



Wioleta SERWETA¹, Robert GAJEWSKI¹, Piotr OLSZEWSKI¹,
Alberto ZAPATERO², Katarzyna ŁAWIŃSKA¹

Analiza wartości śladu węglowego dla grupy obuwia dziecięcego

Streszczenie: W artykule dokonano analizy wartości śladu węglowego dla obuwia dziecięcego, czyli takiego, które charakteryzuje się niewielką masą, ale różni się pod względem materiałów konstrukcyjnych. Ślad węglowy jest to ekologiczny wskaźnik, który stosowany jest do pomiaru sumy emisji gazów cieplarnianych (GHG) do atmosfery, wynikającej z wytworzenia obuwia. Złożoność metodyki jego obliczania implikowana jest faktem, że produkcja obuwia jest procesem wieloetapowym i na każdym z nich istnieje prawdopodobieństwo wystąpienia emisji gazów cieplarnianych. Dodatkowo stosowanie szerokiej gamy materiałów zarówno sztucznych, jak i naturalnych do wytwarzania półproduktów obuwniczych powoduje, że w cyklu życia mogą pojawiać się duże ilości odpadów stałych, ścieków, a także emisja szkodliwych gazów cieplarnianych, mogących mieć negatywny wpływ na środowisko. Różnorodność materiałów wiąże się z powstawaniem problemów, związanych z precyzją określenia źródła ich pochodzenia, co utrudnia oszacowanie śladu węglowego związanego z produkcją surowców, zwłaszcza w przypadku, gdy istnieje skomplikowany łańcuch dostaw. W niniejszej pracy na podstawie dostępnej metodyki obliczono ślad węglowy dla czterech modeli obuwia dziecięcego (jeden o cholewce w postaci otwartej (obuwie typu sandał) oraz trzy o cholewce pełnej) z uwzględnieniem poszczególnych cykli jego życia obejmujących: nabycie surowców (etap 1), produkcję materiałów wejściowych (etap 2), produkcję komponentów obuwia (etap 3), montaż, wykańczanie, pakowanie (etap 4), produkcję opakowań (etap 5), dystrybucję do klientów (etap 6) oraz koniec cyklu życia produktu (etap 8), poprzedzony okresem użytkowania ustalonym na 6 miesięcy (etap 7). Na tej podstawie wskazano te obszary cyklu życia obuwia, w których możliwa jest implementacja opcji zmniejszających ilość wyemitowanych gazów cieplarnianych wyrażonych w ekwiwalencie dwutlenku węgla. Potencjalne działania naprawcze powinny być w szczególności skierowane na etapy: 3 (najbardziej emisyjny), 4 oraz 8.

Słowa kluczowe: ślad węglowy, cykl życia obuwia, potencjał tworzenia efektu cieplarnianego, obuwie

¹ Instytut Przemysłu Skórzanego w Łodzi, Łódź, Polska; e-mail: w.serweta@wp.pl

² Footwear Technological Institute (INESCOP), Elda, Hiszpania.

Carbon footprint for a group of children's footwear

Abstract: In this paper, the analysis of carbon footprint values for children's footwear was conducted. This group of products is characterized by similar small mass and diversity in the used materials. The carbon footprint is an environmental indicator, which is used to measure the total sets of greenhouse gas (GHG) emissions into the atmosphere caused by a product throughout its entire lifecycle. The complexity of carbon footprint calculation methodology is caused by multistage production process. The probability of emission greenhouse gases exists at each of these stages. Moreover, a large variety of footwear materials – both synthetic and natural, give the possibility of the emission of a lot of waste, sewage and gases, which can be dangerous to the environment. The diversity of materials could be the source of problems with the description of their origins, which make carbon footprint calculations difficult, especially in cases of complex supply chains. In this paper, with use of life cycle assessment, the carbon footprint was calculated for 4 children's footwear types (one with an open upper and three with full uppers). The life cycles of the product were divided into 8 stages: raw materials extraction (stage 1), production of input materials (stage 2), footwear components manufacture (stage 3), footwear manufacture (stage 4), primary packaging manufacture (stage 5), footwear distribution to customers (stage 6), use phase (stage 7) and product's end of life (stage 8). On these grounds, it was possible to point out the life cycle stages, where the optimization activities can be implemented in order to reduce greenhouse gases emissions. The obtained results showed that the most intensive corrective actions should be focused on the following stages: 3 (the higher emissivity), 4 and 8.

Keywords: carbon footprint, footwear life cycle, global warming potential, footwear

Wprowadzenie

Analiza cyklu życia produktów, a także obliczanie na jej podstawie wielkości śladu węglowego, wykonywana jest w celu zbadania ich oddziaływania na środowisko (Manteuffel Szoego i Sobolewska 2009). Dzieje się tak, ponieważ postępujące zmiany klimatyczne, będące skutkiem działalności człowieka, stanowią obecnie jeden z najważniejszych problemów związanych z ochroną środowiska (Kulczycka 2015 i 2015a). Obliczanie śladu węglowego jest jednym ze znanych, a zarazem skutecznych narzędzi, służących monitorowaniu emisji gazów cieplarnianych, które mają istotny wpływ na zmiany klimatyczne. Według jednej z definicji śladu węglowego, zgodnej z Protokołem Kioto (Grubb M. i in. 1997), ślad węglowy stanowi sumę ilości wyemitowanych gazów cieplarnianych wyrażonych w ekwiwalencie dwutlenku węgla, w odniesieniu do emisji, pochodzących z poszczególnych etapów cyklu życia – począwszy od akwizycji surowców po jego recykling i/lub unieszkodliwianie. W przypadku obuwia, stanowiącego produkt codziennego użytku, ważne jest prowadzenie badań monitorujących jego oddziaływanie na środowisko naturalne. W niniejszym artykule obliczenia prowadzono dla następujących etapów jego cyklu życia:

- etap 1 – pozyskiwanie surowców;
- etap 2 – produkcja materiałów wejściowych (skóry, guma, tekstylia, tworzywa, metale, drewno, wełna itp.);
- etap 3 – produkcja komponentów obuwniczych. W tym etapie przeprowadzane są następujące procesy (zależnie od rodzaju obuwia):
 - zwilżanie, wyrównywanie, dwojenie, ścienianie, ścieranie, mechacenie, formowanie, prasowanie oraz obróbka na agregatach wieloczynnościowych części spodowych obuwia;

- obróbka cięć podeszew i ostrzenie noży frezowych;
- powlekanie klejem, sklejanie, naklejanie;
- suszenie części spodowych obuwia oraz powłok klejowych;
- lamowanie i obciążanie podpodeszew;
- obróbka, obciążanie i wykończanie obcasów;
- dwojenie i ścienianie części wierzchnich obuwia;
- numerowanie i znakowanie części spodowych i wierzchnich;
- perforowanie, deseniowanie i wytłaczanie części wierzchnich;
- łączenie części spodowych w zespoły w ramach czynności przygotowawczych do montażu (przygotowanie podeszew formowanych i wieloczęściowych, przygotowanie podpodeszew wieloczęściowych oraz szkieletów obuwia);
- etap 4 – procesy montażu oraz wykończenia z uwzględnieniem następujących procesów cząstkowych:
 - łączenie elementów cholewek;
 - łączenie wierzchów z innymi częściami cholewek (z podszewkami, międzypodszewkami, łączenie podnosków i zakładek cholewek);
 - wykończenie brzegów;
 - formowanie cholewek;
 - ćwiekowanie cholewek;
 - utrwalanie kształtu cholewek;
 - łączenie cholewek ze spodami (systemem klejonym, wtryskowym, odlewania poliuretanów, metodą *Duo-Lastic*, *Flap-Jacks* itp.);
 - wykończanie obuwia (metodami mechanicznymi i chemicznymi (wykończanie wierzchów, spodów, pneumatyczne lakierowanie obcasów z tworzyw sztucznych, wykończanie gotowego obuwia));
- etap 5 – produkcja opakowań;
- etap 6 – transport do klientów;
- etap 7 – okres użytkowania;
- etap 8 – koniec życia produktu (składowanie odpadów, procesy spalania, recycling).

Podział cyklu życia na 8 etapów, pokazuje ogólny sposób postępowania – w praktyce poszczególne etapy dzielono na bardziej szczegółowe, obejmujące towarzyszące im procesy technologiczne. Ważnym założeniem, jakie zostało przyjęte, stanowi fakt niewłączenia do etapu 1 pozyskiwania surowca ze zwierząt rzeźnych. Według specjalistów z branży obuwniczej surowiec skórzany stanowi produkt uboczny dla przetwórstwa mięsnego. Dzięki temu obniżeniu uległy szacowane wartości śladu węglowego, gdyż jego produkcja w czasie hodowli zwierząt jest niewspółmiernie duża w stosunku do innych etapów cyklu życia obuwia. Wielkość śladu węglowego (CFP), stanowiąca sumę ilości wyemitowanych w każdym etapie cyklu życia produktu gazów cieplarnianych przeliczonych na ekwiwalent CO_{2e} obliczano według formuły (1):

$$CFP = \sum_{k=1}^l \left(\sum_{i=1}^m p_i + \sum_{j=1}^n w_j \right) = \sum_{k=1}^l \left(\sum_{i=1}^m f_i t_i + \sum_{j=1}^n x_j y_j \right) \quad (1)$$

gdzie:

- $k = 1, \dots, 8$ – indeks odpowiadający kolejnym cyklom życia obuwia,
- p_i – ilość wyemitowanych gazów cieplarnianych podczas i -tego procesu,
- w_j – ilość wyemitowanych gazów cieplarnianych związanych z wyprodukowaniem j -tej części obuwia,
- f_i – współczynnik emisyjności procesu jednostkowego w czasie jego trwania t_i ,
- x_j – współczynnik emisyjności materiału jednostkowego oraz jego masa y_j .

W obliczeniach dokonano następujących uproszczeń:

- Pominięto ilości emisji w etapie 1 (wytworzenie surowców) oraz etapie 2 (produkcja materiałów wejściowych). Ich wpływ zawarty jest w etapie 3.
- W etapie 6 (transport obuwia do klientów docelowych) odległość między miejscem produkcji obuwia a klientem końcowym oszacowano poprzez różnicę odległości wytwórcy a stolicą danego kraju.
- Okres użytkowania obuwia (stanowiący etap 7) został wyłączony z obliczeń (jego wkład w całkowitą wielkość CFP sytuuje się poniżej 1%). Etap ten wiąże się przede wszystkim z mechanicznym zużywaniem podeszwy. Wskutek tego faktu do środowiska zewnętrznego wprowadzane są pyły materiałów podeszwy. Jednakże bezpośrednie oddziaływanie na środowisko wraz z odpowiednimi danymi liczbowymi jest słabo opisane w źródłach literaturowych, ze względu na trudność właściwego sformułowania zagadnienia, jak również mnogość czynników mogących zaburzać prawidłowy wynik.
- W przypadkach wątpliwości między poszczególnymi materiałami lub procesami zastosowano zasadę konserwatywności – tj. wybierano zawsze tę opcję, która ma największy udział w kształtowaniu sumarycznej ilości emitowanych gazów cieplarnianych.
- Pominięto aspekty związane z emisją gazów cieplarnianych podczas transportu wewnętrznego i zewnętrznego, chłodzenia i klimatyzacji oraz wytwarzania i utrzymania dóbr inwestycyjnych.
- Przy obliczeniach brano pod uwagę jedynie opakowanie produktu podstawowego.
- W niektórych przypadkach, gdy np. szacowano zużycie energii, wody, ilość wyprodukowanych ścieków, oszacowania te otrzymano poprzez podzielenie łącznej wartości dla okresu obliczeniowego przez całkowitą ilość wyprodukowanych par obuwia w tym okresie.
- Uwzględniono najczęściej uwalniane gazy w trakcie produkcji obuwia, tj. CO₂, CH₄, NO₂, które są bezpośrednim następstwem procesów zużycia energii i spalania paliw kopalnych. Udział innych gazów, wymienionych w Protokole Kioto np. freonów, SF₆ pominięto z uwagi na ich potencjalne niewystępowanie.

Dokumentami, na których oparto metodykę obliczania śladu węglowego były normy: ISO 14067: 2013 ([ISO 14067](#)), ISO 14044: 2006 ([ISO 14044](#)) oraz prace: ([Łasut 2014](#); [Gajewski i in. 2014](#)).

1. Materiały i metody

Materiał badawczy, wykorzystany w niniejszej pracy stanowią 4 modele obuwia dziecięcego (O1–O4) produkcji krajowej, z małym zróżnicowaniem masy. Para obuwia wraz z jego podstawowym opakowaniem została zdefiniowana jako jednostka funkcyjna. Charakterystyka wykorzystanego obuwia przedstawiona jest w tabelach 1 i 2. Dla każdego z nich przeprowadzono sumowanie emisyjności z poszczególnych etapów, na podstawie danych pochodzących z kwestionariuszy wypełnionych przez wytwórców oraz opracowań własnych (dotyczących charakterystyk materiałowych poszczególnych komponentów obuwia).

TABELA 1. Charakterystyki obuwia O1–O4, dla których obliczono ślad węglowy

TABLE 1. Basic characteristics of O1–O4 footwear used for carbon footprint calculations

Symbol	Opis	Materiały wierzchnie	Materiał podeszwy	Masa pary [g]	Masa opakowania [g]
O1	obuwie dziecięce typu sandał w rozmiarze 32	skóra bydlęca z wyprawy chromowej	poliuretan termoplastyczny (TPU)	255,75	126,04
O2	obuwie dziecięce skórzane w rozmiarze 35	skóra bydlęca z wyprawy chromowej	poliuretan termoplastyczny (TPU)	275,97	126,80
O3	obuwie dziecięce skórzane w rozmiarze 32	skóra bydlęca z wyprawy chromowej	poliuretan termoplastyczny (TPU)	315,52	136,01
O4	obuwie dziecięce tekstylne w rozmiarze 32	tkanina bawełniana	polichlorek winylu (PVC)	250,24	67,99

TABELA 2. Zbiór fotografii badanego obuwia

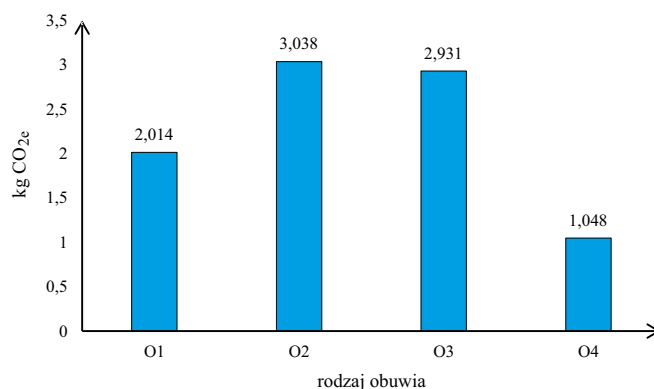
TABLE 2. Set of photos of examined footwear

Symbol	Fotografia	Symbol	Fotografia
O1		O3	
O2		O4	

Każde obuwie było rozkładane na poszczególne elementy wchodzące w jego skład i dla każdego elementu obliczany był jego udział w całkowitej emisji, przypadającej na etap 3. Zgromadzenie danych, niezbędnych do przeprowadzenia obliczeń, odbyło się za pomocą tabel inwentaryzacji, uwzględniających ilości każdego materiału oraz zużycie zasobów (wody, energii, chemikaliów itp.) w całym procesie produkcyjnym. Następnie dane były przenoszone do programu Sima Pro 8.0.5 (Łasut 2014; Herrmann 2015), który po ich przekształceniu (z użyciem inwentarzowej bazy danych EcoInvent Database) dawał wynik śladu węglowego dla badanego produktu, jako ekwiwalentu CO₂, emitowanego przez jedną parę obuwia.

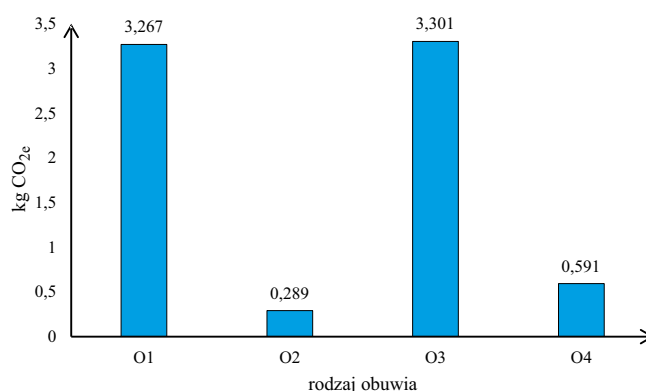
2. Rezultaty

W efekcie przeprowadzonych badań obliczono ślad węglowy dla badanego obuwia O1–O4, jako sumę emisyjności przypadających na etapy 3, 4, 5, 6, 8. Na rysunkach 1–4



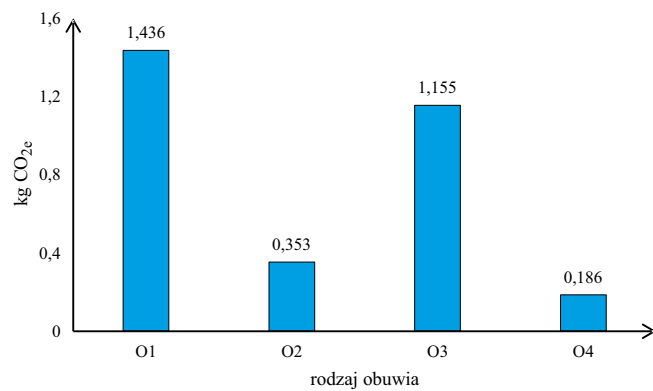
Rys. 1. Całkowita emisyjność w etapie 3

Fig. 1. Total GHG emissions in stage 3



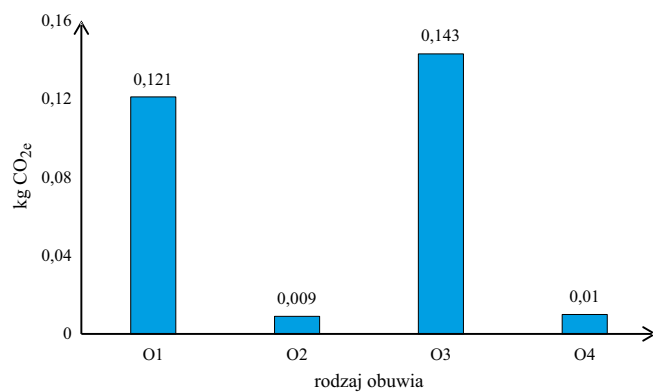
Rys. 2. Całkowita emisyjność w etapie 4

Fig. 2. Total GHG emissions in stage 4



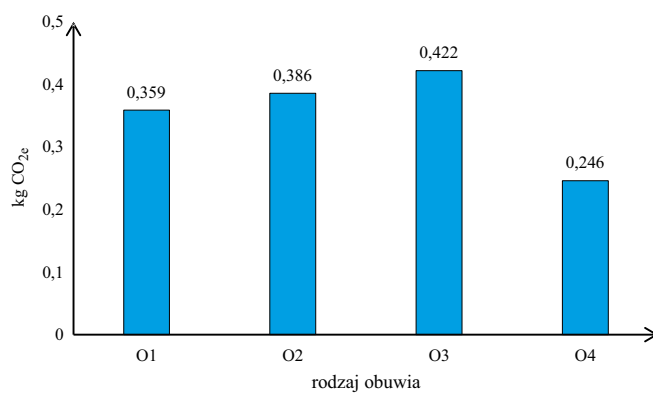
Rys. 3. Całkowita emisyjność w etapie 5

Fig. 3. Total GHG emissions in stage 5



Rys. 4. Całkowita emisyjność w etapie 6

Fig. 4. Total GHG emissions in stage 6



Rys. 5. Całkowita emisyjność w etapie 8

Fig. 5. Total GHG emissions in stage 8

dokonano charakterystyki każdego etapu pod względem emisji CO₂, wyrażonym w kilogramach ekwiwalentu.

Przedstawione wyniki wskazują na największe emisyjności dla pełnego obuwia skózanego (O2 oraz O4). Zastąpienie skóry materiałem tekstylnym spowodowało obniżenie emisyjności do 1,048 kg CO_{2e}, czyli o około 34%.

W odniesieniu do emisyjności, pochodzącej z procesów wykończalniczych (etap 4), największą emisyjność zaobserwowano dla obuwia O1 oraz O4. Ma to bezpośredni związek z większym zużyciem energii elektrycznej, zwiększoną konsumpcją wody oraz większą ilością wyprodukowanych ścieków w procesie produkcyjnym (tab. 3).

Podobna tendencja utrzymała się dla etapu 5. W tym przypadku zastosowanie dla obuwia O2 oraz O4 papierowych, całkowicie biodegradowalnych opakowań spowodowało obniżenie emisyjności w tym etapie odpowiednio o 75% (dla O2) oraz 87% (dla O4).

TABELA 3. Konsumpcja mediów oraz produkcja ścieków dla procesu produkcyjnego obuwia

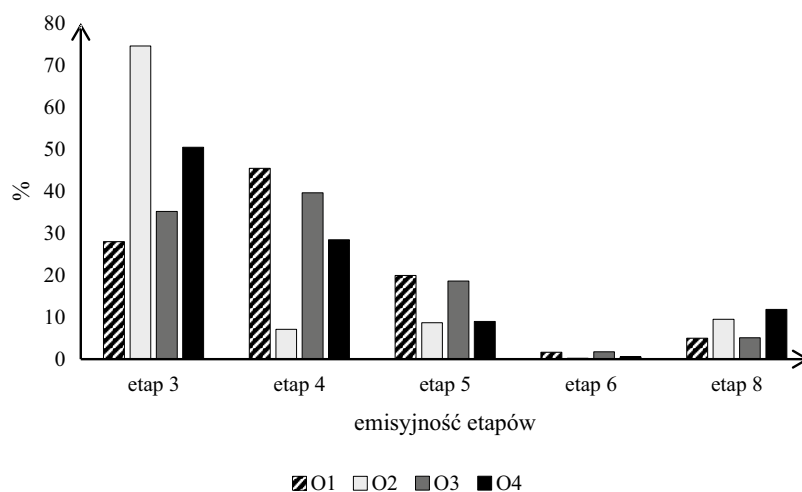
TABLE 3. Water – energy consumption and wastewater production for footwear manufacture process

Symbol	Zużycie energii elektrycznej (w przeliczeniu na CO _{2e}) [g]	Konsumpcja wody (w przeliczeniu na CO _{2e}) [g]	Produkcja ścieków (w przeliczeniu na CO _{2e}) [g]	Średni dystans pokonywany podczas transportu [km]
O1	361,1	3,5	7,3	2 600
O2	253,4	0,6	3,2	316
O3	364,1	3,5	7,3	2 950
O4	284,9	0,5	1,2	129

Emisyjność etapu 6, dotycząca transportu gotowego produktu do klienta, zależy ściśle od odległości między producentem, a odbiorcą. W przypadku obuwia O1 oraz O3 głównym kierunkiem jego dystrybucji była Rosja, zaś w przypadku obuwia O2–O4 – sklepy własne w Polsce. Dzięki temu zmniejszyły się znacznie odległości, a tym samym została obniżona emisyjność w etapie 6.

W przypadku etapu 8 obejmującego procesy utylizacji oraz składowania odpadów najkorzystniej wypadło obuwiu tekstylnym. Właściwości fizykochemiczne odpadów tekstylnych nie wymuszają stosowania wysokoemisyjnych procesów. Ograniczają się one zazwyczaj do recyklingu mechanicznego, który wykorzystuje procesy rozczesywania, rozwiarstwiania czy rozdrabniania odpadów (Witek 2014). Inaczej się dzieje w przypadku odpadów skórzanych, w których najczęściej wykorzystuje się wysokoenergetyczne metody termiczne (Karcz i in. 2013).

Przedstawione wyniki pokazują, że etap 3, czyli wytwarzanie komponentów do produkcji obuwia, jest jednym z tych, które stanowią największy udział w całkowitej wartości śladu węglowego. Wpływ na ten fakt może mieć kilka czynników, przede wszystkim – skład



Rys. 6. Rozkład emisyjności dla poszczególnych etapów

Fig. 6. Emissivity distribution for the examined stages

i pochodzenie materiału, jego gęstość właściwa, przekładająca się na masę i tym podobne. W przypadku omawianego obuwia tendencja ta potwierdziła się w przypadku modeli O2 oraz O4 (rys. 6), zaś w przypadku modeli O1 oraz O3 punkt ciężkości przesuwa się w stronę etapu 4. Etap ten obejmuje emisje wynikające ze zużycia energii oraz mediów do procesów montażu i wykończenia. Istotnymi elementami, które mogą istotnie wpływać na emisyjność tego etapu, są przykładowo:

- parametry dotyczące materiału (np. niezbędna ilość materiału w jednostce czasu);
- rodzaj pracy (ciągła lub przerywana);
- rodzaj produkcji (jednostkowa lub masowa);
- organizacja procesu produkcyjnego w przedsiębiorstwie.

Innym aspektem, który reguluje emisyjność etapu 4 są zagadnienia związane z energochłonnością stosowanych maszyn i urządzeń, takich, jak: ćwiekarki, aktywizatory podnosków, drasarki, prasy hydrauliczne do nakładania spodów. Istnieją prace, które opisują propozycje możliwych usprawnień w zakładzie obuwniczym, mogących przełożyć się na zużycie energii. Przykładowo autorzy (Rudawska 2015) proponują opcję modernizacji linii technologicznej produkcji obuwia, uwzględniającą schemat rozmieszczania stanowisk do produkcji obuwia jesienno-zimowego oraz letniego. Dzięki temu zmniejsza się czas trwania transportu międzystanowiskowego oraz przyspieszeniu ulegają poszczególne procesy, związane bezpośrednio z transportem. Innym elementem, który istotnie wpływa na emisyjność tego etapu, może być poziom innowacyjności w danym przedsiębiorstwie. W pracy (Suwart 2011) autor proponuje rozwiązanie dotyczące racjonalizacji doboru materiałów oraz budowy i doboru narzędzi do montażu obuwia przez szycie. Dodatkowym aspektem jest optymalizacja energetyczna procesu montażu obuwia w ujęciu tribologicznym. Można ją prowadzić w obszarach takich, jak: dobór igieł szwalniczych,

nici, przebieg procesu szycia i regulacja jego parametrów, a także w obszarze właściwości materiałów zszywanych, na które mają wpływ przetwórstwo (w przypadku materiałów włókienniczych) oraz hodowla (w przypadku skór) (Grabkowski 2002). Innym kierunkiem rozwoju technologicznego branży obuwniczej jest zastosowanie innowacyjnych technologii, takich jak plazmowa obróbka powierzchni materiałów polimerowych (Opalska i in. 2015). Technologia plazmy atmosferycznej jest stosowana do aktywowania powierzchni tworzyw sztucznych, zwłaszcza z grupy poliolefin. Umożliwia to zastąpienie tradycyjnych, wysokonakładowych technologii montażu – np. metody klejenia środkami na bazie wodnej, lub bezpośredniego formowania wtryskowego przy użyciu wtryskarek. Innym aspektem może być innowacyjna technologia powlekania przy użyciu produktów nanotechnologii w roli środków pomocniczych do wytwarzania i wykańczania komponentów obuwniczych. Ważnym aspektem w tym zakresie jest stosowanie innowacyjnych surowców i materiałów, takich jak: nowoczesne funkcjonalne materiały polimerowe czy materiały wierzchnie (membrany, ocieplenia, dzianiny dystansowe). Stosowanie ich w znacznym stopniu poprawia właściwości obuwia, a jednocześnie może być przyjazne dla środowiska (Tyczkowski i in. 2010).

Podsumowanie

Przedstawione w niniejszej pracy wyniki dotyczące emisyjności poszczególnych etapów produkcji obuwia mają znaczenie dla identyfikacji zagrożeń oraz podejmowania stosownych działań, mających na celu optymalizację całego cyklu życia obuwia pod kątem jego emisyjności. Wielkość potencjalnego zagrożenia dla środowiska powinna być brana pod uwagę na etapie projektowania poprzez odpowiedni dobór surowców oraz stosowanej technologii ich łączenia. Potencjalny obszar możliwości optymalizacyjnych może dotyczyć, np. grubości i kształtu podeszwy, fasonu cholewki, elementów wewnętrznych, a przede wszystkim surowców i technologii ich przetwarzania. Monitorowanie wielkości śladu węglowego ma bardzo istotne znaczenie z punktu widzenia ekologicznego. Mimo iż produkty obuwnicze nie należą do wyrobów o wysokim stopniu skomplikowania ich konstrukcji, mnogość problemów związanych z poprawnym oszacowaniem ich wpływu na środowisko jest stosunkowo duża. Podejmuje się działania, które mają na celu opracowanie wskazówek dla przedsiębiorców i konsumentów, związane z bardziej efektywnym zarządzaniem zasobami. Przykładem takich działań są prace nad opracowaniem platformy do edukowania profesjonalistów z branży obuwniczej w ramach projektu *Ecotextyle: Vocational Education and Training on Product Environmental Management for the Footwear and Textile Sector* (ecotextyle.eu), realizowanego w Instytucie Przemysłu Skórzanego w ramach programu Erasmus+. Innym sposobem może być wytwarzanie narzędzi, związanych z określeniem efektywności poszczególnych procesów przetwórstwa odpadów. Przykładem tego jest narzędzie do obliczania śladu węglowego opracowane w ramach projektu *CO2Shoe Footwear Carbon footprint* (Ślad węglowy obuwia), współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach programu LIFE+ (Gajewski i in. 2014).

Wyniki przedstawionych w niniejszej pracy badań mogą posłużyć do:

- redukcji kosztów wytwarzania poprzez optymalizację procesów produkcyjnych, zasobów oraz zużycia energii;
- wzmocnienia poszczególnych marek pod kątem ich konkurencyjności na rynku;
- włączenia aspektów ekologicznego projektowania w produkcji obuwia, co może rzutować na stopniowe obniżanie poziomu zanieczyszczenia środowiska naturalnego.

Literatura

- Gajewski i in. 2014 – Gajewski, R., Olszewski, P., Zapatero, A. i Ferrer, J. 2014. *Ślad węglowy – szansa, czy zagrożenie dla przemysłu obuwniczego. Materiały w branży skórzanej: bezpieczeństwo i ochrona środowiska*. Kraków: Wydawnictwo IPS.
- Grabkowski, M. 2002. *Zarys teorii procesów wytwarzania obuwia*. Praca zbiorowa. Radom: Wydawnictwo Politechniki Radomskiej.
- Grubb, M. i in. 1997. *The Kyoto protocol – a guide and assessment*. London: Royal Institute of International Energy and Environmental Programme.
- Hermann, I.T. i Moltesen, A. 2015. Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi. *Journal of Cleaner Production* t. 86, z. 1, s. 163–169.
- ISO/TS 14067:2013. *Greenhouse gases – carbon footprint of products – requirements and guidelines for quantification and communication*.
- ISO 14044: 2006. *Environmental management – life cycle assessment – requirement for guidelines*.
- Karcz i in. 2013 – Karcz, H., Komorowski, W., Grabowicz, M. i Pędzik, P. 2013. Własności fizykochemiczne odpadów komunalnych wymuszających rodzaj technologii recyklingu termicznego. *Piece Przemysłowe i Kotły* t. 1–2, s. 8–20.
- Kulczycka, J. i Wernicka, M. 2015. Metody i wyniki obliczania śladu węglowego działalności wybranych podmiotów branży energetycznej i wydobywczej. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* 89, s. 133–142.
- Kulczycka, J. i Wernicka, M. 2015a. Zarządzanie śladem węglowym w przedsiębiorstwach sektora energetycznego w Polsce – bariery i korzyści. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal* t. 18, z. 2, s. 61–72.
- Łasut, P. i Kulczycka, J. 2014 – Metody i programy obliczające ślad węglowy. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN* 87, s. 137–146.
- Manteuffel Szoego, H. i Sobolewska, A. 2009. Analiza cyklu życia opakowań w handlu jabłkami w aspekcie oddziaływania na środowisko naturalne. *Rocznik Nauk Rolniczych, Seria G* t. 96, z. 1, s. 130–138.
- Opalska i in. 2015 – Opalska, A., Haduch, M. i Gąsiorowski, K.P. 2015. Modyfikacja powierzchni kauczuków termoplastycznych w plazmie atmosferycznej. *Przemysł Chemiczny* t. 94, z. 3, s. 345–347.
- Rudawska, A. i Skwarczyński, S. 2015. Zagadnienia transportu międzystanowiskowego na przykładzie wybranego przedsiębiorstwa. *Logistyka* t. 4, s. 5533–5538.
- Suwart, R. 2011. Wpływ tarcia na pracę i sprawność procesu szycia elementów obuwia. *Tribologia* t. 1, s. 159–172.
- Tyczkowski i in. 2010 – Tyczkowski, J., Kłys-Krawczyk, I., Kuberski, S. i Makowski, P. 2010. Chemical nature of adhesion: plasma modified styrene – butadiene elastomer and polyurethane adhesive joints. *European Polymer Journal* t. 46, z. 4, s. 767–773.
- Witek, A. i Wołosiewicz-Głąb, M. 2014. Systemy optymalizacji recyklingu oraz transportu odpadów tekstylnych. *Logistyka* t. 4, s. 5041–5047.

