

# Ślad węglowy w transporcie szynowym

Jolanta Maria RADZISZEWSKA-WOLIŃSKA<sup>1</sup>, Marta ŁYSZCZ<sup>2</sup>

## Streszczenie

W artykule opisano pojęcie śladu węglowego, który stanowi całkowitą sumę emisji gazów cieplarnianych wywołanych bezpośrednio lub pośrednio przez daną jednostkę (osobę, organizację, wydarzenie lub produkt). Scharakteryzowano aktualnie stosowane metody wyliczania i przedstawiania śladu węglowego na podstawie normy ISO 14067:2018 oraz serii norm ISO 14040:2009. Przedstawiono również ślad węglowy w odniesieniu do różnych środków transportu. Z przeprowadzonej analizy wynika, że najwięcej gazów cieplarnianych pochodzi z transportu drogowego, natomiast najmniej z transportu kolejowego. Należy jednak zwrócić uwagę, że do każdej podróży oraz ilości emitowanego przez nią śladu węglowego należy uwzględnić m.in. emisję spowodowaną w trakcie wytwarzania elementów składowych wraz z ich transportem do producenta pojazdów, emisję z procesu budowy pojazdów i wdrożenia ich do eksploatacji, a także budowę niezbędnej infrastruktury. W artykule wykazano również, że budowa nowych linii kolejowych dużych prędkości wpływa na ograniczenie emisji dwutlenku węgla w transporcie. Zasergowano także ponowne przeanalizowanie opłacalności rozwoju transportu intermodalnego towarów.

**Słowa kluczowe:** ślad ekologiczny, gazy cieplarniane, środki transportu, transport intermodalny

## 1. Wprowadzenie

Postępujące zjawisko ocieplenia klimatu jest faktem niezaprzeczalnym i ma już coraz większy wpływ na występowanie różnych ekstremalnych zjawisk pogodowych, które do niedawna pojawiały się jedynie w ograniczonych miejscach na świecie. Naukowcy prognozują, że zwiększy się tempo topnienia lodowców i parowania wód, co w konsekwencji wpłynie na gospodarkę wodną całej Ziemi. Spowoduje to powiększenie obszarów pustynnych i w rezultacie przyczyni się do wyginięcia niektórych gatunków roślin i zwierząt.

Średnia temperatura powierzchni Ziemi wzrosła już o około 1 stopień Celsjusza i według ekspertów, w ciągu najbliższych 80 lat będzie aż o 4 stopnie wyższa niż dwa stulecia temu. Ponieważ najwcześniejsze zapisy temperatury sięgają zaledwie do drugiej połowy XVII w., obecnie do określenia zmian klimatu naukowcy muszą opierać się na tzw. danych pośrednich, które są uzyskane z badań geologów, archeologów, paleontologów oraz innych naukowców. Na ich podstawie oszacowano, że w przeszłości dynamika zmian była mniejsza i przebiegała przez około 20 tys. lat.

Jednak nie wszyscy naukowcy są zgodni co do przyczyn bieżących zmian klimatycznych. Do mniej

popularnych teorii należy założenie, że obecnie mamy do czynienia z kolejną epoką globalnego ocieplenia występującą cyklicznie na kuli ziemskiej na zmianę z okresami zlodowacenia, co potwierdziły badania warstw lodowych na Grenlandii i Antarktydzie. A jako najbardziej prawdopodobną przyczynę cykli ociepleń i ochłodzeń naszej planety, zwolennicy tej teorii podają Słońce i jego aktywność [9].

Pierwsze stanowisko Międzyrządowego Panelu ds. Zmian Klimatu (IPCC), jak również ocen różnych gremiów naukowych podaje, że przyczyną ocieplenia atmosfery ziemskiej i wynikających z tego anomalii klimatycznych jest wzrost emisji gazów cieplarnianych, głównie antropogenicznej emisji CO<sub>2</sub>. Z tego względu w 1992 roku rządy większości krajów podpisały Ramową konwencję Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu [23], w 1997 roku protokół z Kioto [20], a w 2015 roku Porozumienie Paryskie [19], które ma na celu redukcję emisji szkodliwych gazów cieplarnianych. Celem przeprowadzonych badań literaturowych było zebranie i usystematyzowanie dostępnej wiedzy dotyczącej wytwarzania śladu węglowego, w tym szczególnie przez środki transportu, a także wskazanie możliwych kierunków jego ograniczania.

<sup>1</sup> Dr inż., prof. IK; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji; e-mail: jradziszewska-wolinska@ikolej.pl

<sup>2</sup> Mgr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji; e-mail: mlyszcz@ikolej.pl

## 2. Ślad węglowy

W celu zunifikowania pomiaru i ciągłego monitoringu poziomów światowej emisji gazów został wprowadzony termin „śląd węglowy” (ang. *carbon footprint* – C). Jest on wskaźnikiem mierzalnym i stanowi całkowitą sumę emisji gazów cieplarnianych wywołanych bezpośrednio lub pośrednio przez daną jednostkę (osobę, organizację, wydarzenie lub produkt) i jest rodzajem śladu ekologicznego.

Pojęcie to obejmuje emisje dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>), metanu (CH<sub>4</sub>), podtlenku azotu (N<sub>2</sub>O) i innych gazów cieplarnianych wyrażone w ekwiwalencie CO<sub>2</sub>, do których należą gazy fluorowane takie jak: fluorowęglowodory (HFC), perfluorowęglowodory (PFC), sześćfluorek siarki (SF<sub>6</sub>). Miarą śladu węglowego jest: t CO<sub>2</sub>e – tona ekwiwalentu dwutlenku węgla. Parametr ten pozwala porównywać emisje różnych gazów na wspólnej skali, według której tona metanu odpowiada 25 tonom CO<sub>2</sub>e. Śład węglowy może być kalkulowany na poziomie przedsiębiorstw lub produktu. Poziom wskaźnika CF przedsiębiorstwa obejmuje emisje spowodowane przez wszystkie działania związane z działalnością gospodarczą przedsiębiorstwa, wliczając w to zużycie energii przez budynki i środki transportu. Poziom wskaźnika CF produktu obejmuje emisje spowodowane wydobyciem surowców, z których produkt został wytworzony, emisje pochodzące z procesu produkcyjnego, użytkowania oraz składowania, a także recyklingu po zużyciu [9].

## 3. Zasady wyliczenia i przedstawiania śladu węglowego

Przedstawione podejście oznacza, że w kalkulacji brane są pod uwagę nie tylko własne emisje bezpośrednie, ale również te występujące w łańcuchu dostaw, co powoduje, iż sam proces analizy danych jest czasochłonny, pracochłonny i wymagający specjalistycznej, eksperckiej wiedzy. Ponadto przed przystąpieniem do analizy należy wybrać odpowiednią jednostkę funkcjonalną oraz określić granice i zakres dla jakiego będzie liczony CF. Wymaga to poznania całego procesu produkcyjnego lub całościowego sposobu funkcjonowania organizacji (w zależności od celu liczenia). Stosowane są następujące zakresy obliczeń:

- od kołyski do grobu (ang. *from cradle to grave*), wówczas uwzględnia się wszystkie etapy od wydobycia surowców do utylizacji (z wykorzystaniem normy ISO 14067:2018 [8]), lub
- od kołyski do bramy klienta (ang. *from cradle to gate*), gdzie liczone są etapy od wydobycia surowców po dostarczenie gotowego produktu do klienta z uwzględnieniem procesu transportu i z wyko-

rzystaniem norm: ISO 14040:2009 [17] oraz ISO 14044:2009 [18].

Większość przedsiębiorców decydując się na policzenie wielkości CF dla swoich produktów, wybiera metodę od kołyski do bramy. Jest ona dużo dokładniejsza, daje mniejsze ryzyko popełnienia błędu i dokładniej pozwala zbadać wszystkie procesy, które ekspert jest w stanie sprawdzić. Licząc emisje w zakresie od kołyski do grobu należy rozważyć wiele hipotetycznych scenariuszy, np. użytkowania lub utylizacji produktu i przyjąć uśrednione wartości dla sytuacji, które mogą, ale nie muszą się wydarzyć. Zwiększa to niepewność i naraża przedsiębiorstwo na błędy w obliczeniu. Natomiast analizy w takim zakresie są często wykonywane do oceny procesów gospodarczych lub analiz porównawczych. Poniżej omówiono zasady i wytyczne przedstawione w wymienionych normach.

### 3.1. Wyliczenie śladu węglowego według normy ISO 14067:2018

Norma ISO 14067:2018: Gazy cieplarniane – Śład węglowy wyrobów – Wymagania i wytyczne dotyczące kwantyfikacji [8] przedstawia zasady dotyczące obliczania i stosowania CFP (*ślada węglowego produktu*), a także zawiera wskazówki w zakresie komunikacji oraz kwalifikacji CFP. Główne cele omawianej normy:

- określenie wymogów dla metod związanych z CF,
- ułatwienie identyfikacji źródeł oraz śledzenia emisji GHG (ang. *Greenhouse Gases*),
- tworzenie spójnych i efektywnych procedur informacyjnych dla wszystkich zainteresowanych stron,
- ułatwienie oceny różnych wariantów projektowania produktów oraz metod ich produkcji, poczynając od wyboru surowców, przez dobór technologii wytwarzania po ocenę recyklingu, w celu usprawnienia zasad wdrażania strategii planowania i zarządzania gazami cieplarnianymi w całym cyklu życia produktu, jak również zidentyfikowania potencjalnych „oszczędności” w całym łańcuchu dostaw,
- zwiększenie wiarygodności komunikatów CF i dostarczanie informacji umożliwiających konsumentom podejmowanie świadomych decyzji zakupu produktów i ich wpływu na emisje GHG.

Określenie CF ma za zadanie również podnoszenie świadomości ekologicznej i zwiększanie zaangażowania wszystkich stron powiązanych w łańcuchu dostaw, a także wspieranie organizacji w celu śledzenia zmian klimatycznych oraz w zakresie zarządzania zmianami.

W normie ISO 14067 [8] zawarte są zagadnienia dotyczące aspektów środowiskowych. Metodyka obliczenia CF bazuje na koncepcji oceny cyklu życia pro-

duktu (LCA – *Life Cycle Assessment*), stąd proponuje się, aby uwzględnić cztery podstawowe fazy badawcze, to jest:

- 1) określenie celu i zakresu badań – *Goal and Scope definition*;
- 2) analizę zbioru wejść i wyjść (katalog materiałów, energii oraz emisji i odpadów), tzw. LCI – *Life Cycle Inventory*;
- 3) ocenę wpływu cyklu życia LCIA – *Life Cycle Impact Assessment*;
- 4) interpretację cyklu życia – *Life Cycle Interpretation* [10].

### 3.2. Wyliczenie śladu węglowego według norm serii ISO 14040

Normy serii ISO 14040 zawierają wymagania i zasady sporządzania oceny, jak również zasady interpretacji jej wyników i wzory wymaganych dokumentów. Omawiana seria norm obejmuje następujące dokumenty:

- PN-EN ISO 14040:2009: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura [17]. W normie opisano zasady i strukturę oceny cyklu życia (LCA). Podano w niej 46 definicji dotyczących badania oceny cyklu życia oraz badania zbioru wejść i wyjść cyklu życia. Zasady sformułowane w normie powinny być stosowane jako wytyczne w trakcie podejmowania decyzji zarówno w zakresie planowania, jak i przeprowadzania LCA.
- PN-EN ISO 14041:2002: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Określenie celu i zakresu oraz analiza zbioru [14].
- PN-EN ISO 14042:2002: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Ocena wpływu cyklu życia [15].
- PN-EN ISO 14043:2002: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Interpretacja cyklu życia [16].
- PN-EN ISO 14044:2009: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne [18]. W normie określono wymagania i podano wytyczne dotyczące oceny cyklu życia. Postanowienia normy w głównej mierze odnoszą się do czterech faz badania LCA: określenia celu i zakresu, analizy zbioru wejść i wyjść, oceny wpływu i interpretacji.
- ISO/TR 14047:2012: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Przykłady stosowania ISO 14042 [15]. Podano 8 przykładów ilustrujących prowadzenie oceny wpływu cyklu życia. Przykład wiodący umożliwia przesłanie pełnej procedury oceny wpływu cyklu życia, pozostałe przykłady ilustrują tylko wybrane zagadnienia.
- ISO/TS 14048:2002: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Format dokumentowania danych [5].
- ISO/TR 14049:2012: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Przykłady stosowania [7].

### 3.3. Kalkulatory do obliczania CF

W celu ułatwienia obliczania śladu węglowego opracowano wiele wspomagających programów komputerowych, przeznaczonych dla różnych użytkowników (dla osób prywatnych zainteresowanych własnym gospodarstwem domowym oraz bardziej specjalistyczne dla różnych dziedzin gospodarki). W związku z tym, różnią się one zakresem i metodologią liczenia oraz dostępnością do różnych baz danych. Przy czym, jak wykazano w [10] wyniki przy użyciu różnych kalkulatorów w obrębie tej samej dziedziny (np. dla środków transportu) mogą różnić się nawet o 100%. Nie mniej, są to narzędzia bardzo pomocne, które przyczyniają się między innymi do wzrostu świadomości społecznej. Natomiast należy spodziewać się, że działania prowadzone na forum UE i innych państw przyczynią się do powstania zmodyfikowanych lub nowych spójnych programów w zakresie obliczania śladu środowiskowego i węglowego.

## 4. Ślad węglowy emitowany przez środki transportu

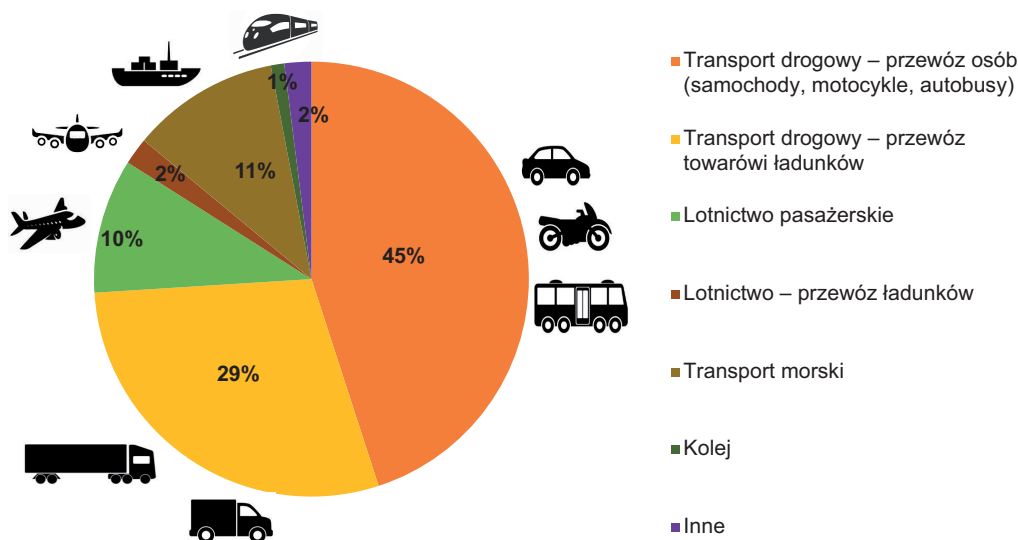
Transport stanowi bardzo istotny sektor gospodarki, który towarzyszy ludziom od początków cywilizacji w związku z koniecznością przemieszczania się oraz przenoszenia ładunków. Niestety, ten dział gospodarki uważany jest za najbardziej szkodliwy dla środowiska naturalnego i zdrowia [26].

Jak wynika z danych (rys. 1), przeważająca część (około 74%) wszystkich gazów cieplarnianych emitowanych przez ten sektor jest wytwarzana w transporcie drogowym, głównie przez samochody osobowe i autobusy oraz pojazdy dostawcze. Natomiast kolej stanowi najmniej emisyjny środek transportu na świecie. Jest to 1% emisji z transportu, czyli 0,2% emisji GHG (*Greenhouse Gases*) ogółem. Przy czym, według uśrednionych danych statystycznych CER (*Community of European Railways and Infrastructure*), ilość CO<sub>2</sub> wyemitowana przez 1 pasażera na odcinku 1 km (*pasażerokilometrów*, pkm) dla poszczególnych środków transportu kształtuje się następująco:

- dla pociągu: 28 g,
- dla autobusu: 90 g,
- dla samochodu: 102 g,
- dla samolotu: 244 g CO<sub>2</sub>/pkm.

Należy jednak wziąć pod uwagę fakt, że dokładne obliczenie śladu węglowego każdej podróży powinno uwzględniać również takie aspekty jak:

- dla samochodu: jego wiek, wielkość (masa), rodzaj paliwa, prędkość jazdy, natężenie ruchu na drodze,



Rys. 1. Światowe emisje gazów cieplarnianych pochodzących ze środków transportu; opracowanie M. Łyszcz na podstawie [24]

- dla kolei: sposób produkcji energii napędzającej pociągi (trakcja elektryczna zasilana z elektrowni węglowych, atomowych, wiatrowych itd., pojazdy spalinowe, pojazdy wodorowe, inne z alternatywnym zasilaniem), prędkość jazdy.

Przykładowo, koleje francuskie SNCF podają, że podróż:

- pociągiem TGV – emituje tylko 1,73 g CO<sub>2</sub>/pkm,
- pociągiem Intercity – 5,29 g CO<sub>2</sub>/pkm,
- pociągiem osobowym – 24,81 g CO<sub>2</sub>/pkm.

Ponadto, zasilenie niskoemisyjną energią atomową oraz prędkość, jaką rozwija TGV (średnio: 320 km/h), pozwalają francuskiemu przewoźnikowi głosić, że podróż pociągiem oznacza 50 razy mniej emisji niż samochodem (jeśli jadą nim dwie osoby), a także 80 razy mniej niż samolotem [23].

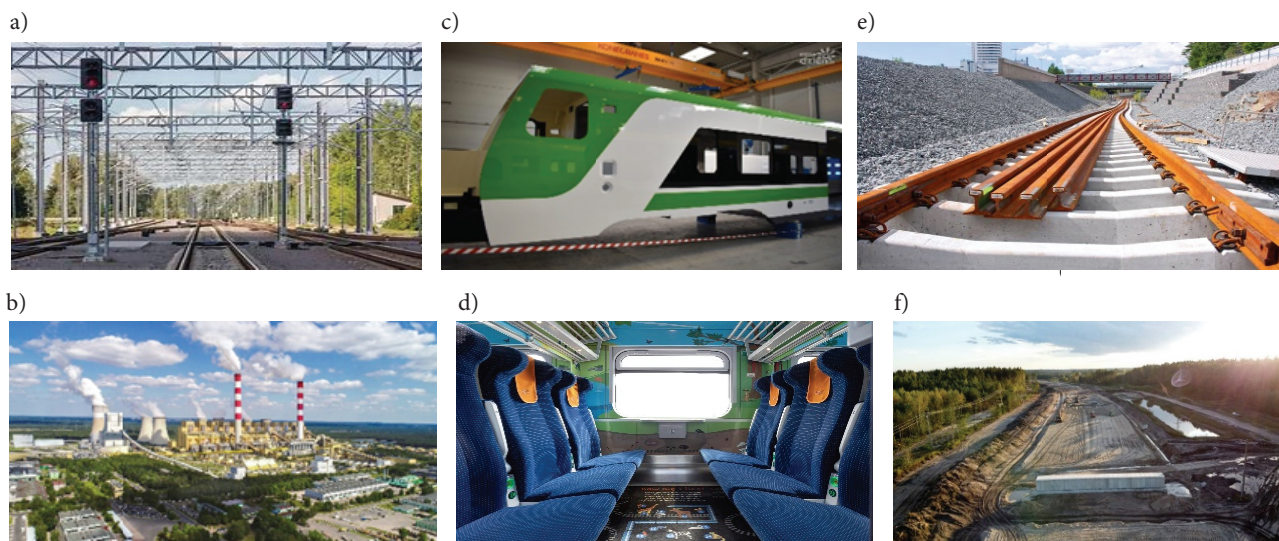
Kompleksowe podejście do obliczeń wskaźnika CF wymagałoby także dodania śladu węglowego emitowanego w procesach produkcji poszczególnych środków transportu (uwzględniając emisję spowodowaną wydobyciem poszczególnych surowców, wytworzeniem elementów składowych wraz z ich transportem do producenta pojazdów, emisję z procesu budowy pojazdów i wdrożenia ich do eksploatacji, a także budowę infrastruktury drogowej/lotniskowej) co dałoby obraz według metody od kołyski do bramy. Natomiast metoda od kołyski do grobu wymaga uwzględnienia jeszcze emisji związanej z eksploatacją oraz utylizacją środków transportu. Na rysunku 2 przedstawiono źródła emisji śladu węglowego dla transportu kolejowego.

Próbie określenia wpływu budowy infrastruktury szynowej [3] oraz budowy pojazdów i budowy infrastruktury [2] na ślad węglowy podróży pociągiem, podjęło UIC (*International Union of Railway*).

W ramach oceny wpływu infrastruktury kolejowej [3] przeanalizowano budowę 10 linii różniących się typem nawierzchni (podsypkowa i bezpodsypkowa), liczbą i wielkością stacji, liczbą i długością tuneli oraz wiaduktów, zasilaniem oraz systemami sterowania ruchem kolejowym. Dane uzyskane z przeprowadzonych symulacji wykazały szczególnie duży wpływ tuneli i wiaduktów na wielkość emisji. Pozyskano również dane dotyczące udziału w śladzie węglowym dla różnych technologii i ich poszczególnych elementów składowych oraz zastosowanych materiałów. Należy jednak wziąć pod uwagę niedoskonałość omawianego artykułu wynikającą z zastosowania różnych narzędzi symulacyjnych oraz trudności w uzyskaniu pełnych danych wejściowych uznanych w niektórych projektach jako poufne. Informacje zamieszczone w opracowaniu [3] mogą być jednak pomocne przy wstępnej selekcji dostępnych rozwiązań technologicznych w pracach projektowych niskoemisyjnej konstrukcji infrastruktury.

Autorzy publikacji [2] przeprowadzili analizę śladu węglowego czterech nowych linii kolejowych dużych prędkości, dwóch we Francji oraz dwóch w Azji (w Chinach i Tajwanie). Na podstawie tych danych (w pasażerokilometrach) wykazano, że ślad węglowy linii dużych prędkości LHS z uwzględnieniem fazy budowy mieści się w zakresie (3,7–4,3) g CO<sub>2</sub>/pkm dla linii we Francji i (6,0–8,9) g CO<sub>2</sub>/pkm dla linii w Azji. W powołanym opracowaniu, przedstawiono również obliczenia korzyści dla środowiska wynikające z nowo wybudowanej linii dużych prędkości LGV Méditerranée. Według szczegółowego badania, w 2004 roku pociąg dużych prędkości LGV wybrało 1,78 mln pasażerów, rezygnując tym samym z podróży samolotem do/z południowej Francji.





Rys. 2. Źródła emisji gazów cieplarnianych pochodzących z transportu kolejowego: a) budowa sieci trakcyjnej, b) budowa elektrowni zasilających c) produkcja pojazdów, d) wyposażenie taboru e) budowa dróg kolejowych, f) budowa dróg transportowych; opracowanie M. Łyszcz na podstawie [27–31]

Odpowiada to wydajności transportu na poziomie 1 068 mln pasażerokilometrów. Dodatkowo 0,98 miliona pasażerów zdecydowało się na pociąg zamiast samochodu. W tym przykładzie zastosowano współczynnik emisji wynoszący we Francji 91 g CO<sub>2</sub> na kWh i współczynnik obciążenia wynoszący 70% dla LGV. Pozwala to na obliczenie, że dzięki budowie LGV Mediterranée można każdego roku uniknąć około 237 600 ton CO<sub>2</sub>. Przykład ten pokazuje, że wraz z budową nowych linii dużych prędkości kraje mogą znacznie zmniejszyć emisję dwutlenku węgla w transporcie.

Innym rozwiązaniem mogącym w zauważalny sposób przyczynić się do ograniczenia śladu węglowego, jest rozwinięcie transportu intermodalnego i multimodalnego. Zgodnie z dyrektywą 92/106/EWG [4], przeważającą część dostawy w transporcie intermodalnym należy realizować za pomocą transportu kolejowego, morskiego lub żeglugi śródlądowej. Transport drogowy powinien być wykorzystywany na możliwie jak najkrótszej odległości – do 150 km w gałęzi morsko-drogowej i do 100 km w kolejowo-drogowej. Szczególnie korzystne wydaje się rozwiązanie „tiry na tory” (*Rollende Landstrasse*), w którym ciężarówki i zestawy drogowe wjeżdżają na wagony (wymaga to jednak budowy specjalnych ramp do załadunku) oraz wariant *Piggy Back*. W drugim wariantcie naczepy siodłowe i nadwozia są ładowane dźwigiem na wagony kieszeniowe lub przy zastosowaniu specjalnego wagonu kolejowego z obracaną platformą, który został opracowany przez zespół z Wojskowej Akademii Technicznej [12, 22, 25]. Przy czym, rozwój przewozów intermodalnych w Polsce (osłabiony od 2022 r. z powodu wojny w Ukrainie) wymaga skorelowania zmian w obszarze transpor-

tu drogowego i kolejowego z wykorzystaniem różnorodnego wsparcia finansowego. Działania te powinny przynieść również efekty gospodarcze i społeczno-środowiskowe [1, 13, 21].

## 5. Podsumowanie

1. Realizacja zobowiązań wynikających z Porozumienia paryskiego i prowadzonych negocjacji klimatycznych wymaga wdrożenia systemów zarządzania środowiskowego oraz zasad zrównoważonego rozwoju, co powinno się stać priorytetowym działaniem we wszystkich gałęziach gospodarki.
2. Jako najbardziej uniwersalne narzędzie przeznaczone do pomiaru śladu węglowego CF w trybie ciągłym, uznano „Ocenę cyklu życia” (*Life Cycle Assessment*). Parametr ten, stanowiący całkowitą sumę emisji gazów cieplarnianych wywołanych bezpośrednio lub pośrednio przez daną jednostkę, umożliwia pomiar wpływu produktów, usług oraz technologii na otoczenie naturalne w każdej dziedzinie życia i działalności człowieka. Jest on bardzo istotnym rozwiązaniem w podejmowaniu decyzji o wyborze najkorzystniejszych rozwiązań spośród alternatywnych możliwości, pod względem zarówno ekonomicznym, jak i ekologicznym [11].
3. Pożądane jest również wprowadzenie zmian w obszarze transportu, w tym dotyczących między innymi środków podróżowania. Jednym z rozwiązań, jest intensywny rozwój kolei, ze szczególnym uwzględnieniem nocnych pociągów w połączeniach międzynarodowych, uważanych za doskonałą alternatywę dla samolotów. Kierunek ten

rozwija się już w Europie, a także w Chinach, które w ciągu ostatniej dekady w imponujący sposób rozwinęły sieć szybkiej kolei, tworząc 36 tys. km połączeń i rejestrując 600 miliardów pasażerokilometrów rocznie [24].

4. Należy rozważyć znalezienie rozwiązań umożliwiających rozwinięcie transportu intermodalnego i multimodalnego, a także przeanalizować możliwość ponownego wdrożenia inicjatywy „tiry na tory” w celu ograniczenia śladu węglowego emitowanego przez samochodowy transport towarów i jednocześnie zwiększenie bezpieczeństwa na drogach.

## Literatura

1. Antonowicz M.: *Czynniki rozwoju przewozów intermodalnych w Polsce*, Studia i Prace, Kolegium Zarządzania i Finansów, Zeszyt Naukowy 170/2018, Warszawa, Oficyna Wydawnicza SGH, s. 105–120.
2. Baron T., Martinetti G., Pépion D.: *Carbon Footprint of High Speed Rail*, International Union of Railway (UIC) – Report – Paris, November 2011.
3. Cuenot F.: *Carbon Footprint of Railway Infrastructure*, International Union of Railway (UIC) – Report – Paris, July 2016, ISBN: 978-2-7461-2500-1.
4. Dyrektywa 92/106/EWG w sprawie ustanowienia wspólnych zasad dla niektórych typów kombinowanego transportu towarów między państwami członkowskimi, <https://eur-lex.europa.eu/PL/legal-content/summary/intermodal-transport-combined-transport-of-goods-between-eu-countries.html>.
5. ISO/TS 14048:2002: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Format dokumentowania danych.
6. ISO/TR 14047:2012: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Przykłady stosowania.
7. ISO/TR 14049:2012: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Przykłady stosowania.
8. ISO 14067:2018: Gazy cieplarniane – Ślad węglowy wyrobów – Wymagania i wytyczne dotyczące kwantyfikacji.
9. Kijewska A., Bluszcz A.: *Analiza poziomów śladu węglowego dla świata i krajów UE*, Systemy wspomaganie w Inżynierii produkcji, Zagadnienia Energomaszynowe i Bezpieczeństwo w Górnictwie, 2017, Volume 6, wyd. 2, s. 169–177.
10. Lasut P., Kulczycka J.: *Metody i programy obliczające ślad węglowy*, Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, 2014, nr 87.
11. Michałowska M.: *Instrumenty zarządzania środowiskowego w przedsiębiorstwach*, Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania GWSH, 2021, nr 16, s. 81–102.
12. Mindur L., Gąsior M.: *Przewozy intermodalne*, TTS Technika Transportu Szynowego, 2003, nr 6.
13. Petryczka I, Budzik A.: *Rozwój rynku kolejowych przewozów intermodalnych w Polsce*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Organizacja i Zarządzanie, 2016, z. 99, s. 363–375.
14. PN-EN ISO 14041:2002: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Określenie celu i zakresu oraz analiza zbioru.
15. PN-EN ISO 14042:2002: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Ocena wpływu cyklu życia.
16. PN-EN ISO 14043:2002: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Interpretacja cyklu życia.
17. PN-EN ISO 14040:2009: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura.
18. PN-EN ISO 14044:2009: Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Wymagania i wytyczne.
19. Porozumienie Paryskie, 12.2015 r., Dyrektywa Rady (UE) 2016/1841 z dnia 5 października 2016 r. w sprawie zawarcia, w imieniu Unii Europejskiej, porozumienia paryskiego przyjętego na mocy Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (Dz.U. L 282 z 19.10.2016, s. 1–3).
20. Protokół z Kioto do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (UNFCCC), 11.12.1997.
21. *Przewozy intermodalne w 2022 r.*, UTK, Warszawa, [www.utk.gov.pl](http://www.utk.gov.pl).
22. Tomala L.: *Naukowcy z WAT zbadali, jak wprowadzić tiry na tory*, PAP-Nauka w Polsce, <https://www.nakolei.pl/tiry-na-tory/>.
23. United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC, 09.02.1992, Dz.U. 1996 nr 53 poz. 238.
24. Wojtkiewicz M.: *Emisje z transportu: czas na zmianę paradygmatu*, <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/emisje-transport-kolejowy-drogowy-lotniczy-GHG-11142.html>.
25. Wagon kolejowy z obrotową platformą do transportu intermodalnego, <https://www.wojsko-polskie.pl>.
26. Zarczuk J., Klepacki B.: *Powstawanie śladu węglowego w branży transportowej*, Economics and Organization of Logistics, 6 (3), 2021, 55–64, DOI: 10.22630/EIOL.2021.6.3.22.
27. [https://www.fima.lt/uploads/structure/images/264x160\\_crop/803\\_37e9f7067787b7a-9f7b65076940b6755.jpg](https://www.fima.lt/uploads/structure/images/264x160_crop/803_37e9f7067787b7a-9f7b65076940b6755.jpg).
28. <https://www.smartage.pl/wp-content/uploads/2017/08/3353-1080x516.jpg>.
29. [https://cdn.galleries.smcloud.net/t/galleries/gf-XwLC-emqa-Gdj1\\_pkp-intercity-ma-juz-pierwsze-wagony-combo-664x442.jpg](https://cdn.galleries.smcloud.net/t/galleries/gf-XwLC-emqa-Gdj1_pkp-intercity-ma-juz-pierwsze-wagony-combo-664x442.jpg).
30. <https://thumbs.dreamstime.com/z/metro-railway-construction-site-20738749.jpg?w=992>.
31. [https://foto.scigacz.pl/cache/imgs/\\_w752/gallery/wiadomosci/2020/11/30/Rzad\\_da\\_dodatkowe\\_miliardy\\_zl\\_otych\\_na\\_budowe\\_drog/Budowa\\_drogi.jpg](https://foto.scigacz.pl/cache/imgs/_w752/gallery/wiadomosci/2020/11/30/Rzad_da_dodatkowe_miliardy_zl_otych_na_budowe_drog/Budowa_drogi.jpg).