

## **OCENA TECHNOLOGII PRODUKCJI BIOGAZU ZE ŚCIEKÓW MIEJSKICH NA PRZYKŁADZIE OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW „HAJDÓW”**

Sebastian Kołtyś, Mariusz Szymanek, Kazimierz A. Dreszer

*Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie*

**Streszczenie.** Zmniejszanie się zasobów surowców energetycznych, głównie ropopochodnych oraz rosnące ceny tych paliw, a także postępująca degradacja środowiska naturalnego wymusiły zainteresowanie nowymi, niekonwencjonalnymi źródłami energii. W artykule omówiono możliwości energetycznego wykorzystania biogazu, powstającego w wyniku fermentacji substancji organicznych zawartych w odpadach komunalnych przetwarzanych w miejskiej oczyszczalni ścieków.

**Słowa kluczowe:** biogaz, fermentacja, oczyszczanie ścieków, energia

### **Wstęp**

Wyniki badań naukowych z ostatnich kilkadziesiąt lat wskazują, że zużycie energii oraz stan skażenia środowiska rośnie w bardzo szybkim tempie. Istniejący stan powodują dwa najważniejsze czynniki: rewolucja naukowo - techniczna i związany z nią rozwój przemysłu oraz wzrost liczby ludności na świecie.

Typowym przykładem racjonalnego wykorzystania odpadów jako nośnika energii może być Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji (MPWiK) w Lublinie, gdyż przywiązuje dużą wagę do zagadnień związanych z zagospodarowaniem wyżej wymienionych surowców oraz ochrony środowiska. Oddana do użytku w 1992 r. oczyszczalnia ścieków "Hajdów" jest nowoczesną i jedną z największych oczyszczalni w Polsce. Ubocznym efektem procesu oczyszczania ścieków jest biogaz, który wykorzystuje się jako nośnik energii. Celem pracy była ocena technologii produkcji biogazu ze ścieków miejskich oczyszczalni „Hajdów” na podstawie struktury produkcji, wykorzystania oraz zużycia energii cieplnej.

### **Zasada wytwarzania biogazu i jego właściwości**

We wszystkich odpadach organicznych zawierających węglowodany, w określonych warunkach zachodzą procesy biochemiczne nazywane fermentacją. Pod wpływem działania mikroorganizmów substancje organiczne zawarte w odpadach rozkładają się, przechodząc przez różne postacie produktów pośrednich do dwutlenku węgla i metanu.

Bakterie biorące udział w fermentacji, mają stosunkowo długi czas reprodukcji i są bardzo wrażliwe na warunki środowiskowe, z których najważniejsze to:

- brak dostępu powietrza atmosferycznego (tlenu) i światła,
- odpowiednia i stała dla danego rodzaju bakterii temperatura: 30-35°C (bakterie mezofilne) lub 52-55°C (bakterie termofilne),
- odpowiedni odczyn pH (optymalna wartość wynosi 7,5),
- mała toksyczność środowiska [Dreszer i in. 2003].

Biogaz powstający w wyniku fermentacji składa się z metanu i dwutlenku węgla, ale zawiera także inne gazy, m. in. azot, siarkowodór, tlenek węgla, amoniak i tlen. Udział metanu w biogazie zależy od rodzaju (pochodzenia) masy organicznej poddawanej fermentacji i ma bezpośredni wpływ na jego wartość opałową wynoszącą 19–23 MJ m<sup>-3</sup>. W tabeli 1 przedstawiono wybrane właściwości fizyczne biogazu i jego skład.

Tabela 1. Właściwości fizyczne składników biogazu [Miszczak i in. 1988]

Table 1. Physical properties of biogas ingredients [Miszczak et al. 1988]

Właściwości fizyczne	Jednostka	Składniki biogazu				Biogaz 60% CH <sub>4</sub> i 40% CO <sub>2</sub>
		Metan CH <sub>4</sub>	Dwutlenek węgla CO <sub>2</sub>	Wodór H <sub>2</sub>	Siarkowodór H <sub>2</sub> S	
Udział objętościowy	%	55-70	27-44	1	3	100
Wartość opałowa	MJ m <sup>-3</sup>	35,8	-	10,8	22,3	21,5
Temperatura zapłonu	K	923-1023	-	858	-	923-1023
Ciśnienie krytyczne	MPa	4,7	7,5	1,3	89	7,5-8,9
Temperatura krytyczna	K	190,5	304	-	373	190,5
Gęstość normalna	g cm <sup>-3</sup>	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2
Gęstość krytyczna	g cm <sup>-3</sup>	162	468	31	349	320

### Oczyszczalnia ścieków „Hajdów” - charakterystyka obiektu

Oczyszczalnia ścieków „Hajdów”, przedstawiona na rysunku 1, jest nowoczesną i jedną z największych oczyszczalni w Polsce po prawej stronie Wisły. Do terenu oczyszczalni należy też obszar pól załadowywania zlokalizowany na łąkach, w odległości około 2 km od obiektów oczyszczalni. Oczyszczalnia zajmuje łącznie 62,6 ha, z czego pola załadowywania 22,4 ha. Odbiornikiem ścieków oczyszczonych jest Bystrzyca.

Oczyszczalnia ścieków „Hajdów” oczyszcza wszystkie ścieki z miast Lublin i Świdnik (bez „WSK Świdnik”), oraz gminy Wólka Lubelska. Doprowadzane ścieki poddawane są oczyszczaniu na kolejnych obiektach w cyklu: - kraty - piaskownik - osadniki wstępne - reaktory biologiczne - osadniki wtórne.

Zatrzymany na osadnikach wstępnych osad surowy oraz osad nadmierny z części biologicznej kierowane są do przeróbki w następującym cyklu:

- Przepompownia osadu surowego przetłacza osad surowy zatrzymany w osadnikach wstępnych do zagęszczaczy osadu surowego.
- Zagęszczacze osadu surowego kierują osad surowy do komory rozdzielczej, z której odpływa do jednego lub dwóch zagęszczaczy grawitacyjnych radialnych wyposażonych w mieszadła mechaniczne. Osad zagęszczony odprowadzany jest do komory czerpalnej przepompowni osadu zagęszczonego.
- Przepompownia osadu zagęszczonego przepompowuje zagęszczony osad nadmierny i surowy do WKF.



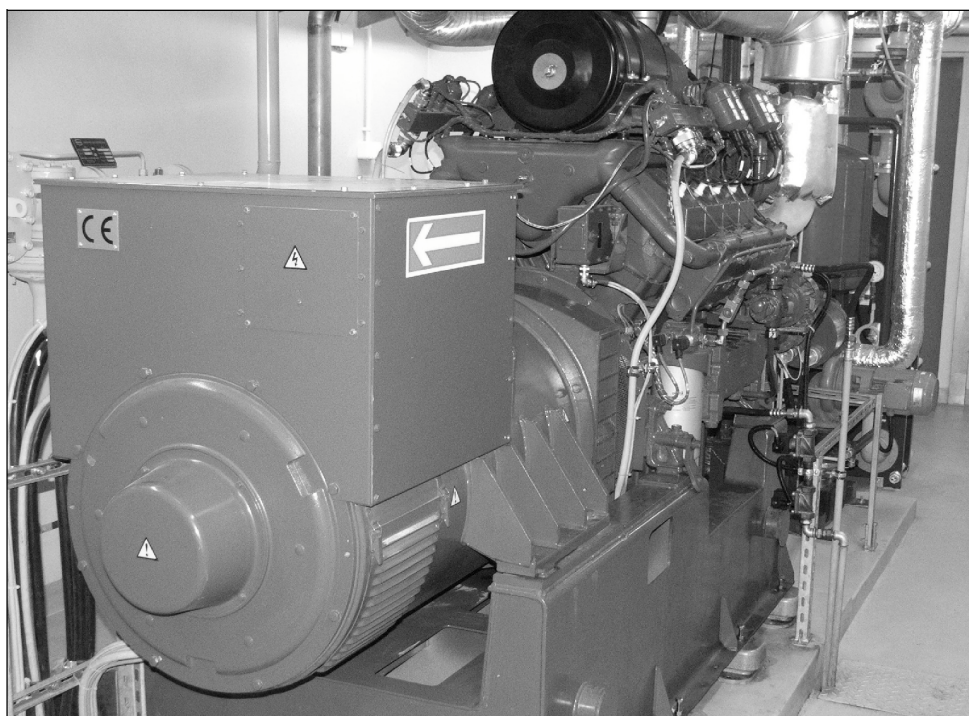
Źródło: <http://www.mpwik.lublin.pl/index.php?option=site&id=7&sid=29>

Rys. 1. Oczyszczalnia „Hajdów”

Fig. 1. “Hajdów” sewage treatment plant

- Wydzielone komory fermentacyjne (WKF) są to zbiorniki zamknięte (każdy o pojemności 8 270 m<sup>3</sup>) służące do jednostopniowej, mezofilowej fermentacji osadów (temperatura fermentacji 31-35 °C). Produkowany w trakcie fermentacji gaz jest odprowadzany do odsiarczalni i zbiorników gazu. Osad przefermentowany z WKF dopływa do dwóch zagęszczaczy osadu przefermentowanego. Osad przefermentowany zagęszczony odprowadzany jest do stacji pras, do zbiornika osadu przefermentowanego albo do przepompowni osadu przefermentowanego.
- Przepompownia osadu przefermentowanego tłoczy osad na pola załadowywania.
- Pola załadowywania z przepompownią wód drenażowych służą do składowania osadu przefermentowanego. Odsączająca się z osadu woda zbierana jest przez drenaż i przepompowywana do oczyszczalni za pomocą przepompowni wód drenażowych.
- Stacja mechanicznego odwadniania osadu służy do zmniejszenia uwodnienia osadów pofermentacyjnych, przez co wielokrotnie zmniejsza się ich objętość. Stacja wyposażona jest w prasy taśmowe filtracyjne. Osad odwodniony transportowany jest przenośnikami taśmowymi do kontenerów umieszczonych pod przenośnikami, a stąd wywożony na pola załadowywania.

- Odsiarczalnica gazu oczyszcza gaz ze związków siarki, z uwagi na ich własności korozyjne. Gaz oczyszczany jest w skrzyniach z rudą darniową i w bioreaktorze zraszonym.
- Zbiorniki gazu służą do magazynowania produkowanego biogazu oraz do wyrównania ciśnienia gazu w trakcie spustu osadu z WKF. W razie osiągnięcia przez zbiornik 95% napęnienia, gaz kierowany jest do spalania przez pochodnię. Pochodnię stanowi pionowa rura zakończona palnikiem zapalonym elektrycznie.
- Kotłownia produkuje ciepło dla potrzeb technologicznych (ogrzewanie osadu w WKF) oraz do ogrzewania obiektów oczyszczalni w sezonie grzewczym. Wyposażona jest w dwa kotły gazowe oraz jeden kocioł węglowy. W budynku kotłowni znajdują się dwa zespoły prądotwórcze (przedstawione na rysunku 3) składające się z silnika na biogaz firmy DEUTZ zabudowanego na wspólnej ramie z generatorem synchronicznym firmy STAMFORD [Praca zbiorowa. 2005].



*Źródło: archiwum oczyszczalni*

Rys. 2. Zespoły prądotwórcze z silnikiem na biogaz  
Fig. 2. Generating sets with biogas-fired engine

## Metoda badań, wyniki i ich opracowanie

Badania realizowano w oparciu o pomiary ilości produkowanego biogazu oraz wytworzonej w wyniku jego spalania energii cieplnej i elektrycznej. W trakcie badań korzystano z następujących urządzeń pomiarowych:

- termiczny przepływomierz masowy S AT 70 (firmy Endress – Hauser),
- gazomierz turbinowy CGT (firmy Common),
- liczniki energii elektrycznej.

## Analiza wyników

Na podstawie analizy wyników pomiarów, umieszczonych w sprawozdaniach kwartalnych z lat 2000-2007, dokonano oceny technologii produkcji biogazu w oczyszczalni ścieków „Hajdów”. W tabeli 2 przedstawiono parametry produkowanego biogazu. Tabela 3 przedstawia strukturę produkcji i zużycia biogazu, a tabela 4 - strukturę produkcji energii cieplnej i elektrycznej.

Tabela 2. Parametry biogazu. [Bernat 2002, Pecio i in. 2004, Kołtyś 2006]

Table 2. Biogas parameters [Bernat 2002, Pecio et al. 2004, Kołtyś 2006]

Mierzona wielkość	Jednostka	Wartość	Procedura badawcza
Wartość opałowa	$\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$	21 000 – 25 000	Analiza kalorymetryczna
Zawartość $\text{CH}_4$	%	61 - 68	Analiza w przyrządzie Orsata
Zawartość $\text{CO}_2$	%	31 - 39	Analiza w przyrządzie Orsata
Stężenie $\text{H}_2\text{S}$	$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	773 - 1009	Procedura własna GIG

Tabela 3. Struktura produkcji i zużycia biogazu w oczyszczalni „Hajdów” [Pecio i in. 2004, Kołtyś 2006]

Table 3. The structure of biogas production and consumption at “Hajdów” sewage treatment plant [Pecio et al. 2004, Kołtyś 2006]

Mierzona wielkość	Jednostka	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Produkcja biogazu	$\text{m}^3$	3637720	3204657	3820531	4228268	4671016	4653540	6050730	6312124
Biogaz spalony przez kotły gazowe	$\text{m}^3$	2896993	2024170	1706452	1979641	1102056	1588212	1247971	1488892
Biogaz spalony przez gazogenerator	$\text{m}^3$	83250	659520	929534	710015	2392476	2446680	2218422	1965042
Biogaz spalony w pochodni	$\text{m}^3$	622922	492227	1082949	1421747	992803	1110408	2248404	2627973
Biogaz sprzedany na zewnątrz	$\text{m}^3$	117775	42061	101524	116865	183681	181791	335933	230217

Tabela 4. Struktura produkcji energii w oczyszczalni „Hajdów” [Pecio i in. 2004, Kołtyś 2006]  
 Table 4. The structure of energy production at “Hajdów” sewage treatment plant [Pecio et al. 2004, Kołtyś 2006]

Mierzona wielkość	Jednostka	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Produkcja energii cieplnej (ogółem):	GJ	54412	50407	43270	43923	43294	43286	47309	49158
- z miału węglowego	GJ	4475	7374	4621	169	0	2261	813	0
- z biogazu:	GJ	49005	37196	38649	43754	43294	41024	46494	49158
- w gazogeneratorach	GJ	931	7731	8888	9291	24074	25072	24730	23193
- w kotłach gazowych	GJ	48074	29465	29761	34463	19220	15952	21764	25965
Produkcja energii elektrycznej przez gazogenerator	kWh	174622	1479162	1625029	1157707	4427740	4314840	13588453	3351009

## Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że w okresie od 2000 do 2007 roku produkcja biogazu w oczyszczalni ścieków wzrosła o około 73 %. Natomiast produkcja energii cieplnej zmniejszyła się o około 10%. Wartość opałowa wytwarzanego biogazu zawierała się w przedziale od 21000 do 25000 kJ m<sup>-3</sup>, zawartość CH<sub>4</sub> w zakresie od 61 do 68%, a CO<sub>2</sub> od 31 do 39%. Biogaz pozyskany z fermentacji odpadów ma obecnie znaczenie wyłącznie lokalne. Jest on wykorzystywany przez cały rok do ogrzewania komór fermentacyjnych, a w okresie zimowym dodatkowo do ogrzewania obiektów oczyszczalni. Chociaż wytworzona w wyniku jego spalania energia elektryczna jest sprzedawana do sieci elektroenergetycznej, to ze względu na wysokie koszty produkcji jest ona wykorzystywana przez odbiorców w najbliższym otoczeniu. Również produkowane ciepło, ze względu na kosztowną infrastrukturę przesyłu, może być wykorzystane wyłącznie w miejscu jego wytwarzania.

## Bibliografia

- Bernat A.** 2002. Sprawozdanie z badań próbek biogazu. POMIAR-GIG Przedstawiciel Głównego Instytutu Górniczego. Lublin.
- Dadej W., Pecio A.** 2000. Modernizacja oczyszczalni ścieków Hajdów – aspekty prawne i technologiczne. Dokumentacja technologiczna MPWiK. Lublin.
- Dreszer K.A., Michalek R., Roszkowski A.** 2003. Energia odnawialna – Możliwości jej pozyskiwania i wykorzystania w rolnictwie. Wydawnictwo PTiR. Kraków. ISBN 83-917053-0-7.
- Kołtyś S.** 2006. Ocena technologii produkcji biogazu do celów energetycznych. Praca magisterska wykonana w Katedrze Maszynoznawstwa Rolniczego (Wydział Inżynierii Produkcji, Uniwersytet Przyrodniczy). Lublin. Maszynopis.
- Miszcza M., Waszkiewicz C.** 1988. Energia Słońca, wiatru i inne. Wydawnictwo „Nasza Księgarnia”. Kraków. ISBN 83-10-09331-4.
- Pecio A., Surmacki M.** 2004. Sprawozdania kwartalne G-02a i G-03 POU/0302. Wydział Utrzymania Ruchu oczyszczalni ścieków „Hajdów”. Lublin.
- Praca zbiorowa. 2005. Instrukcja technologiczna oczyszczalni ścieków „Hajdów” POE/68/T. MPWiK. Lublin.
- Strona internetowa Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w Lublinie [on-line]. Dostępna w internecie: <http://www.mpwik.lublin.pl/index.php?option=site&id=7&sid=29>

## **ASSESSMENT OF THE TECHNOLOGY INVOLVING BIOGAS PRODUCTION FROM MUNICIPAL WASTES ON THE EXAMPLE OF “HAJDÓW” SEWAGE TREATMENT PLANT**

**Abstract.** Decreasing resources of raw materials for energy production, primarily oil-derivative, and increasing prices of these fuels, and progressing degradation of natural environment extorted interest in new, unconventional energy sources. The article discusses potential for energy production using biogas generated as a result of fermentation of organic substances contained in municipal wastes processed in urban sewage treatment plant.

**Key words:** biogas, fermentation, sewage treatment, energy

**Adres do korespondencji:**

Sebastian Kołtyś; e-mail: [sebastian.koltys@up.lublin.pl](mailto:sebastian.koltys@up.lublin.pl)

Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

ul. Głęboka 28

20-612 Lublin