

Halina Marczak

## ZMIESZANE ODPADY KOMUNALNE ŹRÓDŁEM ENERGI ODNAWIALNEJ

**Streszczenie.** W Polsce zmieszane odpady komunalne są głównie składowane. Składowiska te są więc źródłem gazu. Od potencjału gazowego składowiska zależy możliwość ujmowania i zasadność energetycznego wykorzystania biogazu. W artykule przedstawiono oszacowanie potencjalnych zasobów gazu składowiskowego z odpadów komunalnych. Przeanalizowano wpływ udziału w odpadach składników ulegających biodegradacji na potencjał gazowy składowiska. Wskazano na dwa kierunki gospodarowania zmieszanyimi odpadami komunalnymi: produkcja paliwa zastępczego do pieców cementowych oraz stabilizacja tlenowa lub beztlenowa odpadów.

**Słowa kluczowe:** odpady komunalne, gaz składowiskowy, potencjał gazowy składowiska odpadów, paliwo z odpadów.

### WSTĘP

Biogaz jest paliwem powstającym w procesie fermentacji metanowej odpadów pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Wytwarzany jest w instalacjach z zachowaniem optymalnych warunków do przebiegu procesu fermentacji metanowej. Powstaje również na składowiskach odpadów komunalnych. W Polsce znaczenie składowisk odpadów komunalnych jako źródła biogazu zmniejszy się z chwilą spełnienia wymagań ograniczenia ilości składników biodegradowalnych w odpadach kierowanych na składowiska. Jednocześnie wzrośnie znaczenie innych metod gospodarowania odpadami komunalnymi, zwłaszcza zmieszanyimi.

W artykule oszacowano potencjał gazowy składowiska odpadów komunalnych. Wskazano ponadto na dwa kierunki gospodarowania zmieszanyimi odpadami komunalnymi: produkcja paliwa zastępczego do pieców cementowych oraz stabilizacja tlenowa lub beztlenowa. Oszacowano ilość odpadów w województwie lubelskim, jako potencjalnego paliwa do wypału klinkieru cementowego.

### SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH POTENCJALNYM ŹRÓDŁEM BIOGAZU

- W procesie beztlenowego rozkładu substancji organicznych można uzyskać [6]:
- z 1 kg węglowodorów  $456 \text{ dm}^3$  dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) i  $453 \text{ dm}^3$  metanu ( $\text{CH}_4$ ),

- z 1 kg białek 516 dm<sup>3</sup> dwutlenku węgla i 547 dm<sup>3</sup> metanu,
- z 1 kg tłuszczów 449 dm<sup>3</sup> dwutlenku węgla i 1095 dm<sup>3</sup> metanu.

Teoretycznie z 1 Mg składowanych odpadów komunalnych można uzyskać ok. 400 m<sup>3</sup> biogazu zawierającego ok. 55 % metanu [4]. W warunkach odbiegających od teoretycznych, a takie najczęściej występują na składowiskach, ilość powstającego biogazu będzie mniejsza. W warunkach rzeczywistych rozkładowi biochemicznemu nie podlega całkowita masa substancji organicznych zawartych w odpadach, co w efekcie wpływa na zmniejszenie ilości biogazu. Przy założeniu, że tylko 50 % substancji organicznych ulega rozkładowi, zasoby biogazu z 1 Mg odpadów komunalnych wynoszą ok. 200 m<sup>3</sup> i maleją do ok. 100 m<sup>3</sup> przy przyjęciu, że jedynie 25 % substancji organicznych zawartych w odpadach ulega rozkładowi. Zakładając, że z 1 Mg składowanych odpadów komunalnych można uzyskać ok. 100 m<sup>3</sup> biogazu i czas trwania rozkładu biochemicznego odpadów na składowisku ok. 20 lat, to średnia roczna wydajność biogazu składowiskowego wynosi ok. 5 m<sup>3</sup>/Mg odpadów.

Potencjał biogazu składowiskowego z odpadów domowych można dla Polski oszacować przyjmując założenia:

- każdy z 38 mln mieszkańców wytwarza dziennie 1 kg, a rocznie 365 kg odpadów domowych,
- z 1 Mg odpadów domowych można uzyskać ok. 100 m<sup>3</sup> biogazu.

Według tych założeń potencjał składowiskowego biogazu z odpadów domowych wynosi rocznie 1,387 mld m<sup>3</sup>. Potencjał energetyczny biogazu (o wartości opałowej 19,7 MJ/m<sup>3</sup>) szacuje się na ok. 27,32 mln GJ energii, co stanowi równowartość ok. 0,65 mln ton paliwa umownego. Uwzględniając fakt, że odpady domowe stanowią ok. 50 % odpadów miejskich, łączny potencjał biogazu z odpadów miejskich jest dwa razy większy i wynosi 54,6478 mln GJ energii, co stanowi ok. 1,3 mln ton paliwa umownego. Zasoby gazu realnie możliwe do pozyskania ze składowisk odpadów komunalnych w Polsce są dużo mniejsze, szacowane na ok. 135-145 mln m<sup>3</sup> metanu rocznie (biogazu ok. 270-290 mln<sup>3</sup> rocznie), co odpowiada 5235 TJ energii [1].

W celu właściwego doboru, dla składowiska odpadów, instalacji odgazowania i sposobu wykorzystania lub unieszkodliwiania gazu składowiskowego, konieczna jest prognoza produktywności gazowej z uwzględnieniem ilości i właściwości deponowanych odpadów oraz danych dotyczących składowiska. Wyniki obliczeń powinny być następnie zweryfikowane za pomocą próbných testów pozwalających ustalić rzeczywisty strumień powstającego biogazu.

Odgazowanie w systemie aktywnym uzasadnione jest na większych składowiskach odpadów komunalnych, na których deponuje się miesięcznie ponad 1500 Mg odpadów [www.ekowat.pl].

Odgazowanie składowiska lub co najmniej kontrola emisji i migracji gazu jest działaniem niezbędnym dla ograniczenia zagrożenia samozapłonem i wybuchem gazu. Ujmowanie gazu składowiskowego wpływa na ograniczenie intensyfikacji naturalnego efektu cieplarnianego. W składzie gazu składowiskowego największy udział mają bowiem podstawowe gazy cieplarniane: dwutlenek węgla i metan.

Zatrzymana emisja gazu składowiskowego to jednocześnie brak emisji dwutlenku węgla i metanu.

### **METODA SZACOWANIA STRUMIENIA MASY METANU WYTWARZANEGO NA SKŁADOWISKACH ODPADÓW STAŁYCH OPRACOWANA PRZEZ INSTYTUT NAFTY I GAZU**

Metoda szacowania ilości metanu generowanego na składowiskach odpadów, opracowana przez Instytut Nafty i Gazu (INiG), bazuje na modelu rozpadu I rzędu, który pozwala uzależnić ilość wytwarzanego metanu od czasu. Według tej metody strumień masy powstającego metanu oblicza się na podstawie zależności [2, 3]:

$$Y = \sum_x Y_{t,x}(A) + \sum_x Y_{t,x}(B) + \sum_x Y_{t,x}(C) + \sum_x Y_{t,x}(D) \quad (1)$$

gdzie:  $Y$  – strumień masy powstającego metanu, Mg/rok

$t$  – rok obliczeniowy

$x$  – rok składowania odpadów,  $x < t$

$A, B, C, D$  – rodzaje odpadów ulegających biodegradacji;  $A$  – papier i tektura,  $B$  – odpady z ogrodów, z parków, itp.,  $C$  – odpady żywności,  $D$  – odpady drzewne i paszowe (poza ligniną)

$\sum_x Y_{t,x}(A)$  – suma strumieni mas metanu powstającego w roku  $t$  z

odpadów rodzaju  $A$  złożonych na składowisku w kolejnych latach  $x$  poprzedzających rok obliczeniowy  $t$

$\sum_x Y_{t,x}(B)$ ,  $\sum_x Y_{t,x}(C)$ ,  $\sum_x Y_{t,x}(D)$  – suma strumieni mas metanu

powstającego w roku  $t$  z odpadów odpowiednio rodzaju  $B, C, D$  złożonych na składowisku w kolejnych latach  $x$  poprzedzających rok obliczeniowy  $t$ .

Strumień masy metanu powstającego w roku obliczeniowym  $t$  z odpadów rodzaju  $i$  ( $i = A, B, C, D$ ) zdeponowanych w roku  $x$  określa równanie:

$$Y_{t,x}(i) = MR_{t,x}(i) \cdot um(i) \cdot DOC_F(i) \cdot F \cdot \frac{16}{12} \quad (2)$$

gdzie:  $Y_{t,x}(i)$  – strumień masy metanu powstającego w roku obliczeniowym  $t$  z odpadów rodzaju  $i$  zawartych w masie odpadów złożonych na składowisku w roku  $x$ , Mg/rok

$MR_{t,x}(i)$  – masa odpadów rodzaju  $i$  złożonych na składowisku w roku  $x$ , które przereagowały w roku  $t$ , Mg

$um(i)$  – ułamek masowy węgla w związkach organicznych występujących w odpadach rodzaju  $i$

$DOC_F(i)$  – ułamek masowy węgla podlegającego rozkładowi (przekształceniu do biogazu) w odpadach rodzaju  $i$

$F$  – ułamek objętościowy metanu w biogazie składowiskowym

16/12 – iloraz masy cząsteczkowej metanu i masy atomowej węgla.

Masa odpadów rodzaju  $i$  złożonych na składowisku w roku  $x$ , które przereagowały w roku obliczeniowym  $t$  wyrażona jest zależnością:

$$MR_{t,x}(i) = MC_{t,x}(i) - MC_{t-1,x}(i) \quad (3)$$

gdzie:  $MC_{t,x}(i)$  – masa odpadów rodzaju  $i$  złożonych w roku  $x$ , które przereagowały w czasie od roku  $x$  do roku obliczeniowego  $t$ , Mg

$MC_{t-1,x}(i)$  – masa odpadów rodzaju  $i$  złożonych w roku  $x$ , które przereagowały w czasie od roku  $x$  do roku  $t-1$ , Mg.

Parametr  $MC_{t,x}(i)$  określa się na podstawie poniższego równania:

$$MC_{t,x}(i) = MSW_{T,x} \cdot MCF \cdot udz(i) \cdot (1 - e^{-k(i)(t-x)}) \quad (4)$$

gdzie:  $i$  – rodzaj odpadów;  $i = A, B, C, D$

$MSW_{T,x}$  – całkowita masa odpadów komunalnych kierowanych na składowisko w roku  $x$ , Mg

$MCF$  – współczynnik korekcyjny produktywności metanu zależny od typu składowiska; dla składowisk zorganizowanych  $MCF = 1$ , dla niezorganizowanych płytkich  $MCF = 0,4$

$udz(i)$  – udział masowy odpadów rodzaju  $i$  w ogólnej masie składowanych odpadów w roku  $x$

$k(i)$  – stała szybkości generowania metanu z odpadów rodzaju  $i$ , 1/rok.

Stała  $k$  uzależniona jest od czasu połowicznego rozpadu według poniższej zależności

$$k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad (5)$$

gdzie:  $t_{1/2}$  - czas, w którym rozpadowi ulega połowa początkowej masy węgla organicznego podlegającego biochemicznemu rozkładowi.

Przedmiotem badań jest składowisko odpadów komunalnych Rokitno, na którym gromadzone są przede wszystkim odpady z miasta Lublina, gminy Świdnik i gminy Lubartów. Powierzchnia całkowita składowiska wynosi ponad 38 ha. Od jesieni 1994 do końca sierpnia 2002 eksploatowana była niecka I o powierzchni 6,03 ha, na której zdeponowano ok. 89 tys. Mg odpadów. Od września 2002 odpady składowane są w niecce II o powierzchni 5,59 ha i planowanej pojemności 1,12 Mg odpadów.

Prognozę produktywności gazowej metodą opracowaną przez INiG przeprowadzono dla II niecki składowiska. Masę odpadów złożonych w latach 2002-2012 i uwzględnianą w obliczeniach podano w tabeli 2. Dane dla lat 2002-2009 pochodzą z opracowania Urzędu Statystycznego w Lublinie [7]. Ilość odpadów złożonych na składowisku w latach 2010-2012 przyjęto jak dla roku 2009. Wartości parametrów potrzebnych do obliczeń potencjału gazowego składowiska metodą INiG zebrano w tabeli 1.

**Tabela 1.** Założenia do obliczeń produktywności gazowej składowiska

Parametr	Wartość		
Sumaryczna ilość odpadów złożonych na składowisku w latach 2002-2012	1112226 Mg		
Okres objęty prognozą	2002-2025		
<i>MCF</i> - współczynnik korekcyjny produktywności metanu	1		
<i>udz(A)</i> – udział składnika <i>A</i> w odpadach	wariant 1 30 % mas.	wariant 2 27 % mas.	wariant 3 22,5 % mas.
<i>udz(B)</i> – udział składnika <i>B</i> w odpadach	wariant 1 1 % mas.	wariant 2 0,9 % mas.	wariant 3 0,75 % mas.
<i>udz(C)</i> – udział składnika <i>C</i> w odpadach	wariant 1 18 % mas.	wariant 2 16,2 % mas.	wariant 3 13,2 % mas.
<i>udz(D)</i> – udział składnika <i>D</i> w odpadach	wariant 1 1 % mas.	wariant 2 0,9 % mas.	wariant 3 0,75 % mas.
Suma udziałów składników <i>A, B, C, D</i> w odpadach	50 % mas.	45 % mas.	37,5 % mas.
<i>um(A)</i> - ułamek masowy węgla organicznego w odpadach rodzaju <i>A</i>	0,4		
<i>um(B)</i> - ułamek masowy węgla organicznego w odpadach rodzaju <i>B</i>	0,17		
<i>um(C)</i> - ułamek masowy węgla organicznego w odpadach rodzaju <i>C</i>	0,15		
<i>um(D)</i> - ułamek masowy węgla organicznego w odpadach rodzaju <i>D</i>	0,3		
<i>t</i> <sub>1/2</sub> ( <i>A</i> ), <i>t</i> <sub>1/2</sub> ( <i>B</i> ), <i>t</i> <sub>1/2</sub> ( <i>C</i> ), <i>t</i> <sub>1/2</sub> ( <i>D</i> ) - czas połowicznego rozpadu odpadów rodzaju, odpowiednio: <i>A, B, C, D</i>	<i>t</i> <sub>1/2</sub> ( <i>A</i> ) = 10 lat <i>t</i> <sub>1/2</sub> ( <i>B</i> ) = 6 lat <i>t</i> <sub>1/2</sub> ( <i>C</i> ) = 3 lata <i>t</i> <sub>1/2</sub> ( <i>D</i> ) = 15 lat		
<i>k(A), k(B), k(C), k(D)</i> - stała szybkości tworzenia metanu z odpadów rodzaju, odpowiednio: <i>A, B, C, D</i>	<i>k(A)</i> =ln(2)/ <i>t</i> <sub>1/2</sub> ( <i>A</i> ) <i>k(B)</i> =ln(2)/ <i>t</i> <sub>1/2</sub> ( <i>B</i> ) <i>k(C)</i> =ln(2)/ <i>t</i> <sub>1/2</sub> ( <i>C</i> ) <i>k(D)</i> =ln(2)/ <i>t</i> <sub>1/2</sub> ( <i>D</i> )		
<i>DOC<sub>F</sub></i> – współczynnik rozkładu węgla organicznego	<i>DOC<sub>F</sub>(A)</i> = <i>DOC<sub>F</sub>(B)</i> = <i>DOC<sub>F</sub>(C)</i> = <i>DOC<sub>F</sub>(D)</i> =0,77		
<i>F</i> – udział objętościowy metanu w biogazie	0,5		

Strumień masy metanu, obliczony według zależności (1), dla kolejnych lat okresu prognozowanego podano w tabeli 2. Na podstawie wartości strumienia masy metanu oszacowano wydajność biogazu, jaką można uzyskać ze składowanych odpadów i dla przyjętych założeń. Wartości wydajności biogazu zamieszczono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Strumień masy metanu i strumień objętości biogazu dla wariantu 1. obliczeń

Rok	Masa złożonych odpadów, Mg	Udział odpadów ulegających biodegradacji, % mas.	Strumień masy metanu, Mg/rok	Strumień objętości biogazu, m <sup>3</sup> /h
2002	37333	50	0	0
2003	112000	50	264,57	84,57
2004	112000	50	1034,78	330,75
2005	105181	50	1713,31	547,63
2006	105013	50	2256,91	721,38
2007	107902	50	2790,65	891,98
2008	105013	50	3198,32	1022,29
2009	106946	50	3586,58	1146,39
2010	106946	50	3951,10	1262,90
2011	106946	50	4281,27	1368,44
2012	106946	50	4581,44	1464,38
2013			4855,25	1551,90
2014			4341,16	1387,58
2015			3900,44	1246,71
2016			3520,15	1125,16
2017			3189,88	1019,60
2018			2901,24	927,33
2019			2647,42	846,20
2020			2422,90	774,44
2021			2223,20	710,61
2022			2044,63	653,53
2023			1884,20	602,25
2024			1739,41	555,97
2025			1608,21	514,04
Ogółem w latach 2002-2025			64937,04	20756,01

W celu określenia wpływu zmniejszenia udziału substancji organicznych ulegających biodegradacji w składowanych odpadach na wielkość strumienia masy metanu i strumienia objętości biogazu, przeprowadzono obliczenia według zależności (1) przyjmując, w stosunku do poprzednich obliczeń (tj. wariantu 1.):

- zmniejszenie udziału substancji biodegradowalnych w masie składowanych odpadów o 5% (wariant 2, tab. 1), co stanowi 10% wyjściowej wartości udziału wynoszącej 50% (wariant 1, tab. 1); masa złożonych odpadów w kolejnych latach wynosi 95% masy wyjściowej tych odpadów,
- zmniejszenie udziału substancji biodegradowalnych w masie składowanych odpadów o 12,5% (wariant 3, tab. 1), co stanowi 25% wartości wyjściowej równej 50%; masa składowanych odpadów w kolejnych latach wynosi 87,5% masy wyjściowej tych odpadów.

Wyniki obliczeń zamieszczono w tabeli 3.

**Tabela 3.** Potencjał gazowy składowiska odpadów z uwzględnieniem różnego udziału w nich odpadów ulegających biodegradacji

Rok	Masa złożonych odpadów, Mg	Udział odpadów ulegających biodegradacji, % mas.	Strumień masy metanu, Mg/rok	Strumień objętości biogazu, m <sup>3</sup> /h	Masa złożonych odpadów, Mg	Udział odpadów ulegających biodegradacji, % mas.	Strumień masy metanu, Mg/rok	Strumień objętości biogazu, m <sup>3</sup> /h
2002	35466,35	45	0	0	32666,38	37,5	0	0
2003	106400	45	226,18	72,3	98000	37,5	173,58	55,48
2004	106400	45	884,73	282,79	98000	37,5	679,07	217,05
2005	99922,24	45	1464,88	468,22	92033,65	37,5	1124,36	359,38
2006	99762,25	45	1929,66	616,78	91886,29	37,5	1481,10	473,41
2007	102507,3	45	2361,52	754,82	94414,61	37,5	1784,37	570,34
2008	99762,25	45	2734,57	874,06	91886,29	37,5	2098,90	670,88
2009	101598,8	45	3066,52	980,16	93577,87	37,5	2353,69	752,32
2010	101598,8	45	3378,19	1079,78	93577,87	37,5	2592,91	828,78
2011	101598,8	45	3660,49	1170,01	93577,87	37,5	2809,59	898,04
2012	101598,8	45	3917,14	1252,05	93577,87	37,5	3006,57	960,10
2013			4151,24	1326,87			3186,26	1018,43
2014			3711,70	1186,4			2848,89	910,60
2015			3334,88	1065,94			2559,66	818,15
2016			3009,73	962,01			2310,10	738,38
2017			2727,35	871,75			2093,36	669,11
2018			2480,56	792,87			1903,94	608,56
2019			2263,54	723,51			1737,37	555,32
2020			2071,58	662,15			1590,03	508,23
2021			1900,84	607,57			1458,97	466,34
2022			1748,16	558,77			1341,79	428,88
2023			1610,99	514,93			1236,51	395,23
2024			1487,19	475,36			1141,49	364,86
2025			1375,02	439,50			1055,39	337,34
Ogółem w latach 2002-2025			55496,66	17738,55	Ogółem w latach 2002-2025		42567,9	13606,1

Z analizy wyników obliczeń wynika, że zmniejszenie udziału substancji biodegradowalnych w masie składowanych odpadów o 5% powoduje obniżenie strumienia masy metanu i strumienia objętości biogazu, łącznie w okresie prognozowanym 2002-2025 o ok. 14,5% w porównaniu do wyników obliczeń dla wariantu 1. Z kolei zmniejszenie udziału substancji ulegających biodegradacji w masie składowanych odpadów o 12,5% przyczynia się do obniżenia potencjału gazowego składowiska, łącznie w okresie prognozowanym 2002-2025 o ok. 34,4% w porównaniu do obliczeń dla wariantu 1.

## POTENCJAŁ IŁOŚCIOWY BIOODPADÓW W ZMIESZANYCH ODPADACH KOMUNALNYCH W WOJ. LUBELSKIM PRZEZNACZONYCH DO WSPÓŁSPALANIA W PIECACH CEMENTOWYCH

Ilość odpadów komunalnych wytworzonych w woj. lubelskim w roku 2009 przedstawia tabela 4.

**Tabela 4.** Ilość odpadów komunalnych wytworzonych w woj. lubelskim w roku 2009

Nazwa odpadu	Masa, Mg
Odpady komunalne segregowane i zbierane selektywnie, w tym:	28113,5
<i>papier i tektura</i>	7162,2
<i>szkło</i>	9076,9
<i>tworzywa sztuczne</i>	3090
<i>metale</i>	513
<i>tekstyli</i>	1558,4
<i>odpady wielkogabarytowe</i>	1797,5
<i>zużyte urządzenia elektryczne</i>	403,4
<i>odpady niebezpieczne</i>	36,8
<i>odpady biodegradowalne</i>	4475,3
Zmieszane odpady komunalne	303803,57

W strumieniu zmieszanych odpadów komunalnych znajdują się frakcje materiałowe ulegające biodegradacji. W dalszej analizie uwzględniono udział tych frakcji zgodnie z danymi zawartymi w tabeli 5.

**Tabela 5.** Uśredniony skład i niektóre właściwości fizyczne i paliwowe zmieszanych odpadów domowych [5]

Frakcja materiałowa	Udział w odpadach, % masy	$W_{OZE}$ <sup>1)</sup>	Wilgotność, % masy	Ciepło spalania, MJ/kg s.m.	Wartość opałowa, MJ/kg
frakcja podsitowa <10 mm	8	1	18,9	6,8	4,7
frakcja podsitowa 10-20 mm, część biodegradowalna	4,3	1	58	15,1	5,2
frakcja podsitowa 10-20 mm, część niebiodegradowalna	2,8	0	25	20	20,6
odpady kuchenne pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, ogrodowe i z terenów zielonych	24,5	1	61,7	16,1	5,1
papier lub tektura	16,9	1	36,6	14,3	7,6
drewno	0,6	1	20,6	18,2	13
tekstyli	3,7	0,5	30	19,3	12
tworzywa sztuczne	14,5	0	20	35,7	26,4
odpady wielomateriałowe, w tym odpady z utrzymania higieny	5,4	0,4	10	21,5	17,5

<sup>1)</sup>  $W_{OZE}$  - wskaźnik obliczany następująco: średnia roczna zaw. biomasy/średnia roczna strata prażenia



Fracja < 10mm zawiera w rzeczywistości tylko ok. 30 % składników ulegających biodegradacji. Udział składników ulegających biodegradacji, obliczony z udziałów masowych tych składników w całej masie zmieszanych odpadów komunalnych wynosi:

$$8 \cdot 0,3 + 4,3 + 24,5 + 16,9 + 0,6 + 3,7 \cdot 0,5 + 5,4 \cdot 0,4 = 52,7\%$$

Fracje materiałowe zaliczane do biomasy, które, po ich wyselekcjonowaniu, można wykorzystać jako paliwo alternatywne w piecach cementowych, to: papier i tektura, drewno oraz tekstylia.

Potencjał ilościowy odpadów ulegających biodegradacji, na bazie których można wytworzyć paliwo alternatywne zastępujące paliwo konwencjonalne w cementowniach wynosi dla woj. lubelskiego ok. 64,4 Gg/rok. Z kolei potencjał energetyczny tych odpadów można oszacować na ok. 0,55 PJ rocznie. Część tej energii, tj. ok. 0,46 PJ może być zakwalifikowana jako energia z odnawialnego źródła energii. Obliczenia oparto na danych zawartych w tabeli 4 i 5.

Szansę wykorzystania odpadów ulegających biodegradacji pochodzących ze zmieszanych odpadów komunalnych jako paliw alternatywnych do współspalania z paliwem konwencjonalnym w piecach cementowych staną się realne z chwilą uruchomienia zakładów odzysku odpadów wyposażonych w linie technologiczne umożliwiające wyselekcjonowanie z odpadów frakcji materiałowych palnych, w tym biodegradalnych. Najbardziej właściwe jest takie przetwarzanie odpadów, w którym wykorzystanie operacji jednostkowych, jak sortowanie, przesiewanie, separowanie, rozdrabnianie, klasyfikacja, ustawionych w różnorodnych konfiguracjach doprowadzi do rozdzielenia zmieszanych odpadów komunalnych na:

- frakcje dające się w całości lub w części wykorzystać materiałowo lub/i energetycznie (w tym w piecach cementowych),
- frakcję ulegającą biodegradacji, którą można poddać przetwarzaniu biologicznemu w warunkach tlenowych lub beztlenowych i uzyskać w efekcie kompost lub biogaz.

Przetwarzanie odpadów w celu wydzielenia wymienionych powyżej frakcji określa się mianem mechaniczno-biologicznego przetwarzania.

Taki sposób gospodarowania odpadami niewątpliwie przyczyniłby się do ograniczenia ilości składowanych odpadów komunalnych ulegających biodegradacji. Zintensyfikowanie działań w tym kierunku jest tym bardziej uzasadnione, iż w 2009 r. w woj. lubelskim na składowiska skierowano 91% zebranych w tym roku zmieszanych odpadów komunalnych.

Ilość składowanych odpadów ulegających biodegradacji można obliczyć według zależności:

$$ISOUB = IZOK \cdot UOUB - IOKMBP \cdot UOUB \quad (6)$$

gdzie: ISOUB - ilość składowanych odpadów ulegających biodegradacji

IZOK - ilość zebranych zmieszanych odpadów komunalnych

UOUB - udział odpadów ulegających biodegradacji

IOKMBP - ilość zmieszanych odpadów komunalnych poddanych mechaniczno-biologicznemu przetwarzaniu.

Dla założenia, że przetwarzaniu mechaniczno-biologicznemu poddana zostanie ilość odpadów stanowiąca 20 % masy zebranych zmieszanych odpadów komunalnych w 2009 r. w woj. lubelskim, otrzymamy, na podstawie (6), zmniejszenie o 20% masy składowanych odpadów ulegających biodegradacji. Masa składowanych odpadów ulegających biodegradacji wyniesie więc, po uwzględnieniu przetwarzania odpadów, 128083 Mg wobec 160104,5 Mg frakcji ulegających biodegradacji w masie zebranych zmieszanych odpadów komunalnych w woj. lubelskim w 2009 r.

## UWAGI KOŃCOWE

Spełnienie przepisów ograniczających ilości składowanych odpadów biodegradowalnych przyczyni się niewątpliwie do zmniejszenia znaczenia składowisk odpadów komunalnych jako źródła gazu składowiskowego wykorzystywanego energetycznie.

Przeprowadzone obliczenia potencjału gazowego składowiska wykazują, że zmniejszenie udziału substancji biodegradowalnych w masie składowanych odpadów o 5%, w porównaniu do wyjściowej wartości 50%, powoduje obniżenie strumienia masy metanu i strumienia objętości biogazu, łącznie w okresie prognozowanym 2002-2025 o ok. 14,5% w porównaniu do wyników obliczeń dla wariantu wyjściowego. Z kolei zmniejszenie udziału substancji ulegających biodegradacji w masie składowanych odpadów o 12,5%, w porównaniu do wyjściowej wartości 50%, powoduje obniżenie potencjału gazowego składowiska, w całym okresie prognozowanym 2002-2025 o ok. 34,4% w porównaniu do obliczeń dla wariantu wyjściowego.

Brak uzasadnienia, ze względów ekonomicznych, ujmowania gazu składowiskowego w celu jego energetycznego wykorzystania, nie zwalnia z obowiązku ujmowania gazu w celu zapewnienia bezpiecznego składowania odpadów. W tym przypadku ujęty gaz powinien być unieszkodliwiony lub odprowadzony do powietrza po wcześniejszym jego oczyszczeniu, np. na filtrze torfowym.

Wobec wymagań prawnych w zakresie ograniczenia ilości składowanych odpadów ulegających biodegradacji, jako priorytetowe należy uznać działania prowadzące do uruchamiania linii technologicznych umożliwiających mechaniczno-biologiczne przetwarzanie odpadów.

Potencjał ilościowy odpadów biodegradowalnych, na bazie których można otrzymać paliwo alternatywne zastępujące paliwo konwencjonalne w cementowniach wynosi dla woj. lubelskiego i dla przyjętych danych ok. 64,4 Gg/rok. Z kolei potencjał energetyczny tych odpadów można oszacować na ok. 0,55 PJ energii rocznie. Część tej energii, tj. ok. 0,46 PJ może być zakwalifikowana jako energia z odnawialnego źródła energii.

## LITERATURA

1. Biogaz, [www.biopaliwo.yoyo.pl/biogaz.html](http://www.biopaliwo.yoyo.pl/biogaz.html)
2. Klimek P., Kołodziejak G.: Potencjał gazowy składowisk odpadów komunalnych a możliwość jego wykorzystania, [www.nbu.gov.ua/portal/natural/Pnp/2007\\_5/](http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Pnp/2007_5/)
3. Marczak H. 2010. Prognoza produktywności gazowej składowiska z uwzględnieniem wymagań w zakresie zmniejszenia ilości składowanych bioodpadów. Rozdział w monografii: Energia niekonwencjonalna i zagospodarowanie odpadów. Wyd. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin: 92-102.
4. Misiaczek B.: Biogaz z wysypisk śmieci, [www.agroenergetyka.pl](http://www.agroenergetyka.pl) (dostęp 5 luty 2009).
5. Projekt Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 22 maja 2009 w sprawie szczegółowych warunków technicznych kwalifikowania części energii odzyskanej z termicznego przekształcania odpadów komunalnych jako energii z odnawialnego źródła energii, [www.mos.gov.pl](http://www.mos.gov.pl)
6. Skorek J., Kalina J. 2005. Gazowe układy kogeneracyjne. WNT, Warszawa.
7. Urząd Statystyczny w Lublinie. Bank danych lokalnych. Stan i ochrona środowiska. Odpady komunalne, [www.stat.gov.pl](http://www.stat.gov.pl)

## MIXED MUNICIPAL WASTES AS RENEWABLE ENERGY SOURCES

**Abstract.** Mixed municipal wastes in Poland are mainly directed on the landfills. Landfills such waste are therefore place the formation of gas. Since landfills gas potential depends way of accounting for gas and validity of its energy use. The article presents the results assess the potential gas municipal waste landfill. We analyzed the impact of participation in the waste of components biodegradable on the potential gas on the landfill. Pointed out the two directions of the management of mixed municipal waste: production of alternative fuel for cement kilns and aerobic or anaerobic wastes stabilization.

**Keywords:** municipal wastes, landfill gas, potential landfill gas, fuel from wastes.