

Monitoring studni do produkcji biogazu na składowisku odpadów

Monitoring of biogas production wells in a landfill

Kamil Hebda, Grzegorz Kołodziejak

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

STRESZCZENIE: Wraz z rozwojem cywilizacyjnym zapotrzebowanie na energię na świecie stale wzrasta. Energia pozyskiwana jest głównie z paliw kopalnych (węgiel, ropa naftowa, gaz ziemny), których zasoby powoli się wyczerpują lub których używanie ma szkodliwy wpływ na środowisko naturalne. Dlatego coraz większy udział w produkcji energii mają odnawialne źródła energii (OZE), których wykorzystywanie nie wiąże się z ich długoterminowym deficytem, ponieważ ich zasoby odnawiane są w krótkim czasie. Ponadto negatywny wpływ OZE na środowisko naturalne jest znikomy. Jako OZE wykorzystuje się głównie energię pozyskiwaną ze słońca, wiatru, wody i czasami geotermię, ale można użyć również biogazu powstającego na składowiskach odpadów. Gaz składowiskowy jest to palny gaz zaliczany do OZE, pozyskiwany z biomasy w wyniku beztlenowego rozkładu materii organicznej. Jego głównymi składnikami są metan oraz dwutlenek węgla. W celu pozyskania biogazu składowiska odpadów wyposaża się w instalacje umożliwiające jego odbiór – są to studnie wraz z orurowaniem. Udział metanu w gazie składowiskowym różni się w zależności od zawartości i składu frakcji organicznej, ale zwykle oscyluje w granicach 40–60%. Aby wspomóc produkcję gazu składowiskowego w masie odpadów, należy stworzyć optymalne warunki dla procesu metanogenezy. Przykładem może tu być kompaktowanie lub przesypanie odpadów warstwami ziemi. Oba te procesy prowadzą do obniżenia zawartości tlenu w składowanym materiale. Największy wpływ na wytwarzanie biogazu ma jednak zawartość frakcji organicznej w składowanych odpadach. Po wprowadzeniu systemu segregacji odpadów ilość składowanej frakcji organicznej zdecydowanie się zmniejszyła, obniżając potencjał składowisk jako źródeł biogazu. W artykule przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych na jednym z czynnych składowisk odpadów komunalnych. Pomiary wykonano w pięciu studniach odgazowujących rozlokowanych w różnych częściach składowiska. Badania wykazały, że studnie znajdujące się w centralnej części składowiska, które zostały odpowiednio zabezpieczone oraz zlokalizowane są w odpadach o dużej zawartości frakcji organicznej, wykazują przyływ biogazu na dobrym poziomie.

Słowa kluczowe: biogaz, odnawialne źródła energii, składowisko odpadów.

ABSTRACT: The worldwide energy demand still increases along with civilization development. The energy is prevalently acquired from fossil fuels (coal, oil, natural gas), whose reserves are being slowly used up, or whose utilization has detrimental effect on environment. This is why the renewable energy sources (RES) are gaining an increasing share in energy production, while their utilization will not lead to their scarcity in a long-term perspective, as the resources are renewed in the short-term perspective. Moreover, their negative environmental influence is insignificant. The sun, wind and water, and sometimes geothermal power, are the prevalent sources of renewable energy. Also landfill gas, generated on waste dumps can be utilized as a renewable energy source. Biogas (the landfill gas) is combustible gas belonging to RESs, which is produced from biomass by the process of anaerobic digestion of organic matter. Its main constituents are methane and carbon dioxide. In order to enable utilisation of biogas from landfill, the latter should be equipped with biogas receiving system: the wells together with piping system, which will be responsible for biogas collecting. The methane share in landfill gas varies, depending on contents and composition of organic fraction, but usually it ranges within 40–60%. In order to assist landfill gas production, optimal condition for methane-genesis process should be created within the mass of wastes. Compacting wastes or laying soil layers in-between them can serve as examples. Both processes result in lowering oxygen contents in the wastes. It is, however, the organic fraction content in the landfilled waste that has the greatest impact on biogas production. Following the introduction of waste segregation system, the volume of organic waste landfilled has significantly decreased, thus decreasing the potential of landfills as a source of biogas. The article presents the results of research carried out at an active, municipal waste landfills. The measurements were performed in five degassing wells, located in various parts of the landfill. The research demonstrated that the wells located in the central part of the landfill, which were properly preserved and located within wastes having high organic fraction content, show biogas flow at a good level.

Key words: biogas, renewable energy sources, landfill.

Autor do korespondencji: K. Hebda, e-mail: kamil.hebda@inig.pl

Artykuł nadesłano do Redakcji: 30.04.2021 r. Zatwierdzono do druku: 22.09.2021 r.

Wstęp

W artykule opisano badania produktywności studni odgazowujących na czynnym składowisku odpadów komunalnych. Biogaz to gaz pozyskiwany z biomasy, w szczególności z przeróbki odpadów zwierzęcych i roślinnych, który zaliczany jest do odnawialnych źródeł energii (OZE) (Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r.; Zaleska-Bartosz, 2014). Gaz składowiskowy (biogaz) powstaje w wyniku fermentacji materii organicznej.

Fermentacja to zespół beztlenowych procesów biochemicznych, w których substancja chemiczna (węglowodany, białka i tłuszcze oraz ich związki pochodne) jest rozkładana przy pomocy mikroorganizmów (Dudek i Zaleska-Bartosz, 2010; Dudek, 2012). Fermentacja zachodzi z reguły w temperaturach 35–40°C. Głównymi składnikami biogazu są metan oraz dwutlenek węgla. Skład gazu składowiskowego pozwala na jego wykorzystanie jako nośnika energii. Gaz składowiskowy może również zostać oczyszczony do postaci biometanu, aby spełniał standardy jakości gazu ziemnego i mógł być stosowany jako paliwo do napędzania pojazdów mechanicznych (Dudek i Klimek, 2008).

Biogaz na składowiskach wytwarza się samoczynnie. W celu wykorzystania biogazu jest on pobierany za pomocą studni odgazowujących, a następnie odprowadzany przez orurowanie do stacji zbiorczych (Kołodziejak i Zaleska-Bartosz, 2014). Na produkcję biogazu ma wpływ szereg czynników, z których główne to skład odpadów, ale również czynniki atmosferyczne takie jak: wysokość i częstotliwość opadów, temperatura powietrza, ciśnienie atmosferyczne oraz warunki hydrogeologiczne (Porowska i Gruszczyński, 2013).

W ramach prac wykonano pomiary dynamicznego odbioru gazu z 5 studni odgazowujących. Otrzymane wyniki poddano analizie w aspekcie produktywności gazowej składowiska. Zakres przeprowadzonych prac obejmował:

- wykonanie testów dynamicznego odbioru gazu ze składowiska w studniach odgazowujących (testy odsysania charakteryzujące wydajność studni odgazowujących);
- wykonanie oznaczeń ilościowych i jakościowych składników gazu ze studni odgazowujących oraz określenie parametrów fizykochemicznych gazu w warunkach dynamicznych;
- określenie gazu, jaki jest możliwy do uzyskania ze studni, na których prowadzono pomiary.

Aparatura pomiarowa oraz metodyka badań

Do pomiarów stężenia głównych składników gazu składowiskowego: metanu, dwutlenku węgla i tlenu dla stężeń

w zakresie od 0,1% (v/v) do 100% (v/v) wykorzystano analityczny typ Biogas 5000 firmy Geotechnical Instruments.

Pomiary wykonano za pomocą zestawu służącego do testów dynamicznego odbioru gazu ze składowiska (testy odsysania), w którego skład wchodzi:

- wentylator bocznokanałowy typu SC30A300T firmy Venture Industries Sp. z o.o. wyposażony w przemiennik częstotliwości umożliwiający regulację prędkości obrotowej wirnika;
- gazomierz rotorowy serii CGR-01 firmy Common S.A. o zakresie pomiarowym: 0–250 m³/h;
- przewody elastyczne poliuretanowe o średnicy 63 mm, zbrojone drutem stalowym.

Zestaw do przeprowadzania weryfikacji prognozy produktywności na składowisku odpadów komunalnych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Zestaw do dynamicznego odbioru gazu ze składowiska
Fig. 1. A set for dynamic gas collection from a landfill

Metodyka badań obejmowała pomiary wydajności poszczególnych studni odgazowujących przy wykorzystaniu metody aktywnego odbioru gazu. Metoda ta polega na odpompowaniu gazu z określonym wydatkiem z jednoczesnym pomiarem składu gazu. W przypadku każdej z badanych studni pomiar wykonywany był do momentu określenia strumienia wydobywanego gazu, dla którego zawartość metanu nie ulegała zmianie. Podczas badań oznaczano wartości następujących gazów: CH₄, CO₂, O₂ oraz N₂.

Wyniki badań

Dla każdej z badanych studni przedstawiono tabele z wartościami strumieni oraz stężeń głównych składników biogazu, które zostały uzyskane podczas prowadzonych prac (tab. 1–5). Wartości te zostały również przeliczone w celu określenia parametrów biogazu po odjęciu strumienia powietrza zasysanego przez nie szczelności. Kolorem zielonym w tabelach

zaznaczono zakresy wydajności dla poszczególnych studni oraz i stężeń głównych składników gazu, przy których otrzymano odnośzące się do nich wartości średnie wielkości strumienia przepływu gazu o stabilnej zawartości metanu.

Studnia odgazowująca nr 1 – zlokalizowana na skarpie po wschodniej stronie składowiska

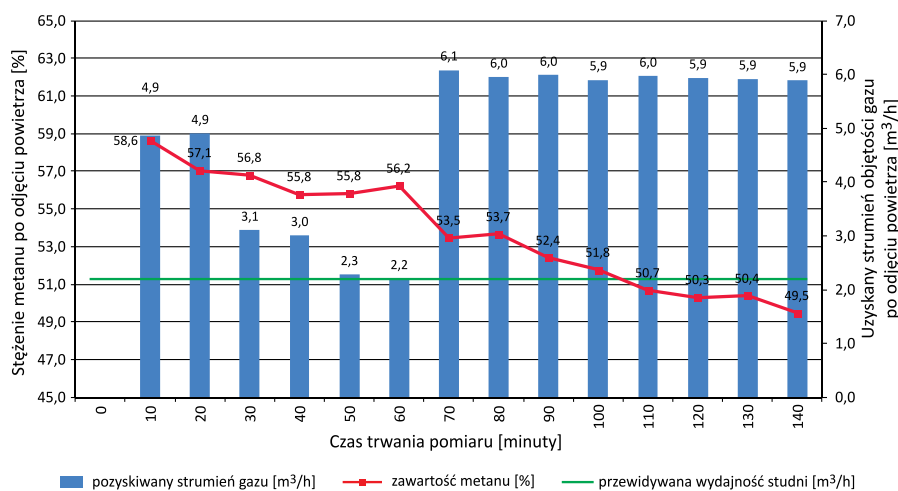
Tabela 1. Wyniki pomiarów stężeń głównych składników gazu oraz strumienia gazu otrzymane podczas testów aktywnego odbioru dla studni nr 1

Table 1. The results of measurements of the concentrations of the main gas components and the gas stream obtained during active collection tests for well no. 1

Czas pomiaru [min]	Strumień objętości gazu [Nm ³ /h]	Skład pozyskanego gazu				Strumień objętości gazu bez powietrza [Nm ³ /h]	Skład pozyskanego gazu po odjęciu powietrza		
		CH ₄ [%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	N ₂ [%]		CH ₄ [%]	CO ₂ [%]	N ₂ [%]
0	–	61,5	34,2	0,8	3,5	–	63,9	35,5	0,6
10	8,5	33,5	21,1	9,1	36,3	4,9	58,6	36,9	4,4
20	8,6	32,6	21,0	9,1	37,3	4,9	57,1	36,8	6,2
30	5,0	35,4	22,8	8,0	33,8	3,1	56,8	36,6	6,6
40	4,9	34,5	22,4	8,1	35,0	3,0	55,8	36,2	8,0
50	2,8	46,1	29,1	3,7	21,1	2,3	55,8	35,2	8,9
60	2,7	45,9	28,8	3,9	21,4	2,2	56,2	35,3	8,5
70	10,6	30,8	20,5	9,0	39,7	6,1	53,5	35,6	11,0
80	10,7	29,9	20,1	9,4	40,6	6,0	53,7	36,1	10,3
90	10,7	29,2	19,9	9,4	41,5	6,0	52,4	35,7	11,9
100	10,7	28,6	19,7	9,5	42,2	5,9	51,8	35,7	12,6
110	10,8	28,0	19,4	9,5	43,1	6,0	50,7	35,1	14,2
120	10,7	27,8	19,2	9,5	43,5	5,9	50,3	34,7	14,9
130	10,8	27,6	19,1	9,6	43,7	5,9	50,4	34,9	14,8
140	10,7	27,1	19,0	9,6	44,3	5,9	49,5	34,7	15,9
Wartości średnie dla stabilnego strumienia gazu:						2,2	56,0	35,3	8,7

Badania prowadzone w studni nr 1 wykazały duże nieszczelności umożliwiające przedostawanie się znacznych ilości powietrza do strumienia gazu, spowodowane prawdopodobnie

nieszczelnością skarpy wysypiska. Podczas pomiarów uzyskano przepływ biogazu na poziomie 2,2 m³/h przy zawartości metanu 56% (rys. 2).



Rys. 2. Wyniki pomiarów stężeń metanu oraz strumienia gazu otrzymane podczas testów aktywnego odbioru w studni nr 1

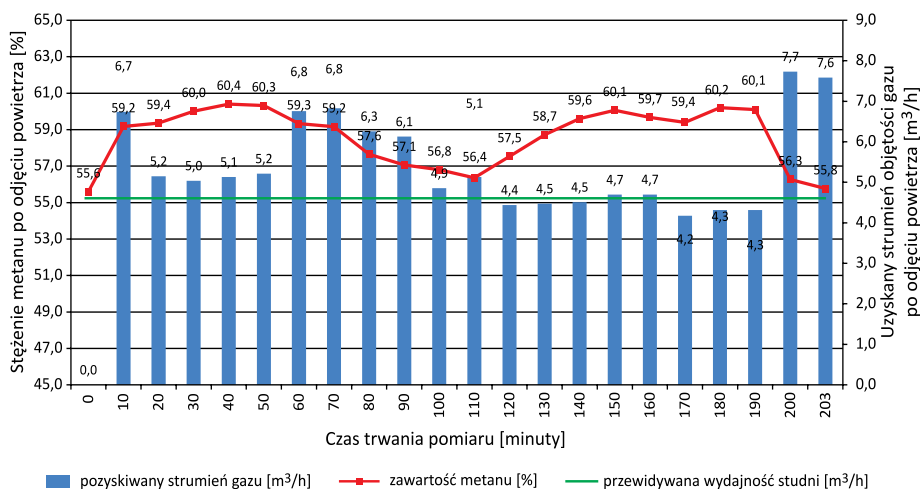
Fig. 2. Measurement results of methane concentrations and gas stream obtained during active collection tests at well no. 1

Studnia odgazowująca nr 2 – zlokalizowana w północno-zachodniej części składowiska

Tabela 2. Wyniki pomiarów stężeń głównych składników gazu oraz strumienia gazu otrzymane podczas testów aktywnego odbioru dla studni nr 2

Table 2. The results of measurements of the concentrations of the main gas components and the gas stream obtained during active collection tests for well no. 2

Czas pomiaru [min]	Strumień objętości gazu [Nm ³ /h]	Skład pozyskanego gazu				Strumień objętości gazu bez powietrza [Nm ³ /h]	Skład pozyskanego gazu po odjęciu powietrza		
		CH ₄ [%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	N ₂ [%]		CH ₄ [%]	CO ₂ [%]	N ₂ [%]
0	–	44,6	30,4	4,2	20,8	–	55,6	37,9	6,5
10	7,4	53,6	33,8	2,0	10,6	6,7	59,2	37,3	3,5
20	5,5	56,0	35,5	1,2	7,3	5,2	59,4	37,6	3,0
30	5,2	58,6	36,8	0,5	4,1	5,0	60,0	37,7	2,3
40	5,3	58,7	36,9	0,6	3,8	5,1	60,4	38,0	1,6
50	5,3	58,9	37,1	0,5	3,5	5,2	60,3	38,0	1,7
60	7,2	55,7	35,8	1,3	7,2	6,8	59,3	38,1	2,5
70	7,2	56,1	36,1	1,1	6,7	6,8	59,2	38,1	2,8
80	7,0	51,4	34,2	2,3	12,1	6,3	57,6	38,4	4,0
90	7,0	49,8	33,6	2,7	13,9	6,1	57,1	38,5	4,4
100	5,9	46,9	32,0	3,7	17,4	4,9	56,8	38,8	4,4
110	6,2	46,8	32,1	3,6	17,5	5,1	56,4	38,7	5,0
120	5,0	51,3	34,2	2,3	12,2	4,4	57,5	38,4	4,1
130	4,7	55,4	36,0	1,2	7,4	4,5	58,7	38,2	3,1
140	4,6	58,2	37,1	0,5	4,2	4,5	59,6	38,0	2,4
150	4,7	59,5	37,4	0,2	2,9	4,7	60,1	37,8	2,2
160	4,9	57,7	36,7	0,7	4,9	4,7	59,7	38,0	2,4
170	4,4	56,6	36,3	1,0	6,1	4,2	59,4	38,1	2,5
180	4,4	58,5	36,8	0,6	4,1	4,3	60,2	37,9	1,9
190	4,4	58,4	36,7	0,6	4,3	4,3	60,1	37,8	2,1
200	9,4	46,2	31,3	3,8	18,7	7,7	56,3	38,1	5,6
203	9,4	45,0	30,7	4,1	20,2	7,6	55,8	38,0	6,2
Wartości średnie dla stabilnego strumienia gazu:						4,7	60,0	37,9	2,1



Rys. 3. Wyniki pomiarów stężeń metanu oraz strumienia gazu otrzymane podczas testów aktywnego odbioru w studni nr 2
 Fig. 3. Measurement results of methane concentrations and gas stream obtained during active collection tests at well no. 2

Badania prowadzone w studni nr 2 wykazały jej niską wydajność, prawdopodobnie spowodowaną składem lub wiekiem zdeponowanych w tym miejscu odpadów. Ponadto wcześniej

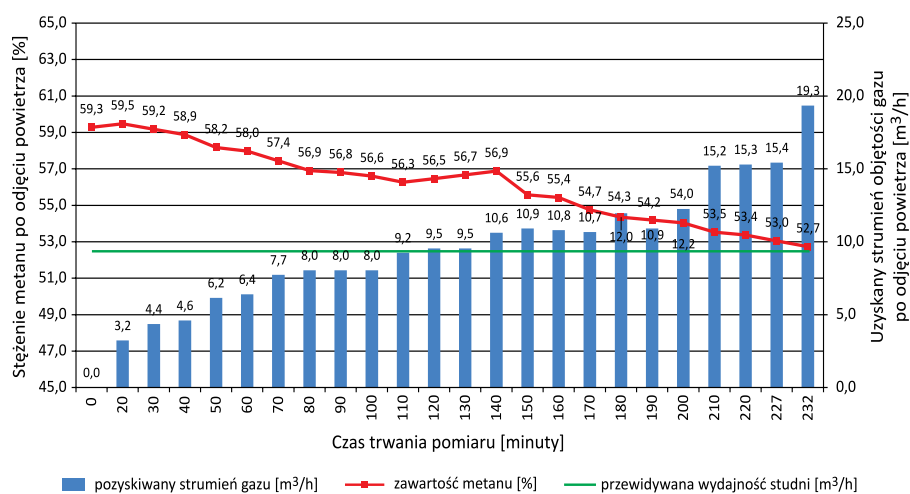
pojawiający się tlen świadczy o niewystarczającym uszczelnieniu studni. Uzyskany strumień biogazu o stabilnej zawartości metanu (na poziomie 60%) wynosił 4,7 m³/h (rys. 3).

Studnia odgazowująca nr 3 – zlokalizowana w południowo-zachodniej części składowiska

Tabela 3. Wyniki pomiarów stężeń głównych składników gazu oraz strumienia gazu otrzymane podczas testów aktywnego odbioru dla studni nr 3

Table 3. The results of measurements of the concentrations of the main gas components and the gas stream obtained during active collection tests for well no. 3

Czas pomiaru [min]	Strumień objętości gazu [Nm ³ /h]	Skład pozyskanego gazu				Strumień objętości gazu bez powietrza [Nm ³ /h]	Skład pozyskanego gazu po odjęciu powietrza		
		CH ₄ [%]	CO ₂ [%]	O ₂ [%]	N ₂ [%]		CH ₄ [%]	CO ₂ [%]	N ₂ [%]
0	–	57,6	37,6	0,6	4,2	–	59,3	38,7	2,0
20	3,2	59,2	38,4	0,1	2,3	3,2	59,5	38,6	1,9
30	4,4	58,9	38,5	0,1	2,5	4,4	59,2	38,7	2,1
40	4,6	58,6	38,7	0,1	2,6	4,6	58,9	38,9	2,2
50	6,2	57,9	38,8	0,1	3,2	6,2	58,2	39,0	2,8
60	6,4	57,7	39,0	0,1	3,2	6,4	58,0	39,2	2,8
70	7,8	56,9	39,0	0,2	3,9	7,7	57,4	39,4	3,2
80	8,2	56,1	38,7	0,3	4,9	8,0	56,9	39,3	3,8
90	8,2	56,0	38,7	0,3	5,0	8,0	56,8	39,3	3,9
100	8,2	55,8	38,6	0,3	5,3	8,0	56,6	39,2	4,2
110	9,4	55,2	38,5	0,4	5,9	9,2	56,3	39,2	4,5
120	9,7	55,4	38,7	0,4	5,5	9,5	56,5	39,4	4,1
130	9,7	55,6	38,7	0,4	5,3	9,5	56,7	39,4	3,9
140	11,0	55,0	38,3	0,7	6,0	10,6	56,9	39,6	3,5
150	11,2	54,0	38,6	0,6	6,8	10,9	55,6	39,7	4,7
160	11,2	53,6	38,7	0,7	7,0	10,8	55,4	40,0	4,6
170	11,0	53,2	38,8	0,6	7,4	10,7	54,7	39,9	5,3
180	12,4	52,3	38,4	0,8	8,5	12,0	54,3	39,9	5,7
190	11,3	52,4	38,5	0,7	8,4	10,9	54,2	39,8	6,0
200	12,7	52,0	38,5	0,8	8,7	12,2	54,0	40,0	6,0
210	16,0	51,0	37,9	1,0	10,1	15,2	53,5	39,8	6,7
220	16,1	50,6	37,8	1,1	10,5	15,3	53,4	39,9	6,8
227	16,1	50,8	37,8	0,9	10,5	15,4	53,0	39,5	7,5
232	20,4	50,0	37,4	1,1	11,5	19,3	52,7	39,4	7,8
Wartości średnie dla stabilnego strumienia gazu:						9,4	56,5	39,4	4,2



Rys. 4. Wyniki pomiarów stężeń metanu oraz strumienia gazu otrzymane podczas testów aktywnego odbioru w studni nr 3

Fig. 4. Measurement results of methane concentrations and gas stream obtained during active collection tests at well no. 3

Analizowana studnia nr 3 charakteryzowała się dobrym uszczelnieniem oraz dobrą wydajnością biogazu. Strumień biogazu o stabilnej zawartości metanu (na poziomie 56,5%) wyniósł 9,4 m³/h (rys. 4).

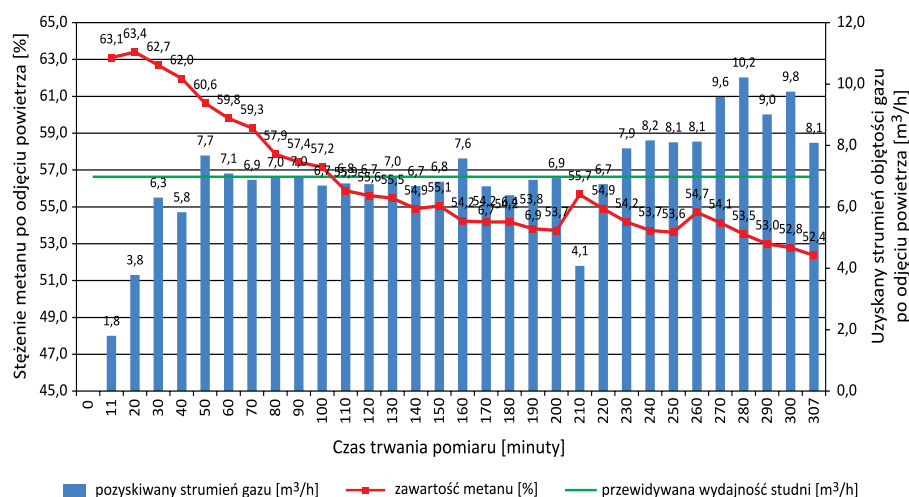
Studnia odgazowująca nr 4 – zlokalizowana w południowo-zachodniej części składowiska

Tabela 4. Wyniki pomiarów stężeń głównych składników gazu oraz strumienia gazu otrzymane podczas testów aktywnego odbioru dla studni nr 4

Table 4. The results of measurements of the concentrations of the main gas components and the gas stream obtained during active collection tests for well no. 4

Czas pomiaru	Strumień objętości gazu	Skład pozyskanego gazu				Strumień objętości gazu bez powietrza	Skład pozyskanego gazu po odjęciu powietrza		
		CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂		CH ₄	CO ₂	N ₂
[min]	[Nm ³ /h]	[%]	[%]	[%]	[%]	[Nm ³ /h]	[%]	[%]	[%]
0	–	63,3	36,2	0,1	0,0	–	63,6	36,4	0,0
11	1,8	63,1	36,9	0,0	0,0	1,8	63,1	36,9	0,0
20	3,8	63,1	36,8	0,1	0,0	3,8	63,4	37,0	0,0
30	6,4	61,5	36,5	0,4	1,6	6,3	62,7	37,2	0,1
40	5,9	60,8	36,7	0,4	2,1	5,8	62,0	37,4	0,6
50	7,9	59,2	36,6	0,5	3,7	7,7	60,6	37,5	1,9
60	7,3	58,4	36,6	0,5	4,5	7,1	59,8	37,5	2,7
70	7,1	57,6	36,9	0,6	4,9	6,9	59,3	38,0	2,8
80	7,1	56,5	36,8	0,5	6,2	7,0	57,9	37,7	4,4
90	7,2	55,8	36,8	0,6	6,8	7,0	57,4	37,9	4,7
100	7,0	55,0	36,8	0,8	7,4	6,7	57,2	38,2	4,6
110	7,0	54,3	36,8	0,6	8,3	6,8	55,9	37,9	6,3
120	6,9	54,3	36,7	0,5	8,5	6,7	55,6	37,6	6,8
130	7,2	53,9	36,6	0,6	8,9	7,0	55,5	37,7	6,9
140	6,8	53,6	36,8	0,5	9,1	6,7	54,9	37,7	7,4
150	7,0	53,5	36,6	0,6	9,3	6,8	55,1	37,7	7,3
160	7,8	52,7	36,7	0,6	10,0	7,6	54,2	37,8	8,0
170	6,9	52,4	36,7	0,7	10,2	6,7	54,2	38,0	7,9
180	6,6	52,4	36,9	0,7	10,0	6,4	54,2	38,2	7,7
190	7,1	52,3	36,7	0,6	10,4	6,9	53,8	37,8	8,4
200	7,1	52,2	36,7	0,6	10,5	6,9	53,7	37,8	8,5
210	4,2	54,1	37,3	0,6	8,0	4,1	55,7	38,4	5,9
220	6,9	53,6	37,0	0,5	8,9	6,7	54,9	37,9	7,2
230	8,1	52,9	36,6	0,5	10,0	7,9	54,2	37,5	8,3
240	8,4	52,2	36,4	0,6	10,8	8,2	53,7	37,5	8,8
250	8,3	52,1	36,5	0,6	10,8	8,1	53,6	37,6	8,8
260	8,4	52,9	36,3	0,7	10,1	8,1	54,7	37,5	7,8
270	10,0	52,1	36,2	0,8	10,9	9,6	54,1	37,6	8,2
280	10,6	51,5	36,4	0,8	11,3	10,2	53,5	37,8	8,7
290	9,4	51,0	36,2	0,8	12,0	9,0	53,0	37,6	9,4
300	10,1	50,8	36,5	0,8	11,9	9,8	52,8	37,9	9,3
307	8,5	49,9	36,1	1,0	13,0	8,1	52,4	37,9	9,7
Wartości średnie dla stabilnego strumienia gazu:						7,1	54,3	37,8	7,9

Studnia nr 4 charakteryzowała się dobrą wydajnością, sięgającą około 7,0 m³/h, oraz dobrym uszczelnieniem. Uzyskany strumień biogazu o stabilnej zawartości metanu (54,3%) wyniósł 7,1 m³/h (rys. 5).



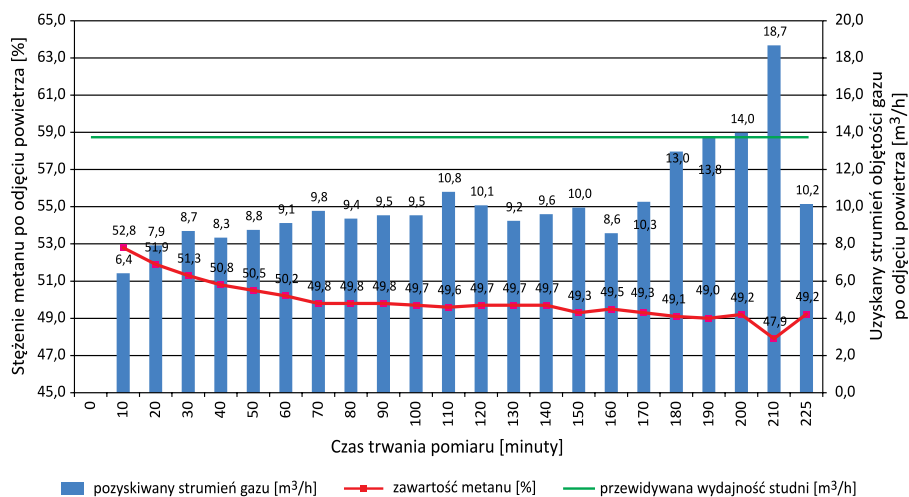
Rys. 5. Wyniki pomiarów stężeń metanu oraz strumienia gazu otrzymane podczas testów aktywnego odbioru w studni nr 4
Fig. 5. Measurement results of methane concentrations and gas stream obtained during active collection tests at well no. 4

Studnia odgazowująca nr 5 – zlokalizowana w centralnej części składowiska po jego wschodniej stronie

Tabela 5. Wyniki pomiarów stężeń głównych składników gazu oraz strumienia gazu otrzymane podczas testów aktywnego odbioru dla studni nr 5

Table 5. The results of measurements of the concentrations of the main gas components and the gas stream obtained during active collection tests for well no. 5

Czas pomiaru	Strumień objętości gazu	Skład pozyskanego gazu				Strumień objętości gazu bez powietrza	Skład pozyskanego gazu po odjęciu powietrza		
		CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂		CH ₄	CO ₂	N ₂
[min]	[Nm ³ /h]	[%]	[%]	[%]	[%]	[Nm ³ /h]	[%]	[%]	[%]
0	–	54,9	38,9	0,0	6,2	–	54,9	38,9	6,2
10	6,4	52,8	38,8	0,0	8,4	6,4	52,8	38,8	8,4
20	7,9	51,9	38,9	0,0	9,2	7,9	51,9	38,9	9,2
30	8,7	51,3	38,6	0,0	10,1	8,7	51,3	38,6	10,1
40	8,3	50,8	38,6	0,0	10,6	8,3	50,8	38,6	10,6
50	8,8	50,5	38,9	0,0	10,6	8,8	50,5	38,9	10,6
60	9,1	50,2	39,0	0,0	10,8	9,1	50,2	39,0	10,8
70	9,8	49,8	39,2	0,0	11,0	9,8	49,8	39,2	11,0
80	9,4	49,8	39,1	0,0	11,1	9,4	49,8	39,1	11,1
90	9,5	49,8	39,1	0,0	11,1	9,5	49,8	39,1	11,1
100	9,5	49,7	39,2	0,0	11,1	9,5	49,7	39,2	11,1
110	10,8	49,6	39,2	0,0	11,2	10,8	49,6	39,2	11,2
120	10,1	49,7	39,2	0,0	11,1	10,1	49,7	39,2	11,1
130	9,2	49,7	39,2	0,0	11,1	9,2	49,7	39,2	11,1
140	9,6	49,7	39,1	0,0	11,2	9,6	49,7	39,1	11,2
150	10,0	49,3	39,3	0,0	11,4	10,0	49,3	39,3	11,4
160	8,6	49,5	39,3	0,0	11,2	8,6	49,5	39,3	11,2
170	10,3	49,3	39,5	0,0	11,2	10,3	49,3	39,5	11,2
180	13,0	49,1	39,6	0,0	11,3	13,0	49,1	39,6	11,3
190	13,8	49,0	39,6	0,0	11,4	13,8	49,0	39,6	11,4
200	14,0	49,2	39,3	0,0	11,5	14,0	49,2	39,3	11,5
210	19,8	45,2	36,8	1,2	16,8	18,7	47,9	39,0	13,1
225	10,2	49,0	39,3	0,1	11,6	10,2	49,2	39,5	11,3
Wartości średnie dla stabilnego strumienia gazu:						13,6	49,1	39,5	11,4



Rys. 6. Wyniki pomiarów stężeń metanu oraz strumienia gazu otrzymane podczas testów aktywnego odbioru w studni nr 5
 Fig. 6. Measurement results of methane concentrations and gas stream obtained during active collection tests at well no. 5

Studnia nr 5 to najlepsza studnia zarówno pod kątem wydajności, jak i szczelności spośród wszystkich, dla których prowadzone były pomiary. Strumień biogazu o stabilnej zawartości metanu (na poziomie 49,1%) wynosił 13,6 m³/h (rys. 6).

Podsumowanie i wnioski

W pracy przeprowadzono pomiary dynamicznego odbioru gazu z czynnego składowiska odpadów komunalnych z 5 studni odgazowujących (testy odsysania charakteryzujące wydajność studni odgazowujących). Wykonano również oznaczenia ilościowe i jakościowe składników gazu w warunkach dynamicznych oraz określono strumień objętości gazu, jaki jest możliwy do pozyskania ze studni, na których prowadzono pomiary.

Badania wykazały, że analizowane studnie zlokalizowane w centralnej części składowiska odpadów są drożne i nadają się do dalszej eksploatacji. Studnie o numerach 3, 4 i 5, dzięki dobremu uszczelnieniu oraz dostatecznej ilości zdeponowanej substancji organicznej, charakteryzowały się wysokimi wartościami strumienia biogazu o stabilnej zawartości metanu, na poziomie kolejno: 9,4 m³/h, 7,0 m³/h oraz 13,6 m³/h, co w przypadku ostatniej studni jest bardzo dobrym wynikiem. Stężenie metanu w tych studniach wynosiło odpowiednio: 56,5%, 54,5% oraz 49,1% (wartości po odliczeniu strumienia powietrza zasysanego przez nieszczelności). Następną z badanych studni (studnia nr 2), która również zlokalizowana jest w centralnej części składowiska, charakteryzowała się jednak niższą od pozostałych wydajnością – na poziomie 4,7 m³/h przy zawartości metanu w okolicach 60%. Najbardziej prawdopodobną przyczyną słabszej wydajności tej studni jest jej ułożenie w masie odpadów o niższej zawartości masy organicznej. Najgorsza pod względem wydajności okazała się studnia ułożona na skarpie składowiska – otrzymany

w trakcie badań strumień biogazu to zaledwie 2,2 m³/h przy zawartości metanu na poziomie 56%. Znaczna ilość powietrza w strumieniu odbieranego gazu w tym przypadku ma swoje źródło najprawdopodobniej w lokalizacji studni zbyt blisko ściany składowiska oraz w braku uszczelnienia skarpy (co na składowisku czynnym jest sytuacją normalną).

Różnice w otrzymanych wartościach strumienia gazu oraz stężeń metanu związane są z niejednorodną budową złoża odpadów, a tym samym z różną produktywnością poszczególnych jego części. Mniejsza produktywność studni ułożonej na skarpie wynika z łatwiejszego dostępu powietrza do masy odpadów, przyczyniającego się do zmniejszenia wydajności procesu metagenezы, za który odpowiedzialne są bakterie beztlenowe. Ograniczając możliwość przedostawania się powietrza w głąb złoża, tworzy się jednocześnie optymalne warunki do rozwoju bakterii odpowiadających za powstawanie biogazu. Zabiegi te powinny przyczynić się bezpośrednio do poprawy produktywności gazowej składowiska oraz, w perspektywie wieloletniej, do zwiększenia ilości i poprawy jakości pozyskiwanego gazu.

Artykuł powstał na podstawie zlecenia z przemysłu; nr zlecenia: 3251/ST/2020, nr archiwalny: DK-5100-870/2020.

Literatura

Dudek J., 2012. Gaz składowiskowy: źródło energii odnawialnej. *Prace Naukowe Instytutu Nafty i Gazu*, 188: 1–150.
 Dudek J., Klimek P., 2008. Doświadczenia związane z energetycznym wykorzystaniem biogazu ze składowisk odpadów komunalnych. *Polityka Energetyczna*, 11(2): 25–32.
 Dudek J., Zaleska-Bartosz J., 2010. Pozyskiwanie biogazu i wykorzystanie do celów energetycznych. *Problemy Ekologii*, 14(1): 13–16.
 Kołodziejak G., Zaleska-Bartosz J., 2014. Ocena możliwości zastosowania parametru wilgotności gazu składowiskowego do określania produktywności gazowej składowiska odpadów. *Nafta-Gaz*, 12: 938–944.

Porowska D., Gruszczyński T., 2013. Czynniki warunkujące zmienność fazy gazowej składowiska odpadów komunalnych w Otwocku. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 456: 457–464.

Zaleska-Bartoszyk J., 2014. Gaz składowiskowy jako źródło energii. *Nafta-Gaz*, 12: 932–937.

Akty prawne i dokumenty normatywne

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii (Dz.U. z 2008 r. Nr 156, poz. 969).



Mgr inż. Kamil HEBDA
Asystent w Zakładzie Inżynierii Strzelniczej i Środowiskowej
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25A
31-503 Kraków
E-mail: kamil.hebda@inig.pl



Mgr inż. Grzegorz KOŁODZIEJAK
Główny specjalista inżynierijno-techniczny
w Zakładzie Inżynierii Strzelniczej i Środowiskowej
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25A
31-503 Kraków
E-mail: grzegorz.kolodziejak@inig.pl

OFERTA BADAWCZA ZAKŁADU ZAKŁAD INŻYNIERII STRZELNICZEJ I ŚRODOWISKOWEJ

- konstrukcja urządzeń strzelniczych przeznaczonych do udostępniania poziomów ropo- i gazonośnych;
- opracowywanie technologii i metod prowadzenia prac strzałowych w odwiertach;
- projektowanie i realizacja zabiegów intensyfikacji przyptywu medium do odwiertu poprzez szczelinowanie gazowe strefy przyotworowej złoża prochowymi generatorami ciśnienia;
- matoseryjna produkcja urządzeń strzelniczych (perforatory, perfogeneratory);
- konstrukcja urządzeń strzelniczych przeznaczonych do udostępniania poziomów ropo- i gazonośnych;
- opracowywanie technologii i metod prowadzenia prac strzałowych w odwiertach;
- projektowanie i realizacja zabiegów intensyfikacji przyptywu medium do odwiertu poprzez szczelinowanie gazowe strefy przyotworowej złoża prochowymi generatorami ciśnienia;
- matoseryjna produkcja urządzeń strzelniczych (perforatory, perfogeneratory);
- testowanie urządzeń strzałowych w warunkach otworopodobnych na poligonie doświadczalnym;
- projektowanie, modelowanie i testy sprawnościowe ładunków kumulacyjnych;
- opracowanie raportów o oddziaływaniu na środowisko oraz prognoz dotyczących emisji i rozprzestrzeniania się hałasu i zanieczyszczeń gazowych i pyłowych do powietrza z instalacji przemysłowych;
- prognozowanie produktywności gazowej składowisk odpadów komunalnych i ich weryfikacja poprzez testy aktywne- go odgazowania;
- pracowanie koncepcji technologicznych instalacji do odgazowania składowisk i utylizacji biogazu;
- pracowanie raportów o oddziaływaniu na środowisko przedsięwzięć branży górnictwa nafty i gazu, gazownictwa i gospodarki odpadami;
- opracowanie raportów dotyczących emisji i rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń gazowych i pyłowych do powietrza z instalacji przemysłowych;
- prognozy emisji i rozprzestrzeniania się hałasu z instalacji przemysłowych;
- prognozowanie produktywności gazowej składowisk odpadów komunalnych i ich weryfikacja poprzez testy aktywne- go odgazowania;
- opracowanie koncepcji technologicznych instalacji do odgazowania składowisk i utylizacji biogazu wraz z doradztwem technicznym i oceną ekonomiczną energetycznego wykorzystania gazu;
- prowadzenie monitoringu oraz nadzór nad instalacjami odgazowania składowisk odpadów; ocena zagrożeń powodowanych ekshalacjami metanu (złoża węglowodorów, składowiska odpadów).



Kierownik: mgr inż. Antoni Frodyma Adres: ul. Bogrova 1, 30-733 Kraków
Telefon: 12 617 74 73 Faks: 12 653 16 65 E-mail: antoni.frodyma@inig.pl



INSTYTUT NAFTY I GAZU
– Państwowy Instytut Badawczy