

Gospodarowanie odpadami a odzysk energii

Krzysztof Pikoń, Magdalena Bogacka

1. Wstęp

Gospodarka odpadami zwykle jest kojarzona z unieszkodliwianiem substancji, które są uznawane za nieprzydatne i często szkodliwe. W świadomości społecznej system gospodarki odpadami to ich transport oraz deponowanie na składowiskach. Zmiany legislacyjne ostatnich lat spowodowały wzrost świadomości społecznej w odniesieniu do odpadów. Segregacja odpadów i recykling stały się pojęciami powszechnie znanymi. Odpady jednak w dalszym ciągu kojarzą się z materiałem, który można z powodzeniem wykorzystać energetycznie, do tego stopnia, że prawidłowo skonstruowany system gospodarki odpadami może mieć znaczący wpływ na bilans energetyczny kraju.

Gospodarka odpadami jest dużą gałęzią gospodarki narodowej. Według danych Eurostatu w 2012 roku średnio na obywatela UE przypadało 492 kg odpadów komunalnych, z których zagospodarowanych zostało 480 kg. Najpopularniejszymi metodami utylizacji jest składowanie (34%), spalanie (24%), recykling (27%) i kompostowanie (15%).

Według najnowszych danych ilość wytwarzanych odpadów komunalnych różni się znacznie w poszczególnych państwach członkowskich. Na przykład w Danii było to ponad 668 kg na osobę, a na Cyprze, w Luksemburgu i Niemczech powyżej 600 kg. Malta, Irlandia, Austria, Holandia, Francja, Włochy, Finlandia i Grecja charakteryzowały się wielkościami pomiędzy 500 kg i 600 kg. Kraje mające poniżej 400 kg na osobę to Chorwacja, Rumunia, Słowenia, Słowacja, Polska, Republika Czeska, Łotwa i Estonia.

Metody utylizacji również różnią się znacznie w poszczególnych państwach członkowskich. Różnią się również upływem czasu, jak przedstawiono to graficznie na rysunku 1. W 2012 roku ponad 50% odpadów komunalnych zostało poddane recyklingowi lub kompostowaniu w Niemczech, Austrii i Belgii. Recykling i kompostowanie były również ważnym elementem gospodarki odpadami w Holandii (50%), Luksemburgu (47%), Wielkiej Brytanii (46%), Irlandii (45%) i Francji (39%). W tabeli 1 przedstawione zostały dane ilościowe odpadów komunalnych w Polsce z podziałem na poszczególne frakcje.

Termiczne przekształcanie jest z całą pewnością jedną z metod zagospodarowania odpadów, która wydaje się być najsilniej związane z ich energetycznym wykorzystaniem [6]. Jest to metoda powszechnie stosowana w większości rozwiniętych krajów świata. Niektóre frakcje mogą być poddawane procesowi fermentacji metanowej. W efekcie otrzymywany jest wysokoenergetyczny biogaz.

Składowiska odpadów mogą być również źródłem biogazu. Prawidłowo zaprojektowany i użytkowany system akwizycji gazu składowiskowego, który jest utylizowany np. w silniku gazowym, może stanowić cenne źródło energii.

Streszczenie: Gospodarka odpadami zazwyczaj kojarzy się z unieszkodliwianiem substancji uznawanych za zbędne. Mogą one jednak być źródłem znaczących ilości energii. Do metod używanych do odzysku energii z odpadów należy spalanie, zgazowanie, piroliza, jak również fermentacja metanowa. Znaczący wpływ na bilans energetyczny kraju ma również recykling materiałowy. Z reguły energia potrzebna do wytworzenia produktów z surowców pierwotnych jest znacznie większa niż z surowców wtórnych. Energia wytworzona lub zaoszczędzona dzięki systemom gospodarki odpadami z znaczącej części może być zaliczona do OZE.

Słowa kluczowe: gospodarka odpadami, energia, zrównoważony rozwój.

ENERGY FROM WASTE

Abstract: Waste management is usually treated as utilization of unnecessary substances. Waste may, however, be a source of significant amount of energy. The methods used to recover energy from waste include incineration, gasification, pyrolysis and anaerobic digestion. A significant impact on the energy balance of the country could have material recycling as well. Generally, the energy required to manufacture the products from raw materials is much higher than recycled ones. Energy generated or saved through waste management systems in a significant part may be treated as the RES.

Keywords: waste management, energy, sustainable development.

Recykling odpadów może być również traktowany jako proces energetyczny. Wytwarzanie produktów z surowców wtórnych nie dość, że obciąża środowisko w znacznie mniejszym stopniu niż ich wytwarzanie z surowców pierwotnych, to jest zwykle również znacznie bardziej optymalne pod względem energochłonności [4]. Różnica pomiędzy energią pochłanianą przy produkcji towarów z surowców pierwotnych i wtórnych to efekt energetyczny, który może być przypisany gospodarce odpadami [2, 6, 9, 10].

2. Odzysk energii

Historia zakładów termicznego przekształcania sięga XIX wieku. Na przykład pierwsza instalacja tego typu w Stanach Zjednoczonych została wybudowana w 1885 roku na Governors Island w Nowym Jorku. W połowie XX wieku użytkowano już setki spalarni odpadów w Europie i Stanach Zjednoczonych. Do

Tabela 1. Ilości odpadów utylizowanych w Unii Europejskiej w latach 1995–2010 [3]

Lata	[mln Mg]	Deponowanie	Termiczne przekształcanie	Recykling	Kompostowanie	Inne
1995		141	31	22	13	19
1996		138	32	23	15	24
1997		140	33	28	16	22
1998		137	34	30	18	20
1999		138	36	37	21	13
2000		139	38	38	27	11
2001		135	39	40	28	10
2002		131	41	46	32	6
2003		124	41	47	34	4
2004		117	43	49	36	6
2005		108	47	52	38	9
2006		108	49	54	40	6
2007		105	50	58	42	5
2008		99	51	61	36	12
2009		96	54	61	36	9
2010		94	54	61	36	8

lat 60. XX wieku niewielką wagę przykładano do ich wpływu na środowisko. Gdy w roku 1970 został uchwalony Clean Air Act (CAA), istniejące spalarnie stały się przedmiotem nowych standardów. Zakazano niekontrolowanego spalania stałych odpadów komunalnych i wprowadzono ograniczenia w zakresie emisji pyłów. Obiekty, w których nie zainstalowano odpowiednich urządzeń oczyszczających spaliny i nie spełniały wymaganych standardów, zostały zamknięte.

Ilość spalanych odpadów komunalnych wzrosła w USA od roku 1980 do 1990 o ponad 15%. Do tego czasu większość spalarni odpadów innych niż niebezpieczne miała już możliwość odzysku energii i była wyposażona w odpowiedni węzeł oczyszczania spalin. Większość tego typu spalarni odzyskuje energię przez cały czas, a zainstalowane urządzenia kontrolują na bieżąco emisję zanieczyszczeń.

Obecnie w Stanach Zjednoczonych znajduje się 86 obiektów do spalania odpadów komunalnych z odzyskiem energii. Obiekty te mają zdolność do produkcji 2720 MW energii poprzez przetwarzanie ponad 28 mln ton odpadów rocznie. W roku 2011 około 29 mln ton odpadów komunalnych (czyli około 12%) zostało termicznie przekształconych z odzyskiem energii. W wyniku spalania objętość odpadów zostaje zredukowana do 10% i stanowi inertne popioły, które są zwykle kierowane na składowisko.

Kapitał potrzebny do budowy ZTPO może być istotnym utrudnieniem przy budowie nowego obiektu. Nowy zakład zwykle wymaga inwestycji co najmniej 100 mln \$, a górna granica dla dużych instalacji może sięgać nawet kilku miliardów. Zysk może się pojawić dopiero po długim, kilkunastoletnim lub nawet kilkudziesięcioletnim czasie. Przychody są generowane z opłat za unieszkodliwienie odpadów, ze sprzedaży energii elektrycznej i ciepła, a także ze sprzedaży zarówno żelaza, jak

Tabela 2. Odpady komunalne wytworzone w Polsce w 2008 r. [3]

Lp.	Frakcje odpadów	Masa wytworzonych odpadów, w tys. Mg			
		2008			
		ogółem	W tym:		
w dużych miastach (>50 tys.)	w małych miastach		na terenach wiejskich		
1	Papier i tektura	1520,5	1045,0	302,5	173,0
2	Szkło	1216,3	545,9	323,4	347,0
3	Metale	279,0	146,0	48,5	84,5
4	Tworzywa sztuczne	1533,6	830,9	346,1	356,6
5	Odpady wielomateriałowe	401,2	134,7	124,5	141,9
6	Odpady kuchenne i ogrodowe	3888,6	1582,3	1156,7	1149,7
7	Odpady mineralne	467,9	173	89,1	205,8
8	Fracja < 10 mm	1030,7	229,7	215,7	585,3
9	Tekstylia	325,8	124,8	126,8	74,2
10	Drewno	44,8	12,8	9,3	22,7
11	Odpady niebezpieczne	89,4	41,1	20	28,2
12	Inne kategorie	485,7	173	142,4	170,3
13	Odpady wielkogabarytowe	268,3	141,8	82	44,5
14	Odpady z terenów zielonych	549,4	292,1	166,8	90,6
Razem		12101	5472,9	3153,8	3474,4

i złomu metali nieżelaznych odzyskanych z żużla lub strumienia popiołów.

Szacuje się, że średnia liczba nowych miejsc pracy utworzonych przez ZTPO w Europie to 62. Oznacza to około 28 000 bezpośrednich miejsc pracy, a kolejne 28 000 w zakładach kooperujących, co daje w sumie 56 000 miejsc pracy, jakie są tworzone przez ZTPO w całej Europie.

Koszty inwestycyjne ZTPO różnią się znacznie w zależności od kraju. Szacuje się, że w warunkach europejskich średni koszt mocy przerobowych 1 tony odpadów może wynieść 400–700 €.

Koszty inwestycyjne dla ZTPO wytwarzającego energię elektryczną wynoszą 3–4 mln €/MW mocy zainstalowanej. W przypadku ciepłowni ten koszt jest niższy i wynosi 1,3 do 2 mln €/MW mocy cieplnej zainstalowanej. Dla obiegu skojarzonego kwota ta wynosi od 1 do 2 milionów €/MW ChP [13].

Poprawa efektywności energetycznej odpadów do zakładów energetycznych pozwoliło produkować więcej ciepła i energii elektrycznej, generując ponad 100 mln MWh w 2010 r. Termiczne przekształcanie odpadów połączone z odzyskiem energii to jedna z najbardziej solidnych i skutecznych alternatyw dla paliw kopalnych, jeśli chodzi o zmniejszenie emisji CO₂

i oszczędzenie zasobów paliw kopalnych wykorzystywanych w tradycyjnych elektrowniach.

W roku 2010 ZTPO w Europie mogły zaopatrzyć około 13 mln mieszkańców w energię elektryczną i ciepło. Wykorzystują one około 73 mln ton odpadów komunalnych, które nie zostały wykorzystane w inny sposób [13].

Obecnie recykling rywalizuje ze spalaniem pod względem dostępu do surowca. W tej sytuacji niektóre kraje postanowiły ustąpić technologii spalania i wspomóc import odpadów do spalania z innych krajów lub umożliwić spalanie surowców wtórnych, by zabezpieczyć wydajność technologii. Wiele krajów UE nadal wydaje pozwolenia i finansuje budowę nowych ZTPO odpadów do odzysku energetycznego odpadów roślinnych, chociaż pojemność tej frakcji odpadów przekracza krajowej ilości odpadów.

Należy podkreślić, że spalanie znacznej części frakcji odpadów, takich jak na przykład biomasa, jest traktowane jako wytwarzanie energii odnawialnej [5]. Emisja CO₂ z takich źródeł – jako że biorą one udział w krótkim obiegu węgla – jest traktowana jako zerowa.

Termiczne przekształcanie odpadów to nie tylko ich spalanie. Możliwe jest również wytwarzanie paliw formowanych, które mogą być energetycznie wykorzystywane w innych instalacjach energetycznych. Szacuje się, że w Polsce można wytworzyć kilka milionów ton paliwa alternatywnego, które zgodnie z szacunkami ma kaloryczną równowartość około 2 mln ton węgla, czyli około 5% paliwa potrzebnego dla systemu energetycznego.

Odpady są na szeroką skalę wykorzystywane energetycznie w cementowniach.

Fermentacja metanowa jest definiowana jako proces mikrobiologiczny rozkładu substancji organicznych przeprowadzany w warunkach beztlenowych przez mikroorganizmy anaerobowe z wydzieleniem metanu.

W wyniku degradacji związków organicznych zawartych w ściekach powstaje biogaz. Jego skład zależy od rodzaju substancji ulegających rozkładowi, zaś ilość od ładunku ChZT mineralizowanych związków, temperatury procesu oraz czasu przetrzymywania substratów w komorze. Głównym składnikiem biogazu jest metan z domieszką dwutlenku węgla i wodoru.

Materiałem wsadowym dla biogazowni są zwykle materiały określane jako odpad.

3. Energia zaoszczędzona

Odpady mogą być wykorzystywane nie tylko jako bezpośredni surowiec energetyczny, ale również jako źródło „oszczędności energii”. Dzieje się tak ze względu na ogół niższych potrzeb

energetycznych związanych z produkcją towarów z materiałów pochodzących z recyklingu niż z surowców pierwotnych.

Recykling jest często kojarzony z odzyskiem energii podczas spalania i traktowany jako alternatywa. Termiczne przekształcanie odpadów z odzyskiem energii jest szczególnie popularne w Europie, gdzie około 40% odpadów komunalnych jest spalanych w 450 instalacjach na całym kontynencie. Mimo że spalanie jest bardzo popularne w UE, Komisja Europejska wspiera recykling jako metodę bardziej pożądaną pod względem ekologicznym. W Niemczech np. spala się 37% odpadów i poddaje recyklingowi około 45%.

Jednak przeciwstawianie spalania odpadów procesom recyklingu tworzy w istocie fałszywą alternatywę. W rzeczywistości te dwie formy gospodarki odpadami odgrywają ważną i wzajemnie uzupełniającą się rolę w ramach zintegrowanego podejścia do gospodarki odpadami. Spalanie zapewnia unieszkodliwienie tych odpadów, które nie nadają się do recyklingu, jednocześnie zapewniając odzysk energii i zmniejszając strumień odpadów kierowanych na składowiska.

W porównaniu do spalania recykling jest znacznie mniej kapitałochłonny i często nie wymaga nowych rozwiązań technologicznych. Zwykle recykling polega na zastąpieniu pewnej części materiałów pierwotnych w procesie produkcyjnym granulatem wytworzonym z odpadowych produktów, co sprawia, że recykling jest elastyczny i łatwiej może być przystosowany do potrzeb rynku.

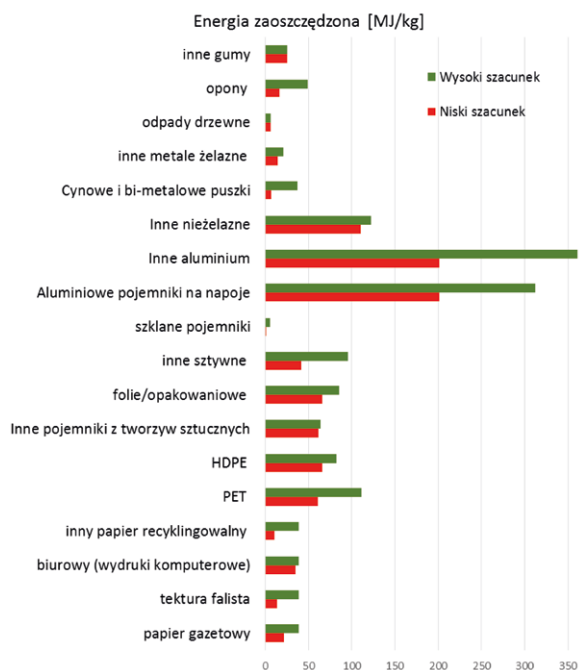
Z drugiej strony, w wielu przypadkach przygotowanie wsadu, a więc zbieranie i sortowanie odpadów, może być koszt- i energochłonne. Część energii potrzebna do wszystkich procesów sortowania (w tym przede wszystkim selektywnej zbiórki) jest często pomijana w analizach efektywności energetycznej i oddziaływania na środowisko [11].

W tabeli 3 przedstawiono szacunki zaoszczędzonej energii dla różnych rodzaju odpadów, wyznaczonej przy zastąpieniu surowców pierwotnych przez te pochodzące z recyklingu. Należy pamiętać, że wielkości te mogą być zmienne wraz z zastosowaniem różnych technologii. Z tego względu w tabeli 3 zestawiono szacunki minimalne i maksymalne, oszczędności energii ogrzewania w wyniku użycia różnych frakcji odpadów, jakie mogą być zaobserwowane dla różnych przypadków.

W tabeli zestawiono zarówno wielkości zaoszczędzonej energii, jak i wartości opałowej. Obie wielkości zostały odniesione do jednostki masy. Generalny wniosek wynikający z zestawienia jest taki, że praktycznie we wszystkich przypadkach recykling oszczędza więcej energii niż może być odzyskane na drodze spalania.

Tabela 3. Rozwój technologii produkcji biogazu przy założeniu 7,5% udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energii pierwotnej w Polsce w 2010 r. [13]

Technologia OZE	Dodatkowa moc zainstalowana w latach 2000-2010 [MW]	Produkcja energii elektrycznej z OZE [GWh]	Produkcja ciepła z OZE [TJ]	Razem [TJ]	Udział energii wyprodukowanej z OZE [%]
Biogazownie komunalne	500	2000	5000	12200	5,2
Biogazownie rolnicze	30	120	150	582	0,2
Gaz składowiskowy	60	360	420	1716	0,7
Razem OZE	19592	14082	174470	235000	100



Rys. 1. Porównanie wartości energii zaoszczędzonej w wyniku recyklingu odpadów – niski i wysoki szacunek [8]

Należy podkreślić, że każdy przypadek może być inny. Nie możemy porównywać w bezpośredni sposób wartości opałowej odpadów z oszczędnością energii związaną z recyklingiem. W wielu procesach związanych z wykorzystaniem surowców wtórnych oszczędzamy energię elektryczną, której nie da się porównać w sposób bezpośredni z ciepłem. Różnica jest oczywista i związana ze sprawnością wytwarzania energii elektrycznej, która jest zwykle za niska i wynosi około 30%. Oznacza to, że 1000 kWh zaoszczędzonej energii w procesach recyklingu, ze względu na niższe zapotrzebowanie na energię w porównaniu do produkcji z materiałów pierwotnych, wynosi w przeliczeniu więcej niż 3000 kWh energii w paliwach kopalnych.

Biorąc pod uwagę ilości poszczególnych frakcji odpadów, które zostały poddane procesom recyklingu, wielkość zaoszczędzonej energii może w Polsce wynieść ponad 9000 GWh rocznie. Zostało to przedstawione w tabeli 4.

4. Podsumowanie

Termiczne przekształcanie odpadów (spalanie, zgazowanie, piroliza) wraz z wytwarzaniem biogazu na drodze fermentacji metanowej z frakcji biodegradowalnych są metodami odzysku energii.

Przy założeniu 7,5% udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energii pierwotnej w Polsce, fermentacja metanowa odpadów może być rocznie źródłem 235 000 TJ. Należy podkreślić, że jest to energia w zdecydowanej większości odnawialna. Tak więc poprawia w naszym stopniu bilans energetyczny w kraju i zbliża nas do wypełnienia zobowiązań Polski w odniesieniu do wykorzystania OZE [15].

Recykling materiałowy, ze względu na znaczące różnice pomiędzy energochłonnością procesów produkcyjnych z materiałów pierwotnych i wtórnych, może stanowić również przy-

Tabela 4. Wielkość zaoszczędzonej energii w Polsce w roku 2008 związana z recyklingiem poszczególnych frakcji odpadów.

Frakcja	Wprowadzone na rynek	Osiągnięty poziom recyklingu	Masa frakcji poddana recyklingowi	Energia zaoszczędzona
	[tys. Mg]	[%]	[tys. Mg]	[GWh/rok]
tworzywa sztuczne	669,9	23,9	160,1	863,5
aluminium	81,4	60,5	49,3	2 757,8
stal	167,2	26,4	44,1	177,8
papier i tektura	1237	67,1	830,0	4 957,1
szkło	1019	43,8	446,3	111,6
drewno i tekstylia	1007,4	26,3	264,9	
razem	4181,9	42,9	1794,0	9867,8

kład energetycznego wykorzystania odpadów [12]. Biorąc pod uwagę ilości odpadów, które aktualnie są poddawane procesom recyklingu, szacuje się, że dzięki nim roczna oszczędność energii może wynieść 9,8 TWh.

Należy się spodziewać, że atrakcyjność termicznego przekształcania odpadów i innych procesów odzysku energii będzie rosła [1, 16]. Zgodnie z prawem UE, które zostało zaimplementowane do prawa polskiego (Dz. U. Nr 186 z 2005 r. poz. 1553), od 2013 r. nie jest możliwe składowanie odpadów, których ciepło spalania jest wyższe niż 6 MJ/kg. Zatem odpady, których nie będzie można poddać procesom recyklingu, będą musiały zostać poddane innemu procesowi odzysku, a termiczne przekształcanie wydaje się uniwersalne nawet dla zabrudzonych odpadów. Jest sposobem umożliwiającym działanie w szerokim spektrum różnych frakcji odpadów [7, 14, 16].

W Polsce powstaje bardzo dużo zakładów do utylizacji odpadów, które zaczynają dostrzegać w odpadach nie tylko obowiązek unieszkodliwienia względem środowiska, lecz również możliwość czerpania zysków finansowych. Zakłady oprócz nadzwanego celu, jakim jest unieszkodliwienie odpadów, przetwarzają odpady na produkty lub półprodukty, osiągając przy tym realne zyski. Takimi zakładami są np.:

- ZUO w Gorzowie Wielkopolskim;
- ZGO w Bielsku-Białej;
- ZZO w Poznaniu;
- ZZO w Hajnówce.

Są to nowe instalacje wykorzystujące nowoczesne technologie. W ramach swojej działalności przerabiają olbrzymie ilości odpadów, które zbierane w różny sposób – selektywnie lub nieselektywnie – trafiają do kompleksowego przerobu. Zakłady Zagospodarowania Odpadów weszły w fazę szybkiego rozwoju technologicznego. Instalacje i urządzenia do przetwarzania strumienia odpadów wykorzystują najnowsze rozwiązania techniczne. Większość zakładów, aby kompleksowo przetwarzać zebrane odpady, posiada kilka różnych instalacji, np.: kompostownię, linię do selekcji odpadów nadających się do recyklingu (metal, szkło, polimery), z których powstaje półprodukt do dalszego przetworzenia, ale też składowisko, gdzie trafiają odpady nienadające się już do żadnej transformacji. Większość z instalacji posiada również własne instalacje do produkcji paliwa

z odpadów, które mogą być przyszłością przy dzisiejszych zmaganiach z problemami odpadów i prawem w obszarze ochrony środowiska. Niestety wymaga to dużych zmian legislacyjnych, które byłyby przychylnie takim rozwiązaniom i produktom. To prawo powstrzymuje wykorzystanie paliw z odpadów w instalacjach do spalania lub współspalania paliw kopalnych lub nawet w specjalnie dostosowanych do tego kotłach, mimo że spełniają one niejednokrotnie dużo lepsze standardy emisji spalin. Wszystkie nowoczesne zakłady osiągają wysoki stopień technologiczny i potrafią dobrze zarządzać odpadami, czerpiąc z nich tyle energii, ile opłaca się odzyskać.

Literatura

- [1] BONAR G.: *Odzysk energii z odpadów komunalnych*. 2008 [dok. elektr.] Almanach Ekologii <http://www.lemtech.pl/index.php?d=pressroom/art-Almanach-2006> [dostęp 2015.03.27]
- [2] Laurijsen J., Marsidib M., Westenbroek A., Worrell E., Faaij A.: *Paper and biomass for energy?: The impact of paper recycling on energy and CO₂ emissions*. „Resources, Conservation and Recycling” v. 54, no. 12, October 2010, p. 1208–1218.
- [3] Krajowy Plan Gospodarki Odpadami 2014.
- [4] LIU H.: *Recycling Economy and Sustainable Development*. *Journal of Sustainable Development*. Vol. 2, No. 1, 2009, p. 209–212.
- [5] MCDUGALL F., WHITE P., FRANKE M., HINDLE P.: *Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory*, Blackwell Science 2001.
- [6] MORRIS J.: *Recycling versus incineration: an energy conservation analysis*. „Journal of Hazardous Materials” v. 47, (1996), p. 277–293.
- [7] PAJĄK T.: *Instalacje termicznego przekształcania odpadów komunalnych w Polsce – uwarunkowania, plany, realizacja*. „Nowa Energia” 2008 [dok. elektr.] <http://www.energetyka.xtech.pl/articleItem.aspx?pg=2&pk=57> [dostęp 2015.01.29].
- [8] PIKOŃ K.: *Energetic and environmental evaluation of waste recycling*. Handbook Of Clean Energy Systems, Editor: Professor Jinyue Yan, Wiley 2015, In Press.
- [9] PIKOŃ K., GATNAR M.: *Uciążliwość środowiskowa recyklingu szkła*. Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, v. 11, no. 1, p. 1–10, (2009).
- [10] PIKOŃ K., POMPA Ł.: *Uciążliwość ekologiczna recyklingu opakowań aluminiowych*. Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, v. 12 (2010), no. 1, p. 1–10.
- [11] PIKOŃ K.: *The multi-criteria environmental impact assessment model of complex technological systems*, Politechnika Śląska 2011.
- [12] PRZYWARSKA R.: *Odpady komunalne źródłem energii odnawialnej*. „Recykling” 7-8/2009, s. 16–17.
- [13] Report: *A decade of Waste to Energy in Europe, Conferderation of European Waste to Energy Plants*, Brussels, April 2013.
- [14] ROSZKOWSKI A.: *Gaz składowiskowy źródłem zielonej energii*. „Czysta Energia” 11/2007, s. 36.
- [15] Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej – raport Ministerstwa Środowiska, Warszawa, wrzesień 2000 rok.
- [16] ZAFAR S.: (2008) *Waste as a Renewable Energy Source*. AE [dostęp 2015.03.27].

Artykuł był publikowany w monografii:
Aktualne zagadnienia w inżynierii środowiska.

 Krzysztof Pikoń, Magdalena Bogacka – Politechnika Śląska, Gliwice

artykuł recenzowany