

Maria BAŁAZIŃSKA*

Analiza *Life Cycle Assessment* spalania biomasy i odpadów dla celów energetycznych

STRESZCZENIE. W pracy przeprowadzono analizę oceny cyklu życia (*Life Cycle Assessment* – LCA) energetycznego wykorzystania odpadów komunalnych w spalarni. Analiza przeprowadzona została na okres jednego roku dla 250 tys. miasta. Badania obejmowały etap zbierania odpadów, transport, spalanie oraz zagospodarowanie pozostałości po spalaniu. W obrębie zbierania uwzględniono emisję wynikającą z produkcji pojemników niezbędnych do gromadzenia odpadów. Następnie w wyniku transportu do spalarni uwzględniono emitowane substancje szkodliwe do otoczenia. Po przyjeździe odpadów na teren spalarni segregowano odpady. Odpady niesegregowane kierowano następnie do spalania. Założono, że spalanie przebiega w piecu rusztowym. Palne składniki procesu podlegały konwersji do spalin, natomiast składniki mineralne do żużla oraz popiołu. Spaliny oczyszczane były w instalacji zawierającej szereg urządzeń. W wyniku procesu produkowana była energia elektryczna oraz ciepło. Uwzględniono, że z powstałego w wyniku spalania żużla odzyskiwane były metale. Pozostała część tego materiału, która mogła być wykorzystana kierowana była do budowy dróg, natomiast reszta trafiała na składowisko. Popiół lotny oraz stałe pozostałości z oczyszczania spalin po procesie kierowane były na składowisko odpadów niebezpiecznych. Analiza przeprowadzona została z zastosowaniem metody CML2001. Rozpatrzono kategorie zubożenia zasobów abiotycznych, zmiany klimatu, toksyczności dla ludzi, tworzenia fotoutleniaczy, zakwaszania oraz eutrofizację. Uwzględniono wszystkie elementy obowiązkowe analizy oraz normalizację i ważenie z elementów opcjonalnych. Uzyskane rezultaty następnie omówiono oraz porównano do wskaźników literaturowych dla energetycznego wykorzystania biomasy.

SŁOWA KLUCZOWE: analiza LCA, spalanie, odpady komunalne, biomasa

* Mgr inż. – Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze; e-mail: mbalazinska@ichpw.zabrze.pl

Wprowadzenie

Alternatywą dla spalania paliw kopalnych w celu pozyskania energii elektrycznej oraz ciepła jest wykorzystanie biomasy oraz odpadów. Miliony ton odpadów produkowane są codziennie na świecie, a ich zagospodarowanie stanowi duże wyzwanie. Składowiska stale przyjmują bardzo duże ilości odpadów, nieustannie powiększając swoją powierzchnię. Odpady wydzielają przykry zapach, ponadto w wyniku rozkładu emitują substancje szkodliwe do powietrza, gleby oraz wód. Dlatego zastosowanie odpadów jako paliwa wydaje się być idealnym rozwiązaniem. W konsekwencji zniknie problem z ich zagospodarowaniem. Biomasy nie dotyczy problem zagospodarowania, może ona jednak z powodzeniem podobnie jak odpady zastępować paliwa kopalne w procesie produkcji energii.

Na wspomniane źródła energii warto jednak spojrzeć nieco szerzej. Biomasa i odpady mogą zastępować paliwa konwencjonalne w procesie produkcji energii, ale jednocześnie należy zastanowić się, które z nich podczas całego procesu emitują więcej substancji szkodliwych oraz które z nich są bardziej szkodliwe dla otoczenia. Starając się znaleźć odpowiedzi na te pytania przeprowadzono badania zaprezentowane poniżej.

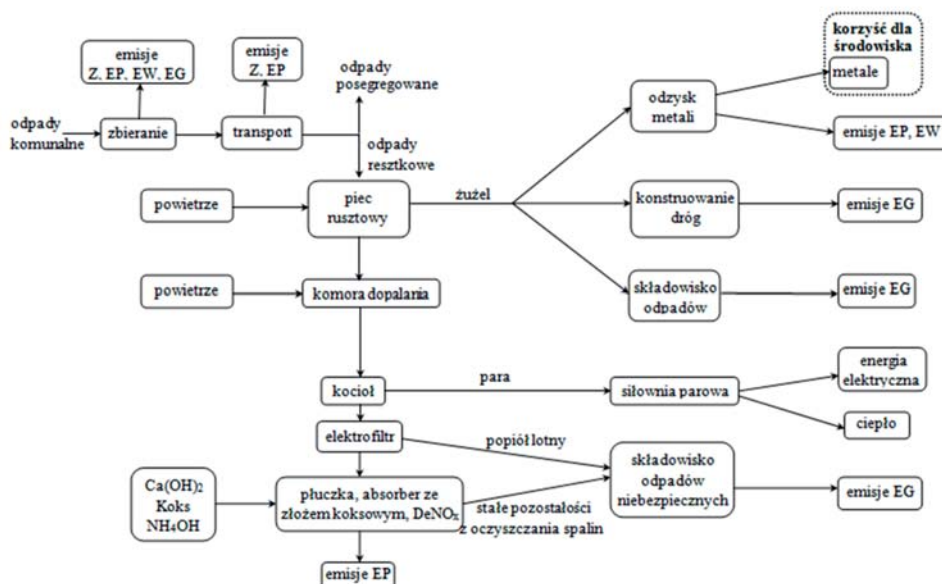
1. Analiza *Life Cycle Assessment* (LCA) spalania odpadów

Analizie poddano wykorzystanie odpadów reszkowych w procesie spalania w spalarni odpadów komunalnych. Odpady reszkowe rozumiane są jako odpady pozostałe po wyselekcjonowaniu odpadów selektywnie zbieralnych. Obliczenia oparto na danych zawartych w (den Boer i in. 2005a, 2005b).

1.1. Cel i zakres badań

Celem badań było określenie wpływu na środowisko spalania odpadów w spalarni. Zakres badań obejmował okres jednego roku. W analizie uwzględniono zbieranie, transport oraz spalanie odpadów. Etap zbierania i transportu odnosił się do odpadów zmieszanych, zatem zarówno do odpadów reszkowych jak i odpadów selektywnie zbieralnych. Selekcja odpadów odbywała się po przetransportowaniu odpadów zmieszanych, ale przed spalaniem. W ramach zbierania uwzględniono produkcję pojemników wykorzystywanych do gromadzenia odpadów. Transport obejmował emisje powstałe w wyniku spalania paliwa w silniku ciężarówek potrzebnych do przewozu. W obrębie spalania odpadów w spalarni uwzględniono produkcję energii elektrycznej i ciepła oraz szereg pozostałości powstałych po spalaniu. Rozpatrzono zagospodarowanie żużla, popiołu z odpylacza elektrostatycznego, stałych pozostałości z oczyszczania spalin, a także samych spalin. Wzięto pod uwagę, że z żużla odzyskiwane były metale. Reszta tego materiału kierowana była do budowy dróg i na

składowisko. Popiół osadzający się na odpylaczu elektrostatycznym oraz stałe pozostałości powstałe z kolejnych procesów oczyszczania spalin kierowane były na składowisko odpadów niebezpiecznych. Oczyszczone spaliny natomiast, trafiały do otoczenia (rys. 1).



Rys. 1. Zależności występujące pomiędzy kolejnymi procesami jednostkowymi w analizowanym systemie wyrobu dotyczącym energetycznego wykorzystania odpadów
Oznaczenia: EP – emisje do powietrza, EW – emisje do wody, EG – emisje do gleby, Z – zużycie zasobów (den Boer i in. 2005a, 2005b)

Fig. 1. The relationship between each process unit in analyzed product system
Abbreviations: EP – emission to air, EW – emission to water, EG – emission to soil,
Z – consumption of resources (den Boer and others 2005a, 2005b)

Istotnym założeniem był również fakt, że dla składowania odpadów rozpatrzono emisje powstałe w ciągu roku, które jednak uwalniane były do otoczenia przez okres 500 lat.

Jednostką funkcjonalną dla przeprowadzanej analizy była ilość odpadów produkowana w mieście i wprowadzana do systemu gospodarki odpadami w ciągu roku.

1.2. Analiza zbioru wejść i wyjść (*Life Cycle Inventory – LCI*)

Dla etapu zbierania negatywny wpływ na środowisko wynika z produkcji pojemników niezbędnych do gromadzenia odpadów. Ilość odpadów komunalnych w dużym stopniu zależy od miejsca powstawania (Piaskowska-Silarska 2012). Założono, że odpady zbierane są z terenu 250 tys. miasta. Gromadzone są w pojemnikach o pojemności 120 l i 2500 l produkowanych z HDPE oraz ze stali. Korzystając z wymienionych założeń oraz opierając się na danych zawartych w (den Boer i in. 2005b) obliczono emisje oraz zużycie zasobów dla produkcji pojemników. Przewiduje się, że długość „życia pojemników” wynosi 10 lat

(den Boer i in. 2005b). Ponieważ analiza przeprowadzana jest na okres jednego roku, wartość emisji oraz zużycia zasobów przypadająca dla jednego roku będzie dziesięć razy mniejsza w porównaniu do całej produkcji.

Dla etapu transportu założono, że przewóz odpadów odbywa się przy wykorzystaniu samochodów zbudowanych na podwoziu samochodu ciężarowego, przystosowanych do zbiórki oraz wywozu odpadów komunalnych. Ładowność takiego pojazdu wynosi do 7000 kg. Założono, że każdy pojazd przejeżdża całą trasę maksymalnie raz dziennie, oraz że odpady odbierane są dwa razy w ciągu tygodnia. Korzystając z powyższych założeń oraz informacji zawartych w (den Boer i in. 2005b) określono emisje oraz zużycie zasobów powstałe w wyniku spalania paliwa w silnikach samochodów transportujących odpady.

Odpady pochodzą z terenu Niemiec. Transportowane są na teren spalarni, gdzie następnie oddziela się poszczególne frakcje, a pozostałe odpady resztkowe kierowane są do spalania. Domyślna charakterystyka rozpatrywanych odpadów resztkowych zawarta została w (den Boer i in. 2005b). Spalanie odbywa się w piecu rusztowym. Składniki palne transformowane są do spalin, natomiast materiały mineralne do żużla i popiołu. Spaliny następnie przechodzą przez szereg urządzeń, mających za zadanie je oczyścić. Wśród tych urządzeń należy wyróżnić elektrofiltr do odpylania gazów odlotowych, płuczkę do neutralizacji kwaśnych gazów oraz usuwania metali ciężkich, płuczkę do neutralizacji dwutlenku siarki, filtru z koksem aktywnym do usuwania dioksyn i furanów oraz urządzenia do selektywnej katalitycznej redukcji tlenów azotu (SCR).

Podczas odzysku metali z żużla otrzymuje się żelazo oraz aluminium. Proces ten jest energochłonny i wymaga wykorzystania energii elektrycznej. Wskaźnik zużycia tej energii nie jest jednak wysoki i wynosi 0,017 MJ/kg_{odpadów}. Według (den Boer i in. 2005b) z emisji powstających w wyniku odzysku metali istotny wpływ na analizę mają jedynie emisje kierowane do powietrza. Pozostałe emisje wykazują znikomy wpływ na środowisko, dlatego nie uwzględnia się ich w obliczeniach.

Do budowy dróg wykorzystuje się powstały w wyniku procesu żużel. Uwalnia on substancje szkodliwe do gleby przemysłowej. Do gleby przemysłowej również emitowane są substancje szkodliwe uwalniane z materiałów kierowanych na składowiska.

Na podstawie przedstawionych wyżej danych oraz informacji zawartych w (den Boer i in. 2005b) w pierwszej kolejności określono strumienie masowe spalin, żużla, popiołu oraz stałych pozostałości z oczyszczania spalin (tab. 1). Następnie dla kolejnych strumieni obliczono strumienie masowe poszczególnych substancji szkodliwych kierowanych do otoczenia.

1.3. Ocena wpływu na środowisko (*Life Cycle Impact Assessment – LCIA*)

Dysponując danymi będącymi rezultatem etapu LCI w następnej kolejności należało wybrać metodę oceny wpływu wyników badań na środowisko. W analizowanym przykładzie posłużono się metodą CML2001. Metoda ta opracowana została w Leiden w Holandii (Pikoń 2012). Jeroen Guinée w swojej książce, będącej podręcznikiem analiz LCA

TABELA 1. Wielkości związane z procesem spalania odpadów

TABLE 1. Summary of data associated with the waste incineration process

	Wartości dla jednego dnia	Wartości przypadające na rok
Strumień masowy odpadów na wejściu do pieca [kg/jedn.]	67 790,80	7 050 243,20
Strumień masowy żużla razem z popiołem z kotła [kg/jedn.]	12 337,93	1 283 144,26
Strumień masowy popiołu lotnego z oczyszczania spalin [kg/jedn.]	786,37	81 782,82
Strumień masowy stałych pozostałości pochodzących z oczyszczania spalin [kg/jedn.]	1 206,68	125 494,33
Strumień masowy Ca(OH) ₂ [kg/jedn.]	494,87	51 466,78
Strumień masowy koksu aktywnego [kg/jedn.]	216,93	22 560,78
Strumień masowy NH ₄ OH [kg/jedn.]	88,13	9 165,32
Strumień objętościowy spalin [m ³ /jedn.]	340 242,03	35 385 170,62
Strumień masowy spalin [kg/jedn.]	267 749,16	27 845 913,05
Gęstość spalin [kg/m ³]	0,7869	
Energia elektryczna netto [kWh/rok]	2 115 072,96	
Energia elektryczna brutto [kWh/rok]	2 148 365,78	
Ciepło [kWh/rok]	5 283 765,60	

zaleca, by podczas badań korzystać właśnie z tej metody (Guinée i in. 2001). Opiera się ona na punktach pośrednich, które są alternatywą dla punktów końcowych. Punkty końcowe stanowią rezultat oddziaływań ekologicznych. Punkty pośrednie natomiast analizują efekt bliższy wynikom LCI, w związku z tym obciążone są mniejszą niepewnością. W analizie uwzględniono elementy obowiązkowe, a ponadto normalizację i ważenie z elementów opcjonalnych.

Masy kolejnych substancji szkodliwych oraz wykorzystanych zasobów określonych w wyniku etapu LCI przemnożono przez odpowiednie wskaźniki charakteryzowania. W następnym kroku uzyskane iloczyny zsumowano, otrzymując wskaźniki kategorii wpływu będące rezultatem etapu charakteryzowania. Następnie otrzymane wskaźniki poddano normalizacji i ważeniu. Rezultaty badań zaprezentowano w tabeli 2.

Warto zwrócić uwagę, że wartości otrzymane po etapie ważenia są bezwymiarowe. Wynika to z faktu, że rezultaty otrzymane po etapie charakteryzowania czy normalizacji wyrażają jedynie ilościowo oddziaływanie na środowisko dla danej kategorii wpływu. Nie określają natomiast skali oddziaływania na środowisko dla kolejnych kategorii. Do tego celu służy etap ważenia, ale w konsekwencji otrzymane rezultaty badań nie wyrażają żadnej wielkości fizycznej, dlatego są bezwymiarowe.

TABELA 2. Wskaźniki kategorii wpływu po charakteryzowaniu, normalizacji oraz ważeniu

TABLE 2. The impact category indicators after characterization, normalization and weighting

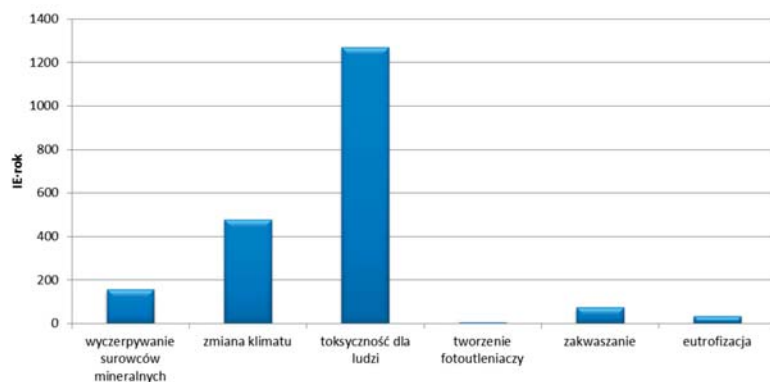
	Kategorie wpływu					
	wyczerpywanie surowców mineralnych	zmiana klimatu	toksyczność dla ludzi	tworzenie fotoutleniaczy	zakwaszanie	eutrofizacja
CHARAKTERYZOWANIE						
Jednostka	kg Sb _{eq}	kgCO _{2eq}	kg 1,4-DCB _{eq}	kg C ₂ H _{4eq}	kg SO _{2eq}	kg PO ₄ ³⁻ _{eq}
Zbieranie	849,84	93000,51	5330,64	21,57	324,67	27,12
Transport	4224,87	616726,97	73131,74	127,13	3547,35	752,66
Spalanie	-0,01	6 247 120,65	29 459 345,44	16,11	2 288,91	536,64
Razem	5 074,70	6 956 848,13	29 537 807,81	164,81	6 160,93	1 316,42
NORMALIZACJA						
Jednostka	IE*•rok	IE*•rok	IE*•rok	IE*•rok	IE*•rok	IE*•rok
Zbieranie	26,07	6,37	0,23	0,85	3,86	0,71
Transport	129,60	42,24	3,14	5,00	42,13	19,60
Spalanie	-0,0002	427,88	1 264,35	0,63	27,18	13,97
Razem	155,67	476,50	1267,72	6,49	73,17	34,28
WAŻENIE						
Zbieranie	26,07	19,11	0,46	0,85	7,71	1,41
Transport	129,60	126,72	6,28	5,00	84,26	39,20
Spalanie	-0,0002	1 283,65	2 528,70	0,63	13,59	27,95
Razem	155,67	1 429,49	2 535,43	6,49	105,56	68,56

* IE – Inhabitant Equivalent (równoważna liczba mieszkańców).

2. Omówienie otrzymanych wyników analizy

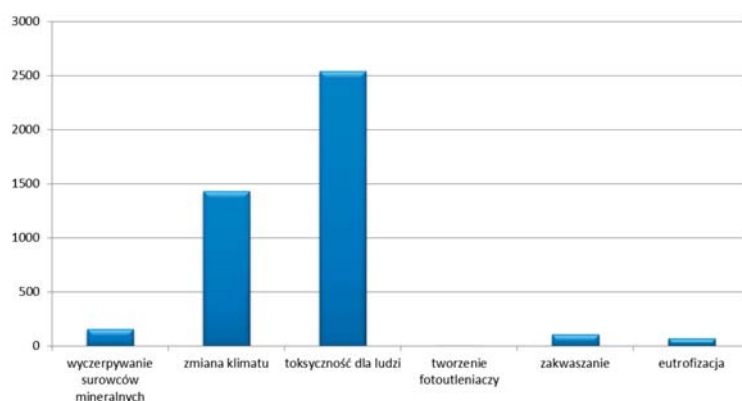
By lepiej zinterpretować otrzymane rezultaty badań, wyniki po etapie normalizacji i ważenia przedstawiono na rysunkach 2 i 3.

Na rysunku 2 można zaobserwować, że największa wartość emisji przypadająca na osobę w ciągu roku odnosi się do kategorii toksyczność dla ludzi. W drugiej kolejności klasyfikuje się kategoria zmiany klimatu, która przyjmuje wartość trzy razy mniejszą niż toksyczność dla ludzi. Najniższy poziom odnotowuje się dla kategorii tworzenia fotoutleniaczy.



Rys. 2. Znormalizowane wskaźniki kategorii wpływu dla analizowanego systemu wyrobu związanego z odpadami

Fig. 2. Normalized impact category indicators for the analyzed product system associated with waste



Rys. 3. Znormalizowane wskaźniki kategorii wpływu poddane ważeniu dla analizowanego systemu wyrobu związanego z odpadami

Fig. 3. Normalized impact category indicators subjected to weighting for the analyzed product system associated with waste

Rysunek 3 prezentuje, w jakim stopniu uzyskane rezultaty dla kolejnych kategorii wpływają na środowisko. W dalszym ciągu najwyższą wartość odnotowuje się dla kategorii toksyczność dla ludzi, ale jednocześnie zmniejszyła się dysproporcja występująca względem zmiany klimatu. Kategoria zmiany klimatu ma wyższą wagę oddziaływania na środowisko niż toksyczność dla ludzi.

Otrzymane wyniki warto porównać z innymi danymi. Norweski Uniwersytet Techniczny opublikował wyniki analizy LCA dla energetycznego wykorzystania biomasy w Norwegii (Melbye 2012). „Okres życia” jaki podlega analizie w przytoczonych badaniach to pozyskanie surowca, przygotowanie do spalania czyli np. peletyzacja, następnie proces spalania, przeznaczenie końcowe oraz transport. Podobne „etapy życia” były analizowane dla od-

padów. Zatem możliwym jest porównanie tych dwóch systemów wyrobów. Istotnym są również kategorie wpływu, które poddane zostały analizie. Niestety, dla obydwóch przypadków pokrywają się jedynie kategorie zmiany klimatu oraz zakwaszania. Zatem tylko dla tych dwóch kategorii można zestawić ze sobą wyniki. Jednocześnie wartości zaprezentowane dla norweskiego systemu wyrobu wyrażone są w $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ i $\text{kgSO}_{2\text{eq}}$ w odniesieniu do kWh wyprodukowanej energii. W związku z tym również dla naszego przypadku odpadów należało przedstawić wyniki w takich jednostkach. Otrzymane wyniki wyrażone w $\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$ oraz $\text{kgSO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}$ zestawiono z danymi norweskimi w tabeli 3.

TABELA 3. Zestawienie wskaźników jednostkowych dla elektrociepłowni opalanej biomasą oraz dla spalarni odpadów komunalnych pracującej w układzie elektrociepłowni

TABLE 3. The list of unit indicators for biomass fired CHP plant and for incineration plant working as a CHP plant

	Zmiana klimatu		Zakwaszanie	
	$\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}_{\text{el}}$	$\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}_{\text{th}}$	$\text{gSO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}_{\text{el}}$	$\text{gSO}_{2\text{eq}}/\text{kWh}_{\text{th}}$
Spalarnia odpadów komunalnych pracująca w układzie elektrociepłowni	3,289	1,317	2,9	1,2
Elektrociepłownia opalana biomasą (Melbye 2012)	0,050–0,231	0,050–0,231	0,00040–0,00056	0,00064–0,00080

Omawiając wskaźniki zawarte w tabeli 3 należy zwrócić uwagę, że rząd wielkości dla przypadku spalarni jest kilka razy większy niż dla elektrociepłowni opalanej biomasą. Różnica może wynikać z odmienności zastosowanych paliw. Dla odpadów naturalnym będzie, że emisje substancji szkodliwych są wyższe niż dla biomasy. Należy jednocześnie zaznaczyć, że dla analizowanego przypadku spalarni wskaźniki emisji w odniesieniu do jednostki energii określono opierając się na metodzie fizycznej podziału kosztów. Dla przypadku elektrociepłowni opalanej biomasą nie objaśniono natomiast alokacji podziału kosztów. W konsekwencji dane dla obydwóch przypadków mogły zostać uzyskane w różny sposób, więc mogą wyrażać różne wskaźniki.

Kolejne dane, które warto zestawić z uzyskanymi wynikami badań zaprezentowane zostały w publikacji (Varun i in. 2009). W pracy tej wykorzystując założenia analizy LCA określono m.in. emisje CO_2 związane z produkcją energii elektrycznej w elektrowni. Elektrownia ta współspala słomę lub drewno z węglem kamiennym w stosunku 1/10. W analizie oparto się na metodyce Eco-indicator 99. Uwzględniono te same „okresy życia” paliwa co dla analizowanego przypadku spalarni za wyjątkiem zagospodarowania materiałów powstałych w wyniku spalania. Wskaźniki wyrażono w gCO_2/kWh , w związku z tym również w takiej jednostce przedstawiono wyniki dla spalarni przy wykorzystaniu metody fizycznej podziału kosztu produkcji energii elektrycznej (tab. 4).

W tabeli 4 zaprezentowano wyniki badań dla spalarni pracującej w układzie elektrociepłowni oraz dla elektrowni współspalającej biomasę z węglem w udziale 10%.

TABELA 4. Zestawienie wskaźników jednostkowych dla spalarni odpadów komunalnych pracującej w układzie elektrociepłowni oraz elektrowni współspalanej biomasę w udziale 10% względem węgla kamiennego

TABLE 4. The list of unit indicators for incineration plant working as a CHP plant and power plant co-firing biomass in place of 10% share of hard coal

	Spalarnia odpadów komunalnych pracująca w układzie elektrociepłowni [kgCO _{2eq} /kWh _{el}]	Elektrownia współpalająca słomę w udziale 10% względem węgla kamiennego (Varun i in. 2009) [kgCO ₂ /kWh _{el}]	Elektrownia współpalająca drewno w udziale 10% względem węgla kamiennego (Varun i in. 2009) [kgCO ₂ /kWh _{el}]
Zmiany klimatu	3,289	0,037	0,035

Wspomniane dane odnoszą się do kategorii zmiany klimatu. Różnica w wynikach zaprezentowanych w tabeli 4 może wynikać z faktu, że uzyskany w badaniach dla spalarni wynik wyrażony jest w kgCO_{2eq}. Zatem w tym przypadku na wynik składają się emisje wszystkich gazów cieplarnianych wymienionych w Protokole z Kioto (Protokół z Kioto 2005) przeliczone na ekwiwalent CO₂. Dane z publikacji (Varun i in. 2009) wyrażone są w kgCO₂, zatem nie uwzględniają emisji innych gazów cieplarnianych za wyjątkiem CO₂. Przytoczone dane odnoszą się ponadto dla przypadku współspalania w elektrowni. W naszym przypadku wyniki odwołują się do spalania odpadów komunalnych w układzie elektrociepłowni. Zatem również z tych względów mogą wynikać rozbieżności w tabeli 4.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono analizę LCA energetycznego wykorzystania odpadów komunalnych. Przypadek ten odnosi się do spalarni pracującej w układzie elektrociepłowni. Uwzględniono etap zbierania odpadów, ich transport do spalarni, spalanie oraz wykorzystanie substancji pozostałych po procesie. Analiza oparta została na metodyce CML2001. Rozpatrzono kategorie wyczerpywania surowców mineralnych, zmianę klimatu, toksyczność dla ludzi, tworzenie fotoutleniaczy, zakwaszenie oraz eutrofizację. Przeanalizowano wszystkie elementy obowiązkowe analizy, a ponadto normalizację i ważenie z elementów opcjonalnych LCA. W następnym etapie porównano uzyskane wyniki odniesione do jednostki energii do danych zawartych w pozycjach literaturowych.

Rezultaty badań dla odpadów wskazują, że największe emisje przypadają dla kategorii toksyczność dla ludzi. Znaczące wartości odnotowuje się również dla zmiany klimatu. Wartości minimalne odnoszą się natomiast dla kategorii tworzenia fotoutleniaczy.

Odnosząc uzyskane wyniki badań dla odpadów do wskaźników literaturowych dla biomasy zwraca uwagę fakt, że za każdym razem rząd wielkości danych dla biomasy jest kilka razy mniejszy niż dla odpadów. Różnica może wynikać z wielu przyczyn. Naturalnym

jest, że w wyniku spalania odpadów emitowanych jest więcej substancji szkodliwych do otoczenia niż dla przypadku biomasy. W publikacji (Melbye 2012) nie objaśniono z jakiej metody podziału kosztów pomiędzy produkowaną energię elektryczną a ciepło skorzystano do wyrażenia przedstawionych wskaźników. Fakt ten również mógł mieć wpływ na wartości danych zawartych w (Melbye 2012). W pracy (Varun 2009) dane obejmowały jedynie emisje CO₂, bez uwzględnienia pozostałych gazów cieplarnianych. Prezentowały one wyniki dla elektrowni współspalającej biomasę z węglem kamiennym, natomiast przedstawione w pracy wyniki odnosiły się do spalarni odpadów komunalnych, pracującej w układzie elektrociepłowni. Reasumując – na różnice w wynikach dla odpadów oraz biomasy ma wpływ wiele czynników.

Literatura

- den BOER E., den BOER J., JAGER J., 2005a – Planowanie i optymalizacja gospodarki odpadami – Podręcznik prognozowania ilości i jakości odpadów komunalnych oraz oceny zgodności systemów gospodarki odpadami z zasadami zrównoważonego rozwoju. LCA-IWM, Wrocław.
- den BOER E., den BOER J., JAGER J., RODRIGO J., MENESES M., CASTELLS F., SCHANNE L., 2005b – Deliverable Report on D3.1 and D3.2: Environmental Sustainability Criteria and Indicators for waste management (Work Package 3) – The Use of Life Cycle Assessment Tool for the Development of Integrated Waste Management Strategies for Cities and Regions with Rapid Growing Economies LCA-IWM, Technische Universitaet Darmstadt, Universitat Rovira i Virgili, novaTec s.f r.l, Damstadt.
- GUINÉE J.B. i in., 2001 – Handbook on Life Cycle Assessment – Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- MELBYE A.M., 2012 – Life Cycle Assessment of Norwegian Bioenergy Heat and Power Systems. Norwegian University of Science and Technology, Department of Energy and Process Engineering.
- PIASKOWSKA-SILARSKA M., 2012 – Analiza możliwości pozyskania energii z odpadów komunalnych. *Polityka Energetyczna* t. 15, z. 4, s. 325–336.
- PIKOŃ K., 2012 – Abiotic depletion in energy and waste management systems. *Polityka Energetyczna* t.15, z. 1, s. 87–101.
- PROTOKÓŁ Z KIOTO do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzony w Kioto dnia 11 grudnia 1997r., Dz.U. z dnia 17 października 2005 r., Dz.U. 05.203.1684.
- VARUN, BHAT I.K., PRAKASH R., 2009 – LCA of renewable energy for electricity generation systems – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 1067–1073.

Maria BAŁAZIŃSKA

Life Cycle Assessment analysis combustion biomass and waste for energy use

Abstract

This paper presents a Life Cycle Assessment analysis of combustion of municipal waste in an incinerator plant. The study was performed for a city with a population of 250 thousand over a one year period. Research included examinations of waste collection, transportation, combustion, and utilization residues after combustion. The collection stage included emissions from the production of containers necessary for the waste collection. The stage of transportation included emissions from diesel combustion in the engines of vehicles carrying waste to the incineration plant. Afterwards, the waste was segregated at the incineration plant, and the non-recycleable remainder from sorted municipal waste were then directed for incineration. It is assumed that the combustion takes place in a grate furnace. Combustible components are transformed into flue gas, and minerals into slag and ash. Flue gas was cleaned in an installation with a variety of equipment including an electrostatic precipitator for dedusting of exhaust gases, a scrubber for acidic flue gas and heavy metals separation, a scrubber for neutralization of SO₂, a filter with a coke absorber, and a Selective Catalytic Reduction (SCR) for denitrification. The incineration plant produced electricity and heating. The analysis included recovery of metals from the slag. The remaining material which can be used is consigned for road construction, while the rest goes to landfill. Fly ash and solid residues from the cleaning of flue gas are directed to a hazardous materials landfill. The analysis was conducted using the CML2001 method. The study considered categories of mineral resources depletion, global warming, toxicity to humans, photochemical oxidation, acidification, and eutrophication. All obligatory elements were taken into account in addition to normalization and weighting of optional elements. The results are discussed and compared to existing documentation of indicators for biomass.

KEY WORDS: Life Cycle Assessment (LCA), incineration, municipal waste, biomass

