



COMPARATIVE ANALYSIS OF GREENHOUSE GAS (GHG) EMISSIONS OF SELECTED POLYMER PLASTERS USED IN FOOD INDUSTRIES

**Patrycja Baldowska-Witos
Andrzej Tomporowski**

*Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. J. i J. Śniadeckich w Bydgoszczy
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz
e-mail: patrycja.baldowska-witos@utp.edu.pl*

Abstract

Poland ranks sixth in Europe (behind Germany, Italy, France, Spain and England) in terms of demand for plastics, and the Polish plastics processing industry used in 2017 to produce about 3.5 million tons of polymer materials, in view of total demand in Europe estimated at approx. 51.5 million tons. It is assumed that Polish industry uses about 7% of total demand in Europe. In Poland, about 33% of the domestic demand for plastics is directed to the packaging industry. Along with the growing demand for plastics, packaging production and social consumption are increasing. The article presents the sources of greenhouse gas emissions from the food industry. An LCA (Life Cycle Assessment) analysis was carried out that identifies potential environmental burdens for the bottle forming process. The scope of work included selected stages of shaping bottles made of two types of PET and PLA polymer materials. The aim of the work was to demonstrate the impact of bottle production on the condition of the natural environment and to indicate the factors determining these influences.

Keywords: *emissions, PLA bottle, greenhouse effect, packaging, PET bottle*

1. Wstęp

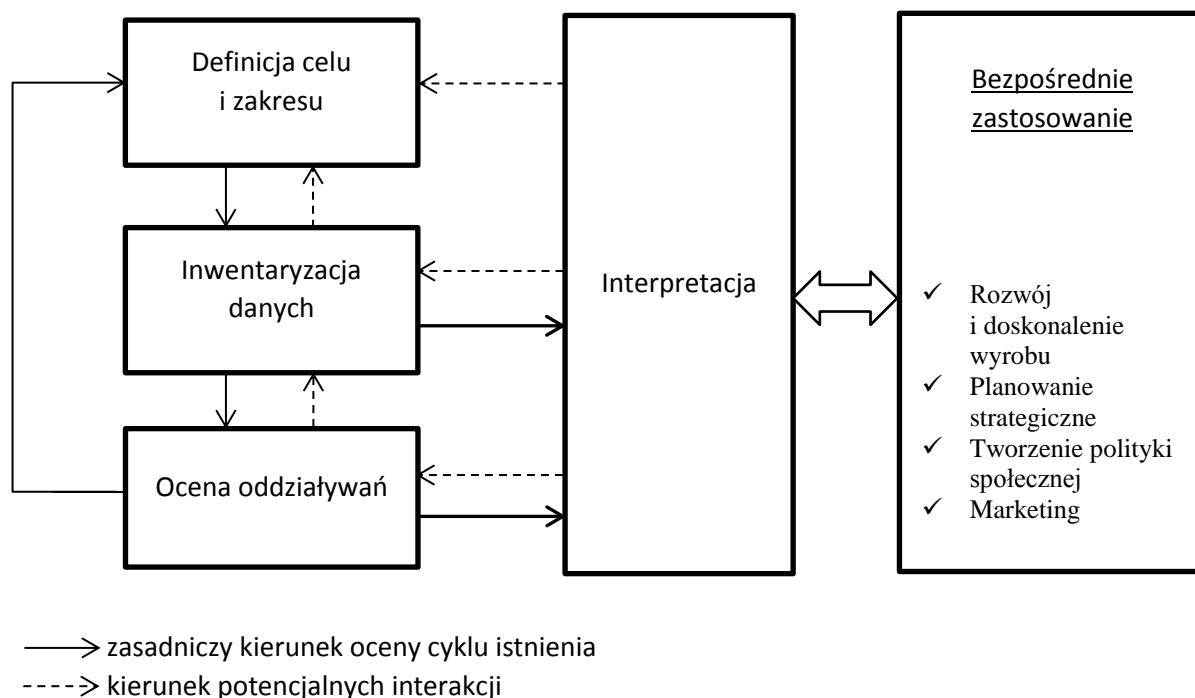
Zmiany klimatyczne są obecnie jednymi z najbardziej liczących się i skomplikowanych problemów w dziedzinie nauk środowiskowych [1]. Walka ze zmianami klimatu liczy blisko 40 lat. Już w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku wysnuto hipotezę, że wzrost stężenia CO₂ może mieć wpływ na klimat. Dlatego w 1979 roku zwołano w Genewie Pierwszą Światową Konferencję Klimatyczną. Ustanowiono wtedy pod auspicjami Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO), Programu Narodów Zjednoczonych ds. Środowiska (UNEP) i Międzynarodowej Rady Nauki, Światowy Program ds. Klimatu. Wezwano też państwa do przygotowania się na zmianę globalnego klimatu i na zagrożenia z tym związane [2]. Emisje dwutlenku węgla spowodowane spalaniem paliw kopalnych są najważniejszą przyczyną globalnego ocieplenia i zmian klimatycznych na świecie. Emisje gazów cieplarnianych na świecie stanowią 76% emisji CO₂.

Typowa butelka PET jest głównym zagrożeniem dla środowiska naturalnego ze względu na emisje dużej ilości związków, jej dalsze użytkowanie i utylizację. Szacuje się iż około 4% ropy naftowej w roku 2016 było przeznaczone do jej produkcji. Ponadto butelki stanowią realne zagrożenie ze względu na rosnące ilości odpadów. Szacuje się, iż około 7,2–14,1 mln ton odpadów z tworzyw sztucznych usuwanych na składowiska każdego roku stanowi 22–43% odpadów składowanych na składowiskach. Większość tworzyw sztucznych nie ulega biodegradacji, a zatem większość wytwarzanych polimerów utrzyma się przez dziesięciolecia, stulecia i prawdopodobnie tysiąclecia [3].

Kwas polimlekowy (PLA), plastikowy substytut wykonany ze sfermentowanej skrobi roślinnej (zwykle kukurydzy), szybko stał się popularną alternatywą dla tradycyjnych tworzyw sztucznych na bazie ropy naftowej. W upływie czasu coraz więcej krajów i państw podąża śladami Chin, Irlandii, RPA, Ugandy i San Francisco postulując za wprowadzeniem zakazu użytkowania plastikowych toreb na zakupy odpowiedzialnych za tak wiele tak zwanych „białych zanieczyszczeń” na całym świecie. PLA będący surowcem naturalnym jest doskonałym biodegradowalnym zamiennikiem. Zwolennicy zachwalają również wykorzystanie PLA który jest technicznie „neutralny pod względem emisji dwutlenku węgla”, ponieważ pochodzi z odnawialnych, pochłaniających węgiel roślin - jako kolejny sposób na zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych w szybko ocieplającym się świecie [2, 10,11].

2. Materiał i metody badań

Zestaw międzynarodowych standardów Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej (ISO) został wykorzystany jako wytyczne dla systematycznego podejścia i prowadzenia badań. Ramy tego badania określono zgodnie z wytycznymi norm ISO 14040. Cel i zakres definicji problemu oraz analiza inwentaryzacji zostały sformułowane i przeprowadzone zgodnie z zaleceniami norm serii ISO 14040. LCA i interpretację przeprowadzono zgodnie z ISO 14044 odpowiednio, a ISO 14049 wykorzystano do opracowania funkcji, rozróżnienia funkcji systemów porównawczych, ustanowienia danych wejściowych i wyjściowych procesów jednostkowych i granic systemu [4]. Istnieją cztery fazy oceny cyklu życia: określenie celu i zakresu, analiza zbioru (inwentaryzacja danych), ocena oddziaływań, interpretacja [5].



Rys. 1. Fazy oceny cyklu życia

Ekologiczna ocena cyklu życia polega na zweryfikowaniu i oszacowaniu powiązanych z działaniem organizacji obciążeń dla środowisko naturalne. Ocenie podlegają obszary

związane całym procesem produkcyjnym. Szacuje się potencjalne wpływy tych obciążeń, a także określa sposoby ich ograniczenia.

W celu przeprowadzenia badań wykorzystano metodę IMPACT 2002+, stanowiącą połączenie czterech metod LCIA: IMPACT 2002+, Ecoindicator 99/E, CML oraz IPCC przy użyciu programu SimaPro™ wersja 8.4.0. Jako bazę danych wykorzystano Ecoinvent w wersji 3.3. Cechą tej metody jest fakt, że zidentyfikowane kategorie wpływu (emisja substancji rakotwórczych, emisja niekancerogenów, emisja substancji nieorganicznych powodujących choroby układu oddechowego, promieniowanie jonizujące, zubożenie warstwy ozonowej, emisja substancji organicznych powodujących choroby układu oddechowego, zatrucie zasobów wodnych substancjami toksycznymi, zatrucie zasobów glebowych substancjami toksycznymi, zakwaszenie/zatrucie zasobów glebowych, wykorzystanie i degradacja terenu, zakwaszenie zasobów wodnych, eutrofizacja zasobów wodnych, potencjał cieplarniany, energia produkowana ze źródeł nieodnawialnych, wyczerpywanie zasobów mineralnych) są następnie grupowane w cztery kategorie szkody takie jak zdrowie ludzkie, jakość ekosystemów, zmiany klimatu, wyczerpywanie zasobów. Ponieważ Impact 2002+ jest metodą kombinowaną wykorzystano ją do oszacowania emisji związków dwutlenku węgla, tlenków siarki, tlenków azotu, amoniaku, tlenków siarki (IV) oraz tlenku węgla do powietrza [5]. Opracowana przez Międzynarodowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC) metoda IPCC (*carbon footprint*) służy do przedstawienia wpływu produktów na emisje gazów cieplarnianych. Metoda IPCC umożliwia ilościową ocenę wpływu poszczególnych gazów cieplarnianych (GHG — *greenhouse gases*) na efekt cieplarniany, w odniesieniu do CO₂, w przyjętym horyzoncie czasowym 100 lat. Wskaźnik oceny wpływu na efekt cieplarniany odniesiony do dwutlenku węgla wynosi 1 (GHG =1) [5,6,7,9].

W przypadku dokonywanej oceny wpływu na środowisko za jednostkę funkcjonalną przyjęto 1000 sztuk produkowanych butelek o pojemności 500 ml. Analiza zbioru w cyklu życia polega na zebraniu danych i dobraniu procedur obliczeniowych, określa wejścia i wyjścia dla badanego wyrobu w czasie jego cyklu życia. Jako granicę systemu przyjęto pobór surowca do pieca nagrzewania oraz proces wstępnego wydmuchu, wydmuch właściwy, odgazowanie i chłodzenie butelki. Poza granicami systemu pozostaje produkcja surowca, transport oraz utylizacja.

3. Wyniki badań

Źródła emisji gazów dla wszystkich wymienionych etapów kształtowania butelek przedstawiono w tabeli 1. Wykazano, że głównym gazem pochodzącym z produkcji butelek wykonanych z PET i PLA był dwutlenek węgla. W zakresie tych oddziaływań środowiskowych widoczna jest dominacja końcowych etapów kształtowania butelek. Na podstawie szczegółowej analizy cyklu życia określono czynniki determinujące emisje gazów. W procesie kształtowania butelek odnotowano największy wskaźnik emisji gazów dla butelek wykonanych z materiału biodegradowalnego, mniejszy natomiast dla butelek wykonanych z PET.

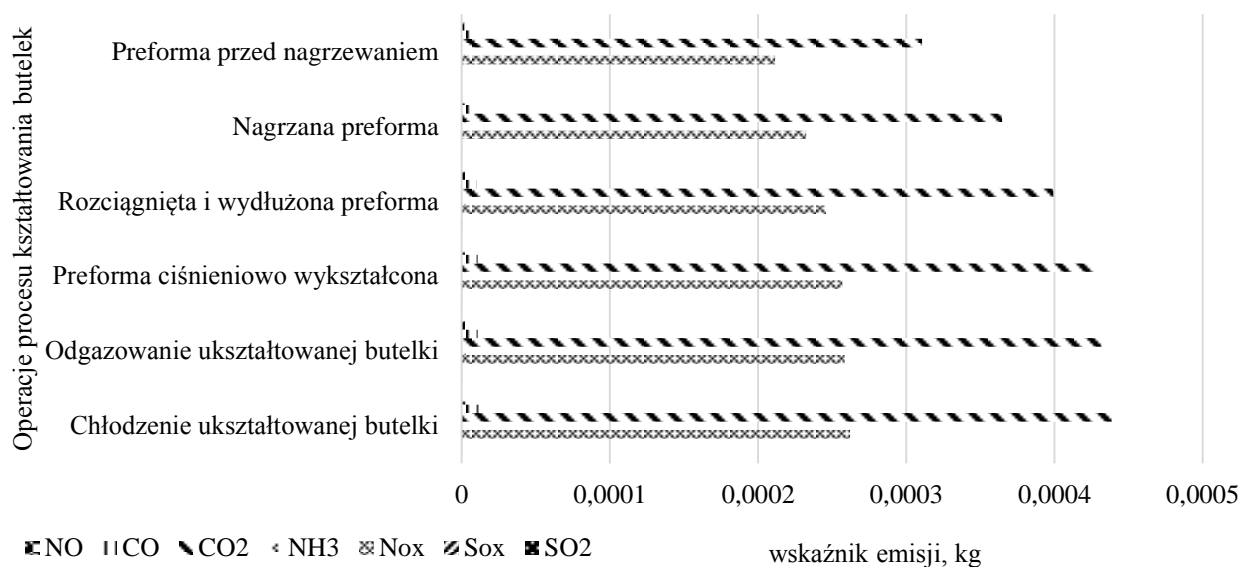
Tab. 1. Wyniki badań emisji dwutlenku węgla do środowiska naturalnego w procesie kształtowania butelek do napojów

Wskaźnik emisji w kg	PREFORMY PET	PREFORMY PLA
Pobór surowca		
CO ₂	0	0,004041007

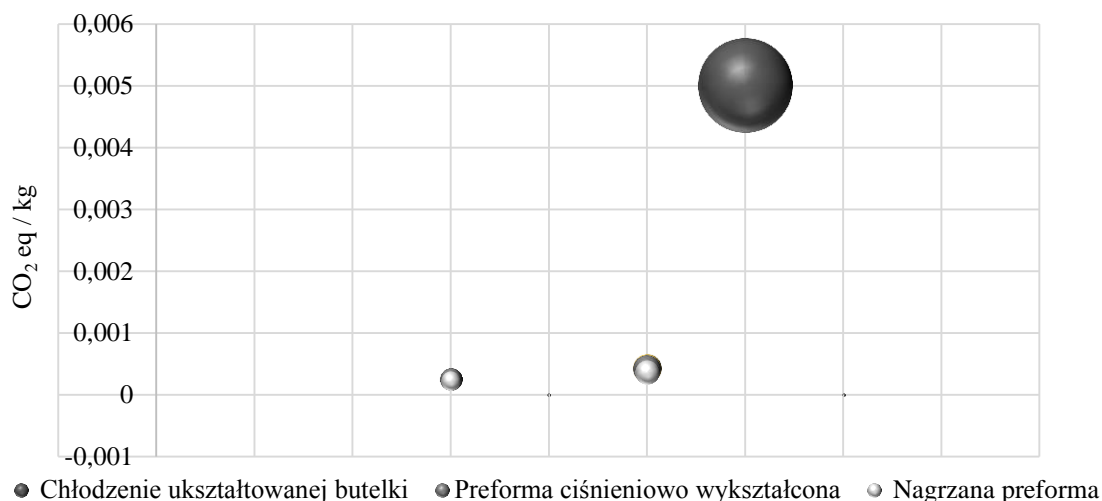
SO _x	1,94397E-09	1,67815E-09
NO _x	0,000211559	0,000207507
NH ₃	2,17501E-06	6,87151E-05
SO ₂	0,000310567	0,000313509
CO	7,73792E-06	9,12021E-06
Nagrzewanie preform		
CO ₂	4,83942E-09	0,005400595
SO _x	1,96541E-09	1,70588E-09
NO _x	0,000232498	0,000229347
NH ₃	2,46021E-06	6,93443E-05
SO ₂	0,000364713	0,000369093
CO	9,09842E-06	1,05227E-05
Rozciąganie i wydłużanie preformy		
CO ₂	4,83942E-09	0,006414
SO _x	1,97774E-09	1,72E-09
NO _x	0,000245788	0,000245
NH ₃	2,64164E-06	6,96E-05
SO ₂	0,000399228	0,00041
CO	9,96541E-06	1,15E-05
Preforma ciśnieniowo wykształcona		
CO ₂	4,84427E-09	0,007265668
SO _x	1,98967E-09	1,73771E-09
NO _x	0,000256736	0,000258749
NH ₃	2,79039E-06	6,9946E-05
SO ₂	0,000427419	0,000444764
CO	1,06735E-05	1,24273E-05
Odgazowanie ukształtowanej butelki		
CO ₂	4,84427E-09	0,007404406
SO _x	1,99125E-09	1,73971E-09
NO _x	0,000258437	0,000260903
NH ₃	2,81361E-06	6,99754E-05
SO ₂	0,000431837	0,000450359
CO	1,07845E-05	1,25678E-05
Chłodzenie ukształtowanej butelki		
CO ₂	0,000438617	0,007617014
SO _x	2,02224E-09	1,77145E-09
NO _x	0,000261975	0,000265092
NH ₃	2,86798E-06	7,00386E-05
SO ₂	4,84427E-09	0,000458817
CO	1,11087E-05	1,29349E-05

W wyniku prowadzonych badań podjęto próbę oszacowania wielkości emisji związków do środowiska naturalnego. W przypadku kształtowania butelek wykonanych z politereftalanu etylenu najwyższą wartość emisji dwutlenku węgla uzyskano dla procesu chłodzenia 0,000438617 kg CO₂ eq / 1000 sztuk ukształtowanych butelek, rys. 1. Nieznacznie wyższą emisję odnotowano dla butelki wytworzonej z polilaktydu uzyskując wartość emitowanego CO₂ na poziomie 0,007617014 kg CO₂ eq / 1000 sztuk ukształtowanych butelek, rys. 3.. W przypadku produkcji butelek wykonanych

z politereftalanu etylenu emisja tlenków azotu wzrastała dla wszystkich operacji procesu kształtowania butelek, przy czym najniższą wartość emisji odnotowano dla procesu nagrzewania 0,000211559 kg NO_x / 1000 sztuk preform, najwyższą natomiast dla procesu chłodzenia 0,000261975 kg NO_x / 1000 sztuk butelek. Analizując proces kształtowania butelki wytworzonej ze źródeł odnawialnych nie zaobserwowano zwiększonej emisji tlenków azotu, a ich udział do powietrza wynosił około 0,000265092 kg NO_x / 1000 sztuk butelek.



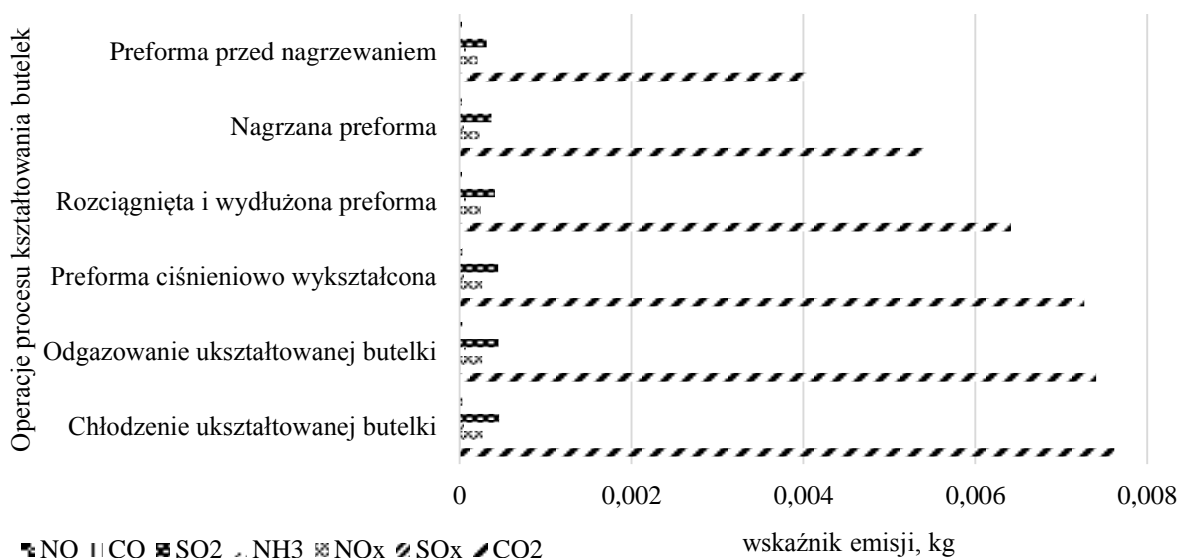
Rysunek 1 Emisja związków w procesie kształtowania butelek PET



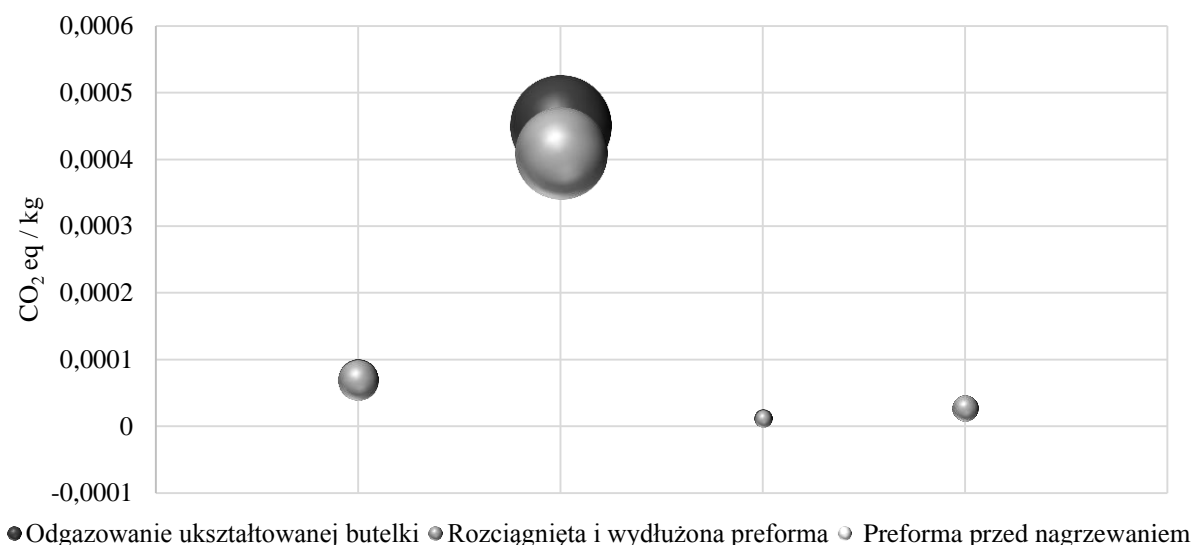
Rysunek 2 Wielkość emisji dwutlenku węgla w procesie kształtowania butelki PET

W celu przygotowania analizy porównawczej emisji CO₂ do środowiska naturalnego zauważono, iż największą ilość emisji gazów odnotowano dla operacji chłodzenia ukształtowanej butelki PET, co związane jest w dużej mierze z warunkami prowadzonego procesu oraz dodatkowo wykorzystanym czynnikiem chłodzącym, jakim jest woda rys. 2.. Analizując przebieg procesu kształtowania butelek biodegradowalnych największe emisje CO₂ zarejestrowano dla procesu odgazowania ukształtowanej butelki. Wartość ta determinowana jest warunkami w jakich prowadzony jest proces uplastyczniania polilaktydu.

Zwiększona moc procesu odgazowania uzasadnia konieczność dostarczenia większej ilości energii elektrycznej oraz ilości sprężonego powietrza rys. 4..



Rysunek 3 Emisja związków w procesie kształtowania butelek PLA



Rysunek 4 Wielkość emisji dwutlenku węgla w procesie kształtowania butelki PLA

4. Wnioski i podsumowanie

Ocena środowiskowa cyklu kształtowania butelek do napojów pozwoliła stwierdzić, iż na etapie poboru preform wskaźnik emisji gazów determinowany jest ilością zużytego surowca, natomiast

w mniejszym stopniu ilością zużytej energii elektrycznej. Na etapie nagrzewania oraz wstępnego wydmuchu wskaźnik emisji wiązany jest z wykorzystywanym źródłem promieniowania podczerwieni służącym do dostatecznego rozgrzania preformy oraz stosowanego w procesie kształtowania ilości sprężonego powietrza. Na etapie odgazowania i chłodzenia gotowego produktu wskaźnik emisji gazów determinowany jest użytymi w

procesie mediami niezbędnymi do prawidłowego przebiegu procesu kształtowania butelek do napojów.

Wyniki LCA pokazały, iż zarówno butelka wykonana z materiału biodegradowalnego oraz butelka pochodząca ze źródeł nieodnawialnych stanowią realne zagrożenie dla środowiska naturalnego.

Zaleca się przeprowadzenie dalszych badań produkcji butelek wytwarzanych z łączonych materiałów PLA i PET pochodzącego z recyklingu, w celu ustalenia czy można by wyprodukować bardziej zrównoważoną butelkę PET, jeśli poddana recyklingowi żywica PET i zwykła żywica PET zostały by zmieszane w określonych ilościach. Wniosek jest niepewny, ponieważ przyjęte w pracy granice systemu ograniczyły ilości obciążeń środowiskowych. W rezultacie przyszłe badania powinny koncentrować się na: 1) poprawie dostępności i niezawodności danych LCA; 2) opracowaniu bardziej szczegółowych scenariuszy wpływów i szkód środowiskowych; 3) określeniu wskaźników dla powstających braków w procesie produkcji; 4) włączeniu analiz ekonomicznych w celu stworzenia solidniejszego i bardziej kompleksowego, zrównoważonego portfela dla butelek wytwarzanych z surowców biodegradowalnych i nie biodegradowalnych.

Literatura

- [1] Bezyk, Y., *Trendy i prognozy emisji wybranych gazów cieplarnianych w Europie*, TRENDS, no. June, 2015.
- [2] Olkuski T., *Wpływ handlu uprawnieniami do emisji CO₂ w Unii Europejskiej na przeciwdziałanie zmianom klimatu*, Polityka Energ. - energy policy J., vol. 18, no. 3, pp. 87–98, 2015.
- [3] Horowitz N., Frago J., Mu D., *Life cycle assessment of bottled water: A case study of Green2O products*, Waste Management, vol. 76, pp. 734–743, 2018.
- [4] Madival S., Auras R., Singh S. P., Narayan R., *Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology*, J. Clean. Prod., vol. 17, no. 13, pp. 1183–1194, 2009.
- [5] Grzesik K., *Wprowadzenie do oceny cyklu życia (LCA) – nowej techniki w ochronie środowiska*, Inżynieria środowiska / Akad. Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, vol. 11, no. 1, pp. 101-113, 2006.
- [6] Goglio P. et al., *A comparison of methods to quantify greenhouse gas emissions of cropping systems in LCA*, J. Clean. Prod., vol. 172, pp. 4010–4017, 2018.
- [7] Malinauskaite J. et al., *Municipal Solid Waste Management and Waste-to-Energy in the Context of a Circular Economy and Energy Recycling in Europe*, Energy, vol. 141, 2017.
- [8] Czaplicka-Kolarz K., Burchart-Korol D., Korol J., *Zastosowanie analizy cyklu życia i egzergii do oceny środowiskowej wybranych polimerów*, Polymers, vol. 58, no. 7–8, pp. 605–609, 2013.
- [9] Cellura M., Cusenza M.A., Longo S., *Energy-related GHG emissions balances: IPCC versus LCA*, Science of the Total Environment, pp. 628–629, 2018.
- [10] <https://www.plastech.pl/wiadomosci/Najnowsze-dane-o-branzy-tworzyw-sztucznych-w-Polsce-12787>.
- [11] <https://www.thoughtco.com/pros-cons-corn-based-plastic-pla-1203953>.