



**Article citation info:**

Witaszek, M., Witaszek, K. Comparison of carbon dioxide emission for different modes of transport. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2015, **88**, 145-153. ISSN: 0209-3324. DOI: 10.20858/sjsutst.2015.88.14.

Mirosław WITASZEK<sup>1</sup>, Kazimierz WITASZEK<sup>2</sup>

## COMPARISON OF CARBON DIOXIDE EMISSION FOR DIFFERENT MODES OF TRANSPORT

**Summary.** This article presents a comparison of carbon dioxide emission during passengers and freight transporting by different transport modes. Because of significant diversity of transport means, the emissions expressed in grams per passenger kilometre or tonne kilometre were compared. Available data published in references were used to achieve this goal. The comparison revealed significant differences between transport modes as well as inside them, between transport means. High CO<sub>2</sub> emission during aircrafts takeoff caused a necessity to take into account the flight distance for the air transport.

**Keywords:** emission, carbon dioxide, road transport, railway transport, air transport, water transport.

## PORÓWNANIE EMISJI DWUTLENKU WĘGLA DLA RÓŻNYCH RODZAJÓW TRANSPORTU

**Streszczenie.** W niniejszym artykule porównano emisję dwutlenku węgla podczas przemieszczania pasażerów i ładunków różnymi rodzajami transportu. Z uwagi na dużą różnorodność środków transportu porównano emisję wyrażoną w gramach na pasażerokilometr lub tonokilometr pracy przewozowej.

<sup>1</sup> Faculty of Transport, The Silesian University of Technology, Krasińskiego 8 Street, Katowice, Poland, e-mail: [miroslaw.witaszek@polsl.pl](mailto:miroslaw.witaszek@polsl.pl)

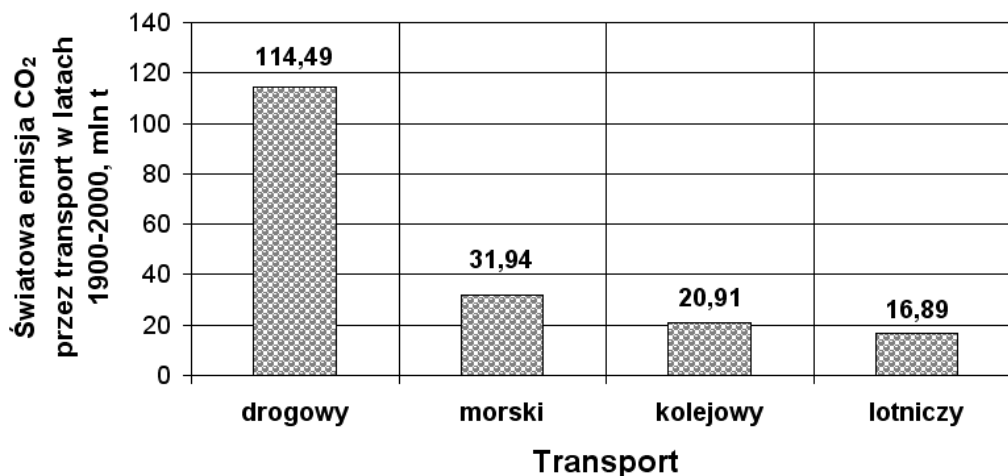
<sup>2</sup> Faculty of Transport, The Silesian University of Technology, Krasińskiego 8 Street, Katowice, Poland, e-mail: [kazimierz.witaszek@polsl.pl](mailto:kazimierz.witaszek@polsl.pl)

Do porównania wykorzystano dane dostępne w literaturze. Pozwoliło to na określenie występujących różnic dla poszczególnych rodzajów transportu, a także w ramach danego rodzaju pomiędzy różnymi środkami transportu. Z uwagi na dużą emisję towarzyszącą startowi i wznoszeniu się samolotów w przypadku transportu lotniczego konieczne było uwzględnienie pokonywanej odległości.

**Słowa kluczowe:** emisja; dwutlenek węgla; transport drogowy; transport kolejowy; transport lotniczy; transport wodny.

## 1. WPROWADZENIE

Funkcjonowanie współczesnego transportu jest związane ze znacznym zużyciem energii. Według danych zawartych w pracy [4] na terenie Unii Europejskiej w 2006 r. udział transportu w zużyciu energii był równy 31,5% i wyniósł 370 304 000 ton oleju ekwiwalentnego, czyli ok.  $15,5 \cdot 10^{18}$  J. W tym samym roku zużycie energii przez transport w Polsce wyniosło 13 426 000 ton oleju ekwiwalentnego ( $0,56 \cdot 10^{18}$  J), co stanowiło 22,3% energii wyprodukowanej w kraju. W większości energię tę otrzymuje się dzięki spalaniu paliw ropopochodnych [5]. Jest to związane z emisją spalin, których głównym składnikiem oprócz azotu i pary wodnej jest dwutlenek węgla ( $\text{CO}_2$ ). Spalenie 1 kg benzyny w silniku samochodu powoduje uwolnienie do atmosfery ok. 3 kg dwutlenku węgla [5]. Szacuje się, że transport jest źródłem 25-35%  $\text{CO}_2$  powstającego wskutek działalności człowieka na całej Ziemi [5]. Emisję dwutlenku węgla przez poszczególne gałęzie transportu na całej Ziemi w ostatnim stuleciu przedstawiono na rys. 1.



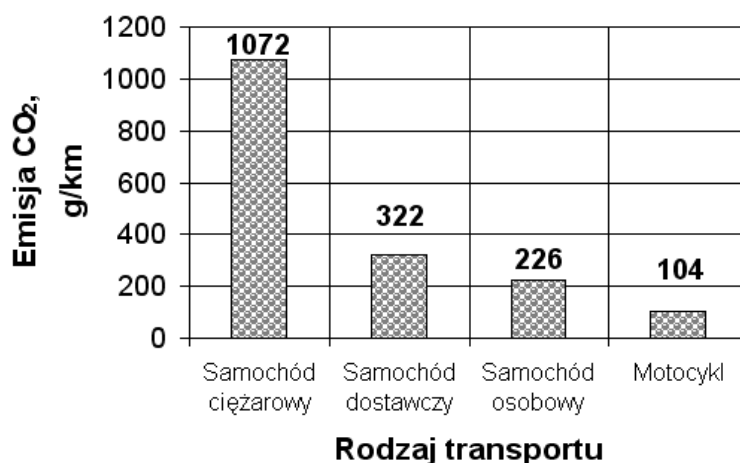
Rys. 1. Skumulowana emisja dwutlenku węgla przez różne gałęzie transportu na całej Ziemi w latach 1900-2000 [9]

Z rys. 1 wynika, że w minionym stuleciu największym źródłem dwutlenku węgla w transporcie była motoryzacja. Obecnie odpowiada ona za ponad 72% rocznej emisji  $\text{CO}_2$  w światowym transporcie, a kolejne miejsca zajmują: lotnictwo z ponad 11% i żegluga morska z ponad 10% udziałem w omawianej emisji, podczas gdy udział kolei spadł do ok. 2% [9]. Całkowita emisja zależy od wielu czynników i nie nadaje się do bezpośredniego porównania różnych rodzajów i środków transportu. Również emisja przypadająca na jednostkę przebytej drogi nie pozwala na łatwe porównanie poszczególnych gałęzi transportu. Na rys. 2 przedstawiono taką emisję dla transportu drogowego. Wynika z niego, że zależy ona głównie od mocy silników napędzających poszczególne pojazdy. Większe pojazdy, o wyższej

emisji CO<sub>2</sub>, mogą przewieźć więcej pasażerów czy ładunku niż mniejsze środki transportu. Istotne jest więc, jaką emisję powoduje przetransportowanie jednego pasażera lub jednostki masy ładunku na określoną odległość różnymi środkami transportu. Jest to emisja przypadająca na jednostkę pracy przewozowej. Pracę tę wyraża się odpowiednio w pasażerokilometrach albo tonokilometrach. W niniejszym artykule porównano więc emisję dwutlenku węgla przypadającą na jednostkę pracy przewozowej dla różnych rodzajów i środków transportu.

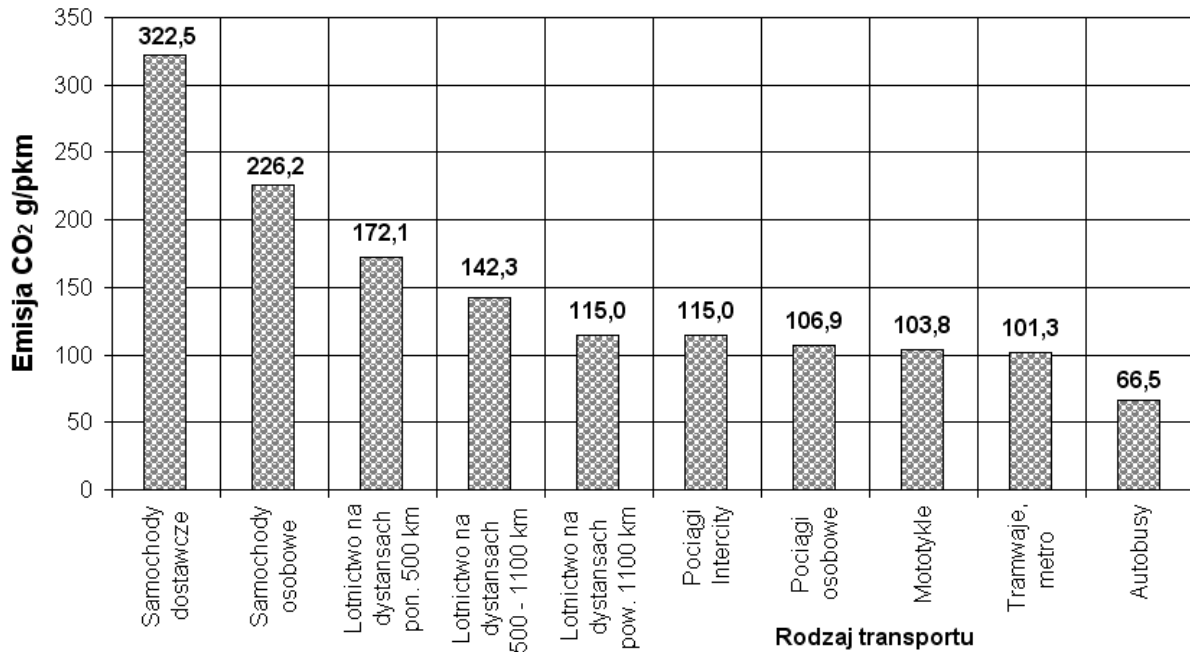
## 2. EMISJA CO<sub>2</sub> PRZEZ RÓŻNE ŚRODKI TRANSPORTU

Emisja dwutlenku węgla przez transport USA wynosi ok. 5% światowej antropogenicznej (tzn. spowodowanej działalnością człowieka) emisji CO<sub>2</sub>. Stanowi to od 14,3% do 20% światowej emisji w transporcie [9], dlatego analizę porównawczą poszczególnych rodzajów i środków transportu rozpoczęto od danych amerykańskich.



Rys. 2. Emisja dwutlenku węgla na kilometr przez różne środki transportu drogowego w USA [7]

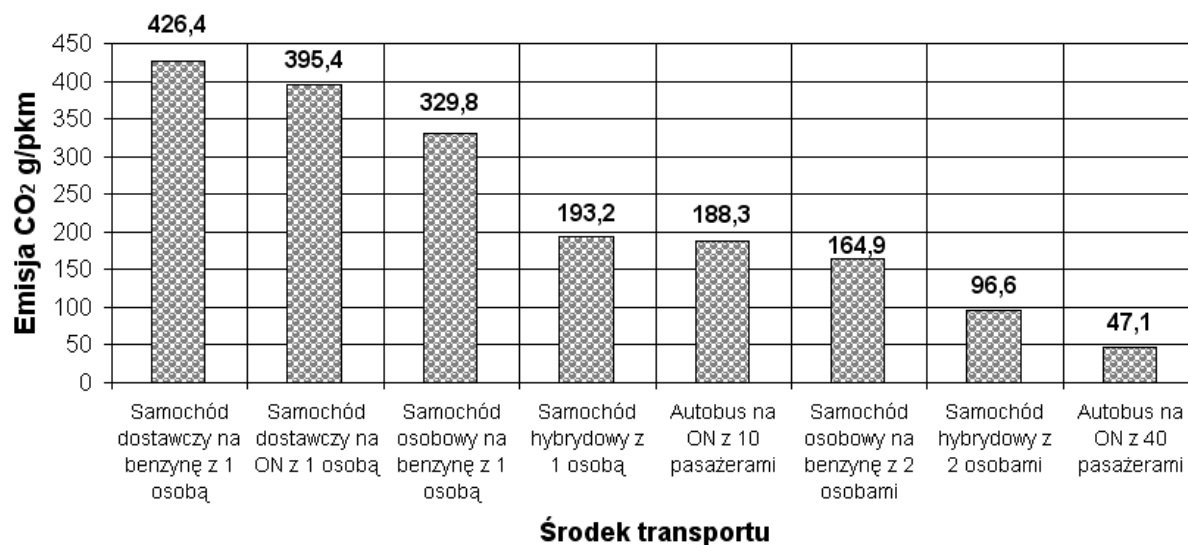
Emisję dwutlenku węgla przez poszczególne rodzaje i środki transportu pasażerskiego USA przedstawiono na rys. 3. Wynika z niego, że najwięcej dwutlenku węgla powstaje przy przemieszczaniu się samego kierowcy samochodem dostawczym. Również wysoką emisją cechuje się indywidualny transport samochodami osobowymi. Wiąże się to z niewielką liczbą osób przewożonych takim pojazdem. Według pracy [2] samochody osobowe (w tym taksówki) przewożą średnio 1,59 osoby. Masa takiego pojazdu jest znacznie większa od masy osób, które się w nim znajdują (często tylko samego kierowcy), a zatem energia wykorzystywana do ich przemieszczania stanowi niewielką część zużywanej energii.



Rys. 3. Emisja dwutlenku węgla na pasażerokilometr przez różne gałęzie transportu w USA [7]

Znaczną emisją CO<sub>2</sub> potrzebną do przewozu jednego pasażera na odległość 1 km cechuje się transport lotniczy. Zależy ona od długości lotu, przy czym jest największa w przypadku najkrótszych odległości. Przyczyną tego jest znaczna energia niezbędna do startu samolotu i jego wznoszenia się na wysokość przelotu [6]. Transport lotniczy na odległościach powyżej 1100 km dorównuje pod względem emisji CO<sub>2</sub> transportowi kolejowemu pociągami Intercity. Nieco mniejszą emisją cechują się pociągi osobowe oraz metro i tramwaje (uwzględniając dwutlenek węgla powstający przy produkcji energii elektrycznej). Przyczyną tego może być większe ich wypełnienie, spowodowane krótkimi odległościami przewozu, tak że część pasażerów może odbywać podróż na stojąco. Istotną zaletą transportu szynowego, decydującą o niewielkiej emisji przypadającej na pasażerokilometr, jest niewielka wartość oporów toczenia się kół po szynach. Natomiast wadą jest spora masa wagonów w porównaniu z masą pasażerów.

Wartość emisji zbliżoną do obserwowanej dla pociągu osobowego oraz metra i tramwaju wykazują motocykle. Przyczyną tego może być ich niewielka masa (w porównaniu np. z masą samochodu), tak że znaczna część energii mechanicznej wytwarzanej przez silnik służy do przemieszczania motocyklisty. W warunkach amerykańskich najniższą emisją dwutlenku węgla na pasażerokilometr cechuje się transport autobusowy. Ponieważ zarówno najwyższe, jak i najniższe emisje wykazuje w Ameryce transport drogowy, więc wymaga on dokładniejszej analizy. Na rys. 4 przedstawiono dane kanadyjskie odnośnie do emisji CO<sub>2</sub> na pasażerokilometr dla różnych samochodów i autobusów w zależności od liczby przewożonych osób.

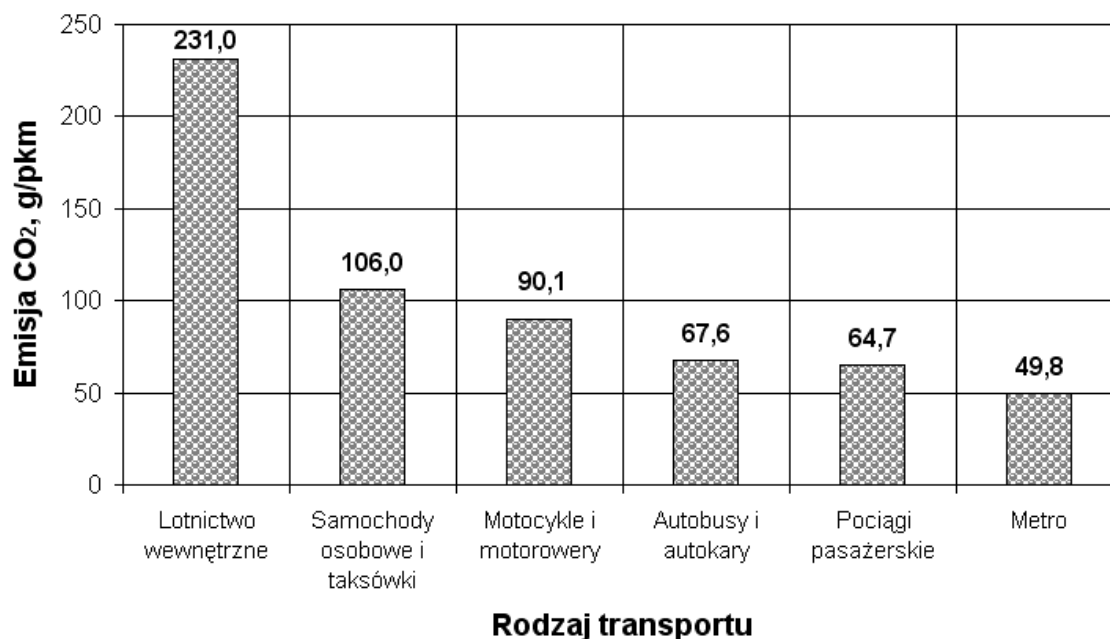


Rys. 4. Emisja dwutlenku węgla na pasażerokilometr przez różne środki transportu drogowego w Kanadzie [1]

Z rys. 4 wynika, że największa emisja dwutlenku węgla przy przewożeniu 1 osoby na odległość 1 km występuje dla samochodów dostawczych. Dość duża jest również ww. emisja w przypadku osobowych, gdy korzysta z nich sam kierowca. Gdy samochodem takim podróżują 2 osoby, emisja przypadająca na pasażerokilometr spada o połowę. Najniższą emisją wśród pojazdów indywidualnego transportu drogowego charakteryzują się samochody hybrydowe. Wynika to z możliwości napędu takiego pojazdu silnikiem spalinowym lub silnikiem elektrycznym, wykorzystującym energię elektryczną zgromadzoną w akumulatorach. Ponadto istnieje w nich możliwość wykorzystywania silnika spalinowego do ładowania akumulatorów w czasie, gdy np. samochód stoi w korku. Ich konstrukcja pozwala również na odzyskiwanie części energii przy hamowaniu i magazynowanie jej w akumulatorach.

Najniższą emisję CO<sub>2</sub> powstającą przy przemieszczaniu pasażera na odległość 1 km wykazuje w Kanadzie transport autobusowy. Oczywiście wzrost zapelnienia autobusu zmniejsza tę emisję proporcjonalnie do liczby pasażerów. Wydaje się, że w opracowaniu [1] w obliczeniach pominięto wzrost zużycia paliwa przez pojazd spowodowany zwiększeniem przewożonej masy, które wynika z większej liczby pasażerów w autobusie czy samochodzie.

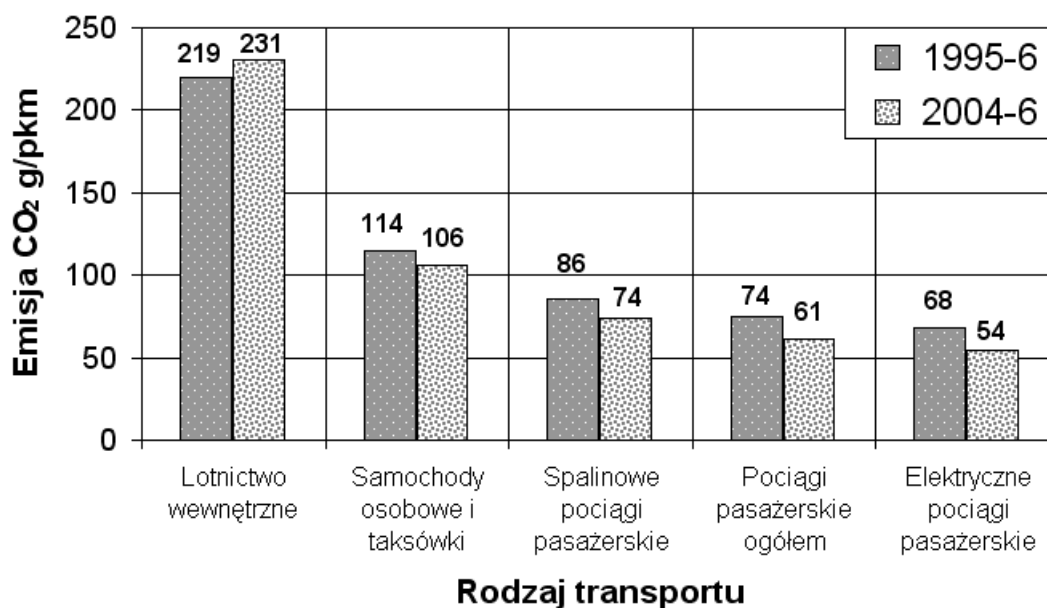
Pomimo znacznej emisji dwutlenku węgla przez transport amerykański nie sposób pominąć w niniejszym artykule transportu europejskiego. Na rys. 5 przedstawiono emisję CO<sub>2</sub> przypadającą na pasażerokilometr określoną na podstawie danych brytyjskich, zawartych w pracy [2]. Z rys. 5 wynika, że największą emisją dwutlenku węgla niezbędną do przemieszczenia pasażera na odległość 1 km cechuje się wewnętrzny transport lotniczy. Przyczyną tego mogą być krótkie odległości lotów wewnątrz Wielkiej Brytanii.



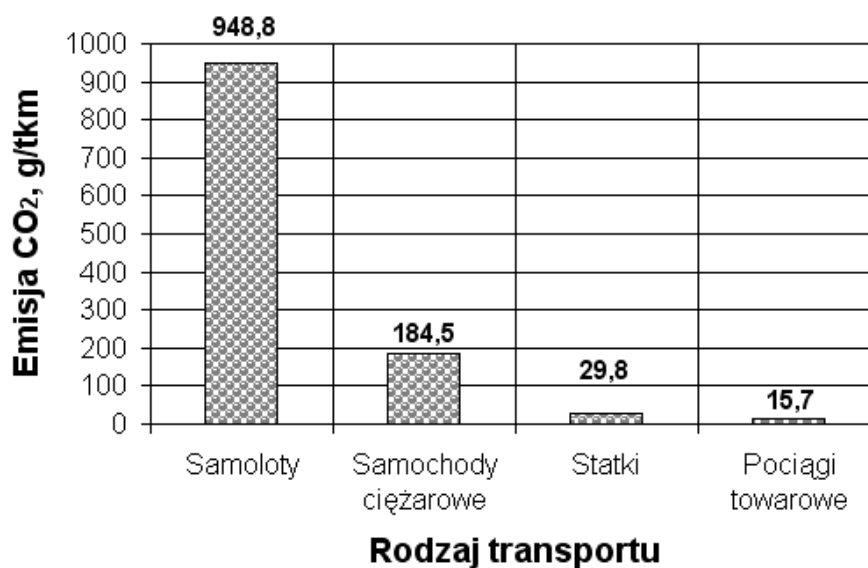
Rys. 5. Emisja dwutlenku węgla na pasażerokilometr przez różne gałęzie transportu w Wielkiej Brytanii [2]

Europejskie samochody osobowe cechują się o ok. połowę mniejszą emisją CO<sub>2</sub> na pasażerokilometr niż ich amerykańskie odpowiedniki (rys. 3-5). wynika to ze stosowania w Europie silników o mniejszej pojemności skokowej niż w Ameryce. Powoduje to mniejsze zużycie paliwa, którego cena w Europie jest wyższa. W przypadku motocykli i motorowerów różnice w emisji dwutlenku węgla nie są już tak znaczne, wynoszą one zaledwie ok. 10%. Generalnie jest ona zbliżona do emisji europejskich samochodów osobowych. Praktycznie nie występują różnice emisji CO<sub>2</sub> pomiędzy europejskim i amerykańskim transportem autobusowym. Natomiast aby przewieźć 1 pasażera na odległość 1 km, europejskie pociągi pasażerskie emitują o ok. 1/3 dwutlenku węgla mniej niż w Ameryce. Przyczyną tego może być znaczny udział trakcji elektrycznej na kolejach europejskich w połączeniu z mniejszym wykorzystaniem spalania paliw kopalnych do produkcji energii elektrycznej w Europie w porównaniu z Ameryką [3, 8]. Druga z wyżej wymienionych przyczyn sprawia, że funkcjonowanie metra w Europie wiąże się z mniejszą emisją CO<sub>2</sub> niż w USA. Analizując trendy zmian emisji dwutlenku węgla przez transport brytyjski, należy stwierdzić, że poza lotnictwem obserwuje się tendencję do jej obniżania (rys. 6).

Porównując emisję dwutlenku węgla przez różne rodzaje transportu, należy także wspomnieć o przemieszczaniu ładunków. Dane amerykańskie pozwalające na porównanie transportu lotniczego, morskiego oraz kolejowego i samochodowego przedstawiono na rys. 7.



Rys. 6. Zmiany emisji dwutlenku węgla przez różne gałęzie transportu pasażerskiego w Wielkiej Brytanii [2]



Rys. 7. Emisja dwutlenku węgla na tonokilometr przez różne gałęzie transportu towarowego w USA [7]

Z rys. 7 wynika, że największą emisją CO<sub>2</sub> konieczną do przewiezienia 1 t ładunku na odległość 1 km cechuje się transport lotniczy. Wynika to z konieczności znacznego zużycia energii do startu samolotu i jego wzniesienia się na wysokość przelotu. Powoduje to wysokie koszty przemieszczania towarów drogą lotniczą, dlatego transport lotniczy nie jest wykorzystywany do masowego transportu ładunków. Pozostałe rodzaje transportu są pod tym względem znacznie korzystniejsze. Emisja CO<sub>2</sub> przy przemieszczeniu samochodami ciężarowymi 1 t towarów na drodze o długości 1 km jest ok. pięciokrotnie mniejsza niż w przypadku samolotów. Jeszcze korzystniej przedstawia się sytuacja, jeśli chodzi o transport morski, w przypadku którego emisja ta stanowi zaledwie ok. 16% emisji w transporcie samochodowym. Niewątpliwymi tego przyczynami są: brak konieczności pokonywania

wzniesień przez statki na morzu oraz niskie opory ich ruchu. Najniższą emisją cechuje się kolej, w przypadku której jest ona o blisko połowę niższa niż w żegludze morskiej. Tutaj podstawowymi przyczynami są: niewielka masa wagonów towarowych w porównaniu z masą ładunków oraz niewielkie opory ruchu pojazdów szynowych.

### 3. PODSUMOWANIE

Celem istnienia transportu jest przemieszczanie osób i ładunków. Wymaga to zużycia energii, która w większości jest uzyskiwana dzięki spalaniu paliw kopalnych [3, 5, 8]. Wiąże się to z emisją dwutlenku węgla do atmosfery. Porównanie emisji dwutlenku węgla przypadającej na jednostkę pracy przewozowej przez różne rodzaje i środki transportu pozwoliło na zaobserwowanie istotnych różnic między nimi. Dzięki temu, że transport korzysta głównie z paliw ropopochodnych [5], można przyjąć, że te rodzaje i środki transportu, które charakteryzują się mniejszą emisją CO<sub>2</sub>, wykazują mniejsze zużycie paliwa, przez co są tańsze w użytkowaniu. Nie wdając się w dyskusję o ekologicznych aspektach emisji dwutlenku węgla, która przekracza ramy niniejszego opracowania, należy uznać za celowe dążenie do ograniczenia jego emisji w transporcie.

Szczególnie znaczące różnice emisji CO<sub>2</sub> na jednostkę pracy przewozowej widoczne są w transporcie towarów. Najkorzystniejszymi rodzajami transportu są w tym przypadku transport kolejowy i morski. Nadają się one szczególnie do przemieszczania dużych mas ładunków, dlatego rola transportu lotniczego powinna być ograniczona do przypadków wymagających krótkiego czasu dostarczenia towarów o niewielkiej masie. Wyniki przeprowadzonej analizy sugerują zwłaszcza konieczność ograniczenia roli transportu samochodowego towarów do przewozów na niewielkie odległości, np. dzięki szerokiemu wykorzystywaniu transportu bimodalnego.

Różnice emisji dwutlenku węgla przypadającej na jednostkę pracy przewozowej w transporcie pasażerskim są zauważalnie mniejsze niż przy przemieszczaniu ładunków. Dość wysokimi wartościami tej emisji charakteryzuje się lotnictwo oraz indywidualny transport samochodowy. Jednak dzięki odpowiedniemu doborowi odległości lotu w przypadku samolotów oraz rozwiązań konstrukcyjnych napędu samochodów można znacznie ograniczyć ilość dwutlenku węgla wytwarzaną przez nie przy przemieszczeniu pasażera o 1 km. Za przykład mogą tu posłużyć zbliżone wartości emisji w przypadku samolotów na dystansach powyżej 1100 km i amerykańskich pociągów (rys. 3) oraz europejskich samochodów osobowych (rys. 5 i 6). Należy zauważyć, że jeśli chodzi o transport osób na niewielkie odległości, korzystniejsze jest zastosowanie transportu zbiorowego (np. autobusowego czy szynowego) niż indywidualnego transportu samochodowego.

### References

1. "Air Pollution and Greenhouse Gases from Different Commuting Options". Available at: <http://www.bcairquality.ca/topics/emissions-transportation-options.html>.
2. "Baseline energy statement – energy consumption and carbon dioxide emissions on the railway". *The Voice of the passenger railway*. March 2007. Available at: [http://www.atoc.org/clientfiles/files/publicationsdocuments/npsB3A7\\_tmp.pdf](http://www.atoc.org/clientfiles/files/publicationsdocuments/npsB3A7_tmp.pdf).
3. Hodges A.W., M. Rahmani. *Fuel Sources and Carbon Dioxide Emissions by Electric Power Plants in the United States*. Available at: <https://edis.ifas.ufl.edu/fe796>.



4. Huggins D. *Panorama of Transport, 1990-2006*. EUROSTAT 2009. Available at: [http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY\\_OFFPUB/KS-DA-09-001/EN/KS-DA-09-001-EN.PDF](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-DA-09-001/EN/KS-DA-09-001-EN.PDF).
5. MacLean H.L., L.B. Lave. 2003. "Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies". *Progress in Energy and Combustion Science* 29: 1-69.
6. Nojoudi H., I. Dincer, G.F. Naterer. 2009. "Greenhouse gas emissions assessment of hydrogen and kerosene-fueled aircraft propulsion". *International journal of hydrogen energy* 34: 1363-1369.
7. "Optional Emissions from Commuting, Business Travel, and Product Transport". Climate Leaders GHG Inventory Protocol. May 2008. Available at: [http://www.epa.gov/climateleadership/documents/resources/commute\\_travel\\_product.pdf](http://www.epa.gov/climateleadership/documents/resources/commute_travel_product.pdf).
8. "Rail Transport and Environment Facts & Figures". The Voice of European Railways. UIC. CER. June 2008. Available at: [http://www.uic.org/homepage/railways&environment\\_facts&figures.pdf](http://www.uic.org/homepage/railways&environment_facts&figures.pdf).
9. Uherek E., T. Halenka, J. Borken-Kleefeld, Y. Balkanski, T. Berntsen, C. Borrego, M. Gauss, P. Hoor, K. Juda-Rezler, J. Lelieveld, D. Melas, K. Rypdal, S. Schmid. 2010. "Transport impacts on atmosphere and climate: Land transport". *Atmospheric Environment* 44: 4772-4816.

Received 02.11.2014; accepted in revised form 09.06.2015



Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License