

Delfina Rogowska, Kamil Berdechowski
Institut Nafty i Gazu, Kraków

Ocena wpływu sposobu alokacji emisji w procesie produkcji biopaliwa na wartość emisji gazów cieplarnianych

Wstęp

Polska, podobnie jak inne kraje członkowskie UE, zobligowana jest do wdrożenia postanowień dyrektyw unijnych, w tym dyrektywy 2009/28/WE promującej odnawialne źródła energii (dyrektywa RED) [1]. Jest to obszerny dokument, w którym sporo miejsca poświęcono ocenie biopaliw i biopłynów oraz konieczności wykazania, że spełniają one kryteria zrównoważonego rozwoju. Poświadcze-

niem tego faktu ma być uzyskanie przez dostawcę stosownego certyfikatu w ramach wybranego systemu certyfikacji. Jednym z elementów audytu jest ocena wyznaczenia wartości emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia. Poprawność wyznaczenia tej wartości jest więc niezwykle istotna, a wpływa na to wiele czynników, w tym sposób alokacji emisji GHG, jak i wykorzystane narzędzia obliczeniowe.

Alokacja emisji GHG w procesie produkcji biopaliwa

Podczas produkcji biopaliw oprócz produktu głównego powstają również produkty uboczne oraz odpady. Zgodnie z metodyką podaną w dyrektywie RED, emisję GHG powstałą podczas produkcji alokuje się do produktu głównego oraz produktów ubocznych. Emisji nie alokuje się do odpadów, dzięki temu, jeśli są one wykorzystywane do innych celów (np. energetycznych), przyjmuje się, że wielkość emisji dla etapu wytwarzania równa jest zero. Sposób „rozdzielenia” powstałej emisji GHG pomiędzy produkowane biopaliwo i produkty uboczne będzie miał wpływ na końcowy wynik zdolności biopaliwa do redukcji emisji gazów cieplarnianych.

Dane literaturowe podają kilka sposobów przeprowadzenia alokacji [4]:

- alokacja na bazie wielkości fizycznych (masa, zawartość energii),
- alokacja na bazie wielkości ekonomicznych,
- alokacja na bazie rozbudowanego systemu.

Pierwsza, najbardziej popularna metoda alokacji bazuje na „przypisaniu” emisji GHG do poszczególnych produk-

tów i produktów ubocznych proporcjonalnie do ich uzysków (w oparciu o bilans masowy lub energetyczny). Według danych literaturowych, przy zastosowaniu tej metody dla obliczeń prowadzonych przez różne ośrodki uzyskano podobne współczynniki alokacji dla etanolu [4]. Dla technologii wykorzystującej mielenie mokre współczynniki alokacji dla etanolu wynosiły od 48 do 51%, a przy mieleniu suchym – od 49 do 51% [4].

W przypadku przyjęcia metody alokacji bazującej na energii możliwe są dwa podejścia: pierwsze bierze pod uwagę zawartość energii w produktach, drugie – ilość energii zużytej do wyprodukowania etanolu. Według K. Kordera [4], obliczanie emisji GHG w oparciu o metodę alokacji energii przebiega według następującego schematu: w pierwszej kolejności szacowana jest całkowita zawartość energii oraz emisja dla wyprodukowanego etanolu i produktów ubocznych, następnie określany jest udział energetyczny poszczególnych produktów w oparciu o ich uzysk i zawartość energii, a w ostatnim „kroku” – całkowita energia i emisja powstała w procesie produkcji etanolu

oraz w wyniku działalności związanej z pozyskaniem surowca dzielona jest według uprzednio obliczonych udziałów. Z szacunków przeprowadzanych w różnych ośrodkach badawczych wynika, że alokacja emisji GHG do etanolu produkowanego z ziaren kukurydzy, przeprowadzana na bazie zawartości energii w produktach, dla technologii mielenia na sucho wynosi 61%, a dla mokrego mielenia – 57%. W przypadku alokacji bazującej na zużytej energii i technologii stosującej mielenie na sucho wartość ta wynosi 59%, natomiast 64% dla mielenia mokrego [4].

Najmniej stabilne i mało porównywalne wyniki uzyskuje się stosując metodę alokacji na bazie wielkości ekonomicznych. W tym przypadku największe znaczenie odgrywają ceny zarówno surowca, jak i produktów ubocznych, które są różne w zależności od regionu świata czy polityki gospodarczo-fiskalnej danego kraju [4].

Według danych literaturowych, alokacja przeprowadzona metodą rozbudowanego systemu funkcjonuje pod wieloma nazwami: *avoiding allocation method*, *system expansion* (w ISO), *substitution*, *displacement* czy *replacement method* [4]. Jest ona szeroko stosowana szczególnie przez naukowców z USA. Według założeń tej metody, granice systemu rozszerzane są tak, aby objąć również produkty alternatywne. Do obliczeń włączana jest również inna działalność niezwiązana z cyklem życia ocenianego produktu. W pierwszej kolejności określone są: ilość produkowanego etanolu oraz wszystkich produk-

tów ubocznych. Następnie identyfikowane są inne produkty znajdujące się na rynku, które mogą być zastąpione przez produkty uboczne powstające w trakcie produkcji etanolu. W trzecim „kroku” określany jest stosunek, w jakim dane produkty mogą być zastąpione przez produkty uboczne z wytwarzania etanolu. W kolejnym „kroku” określone są obciążenia dla środowiska powodowane przez produkty, które można zastąpić, a następnie zauważa się, że określone obciążenia pomniejszają wpływy na środowisko, w ścieżce życia etanolu. Przykładem takiego podejścia może być produkcja etanolu, gdzie jednym z produktów ubocznych jest podestylacyjny susz zbożowy – DDGS (*Dried Distillers Grains with Solubles*), który może zastąpić mączkę sojową stosowaną jako pasza dla zwierząt sektora rolnego. Obciążenia środowiska powstałe przy produkcji mączki sojowej mogą pomniejszyć wartość obciążeń towarzyszących produkcji etanolu [4].

Dla oceny wrażliwości wyników przyjętej metody alokacji, w ramach niniejszego opracowania, na dwóch wybranych przykładach dokonano obliczeń emisji GHG przy przyjęciu metody alokacji na podstawie udziałów masowych, energetycznych oraz finansowych. W pierwszym przypadku przedmiot oceny stanowiła instalacja do produkcji FAME z oleju palmowego, natomiast w drugim – zakład produkujący etanol paliwowy z kukurydzy.

Ocena wpływu sposobu alokacji emisji w procesie produkcji biopaliwa na wartość emisji gazów cieplarnianych w produkcji FAME

W celu przedstawienia różnych sposobów alokacji emisji gazów cieplarnianych wybrano instalację do produkcji estrów metylowych kwasów tłuszczowych. Surowcami w procesie są rafinowany olej palmowy i metanol, zaś produktami: FAME i gliceryna. Szczegółowy bilans materiałowy instalacji umieszczono w tabeli 1. Dane do bilansu zaczerpnięto z literatury [3].

Bilans energetyczny omawianej instalacji przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Bilans materiałowy transestryfikacji oleju palmowego

	Bilans masowy godziny procesu [t]	Bilans masowy rocznego cyklu pracy (8 000 godzin) [t]
WEJŚCIE		
Rafinowany olej palmowy	12,514	100 112
Metanol	1,536	12 288
Wodorotlenek sodu	0,129	1 032
Woda	0,370	2 960
Kwas ortofosforowy	0,012	96
WYJŚCIE		
Estry metylowe kwasów tłuszczowych czystość > 98 (% m/m)	12,51	100 080
Faza glicerynowa czystość > 93 (% m/m)	1,202	9 616

Tablica 2. Energia elektryczna i ciepła wykorzystywana w ciągu rocznego cyklu

Medium energetyczne	Bilans energetyczny rocznego cyklu (8 000 godzin) [GJ]
Energia elektryczna	24 080
Para grzewcza średniociśnieniowa	65 880
Para grzewcza niskociśnieniowa	25 380
Suma pary grzewczej	91 260

Ze względu na to, że w procesie transestryfikacji oprócz głównego produktu, jakim jest FAME, powstaje także produkt uboczny – gliceryna, konieczne jest przeprowadzenie alokacji, tj. przypisania odpowiedniej wielkości emisji dla każdego z produktów.

Alokacja na podstawie bilansu masowego

Jednym ze sposobów alokacji emisji GHG może być przeprowadzenie alokacji na podstawie bilansu masowego. Uwzględnia się wówczas ilości poszczególnych produktów wyrażone w jednostkach masy i na podstawie udziałów

masowych poszczególnych produktów przypisuje się im odpowiednią wielkość emisji. Alokację na podstawie udziałów masowych dla omawianego procesu przedstawiono w tablicy 3.

Tablica 3. Alokacja na podstawie bilansu masowego instalacji

Produkt	Produkcja roczna [t]	Sumaryczna masa produktów	% przypisanej emisji
FAME	100 080	109 696	91,2
Gliceryna	9 616		8,8

Alokacja na bazie zawartości energii

Kolejnym sposobem alokacji emisji gazów cieplarnianych jest alokacja w oparciu o zawartość energetyczną produktów. W tym celu należy uwzględnić w obliczeniach wartości opałowe wszystkich produktów. Procedurę alokacji omawianym sposobem przedstawiono w tablicy 4. Wartości opałowe do obliczeń zaczerpnięto ze

źródeł literaturowych [7] i [8]. Przedstawione dwa sposoby alokacji emisji GHG dają odmienne wyniki. Ponad dwukrotnie wyższa wartość opałowa FAME przyczynia się do przypisania mu większego udziału emisji gazów cieplarnianych w przypadku wybrania drugiego wariantu obliczeniowego.

Tablica 4. Alokacja emisji z uwzględnieniem wartości opałowych produktów

Produkt	Produkcja roczna [t]	Wartość opałowa [GJ/t]	Energia zawarta w produkcie [GJ]	Całkowita energia w produktach [GJ]	% przypisanej emisji
FAME	100 080	37,7	3 773 016	3 946 104	95,6%
Gliceryna	9 616	18,0	173 088		4,4%

Alokacja finansowa

Innym sposobem alokacji emisji GHG może być alokacja finansowa. Wówczas emisję generowaną podczas procesu rozdziela się pomiędzy produkty, uwzględniając ich rynkową wartość. Wartość rynkową FAME zaczerpnięto z pozycji literaturowej [12], natomiast cenę gliceryny ze źródła [2]. Obie wartości pochodzą z dnia 26 września 2012 r. W celu przedstawienia wartości rynkowej FAME

w PLN za tonę, przyjęto, że jego gęstość wynosi 875 kg/m³. Wyniki alokacji finansowej przedstawia tablica 5.

Oszacowana emisja gazów cieplarnianych dla głównego produktu, jakim jest FAME, zależy od sposobu przeprowadzenia alokacji. Najmniejsza emisja została przypisana do FAME w przypadku zastosowania alokacji finansowej. Wynika to z wysokiej ceny gliceryny w stosunku

Tablica 5. Alokacja emisji z uwzględnieniem rynkowej wartości powstałych produktów

Produkt	Produkcja roczna [t]	Wartość [PLN/tona]	Wartość produktu [PLN]	Całkowita wartość [PLN]	% przypisanej emisji
FAME	100 080	4 425 zł/m ³ (5057 zł/tonę)	506 104 560	572 320 336	88,4
Gliceryna	9 616	6 886	66 215 776		11,6

do ceny bioestru. Jeżeli alokacja została by przeprowadzona w oparciu o wartości opałowe, sytuacja uległaby zmianie. Ze względu na niską wartość opałową gliceryny, do FAME zostanie przypisana o ponad 7% większa emisja niż w przypadku alokacji finansowej. W wyniku alokacji na podstawie samego bilansu masowego, bez uwzględniania wartości rynkowej lub kaloryczności, przypisano 91,2% emisji do FAME oraz 8,8% do gliceryny. Jest to wynik pośredni pomiędzy alokacją finansową a alokacją uwzględniającą wartości opałowe produktów.

Etap produkcji biokomponentu/przetwarzania biomasy jest tylko jednym z etapów w cyklu życia biopaliw. Na wynik końcowy wpływ mają również wartości emisji GHG wygenerowane przez pozostałe ogniwa łańcucha dostaw. Dla oceny wpływu przyjętego sposobu alokacji emisji GHG na etapie produkcji na wartość końcową

przeprowadzono niższe obliczenia. Oparto się w nich na wartościach emisji GHG (w przeliczeniu na GJ energii zawartej w biopaliwie) przedstawionych w kalkulatorze Biograce¹. W tablicy 6 podano zawarte tam wartości.

Według Biograce, współczynnik alokacji emisji do FAME dla etapu estryfikacji wynosi 95,7% i jest bardzo bliski wynikowi wyznaczonemu w ramach niniejszego opracowania (wartość 95,6% podana w tablicy 4). Wyniki obliczeń emisji GHG dla biodiesla z oleju palmowego, na podstawie danych literaturowych [3] z wykorzystaniem różnych współczynników alokacji dla etapu transestryfikacji, przedstawiono w tablicy 7. W obliczeniach przyjęto, że

¹ <http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/excelghg-calculations>

Tablica 6. Wartości emisji GHG dla poszczególnych etapów w cyklu życia biodiesla produkowanego z oleju palmowego – g CO₂ eq/MJ_{FAME}

Etap	Wynik bez uwzględnienia alokacji	Współczynnik alokacji [%]	Wynik po uwzględnieniu alokacji	Suma	Wartość standardowa według RED
Etap uprawy e_{ec}				14,3	14,00
Uprawa	15,68	91,0	14,28		14,26
Magazynowanie	0,00	91,0	0,00		0,00
Przetwarzanie biomasy e_p				49,4	49,00
Ekstrakcja oleju	34,64	91,0	31,54		31,53
Rafinacja oleju	1,06	95,7	1,02		17,88
Estryfikacja	17,61	95,7	16,84		
Transport e_{td}				5,0	5,00
Transport owoców palmy	0,21	91,0	0,19		0,19
Transport oleju	3,71	95,7	3,55		3,55
Transport FAME	0,82	100,0	0,82		0,83
Stacja paliwowa	0,44	100,0	0,44		0,44
Emisja spowodowana zmianą sposobu użytkowania gruntu e_1	0,00	91,0	0,0	0,0	0,00
Bonus (rekultywacja terenów zdegradowanych)	0,00	100,0	0,0	0,0	0,00
$e_{sca} + e_{ccr} + e_{ccs}$	0,00	100,0	0,0	0,0	0,00
Suma	74,2			68,7	68,00

Tablica 7. Emisja GHG w cyklu życia oleju palmowego z uwzględnieniem różnych współczynników alokacji emisji dla etapu transestryfikacji

Etap	Dane Biograce			Na podstawie zawartości energii*			Na podstawie udziałów masowych**			Na podstawie alokacji finansowej***			
	Wynik bez uwzględnienia alokacji	Współczynnik alokacji [%]	Wynik po uwzględnieniu alokacji	Udział emisji GHG [%]	Współczynnik alokacji [%]	Wynik po uwzględnieniu alokacji	Udział emisji GHG [%]	Współczynnik alokacji [%]	Wynik po uwzględnieniu alokacji	Udział emisji GHG [%]	Współczynnik alokacji [%]	Wynik po uwzględnieniu alokacji	Udział emisji GHG [%]
Etap uprawy e_{ec}													
Uprawa	15,68	91,00	14,3	20,78	91,00	14,27	20,78	91,00	14,27	21,03	91,00	14,27	21,23
Magazynowanie	0,00	91,00	0,0	0,00	91,00	0,00	0,00	91,00	0,00	0,00	91,00	0,00	0,00
Przetwarzanie biomasy e_p													
Ekstrakcja oleju	34,64	91,00	31,5	45,91	91,00	31,52	45,91	91,00	31,52	46,45	91,00	31,52	46,90
Rafinacja oleju	1,06	95,70	1,0	1,48	95,70	1,01	1,48	95,70	1,01	1,49	95,70	1,01	1,51
Estryfikacja	17,61	95,70	16,9	24,55	95,70	16,85	24,55	91,20	16,06	23,67	88,40	15,57	23,16
Transport e_{td}													
Transport owoców palmny	0,21	91,00	0,2	0,28	91,00	0,19	0,28	91,00	0,19	0,28	91,00	0,19	0,28
Transport oleju	3,71	95,70	3,6	5,17	95,60	3,55	5,17	95,60	3,55	5,23	91,20	3,38	5,03
Transport FAME	0,82	100,00	0,8	1,19	100,00	0,82	1,19	100,00	0,82	1,21	100,00	0,82	1,22
Stacja paliwowa	0,44	100,00	0,4	0,64	100,00	0,44	0,64	100,00	0,44	0,65	100,00	0,44	0,65
Suma	74,20		68,7	100,0		68,66	100,0	11,40	67,86	100,0	11,30	67,20	100,0

* Na podstawie danych z tablicy 3

** Na podstawie danych z tablicy 4

*** Na podstawie danych z tablicy 5

emisja spowodowana zmianą sposobu użytkowania gruntu e_r równa jest zeru, tak samo jak bonus wynikający z rekułtywacji terenów zdegradowanych i suma $e_{sca} + e_{ccr} + e_{ccs}$.

Wskaźnik emisji dla procesu estryfikacji, w zależności od przyjętej metody alokacji, wahał się od 15,57 (alokacja finansowa) do 16,9 (alokacja na bazie zawartości energii). Różnica pomiędzy uzyskanymi wynikami wyniosła 1,33 g CO₂ eq/MJ. Najniższą wartości emisji GHG w cyklu życia pozyskano w przypadku stosowania alokacji na bazie wartości finansowych. Uzyskano wynik 67,2 g CO₂ eq/MJ, czyli był on o 1,5 g CO₂ eq/MJ niż-

szy od najwyższej wartości wyznaczonej na podstawie zawartości energii (68,7 g CO₂ eq/MJ). Wahania wyniku końcowego w zależności od przyjętej metody alokacji (dla przyjętego modelu) stanowią niewiele ponad 2%. Analiza wyników obliczeń przedstawionych w tablicy 7 wskazuje, że dla pojedynczego etapu procesu wytwarzania biopaliw (np. dla procesu estryfikacji) przyjęcie różnych metod alokacji nie skutkuje znaczącymi różnicami w wyniku emisji całkowitej. Należy tu zaznaczyć, że analiza została wykonana dla jednego przypadku (estryfikacji oleju palmowego).

Ocena wpływu sposobu alokacji emisji w procesie produkcji biopaliwa na wartość emisji gazów cieplarnianych w produkcji etanolu

Do oceny wpływu sposobu alokacji emisji w produkcji etanolu paliwowego przyjęto, że emisja zostanie rozdzielona pomiędzy produkt główny – etanol, i produkt uboczny – DDGS (podestylacyjny susz zbożowy), stanowiący paszę dla zwierząt.

Analizę przeprowadzono na podstawie rzeczywistych wartości zakładu produkującego, usytuowanego w środkowo-wschodniej części USA, ze zdolnością produkcyjną 0,19 Mm³ skażonego etanolu rocznie, w oparciu o technologię suchego mielenia ziaren kukurydzy. Za-

mieszczone dane dotyczące bilansu masowego i energetycznego zaczerpnięto z literatury [5]:

- roczny przerób ziaren kukurydzy: 461 165 Mg,
- roczny uzysk etanolu: 0,19 Mm³,
- roczny uzysk DDGS: 167 535 Mg,
- roczne zapotrzebowanie na energię cieplną 794,6 · 10⁶ MJ,
- roczne zapotrzebowanie na energię elektryczną 37,3 GWh.

W obliczeniach przyjęto, że gęstość etanolu wynosi 790 kg/m³.

Alokacja na podstawie bilansu masowego

Bazując na uzyskach produktu głównego (etanolu) i ubocznego (DDGS), wyznaczono współczynnik alokacji emisji GHG dla etapu produkcji. Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicy 8.

Bazując na danych przedstawionych w źródle [5], moż-

na stwierdzić, że w przypadku stosowania alokacji na bazie uzysku masowego poszczególnych produktów większa część emisji gazów cieplarnianych generowanej na etapie produkcji zostanie przypisana do produktu ubocznego, jakim jest składnik paszy dla zwierząt DDGS.

Tablica 8. Alokacja na podstawie bilansu masowego instalacji

Produkt	Produkcja roczna [t]	Sumaryczna masa produktów	% przypisanej emisji
Etanol	150 100 (0,19 Mm ³)	317 635 t	47,3
DDGS	167 535		52,7

Alokacja na bazie zawartości energii

Do wyznaczenia współczynników alokacji na podstawie zawartości energetycznej produktów z wykorzystaniem wartości opałowych wyznaczono sumaryczny potencjał energetyczny dla produktu głównego i ubocznego. Wyniki obliczeń zamieszczono w tablicy 9.

Współczynnik alokacji emisji GHG wyznaczony na podstawie zawartości energetycznej jest zdecydowanie wyższy dla etanolu niż dla DDGS, co oznacza, że większa część wygenerowanej emisji zostanie przypisana do etanolu.

Tablica 9. Alokacja emisji z uwzględnieniem wartości opałowych produktów

Produkt	Produkcja roczna [t]	Wartość opałowa	Energia zawarta w produkcji [GJ]	Całkowita energia w produktach [GJ]	% przypisanej emisji
Etanol	150 100 (0,19 Mm ³)	21,5 GJ/m ³	3 390 908	7 475 908	54,6
DDGS	167 535	20,24 GJ/t	4 085 000		45,4

Alokacja finansowa

Do określenia wartości rynkowej produktów przyjęto założenia co do ich ceny, opierając się – w przypadku etanolu – na materiałach źródłowych [11], a w przypadku DDGS – [9]. Wyznaczone wartości przedstawiono w tablicy 10.

W przypadku tej metody aż 87% wyemitowanego CO₂ zostałyby przypisane do etanolu.

Podsumowując dane zawarte w tablicach 8–10, należy stwierdzić znacznie większe różnice we współczynnikach alokacji emisji GHG dla etanolu – w zależności od różnych metod – niż miało to miejsce dla FAME. Najwyższy, bo wynoszący aż 87%, współczynnik wyznaczono w przypadku alokacji finansowej, a najniższy – dla alokacji na bazie bilansu masowego (47,3%).

W kolejnej części artykułu przedstawiono analizę czułości emisji GHG oszacowanej w cyklu życia bioetanolu na zmianę współczynników alokacji dla etanolu. Wartości emisji wygenerowanej na pozostałych etapach w łańcuchu dostaw pozostały niezmiennione. W przypadku produkcji etanolu najprawdopodobniej będzie to jedyny etap, dla którego zastosowane zostaną wartości rzeczywiste, gdzie faktycznie przyjęty sposób alokacji będzie miał wpływ na wartość końcową.

Analogicznie do przypadku FAME wykorzystano dane i obliczenia udostępnione przez Biograce [10], przyjmując jako ścieżkę produkcji etanol z kukurydzy, produkowany w Europie z wykorzystaniem gazu ziemnego jako paliwa kotłowego w elektrociepłowni. Wszystkie wyniki podane są w jednostce [g CO₂ eq/MJ] energii zawartej w paliwie. Również w tym przypadku przyjęto, że emisja spowodowana

zmianą sposobu użytkowania gruntu e_l równa jest zero, tak samo jak bonus wynikający z rekultywacji terenów zdegradowanych i suma $e_{sca} + e_{ccr} + e_{ccs}$. Wyniki obliczeń, wraz z porównaniem do wymagań stawianych dyrektywą, zamieszczono w tablicy 11. W pierwszej kolumnie tabeli zacytowano dane z Biograce, wartości emisji nieuwzględniające alokacji do produktu ubocznego, następnie wartości wyznaczone z wykorzystaniem współczynników zamieszczonych w tablicach 8–10. Wskaźniki emisji GHG dla etanolu wyróżniono kolorem szarym. W ostatnim wierszu tablicy zamieszczono obliczenie ograniczenia emisji względem odpowiednika kopalnego, jakie uzyskano by przy danej metodzie alokacji. Dodatkowo, w każdym przypadku podano procentowy udział emisji GHG dla danego etanolu w całym cyklu życia.

Najwyższy wskaźnik emisji GHG uzyskano dla przypadku alokacji finansowej (56,08 g CO₂ eq/MJ), natomiast najniższy dla alokacji masowej (40,48 g CO₂ eq/MJ), wartości te zaznaczono zielonymi polami w tablicy 11. Analiza wyników obliczeń zamieszczonych w tablicy 11 wskazuje, że wyznaczone ograniczenie w zależności od przyjętej metody alokacji może się wahać znacznie, bo od 36 do 51%. Ma to ogromne znaczenie dla spełnienia wymagań kryteriów zrównoważonego rozwoju w zakresie ograniczania emisji GHG (próg 35% od roku 2013 oraz 50% i 60%, odpowiednio od roku 2017 i 2018). O ile w przypadku produkcji FAME przyjęta metoda alokacji nie wpływała w sposób istotny na wynik emisji GHG w całym cyklu życia, o tyle w przypadku etanolu różnice sięgają ponad 16 g CO₂ eq/MJ, co stanowi prawie 40% wartości

Tablica 10. Alokacja emisji z uwzględnieniem rynkowej wartości powstałych produktów

Produkt	Produkcja roczna [t]	Wartość	Wartość produktu [zł]	Całkowita wartość [zł]	% przypisanej emisji
Etanol	150 100 (0,19 Mm ³)	6 900 [zł/m ³]	1 311 000 000	1 506 345 810	87,0
DDGS	167 535	1 166 [zł/tona]	195 345 810		13,0

Tablica 11. Emisja GHG w cyklu życia etanolu z uwzględnieniem różnych współczynników alokacji emisji dla etapu produkcji

Etap	Biograce				Alokacja masowa				Alokacja na bazie zawartości energii				Alokacja na podstawie wartości rynkowej			
	Bez uwzględnienia alokacji	Współczynnik alokacji [%]	Po uwzględnieniu alokacji	Udział emisji GHG [%]	Współczynnik alokacji [%]	Po uwzględnieniu alokacji	Udział emisji GHG [%]	Współczynnik alokacji [%]	Po uwzględnieniu alokacji	Udział emisji GHG [%]	Współczynnik alokacji [%]	Po uwzględnieniu alokacji	Udział emisji GHG [%]	Współczynnik alokacji [%]	Po uwzględnieniu alokacji	Udział emisji GHG [%]
Uprawa ziarna kukurydzy e_{ec}	36,78	54,6	20,09	46,3	54,6	20,09	49,6	54,6	20,09	20,09	54,6	20,09	20,09	54,6	20,09	35,8
Wytwórcia etanolu e_p	39,28	54,6	21,45	49,5	47,3	18,58	45,9	54,6	21,45	21,45	87,0	34,18	60,9			
Transport e_{td}																
Transport ziaren kukurydzy	0,51	54,6	0,28	0,6	54,6	0,28	0,7	54,6	0,28	0,28	54,6	0,28	0,28	54,6	0,28	0,5
Transport etanolu	1,10	100,0	1,10	2,5	100,0	1,10	2,7	100,0	1,10	1,10	100,0	1,10	1,10	100,0	1,10	2,0
Stacja paliw	0,44	100,0	0,44	1,0	100,0	0,44	1,1	100,0	0,44	0,44	100,0	0,44	0,44	100,0	0,44	0,8
Emisja całkowita	78,10		43,36	100,0		40,48	100,0		43,36	43,36		56,08	100,0			100,0
W odniesieniu do paliw kopalnych	12%		51%			54%			51%			36%				

ści standardowej podanej w dyrektywie RED. Uzyskana z obliczeń przeprowadzonych w ramach tej pracy wartość emisji GHG, dla przypadku alokacji na bazie zawartości energii, jest zbieżna z wartością podaną przez Biograce, co świadczy o poprawności obliczeń.

Przyjęty sposób przeprowadzenia alokacji emisji GHG do produktów wpływa na wynik zdolności etanolu do redukcji emisji gazów cieplarnianych. W znaczący sposób zmie-

nia się również waga emisji GHG przypisana do tego etapu. W przypadku alokacji masowej, gdzie zastosowano najniższy współczynnik, udział emisji dla tego etapu wynosi prawie 46%, natomiast dla najwyższego współczynnika emisji (alokacja finansowa) wartość ta wzrasta do prawie 61%.

Dyrektywa RED, a także oparte na jej postanowieniach systemy certyfikacji dopuszczają tylko alokację emisji na bazie zawartości energii.

Podsumowanie

Przedstawione powyżej obliczenia dają wgląd w istotę przyjętej metody alokacji i jej wpływ na ostateczny wynik zdolności redukcji do emisji gazów cieplarnianych. O ile w przypadku FAME zaobserwowane różnice nie są

znaczące dla sumarycznego wyniku, o tyle w przypadku etanolu różnice są istotne, nawet jeśli zmiana współczynnika alokacji została wprowadzona tylko dla etapu przetwarzania.

Literatura

- [1] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23.04.2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej nr L 140/16 z 9.06.2009 r.).
- [2] <http://sklep-galvet.pl/galvet-gliceryna-995-roslinna-5-kg-p-31.html>
- [3] Kiwjaroun C., Tubtimdee C., Piumsombon P.: *LCA studies comparing biodiesel synthesized by conventional and supercritical methanol methods*. „Journal of Cleaner Production” 2009, vol. 17, s. 143–153.
- [4] Koder K.: *Analysis of allocation methods of bioethanol LCA*. Internship at CML. Leiden University, sierpień 2007.
- [5] Nalladurai Kaliyan, Vance Morey R., Douglas G. Tiffany: *Reducing life cycle greenhouse gas emissions of corn ethanol by integrating biomass to produce heat and power at ethanol plants*. „Biomass and bioenergy” 2011, vol. 35, s. 1103–1113.
- [6] Rogowska D., Majoch A.: *Przeprowadzenie działań w zakresie zatwierdzenia i wdrożenia systemu certyfikacji KZR INiG*. Dokumentacja INiG nr DK-5100-350.
- [7] *Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 7 grudnia 2007 roku w sprawie wartości opałowej poszczególnych biokomponentów i biopaliw ciekłych* (Dz.U. z 2008 r. nr 3, poz. 12).
- [8] Schopf N., Schmidt T., Sokolski D.: *Utylizacja termiczna ciekłych paliw biogenicznych – wykorzystanie gliceryny jako taniego paliwa alternatywnego*. XIII Sympozjum Naukowo-Techniczne „Chemia 2007”, Płock 24-26.01.2007.
- [9] www.agroekspres.pl/produkt/168/DDGS-kukurydziany-corn.html
- [10] www.biograce.net/
- [11] www.biopasja.pl/index.php/akcesoria/bioetanol.html
- [12] www.e-petrol.pl/index.php/notowania/biopaliwa



Mgr inż. Delfina ROGOWSKA – starszy specjalista badawczo-techniczny, zastępca Kierownika Zakładu Paliw i Procesów Katalitycznych Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Zajmuje się tematyką: LPG, technologii benzyn silnikowych zawierających biokomponenty, a także oceną emisji gazów cieplarnianych w cyklu życia paliw silnikowych.



Mgr Kamil BERDECHOWSKI – absolwent Wydziału Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego. Pracownik Zakładu Paliw i Procesów Katalitycznych Instytutu Nafty i Gazu w Krakowie. Realizuje prace badawcze w tematyce paliw płynnych.