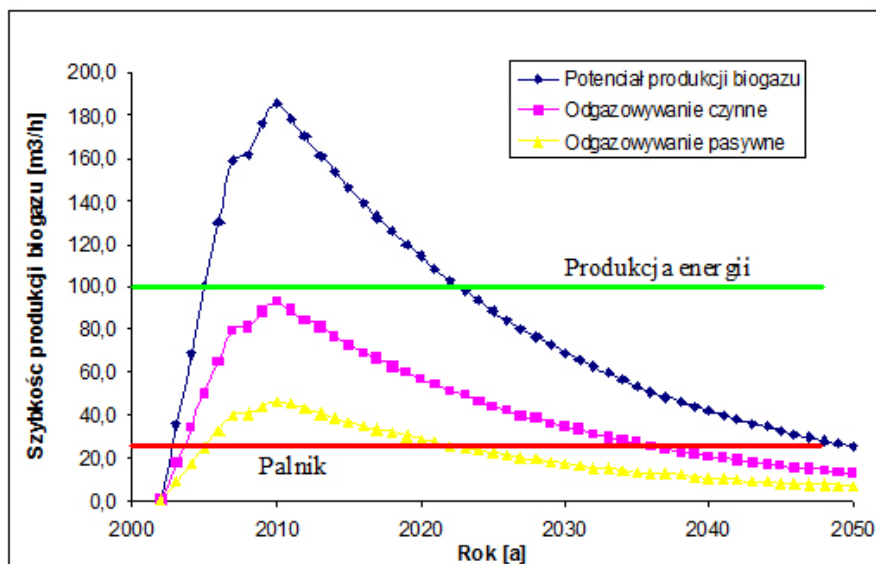
Lp.	2011	2020	2030	2040	2050
	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
1	0,723	0,461	0,279	0,169	0,103
2	1,87	1,19	0,72	0,44	0,27
3	6,96	4,44	2,69	1,63	0,99
4	0,67	0,42	0,26	0,16	0,09
5	3,35	2,14	1,30	0,79	0,48
6	13,10	8,35	5,07	3,07	1,86
7	29,54	18,83	11,42	6,93	4,20
8	1,18	0,75	0,46	0,28	0,17
9	3,46	2,21	1,34	0,81	0,49
10	1,80	1,15	0,70	0,42	0,26
11	1,29	0,82	0,50	0,30	0,18
12	198,1	126,3	76,6	46,5	28,2
13	2,86	1,82	1,11	0,67	0,41
14	178,3	113,7	69,0	41,8	25,4
15	1,33	0,85	0,51	0,31	0,19
16	1,52	0,97	0,59	0,36	0,22

W 2011 roku największa szybkość produkcji biogazu stwierdzono dla składowiska odpadów komunalnych w Bartochowie (12) i składowiska odpadów komunalnych w Lubochni (14). Zmiany szybkości produkcji biogazu ze składowiska odpadów komunalnych w Bartochowie (nr 12) przedstawiono na wykresie 1. Wykorzystanie powstającego biogazu z tego składowiska do produkcji energii jest niemożliwe, nawet przy zastosowaniu aktywnego systemu odgazowywania, ze względu na niską szybkość jego produkcji. Natomiast, biorąc pod uwagę szybkość produkcji biogazu, wskazane jest zastosowanie pochodni. Konieczne jest jednak zastosowanie aktywnego systemu odgazowania, ponieważ składowisko to nie posiada systemu uszczelnienia, celem uniemożliwienia migracji powstającego biogazu poza obszar składowiska. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że zastosowanie aktywnego odgazowywania umożliwi spalanie powstającego biogazu do około 2040 roku, a w systemie pasywnym do roku 2025.



Wykres 1. Zmiany produkcji biogazu ze składowiska odpadów komunalnych w Bartochowie (12).

Zmiany szybkości produkcji biogazu ze składowiska odpadów komunalnych w Lubochni, oznaczonego numerem 14, przedstawiono na wykresie 2. Szybkość produkcji biogazu nawet przy aktywnym systemie odgazowywania uniemożliwia zastosowanie biogazu do produkcji energii. Zastosowanie aktywnego systemu odgazowania umożliwia spalanie w pochodni powstającego biogazu do roku około 2035, a przy systemie pasywnym do roku 2020. Przy zastosowaniu aktywnego odgazowywania, należy pamiętać o uszczelnieniu warstwy wierzchniej, gdyż panujące podciśnienie może powodować zasysanie tlenu i azotu do instalacji. Potencjalna szybkość produkcji biogazu dla składowiska odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne w Sulejowie wynosi $29,54 \text{ m}^3/\text{h}$. Zastosowanie nawet aktywnego systemu odgazowywania uniemożliwia zastosowanie pochodni. Dla pozostałych składowisk potencjalna szybkość produkcji biogazu jest na tyle mała, że należy szukać innego rozwiązania w celu ograniczenia emisji metanu do atmosfery.



Wykres 2. Zmiana produkcji biogazu ze składowiska odpadów komunalnych w Lubochni (14).

W tabeli 4 przedstawiono potencjalną emisję metanu z powierzchni składowisk w roku 2011. W obliczeniach przyjęto, że w produkowanym biogazie jest 50% obj. CO_2 i CH_4 . Według danych literaturowych, w standardowej warstwie rekultywacyjnej w warunkach naturalnych, szybkość biodegradacji metanu wynosi od 0,34 do 5,61 $\text{dm}^3/\text{m}^2/\text{h}$ [3]. Zakładając, że szybkość utleniania metanu wynosi jedynie 0,34 $\text{dm}^3/\text{m}^2/\text{h}$, warstwę rekultywacyjną do utleniania można zastosować na prawie wszystkich składowiskach z wyjątkiem składowisk oznaczonych numerami 6, 12 i 14. Powstający biogaz na składowiskach 12 i 14, w roku 2011, można spalić w pochodni, natomiast, że składowiska 6, spalanie biogazu w pochodni jest niemożliwe. Oprócz warstwy rekultywacyjnej, w której może następować utlenianie metanu, dla składowisk które posiadają uszczelnienie czaszy składowiska są również stosowane biofiltry. W biofiltrze zachodzą takie same procesy utleniania metanu jak w warstwie nadkładowej. Różnica polega na w tym, że biofiltry są zbiornikami o wysokości do 1 metra, w którym znajduje się wypełnienie. Częstym rozwiązaniem jest budowa biofiltra nad studzienką odgazowującą. Jako wypełnienie biofiltra stosuje się kompost, torf oraz materiały, które zwiększają dyfuzję tlenu z powietrza do wnętrza biofiltra. Brak tlenu powoduje inhibicję procesu utleniania metanu. W literaturze przedmiotu można spotkać różne szybkości utleniania metanu od 2,5 do 42 $\text{dm}^3/\text{m}^2/\text{h}$ z zależności od zastosowanego wypełnienia [4]. Zarówno warstwa rekultywacyjna jak i biofiltr zmniejszą emisję związków odorotwórczych do środowiska.

Dla składowiska oznaczonego numerem 6 sensowne wydaje się zastosowanie biofiltra. Biofiltr może być również zastosowane na składowisk oznaczonych numerami 12 i 14, gdy szybkość lub skład biogazu uniemożliwią jego spalanie w pochodni. Zastosowanie takiego rozwiązania zmniejszy emisję metanu do środowiska.

Tabela 4. Potencjalna emisja metanu z powierzchni składowiska w roku 2011.

Lp.	Maksymalna potencjalna produkcja biogazu 2011	Powierzchnia składowiska	Maksymalna potencjalna emisja metanu z powierzchni składowiska
	m ³ /h	m ²	dm ³ /m ² /h
1	0,723	4000	0,090
2	1,87	7000	0,134
3	6,96	13000	0,268
4	0,67	5000	0,067
5	3,35	5000	0,335
6	13,10	10000	0,655
7	29,54	43000	0,343
8	1,18	5000	0,118
9	3,46	8000	0,216
10	1,80	5000	0,180
11	1,29	17000	0,038
12	198,1	50000	1,981
13	2,86	4000	0,358
14	178,3	22000	4,052
15	1,33	2000	0,333
16	1,52	4000	0,190

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń dotyczących produkcji biogazu z odpadów wynika, że jedynie w przypadku składowisk w Bartochowie i Lubochni można zastosować pochodnie do spalania metanu. Dla pozostałych składowisk, ze względu na małą produkcję biogazu, powstający biogaz może być rozkładany w warstwie nadkładowej lub w biofiltrze. Ilość deponowanych odpadów w składowisku powinna być większa od $5 \cdot 10^{-5}$ Mg odpadów, aby można było wykorzystać powstały biogaz do produkcji energii. Przy czym najlepiej, gdyby masa odpadów ($5 \cdot 10^{-5}$ Mg) została zdeponowana w jak najkrótszym czasie.

Literatura:

- [1]. Czurejno M., Gaj K. (2005). Modelowanie gazowego i energetycznego potencjału składowisk odpadów komunalnych. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów, 39 (3).
- [2]. Czurejno M. (2006). Biogaz składowiskowy jako źródło alternatywnej energii, Energetyka i ekologia, październik 2006, www.e-energetyka.pl
- [3]. Figueroa R. A. (1998). Gasemissionsverhalten abgedichteter Deponien. In: R. Stegmann, Editor, Hamburger Berichte Bd. 13, Economica Verlag, Bonn.
- [4]. Pałowska M., (2007). Efektywność mikrobiologicznego utleniania metanu w biofiltrach w zależności od rodzaju materiału stanowiącego wypełnienie. VIII Ogólnopolska Konferencja Naukowa "Kompleksowe i Szczegółowe Problemy Inżynierii Środowiska, Darłówko 2007, http://wbiis.tu.koszalin.pl/konferencja/konferencja2007/2007/39pawlowska_t.pdf
- [5]. Raport o stanie środowiska w województwie łódzkim, Biblioteka monitoringu Środowiska, Łódź 2010.
- [6]. Lipniacka – Piaskowska A. (2010) Funkcjonowanie składowiska odpadów z recykulacją odcieków. Praca doktorska, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.