

ŚLAD WĘGLOWY SUROWCÓW ZWIERZĘCYCH

Adam Więk, Katarzyna Tkacz

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie,
Katedra Towaroznawstwa Przemysłowego, Podstaw Techniki oraz Gospodarki Energią,
Pl. Cieszyński 1, 10-726 Olsztyn, e-mail: adam.wiek@uwm.edu.pl

Streszczenie

Jednym z najczęściej wskazywanych zagrożeń współczesnego świata jest emisja gazów cieplarnianych i ich udział w zmianach klimatycznych naszej planety. Udział poszczególnych produktów, technologii czy organizacji w emisji gazów cieplarnianych, wyrazić można w postaci uniwersalnych wskaźników ekologicznych. Jednym z nich jest ślad węglowy (Carbon Footprint – CF), który określa ilość gazów cieplarnianych (wyrażonych w postaci ekwiwalentu CO₂eq) wyemitowanych do atmosfery w trakcie wytwarzania jednostki funkcjonalnej produktu.

Celem podjętych badań była analiza dostępnych w literaturze danych dotyczących wielkości śladu węglowego podczas produkcji surowców zwierzęcych. Narzędziem wykorzystywanym w celu określenia wartości CF była Analiza Cyklu Życia (LCA).

Na podstawie literatury wykazano, że wartość CF przy produkcji wieprzowiny w różnych systemach rolniczych kształtuje się w granicach od 2,06 kg CO₂eq/kg (Dobra Praktyka Rolnicza) do 3,97 kg CO₂eq/kg (Organiczna Produkcja Rolnicza). Ślad węglowy przy produkcji mleka jako surowca wynosi od 0,88 – 1,5 kg CO₂eq/l - nie wykazano statystycznie istotnych różnic w wartości CF dla gospodarstw ekologicznych i konwencjonalnych.

Ślad węglowy stanowić może miarodajny wskaźnik ekologiczny produkcji rolnej, obrazujący stopień zrównoważenia tej produkcji, przy uwzględnieniu zróżnicowania: form produkcji rolnej, różnic geograficznych, różnic technicznych, technologicznych oraz zasobów naturalnych.

Słowa kluczowe: ślad węglowy, analiza cyklu życia, rolnictwo, mleko, wieprzowina

CARBON FOOTPRINT OF ANIMAL MATERIAL

Summary

One of the most often discussed the risks of the modern world is the emission of greenhouse gases and their contribution to climate change on our planet. The share of individual products, technologies and organizations in greenhouse gas emissions, can be expressed as a universal environmental indicators. One is the carbon footprint (Carbon

Footprint - CF), which determines the amount of greenhouse gases (expressed as equivalent CO₂eq) emitted to the atmosphere during the production of a functional unit of product.

The aim of this study was to analyze the available literature data on the size of its carbon footprint during the production of animal materials. Tool used to determine the CF value was Life Cycle Analysis (LCA).

On the basis of the literature showed that the CF value in the production of pork in various agricultural systems ranges from the 2.06 kg CO₂eq/kg (Good Agricultural Practice) to 3.97 kg CO₂eq/kg (Organic Agricultural Production). The carbon footprint for the production of milk as a raw material is from 0.88 - 1.5 kg CO₂eq / l - no statistically significant differences in CF values for organic and conventional farms.

The carbon footprint can be a reliable indicator of the ecological agricultural production, illustrating the degree of sustainability of this production, taking into account the diversity of: forms of agricultural production, geographical differences, differences in technical, technological and natural resources.

Key words: carbon footprint, life cycle analysis, agriculture, milk, pork

WSTĘP

Działalność człowieka w zakresie produkcji i przetwórstwa powinna opierać się o zasadę zrównoważonego rozwoju, uwzględniającą aspekt społeczny, ekonomiczny oraz ekologiczny funkcjonowania każdej organizacji. W związku z systematycznym wzrostem liczebności ludzkości, dynamicznym wzrostem popytu na dobra oraz nieustannym wzrostem zapotrzebowania na energię, coraz większego znaczenia nabiera aspekt ekologiczny funkcjonowania społecznego. Wszelkiego rodzaju działalność produkcyjna czy przetwórcza wpływa w określony sposób na funkcjonowanie danego ekosystemu. Oddziaływanie to może być różne i nieść ze sobą różne zagrożenia.

Jednym z podstawowych i najbardziej popularnych indykatorów określających wpływ działalności człowieka na środowisko naturalne jest ślad ekologiczny.

Ślad ekologiczny jest definiowany jako wskaźnik wyrażający w jednostkach powierzchni funkcje ekosystemowe niezbędne do podtrzymania występującej obecnie produkcji i konsumpcji. Przy obliczeniach śladu ekologicznego uwzględnia się zużycie surowców i energii (zarówno odnawialnych, jak i nieodnawialnych) oraz emisję odpadów. Wartość śladu obrazuje zapotrzebowanie ludzi na surowce i usługi i można go porównać z ekologiczną wydolnością środowiska wybranego regionu lub całej planety [WWF Report 2010, Wybieralska, Wiczorek 2007].

By zaspokoić średni apetyt jednego człowieka na ziemi, zapewnić odpowiednią ilość substancji odżywczych, wody oraz zaabsorbować produkty działalności człowieka (m.in. CO₂) potrzeba 2,7 gha (globalny hektar – miara produktywnej powierzchni ziemi). Problem polega na tym, że ziemia dysponuje tylko 13,6 gha co daje 2,1 gha na człowieka [WWF Report 2010]. Oznacza to również, że biosfera potrzebuje 1 roku i czterech miesięcy na "odnowienie" tego, co ludzkość zużywa w ciągu jednego roku. W rezultacie ludzkość zubaża zasoby surowcowe Ziemi.

Drugim wskaźnikiem określającym presję człowieka na środowisko jest ślad węglowy. Definiuje się go jako sumę iloczynów wyemitowanej ilości gazów i ich wskaźników GWP, wyrażoną w kg lub Mg ekwiwalentu dwutlenku węgla CO₂eq i odniesioną do jednostki funkcjonalnej produktu (*ang. carbon footprint-CF*) [BSI 2008, PAS 2050 2008].

Do gazów cieplarnianych, które zostały ujęte w Protokole z Kioto zaliczamy [Document Information AEE 2009]: - dwutlenek węgla (CO₂), - metan (CH₄), - podtlenek azotu (N₂O), - fluorowęglowodory (HFCs), - perfluorokarbony (PFCs), - sześćciofluorek siarki (SF₆).

Gazy te w różnym stopniu mają wpływ na efekt cieplarniany [Robinson i in. 2007, IPCC 2007]. Wpływ ten wyrażany jest przez tzw. potencjał cieplarniany, który mierzony jest w odniesieniu do jednej molekuly CO₂. I tak jedna molekula CH₄ równoważy 32 molekuly CO₂, a więc pochłania 32 razy więcej ciepła niż molekula dwutlenku węgla.

Globalny Potencjał Ocieplenia GWP (Global Warming Potential) - oznacza wskaźnik porównujący siłę oddziaływania danego gazu cieplarnianego na ocieplenie klimatu, do siły oddziaływania dwutlenku węgla [IPCC 2001, 2007]. GWP obliczany jest na podstawie skutków oddziaływania jednego kilograma danego gazu na ocieplenie klimatu w ciągu 100 lat w porównaniu do oddziaływania jednego kilograma CO₂. Charakterystykę gazów cieplarnianych pokazano w tabeli 1.

Tabela 1. Charakterystyka gazów cieplarnianych [IPCC 2001, 2007]
Characteristics of greenhouse gases [IPCC 2001, 2007]
 Gazy cieplarniane

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆
Stężenie w latach 1000-1750	280 ppm	700 ppb	270 ppb	0	0	0
Stężenie w roku 2000	368 ppm	1750 ppb	316 ppb	Stale rosną	Stale rosną	Stale rosną
Długość życia w atmosferze [lata]	50-200	10	120	2 - 260	2 600 - 50 000	3 200
Globalny Potencjał Ocieplenia	1	32	296	120 - 12 000	5 700 - 11 900	22 200

Ślad węglowy obliczony z wykorzystaniem Globalnego Potencjału Ocieplenia może być wyrażany w odniesieniu do:

- produktu,
- procesu produkcji lub wykonywania usługi,
- jednostki organizacyjnej,
- indywidualnego konsumenta.

Najczęściej wykorzystywanym narzędziem przy określaniu śladu węglowego jest analiza cyklu życia (LCA). W pracy przedstawiono analizę danych dostępnych w literaturze, dotyczących wielkości śladu węglowego przy produkcji wybranych surowców zwierzęcych.

ETAPY ANALIZY CYKLU ŻYCIA (LCA)

Analiza Cyklu Życia (LCA) jest jedną z kilku technik zarządzania środowiskiem. Stanowić może obszerne studium analityczne w kompleksowej ocenie oddziaływania produktu, usługi lub procesu na środowisko naturalne [PAS 2050 2008, Turowski, Tkacz 2010]. W analizie tej uwzględnia się wszystkie środki oraz surowce stosowane w całym cyklu produkcyjnym, przedprodukcyjnym oraz eksploatacyjnym danego produktu, usługi lub procesu. Metodyka analizy LCA podana jest w normach ISO 14040, 14044: 2006. Normy te określają strukturę analizy LCA w skład której wchodzi następujące etapy: określenie celu

i zakresu analizy, analiza zbioru danych, ocena wpływu na środowisko. W najszerszym ujęciu w wyniku analizy LCA określić możemy następujące rodzaje oddziaływań na środowisko: zmniejszenie zasobów naturalnych, zubożenie warstwy ozonowej, zakwaszenie wody i gleby, tworzenie smogu fotochemicznego, eutrofizacja wody, ekotoksyczność, emisję gazów cieplarnianych wyrażonych jako ślad węglowy [PAS 2050 2008, Thomassen i in. 2008].

1. Określenie celu i zakresu analizy

Na tym etapie analizy określamy rodzaj potencjalnego oddziaływania produktu, usługi lub procesu na środowisko, które chcemy określić. W tabeli 2 podano przykładowe aspekty analizy środowiskowej produkcji wieprzowiny, możliwej do przeprowadzenia za pomocą LCA. Oprócz określenia wpływu produkcji wieprzowiny na emisję gazów wpływających na zjawisko określane mianem efekt cieplarniany, w tabeli 2 wskazano potencjalne inne formy oddziaływania na środowisko: eutrofizację oraz zakwaszenie. W ocenie potencjalnego wpływu eutrofizacyjnego danej działalności, przeprowadza się bilans związków potasu, wyrażając wynik tego bilansu w formie równoważnika ($\text{kg PO}_4 \text{ eq}$). Ocena potencjalnego zakwaszenia środowiska w wyniku prowadzonej działalności, wymaga szerszej analizy, obejmującej bilans związków siarki, węgla oraz azotu. Określając ślad węglowy produktów rolnych określamy głównie potencjalne źródła emisji metanu, dwutlenku węgla oraz podtlenku azotu ($\text{kg CO}_2 \text{ eq}$). Najwyższą wartość śladu węglowego związanego z produkcją wieprzowiny określił Blonk i in. [1997] – $3,73 \text{ kg CO}_2 \text{ eq}$. Potencjalne zakwaszenie oraz eutrofizacja środowiska w wyniku tej działalności, określone przez Cederberga [2002] oraz Blonka i in. [1997], są zbliżone, natomiast uzyskane przez Baset-Mensa i Van der Werfa [2005] wskazują zdecydowanie wyższe wartości.

Tabela 2. Wybrane aspekty oceny wpływu na środowisko, odniesione do 1 kg wieprzowiny, w oparciu o analizę LCA w produkcji wieprzowiny, opartej o dobrą praktykę rolniczą [Basset-Mens, Van der Werf 2005, Halberg 2008 – opracowanie własne] *Selected aspects of the environmental impact assessment, referred to 1 kg pork, based on an analysis of LCA in pork production, based on good agricultural practice [Basset-Mens, Van der Werf 2005, Halberg, 2008 - own work]*

	Tereny użytkowe [m ² /rok]	Zakwaszenie [kg SO ₂ eq]	Eutrofizacja [kg PO ₄ eq]	Ślad węglowy [kg CO ₂ eq]
Blonk i in. 1997	BD	0,0305	0,0182	3,73
Cedeberg 2002	6,38	0,0304	0,0183	2,06
Baset-Mens, van der Werf 2005	5,43	0,0435	0,0208	2,30
Halberg 2008	BD	BD	BD	2,70

Zakres analizy definiujemy granicą, w ramach której uwzględniamy środki realnie wykorzystywane w procesie produkcyjnym oraz nakłady energetyczne z tym związane. Przeprowadzamy bilans masy i energii procesu w oparciu o procesy jednostkowe, z uwzględnieniem ewentualnych emisji i strat pomiędzy tymi procesami. W przypadku pewnych procesów produkcyjnych, których efektem jest kilka produktów, nie jest możliwe określenie obciążenia środowiskowego przypisane konkretnemu produktowi. W takich sytuacjach określa się emisję gazów cieplarnianych całego procesu produkcyjnego, przypisując ich emisję proporcjonalnie poszczególnym produktom. Proporcje te określa się w oparciu o następujące kryteria: bilans masowy, wartość handlową lub wartość energetyczną [Thomassen i in. 2008, Cederberg 2002, Merete 2002]. Przykładem takiej produkcji rolnej jest hodowla bydła mlecznego, w której część emisji gazów cieplarnianych przypisywana jest mleku, a część zwierzętom. Szczególnie trudne jest określenie alokacji wskazanych emisji gazów cieplarnianych na poszczególne produkty, w gospodarstwach o szerokim spektrum działalności, obejmującej wielogatunkową produkcję roślinną oraz zwierzęcą.

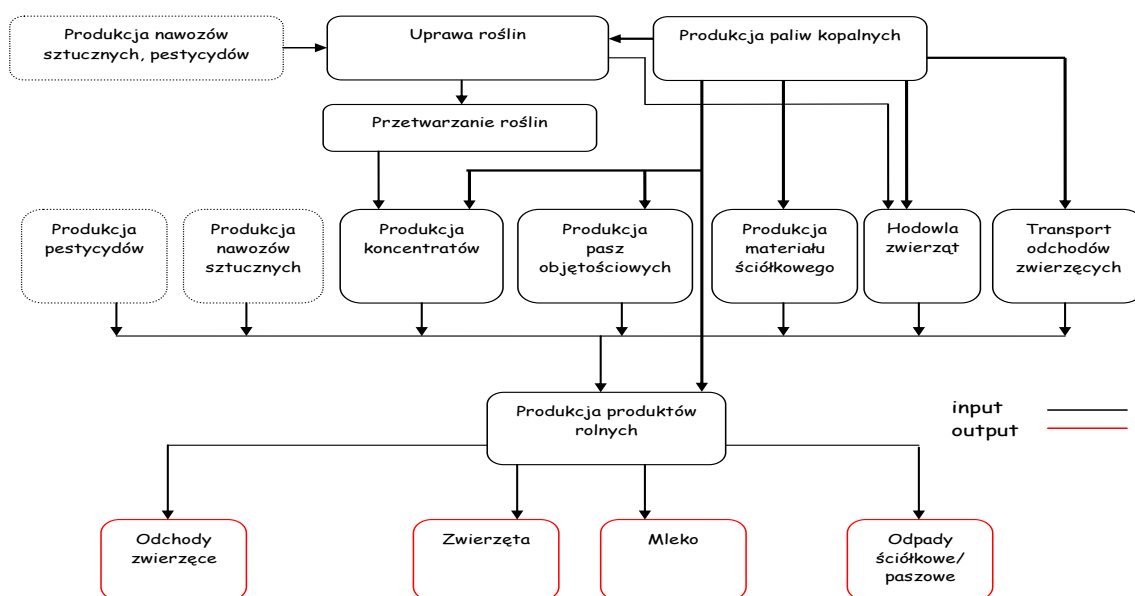
Kolejnym etapem analizy LCA jest określenie sposobu pozyskania danych o emisji poszczególnych gazów cieplarnianych. Zalecane jest, aby dane te były wynikami pomiarów uzyskanymi w danym procesie. Jeśli jest to nie możliwe posiłkować możemy się danymi zawartymi w bazach danych. Istotnym elementem tego etapu jest również określenie jednostki funkcjonalnej produktu, usługi lub procesu, dla której będziemy prowadzić obliczenia w dalszych etapach analizy. Dla produkcji rolnej jednostką tą jest najczęściej

kilogram uzyskanego żywca o znormalizowanym składzie chemicznym, bądź w przypadku produkcji mleka liter znormalizowanego mleka przeznaczonego do skupu.

2. Analiza zbioru

W etapie tym określamy ilościowo emisję gazów cieplarnianych związanych z wszystkimi surowcami wchodzącymi w cykl produkcyjny oraz wszystkie nakłady energetyczne z tym związane (input). Dla produkcji rolnej input stanowią najczęściej emisje związane z produkcją nawozów, środków ochrony roślin, pasz, hodowlą zwierząt oraz zabiegami agrotechnicznymi [Elcock 2007, Basset-Mens, Van der Werf 2005].

W ten sam sposób określamy koncentrację emisji gazów cieplarnianych w uzyskanym produkcie lub produktach (output). W hodowli bydła mlecznego output stanowią mleko, zwierzęta, odchody zwierzęce oraz odpady roślinne – rysunek 1 [Thomassen i in. 2008, Merete 2002].



Rysunek 1. Przykładowa analiza input/output dla hodowli bydła mlecznego [Thomassen i in. 2008 – opracowanie własne]
Sample analysis of input / output for dairy cattle breeding [Thomassen et al. 2008 - own work]

3. Ocena wpływu

W oparciu o wyniki wcześniejszych etapów analizy określających, co i w jakim zakresie będziemy analizować oraz jaka jest wartość emisji, zużycie surowców i energii, określamy faktyczny wpływ danego procesu produkcyjnego lub produktu na środowisko. Analizowana w przypadku śladu węglowego emisja dwutlenku węgla, metanu oraz podtlenku azotu musi zostać zweryfikowana odpowiednimi współczynnikami charakteryzującymi faktyczny udział

tych gazów w procesie zmian klimatycznych. Współczynniki te określane są jako Globalne Współczynniki Ocieplenia (GWP).

Tabela 3. Określenie wartości śladu węglowego 1 litra mleka przeznaczonego do skupu, uzyskiwanego w różnych systemach produkcji rolnej, w oparciu o określone w wyniku analizy LCA emisje gazów cieplarnianych oraz wartości globalnych współczynników ocieplenia (GWP) [Cederberg, Flysjö 2004 – opracowanie własne]

Determination of the carbon footprint of a liter of milk for buying, obtained in different systems of agricultural production, based on identified through analysis of the LCA greenhouse gas emissions and global warming potential values (GWP) [Cederberg, Flysjö 2004 - own work]

System produkcji rolniczej	Emisja CO ₂ [g]	GW P	Emisja CH ₄ [g]	GW P	Emisja N ₂ O [g]	GW P	Ślad węglowy [kg CO ₂ eq]
Rolnictwo konwencjonalne wysokoprodukcyjne	167,67	1	19,70	21	1,02	310	0,89
	Emisja [g CO ₂ eq]						
	167,67		413,7		316,2		
Rolnictwo konwencjonalne	172,63	1	22,36	21	1,27	310	1,04
	Emisja [g CO ₂ eq]						
	172,63		469,56		393,70		
Rolnictwo ekologiczne	120,48	1	22,92	21	1,09	310	0,94
	Emisja [g CO ₂ eq]						
	120,48		481,32		337,90		

Ich bezwymiarowe wartości obrazują udział poszczególnych gazów cieplarnianych w pochłanianiu i emisji słonecznego promieniowania podczerwonego, w skali 100 lat. Ich wartości wynoszą odpowiednio dla CO₂, CH₄, N₂O: 1, 21, 310 [IPCC 2007] – tabela 1. W wyniku zastosowania tych współczynników uzyskujemy informację o emisji poszczególnych gazów wyrażoną w formie ekwiwalentu dwutlenku węgla (tab. 3). Suma tych wartości wyrażona w kg ekwiwalentu CO₂ stanowi wartość śladu węglowego, określającego potencjalny wpływ danego dobra, usługi lub produktu na zmiany klimatyczne określane mianem efekt cieplarniany.

4. Interpretacja wyników

Etap ten stanowi usystematyzowaną analizę poszczególnych elementów cyklu życia produktu, usługi lub procesu w celu wskazania czynników krytycznych. Jako czynniki krytyczne uznaje się te elementy cyklu życia, dla których niewielka zmienność ich udziału w procesie skutkuje dużą zmiennością wartości CF. Należy również zweryfikować słuszność przyjętych założeń oraz miarodajność wykorzystanych baz danych [Elcock 2007].

CZYNNIKI RÓŻNICUJĄCE WARTOŚĆ ŚLADU WĘGLOWEGO SUROWCÓW ZWIERZĘCYCH

Produkcja rolna jest prowadzona w różnych systemach: rolnictwo ekologiczne, rolnictwo wysokowydajne oparte o dobrą praktykę rolniczą, formy pośrednie. Do głównych czynników różnicujących gospodarstwa rolne zaliczyć należy: zakres produkcyjny, stosowane zabiegi agrotechniczne, nakłady energetyczne, skala produkcji.

Do niedawna emisja gazów cieplarnianych kojarzona była wyłącznie z działalnością przemysłową i związaną z nią emisją dwutlenku węgla, będącego efektem spalania paliw. Rolnictwo cechuje się również wysokim zużyciem energii, szczególnie rolnictwo konwencjonalne. El-Hage i Hattam [2002] wykazali w swej pracy, w oparciu o wyniki kilku badaczy, mniejsze zużycie energii w systemie rolnictwa ekologicznego w porównaniu z rolnictwem konwencjonalnym. Zaprezentowane we wskazanej pracy różnice zużycia energii wyrażone jako GJ/tonę produkowanego mleka, były o 15-54% wyższe w przypadku rolnictwa konwencjonalnego. Wskazane mniejsze zużycie energii w gospodarstwie ekologicznym wynika głównie z mniejszego udziału nawozów i środków ochrony roślin i związanym z tym zużyciem energii w procesie ich produkcji. Badania przeprowadzone przez Basset-Mensa i Van der Werfa [2005], określające wartość śladu węglowego dla produkcji wieprzowiny, w zależności od zastosowanego systemu rolnictwa, nie są jednoznaczne. Określone dla 1 kg wieprzowiny zużycie energii, uzyskało najwyższą wartość dla gospodarstwa ekologicznego a najniższą dla gospodarstwa konwencjonalnego opartego o dobrą praktykę rolniczą. To samo zużycie energii odniesione do 1 hektara użytkowanej w tej produkcji ziemi, okazało się najniższe w przypadku hodowli ekologicznej, najwyższe zaś w przypadku gospodarstwa konwencjonalnego - tabela 4.

Tabela 4. Wartość śladu węglowego oraz innych wyróżników charakteryzujących produkcję wieprzowiny realizowaną w różnych systemach produkcji rolniczej [Basset-Mens, Van der Werf 2005 – opracowanie własne]

The value of carbon footprints and other parameters characterizing the production of pork implemented in different systems of agricultural production [Basset-Mens, Van der Werf, 2005 - own work]

		Dobra praktyka rolnicza	Organiczna produkcja rolnicza	Formy pośrednie
Ślad węglowy [kg CO ₂ eq]	1 kg wieprzowiny	2,30	3,97	3,46
	1 hektar	4236	4022	5510
Tereny użytkowe [m ² /rok]	1 kg wieprzowiny	5,43	9,87	6,28
	1 hektar	10000	10000	10000
Produkcja wieprzowiny [kg]	1 kg wieprzowiny	1	1	1
	1 hektar	1842	1013	1592
Zużycie energii nieodnawialnej [MJ]	1 kg wieprzowiny	15,9	22,2	17,9
	1 hektar	29282	22492	28503

Wskazane różnice nasuwają pytanie o sposób właściwego wyrażania wartości śladu węglowego. Określanie jego wartości w odniesieniu do jednostki funkcjonalnej produkowanego dobra jest zasadne, w celu określenia początkowego obciążenia ekologicznego produktów przeznaczonych do dalszego przetwórstwa. W celu scharakteryzowania wpływu danego gospodarstwa rolnego na środowisko bardziej zasadne wydaje się odniesienie wartości CF do jednostki użytkowanej ziemi.

Niezależnie od sposobu wyrażania wartości śladu węglowego, zużycie energii stanowi istotny element wartości tego wskaźnika. Pamiętać należy również o konieczności analizy zużycia energii wszystkich surowców i komponentów danej produkcji rolnej.

Istotnym elementem analizy LCA w celu określenia wartości śladu węglowego w produkcji rolnej jest przeprowadzenie bilansu azotu. Input tej analizy stanowią zazwyczaj takie elementy jak: zakup nawozów mineralnych, pasz treściwych i objętościowych, zbóż oraz zwierząt hodowlanych, biologiczna asymilacja azotu atmosferycznego, opady atmosferyczne. Output stanowi uzyskana produkcja zwierzęca, roślinna oraz odpady roślinne i zwierzęce wykorzystywane jako nawóz. Badania przeprowadzone przez Pietrzaka [2004] w pięciu gospodarstwach województwa podlaskiego, dotyczyły ustalenia efektywności

wykorzystania azotu w gospodarstwie, w zależności od obsady zwierząt, ilości azotowych nawozów mineralnych oraz pasz treściwych. W badaniach tych wykazano duże wahania w efektywności wykorzystania azotu. Najwyższą efektywność wynoszącą 40 % stwierdzono w gospodarstwach z najmniejszą obsadą zwierząt. Gospodarstwa stosujące najwięcej azotowych nawozów mineralnych, charakteryzowały się zaledwie 12 % wykorzystaniem azotu [Pietrzak 2004]. Należy więc przyjąć, że niewykorzystana ilość azotu zostanie włączona w cykl przemian azotu glebowego, zwiększając z czasem emisję podtlenku azotu do atmosfery. Ponadto nadmiar azotu wpływa negatywnie na procesy wegetatywne roślin, w trakcie których asymilacji ulega część węgla atmosferycznego. Podobną problematykę wskazuje w swej pracy Basset-Mens i Van der Werf [2005] wskazując na bardzo różną emisję związków azotowych do atmosfery. Emisja azotu amonowego emitowanego z gnojownicy stosowanej pod uprawę pszenicy, jęczmienia czy pszenżyta według wskazań różnych badaczy, waha się w granicach 0,09 – 0,225 kg całkowitego azotu zawartego w gnojownicy, podczas gdy wartość referencyjna jest określona jako 0,15 kg całkowitego azotu zawartego w gnojownicy. Podobne różnice stwierdza się w określeniu wartości emisji azotu z budynków hodowlanych. Jak informuje raport WE 31% emisji metanu odpowiedzialnego za efekt cieplarniany, jest efektem fermentacji jelitowej zwierząt hodowlanych. Kolejne 11% przypisuje się zagospodarowaniu odchodów pochodzących z hodowli [Document AEE, 2009]. Emisja CH₄ stanowi więc istotny element kształtujący wartość śladu węglowego. W gospodarstwach o produkcji łączonej, głównie ekologicznych, część odchodów zostaje zagospodarowana jako nawóz. W gospodarstwach w których głównym elementem produkcyjnym jest hodowla, wykorzystujące pasze handlowe, zagospodarowanie odchodów jest poważnym problemem. Najczęściej wskazywanym kierunkiem ich wykorzystania jest produkcja biogazu [El-Hadidi 2007]. Niezależnie od kierunku zagospodarowania odchodów, istotnym problemem jest określenie wielkości emisji metanu podczas hodowli. Roger i in. [2007] wykazali, iż emisja metanu związana z produkcją mleka w gospodarstwie rolnym, stanowić może nawet 52% wszystkich wyemitowanych gazów cieplarnianych.

W tabeli 5 przedstawiono wartości śladu węglowego produkcji mleka w różnych systemach gospodarowania [Thomassen i in. 2008, Roger i in. 2007, Cederberg, Flysjö 2004]. Poszczególne badacze nie wykazali statystycznie istotnych różnic w wartości CF dla gospodarstw ekologicznych i konwencjonalnych. Wynika to w pewnym stopniu z różnic w zastosowanej alokacji emisji gazów cieplarnianych pomiędzy uzyskiwane produkty rolne: mleko i mięso zwierząt. Thomassen i in. [2008] określili wartość alokacji w gospodarstwie rolnym opartym o dobrą praktykę produkcyjną w następujący sposób: 91% mleko, 8,2%

mięso zwierząt, pozostałą część przypisano odpadom. Wartość alokacji ustalono w oparciu o kryterium wartości handlowej wskazanych produktów. Stosując to samo kryterium Cederberg i Flysjö [2004] określili następującą alokację: mleko 90% oraz 10% mięso. Badacze Ci nie uwzględnili ewentualnego wykorzystania odpadów jako nawozu.

Tabela 5. Ślad węglowy produkcji mleka realizowanej w różnych systemach produkcji rolniczej [Thomassen i in. 2008, Roger i in. 2007, Cederberg, Flysjö 2004 – opracowanie własne]

The carbon footprint of milk production realized in different systems of agricultural production [Thomassen et al. 2008, Roger et al. 2007, Cederberg, Flysjö 2004 - own work

	Ślad węglowy 1 litra mleka [kg CO ₂ eq]		
	Rolnictwo konwencjonalne wysokoprodukcyjne	Rolnictwo konwencjonalne	Rolnictwo ekologiczne
Thomassen i in. 2008	-	1,4	1,5
Roger i in. 2007	-	0,88	0,93
Cederberg, Flysjö 2004	0,89	1,04	0,94

Brak wskazania konkretnych wartości alokacji emisji gazów cieplarnianych jest poważnym problemem w interpretacji uzyskiwanych wyników. Również kryterium ekonomiczne określane wartością handlową produktów rolnych, jest mało precyzyjne ze względu na zmienną wartość poszczególnych produktów. Często wskazywanym alternatywnym kryterium alokacji jest wartość biologiczna.

PODSUMOWANIE

Głównym czynnikiem różnicującym wartość śladu węglowego w produkcji wieprzowiny jest forma produkcji rolnej. Wartość śladu węglowego 1 kg wieprzowiny uzyskana w wyniku organicznej produkcji rolnej wynosiła 3,97 kg CO₂eq i była wyższa od wartości stwierdzonych dla pozostałych form produkcji rolnej: dobra praktyka rolnicza – 2,30 kg CO₂eq, formy pośrednie – 3,46 kg CO₂eq. Natomiast emisja gazów cieplarnianych związana z tą produkcją, odniesiona do hektara użytkowanej w gospodarstwie ziemi, wyrażona w formie śladu węglowego, wskazuje gospodarowanie ekologiczne jako najbardziej

zbilansowane, o najmniejszej wartości CF – 4022 kg CO₂eq/hektar (dobra praktyka rolnicza – 4236 kg CO₂eq/hektar, formy pośrednie – 5510 kg CO₂eq/hektar).

Wartości śladu węglowego produkcji mleka w różnych systemach rolnych, nie różnią się statystycznie istotnie i mieszczą się w przedziale od 0,88 – 1,5 kg CO₂eq/litr mleka.

Wśród problemów związanych z jednoznacznym określeniem wartości śladu węglowego w produkcji rolnej, do głównych zaliczono: niedostatek baz danych charakterystycznych dla różnych obszarów geograficznych, brak jednoznacznych wytycznych dotyczących mechanizmów alokacji, trudności w określeniu rzeczywistej emisji metanu i podtlenku azotu.

Pomimo wskazanych trudności, ślad węglowy stanowić może uniwersalny wskaźnik ekologiczny, określający zależności między wytwarzaniem produktów a ich wpływem na środowisko naturalne.

PIŚMIENNICTWO

1. Basset-Mens C., Van der Werf H.M.G. (2005). Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agr. Ecosyst. Environ.* 105, 127–144.
2. BSI 2008. Guide to PAS 2050. How to assess the carbon footprint of goods and services. BSI published, UK 2008.
3. Cederberg, C. (2002). Life cycle assessment (LCA) of animal production. Ph.D. Thesis. Department of Applied Environmental Science, Göteborg University, Göteborg, Sweden.
4. Cederberg C., Flysjö A. (2008). Life cycle inventory of 23 dairy farms in south-western Sweden. SIK Rapport NR 728 2004.
5. Document Information AEE. (2009). The annual inventory of greenhouse gas emissions of the European Community from 1990 to 2007. The inventory report, May 2009.
6. Dourmad J.Y., Rigolot C., Van der Werf H.M.G. (2008). Emission of greenhouse gas, developing management and animal farming systems to assist mitigation. International Conference: Livestock and Global Climate Change, 17-20 May 2008, Editors: Rowlinson P., Steele M., Nefazouni A.
7. Elcock D. (2007). Life – Cycle thinking for the oil and gas exploration and production industry. Environmental Science Division, Argonne National Laboratory, U.S. Department of Energy, <http://www.osti.gov/bridge>.
8. El-Hadidi Y. M., Al-Turki A. I. (2007). Organic fertilizer and biogas production from poultry wastes. *J. Food Agric. Environ.* 5(1), 228-233.

9. IPCC 2001. Climate Change 2001. IPCC Third Assessment Report, Cambridge University Press, UK.
10. IPCC 2007. Climate change 2007. IPCC Fourth Assessment Report, Cambridge University Press, UK.
11. WWF Report 2010. Living Planet Report 2010. Biodiversity, biocapacity and development, http://wwf.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report/
12. Merete H. E. (2002). Life cycle assessment (LCA) of industrial milk production. *Int. J. LCA* 7(2), 115–126.
13. PAS 2050:2008. (2008). Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. ICS code: 13.020.40.
14. Pietrzak S. (2004). Bilans azotu i fosforu w wybranych gospodarstwach rolnych ukierunkowanych na produkcję mleka w warunkach zmian zachodzących w rolnictwie Polskim. *Woda- Środowisko- Obszary Wiejskie* tom 4, 1(10), 159-176.
15. Robinson A.B., Robinson A.E., Soon W. (2007). Environmental effects of increased atmospheric carbon dioxide. *J. Am. Physicians Surg.* 12, 79-90.
16. Roger F., Van der Werf H., Kanyarushoki C., Le Lan B., Bras A., Cadoret P., Tirard S., Seuret J.M. (2007). Systèmes bovins lait Bretons: Consommation d'énergie et impacts environnementaux sur l'air, l'eau et le sol. *Renc. Rech. Ruminanis*, 14, 33-36.
17. Turowski J., Tkacz K. (2010). Ślad węglowy – innowacyjny wskaźnik oceny oddziaływania łańcucha żywieniowego na środowisko. *Prace i Materiały Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Gdańskiego „Jakość i bezpieczeństwo produktu oraz ochrona środowiska w sektorze rolno-spożywczym”*, Sopot, czerwiec 2010, 2/1, 399-410.
18. Thomassen M.A., Van Calster K.J., Smits M.C.J., Iepema G.L., De Boer I.J.M. (2008). Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agricul. Sys.* 96, 95-107.
19. Wybieralska K., Wieczorek D. (2007). „Wielka stopa” planety Ziemia. *Problemy Ekologii* 11(2), 68-70.