

Mirosław Witaszek, Kazimierz Witaszek

PORÓWNANIE EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA PRZEZ RÓŻNE GAŁĘZIE TRANSPORTU

Słowa kluczowe: transport, emisja, zanieczyszczenia powietrza

Streszczenie. W pracy przeprowadzono porównanie emisji zanieczyszczeń powietrza przez różne gałęzie transportu. W porównaniu uwzględniono emisje gazów cieplarnianych, jak i innych składników spalin na pasażerokilometr lub tonokilometr pracy przewozowej. W tym celu wykorzystano dostępne dane z literatury. Stwierdzono występowanie znaczących różnic dla poszczególnych gałęzi transportu europejskiego i amerykańskiego.

COMPARISON OF AIR POLLUTANTS EMISSIONS FOR DIFFERENT MODES OF TRANSPORT

Key words: transport, emission, air pollutants

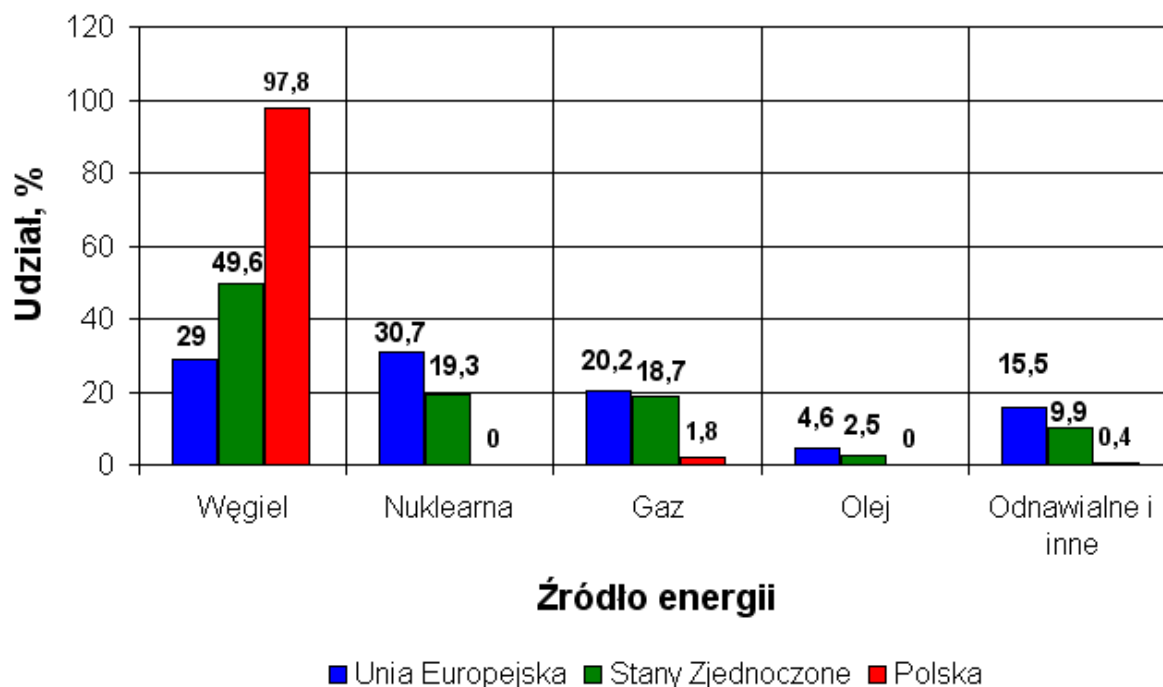
Summary. This paper presents a comparison of air pollutants emissions for different modes of transport. The comparison involves greenhouse gases as well as other exhaust gases constituents per passenger kilometre or tonne kilometre. Published data were used to achieve this goal. Significant differences between various modes of European and American transport were observed.

1. Wstęp

Rozwój cywilizacyjny ludzkości nie byłby możliwy bez transportu. Współcześnie w 27 państwach Unii Europejskiej obserwuje się rosnącą mobilność mieszkańców [1]. W 2006 roku blisko 491 milionów mieszkańców tych krajów pokonywało dziennie średnio 34 km, z czego 26 km samochodem osobowym. W celu zaspokojenia potrzeb każdego mieszkańca Unii, tonę ładunku transportowano na średnią odległość 26 km, z czego 11 km transportem drogowym [1]. Spowodowało to zużycie energii równe 370 304 000 ton oleju ekwiwalentnego, czyli ok. $15,5 \cdot 10^{18}$ J, co stanowiło 31,5% całkowitego zużycia energii na omawianym terenie. Z tego w Polsce transport zużył 13 426 000 ton oleju ekwiwalentnego ($0,56 \cdot 10^{18}$ J) i wynosiło to 22,3% całej energii wyprodukowanej w naszym kraju [1].

W większości przypadków do produkcji energii wykorzystywany jest proces spalania paliw kopalnych. Na rys. 1 przedstawiono udział poszczególnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej w 25 krajach Unii Europejskiej, Stanach Zjednoczonych i Polsce, w 2005 r..

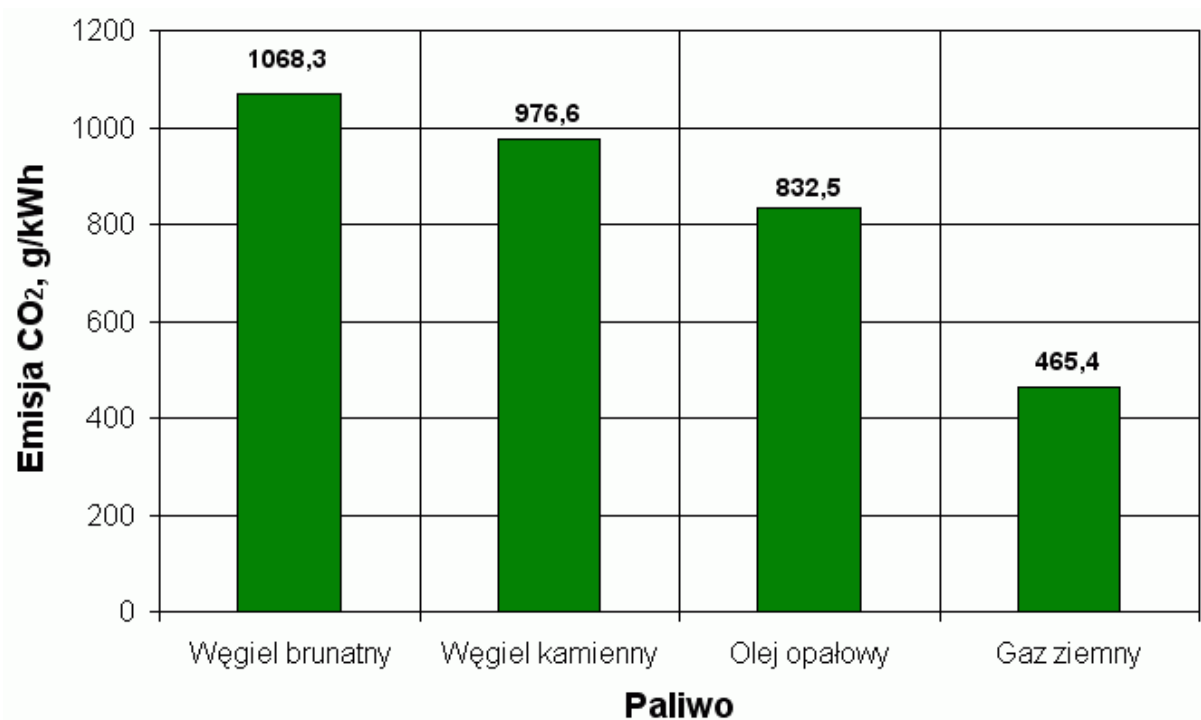
Wynika z niego, że w Unii Europejskiej ze spalania paliw kopalnych wytwarzane było 53,8% energii elektrycznej, w Stanach Zjednoczonych 70,8% natomiast w Polsce blisko 100%.



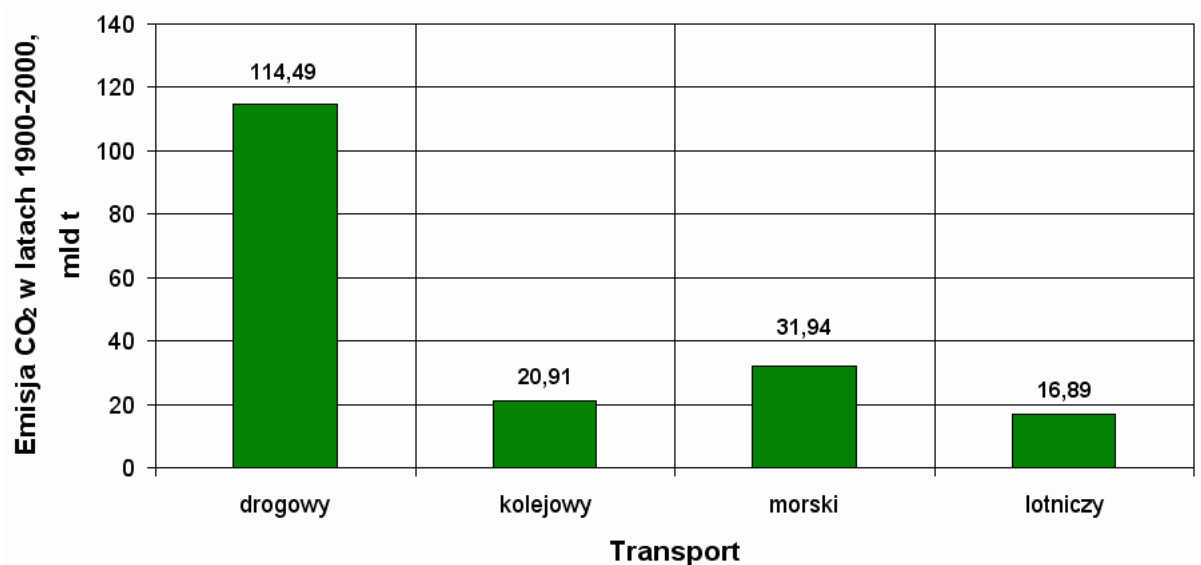
Rys. 1. Porównanie udziału poszczególnych źródeł energii w produkcji energii elektrycznej w 25 krajach Unii Europejskiej, Stanach Zjednoczonych i Polsce w 2005 r. [2, 3]

Spalanie paliw wiąże się z emisją spalin do atmosfery. Ich podstawowym składnikiem (oprócz azotu i pary wodnej) jest dwutlenek węgla. Na rys. 2. Przedstawiono ilość dwutlenku węgla jaka, według danych amerykańskich, powstaje wskutek spalania wybranych paliw przy wytworzeniu 1 kWh energii elektrycznej. Ponieważ transport korzysta ze spalania paliw w celu produkcji energii niezbędnej do przemieszczania pasażerów i ładunków, jest także znaczącym źródłem emisji CO₂ (rys. 3) i innych zanieczyszczeń powietrza.

Dane dotyczące zużycia energii i emisji zanieczyszczeń przez poszczególne rodzaje transportu są stosunkowo łatwo dostępne. Wynika z nich, że najwięcej zanieczyszczeń do atmosfery emituje transport drogowy (np. rys. 3). Jednak dane te nie pozwalają na bezpośrednie porównanie szkodliwości poszczególnych rodzajów transportu ze względu na spore różnice pracy przewozowej. W niniejszej pracy dokonano zestawienia emisji różnych składników gazów spalinowych przypadającej na pasażerokilometr lub tonokilometr wykonanej pracy przewozowej wykonanej różnymi rodzajami transportu. Wielkości te pozwoliły na ich porównanie umożliwiające racjonalny wybór środka transportu, który w najmniejszym stopniu oddziałuje na środowisko naturalne.



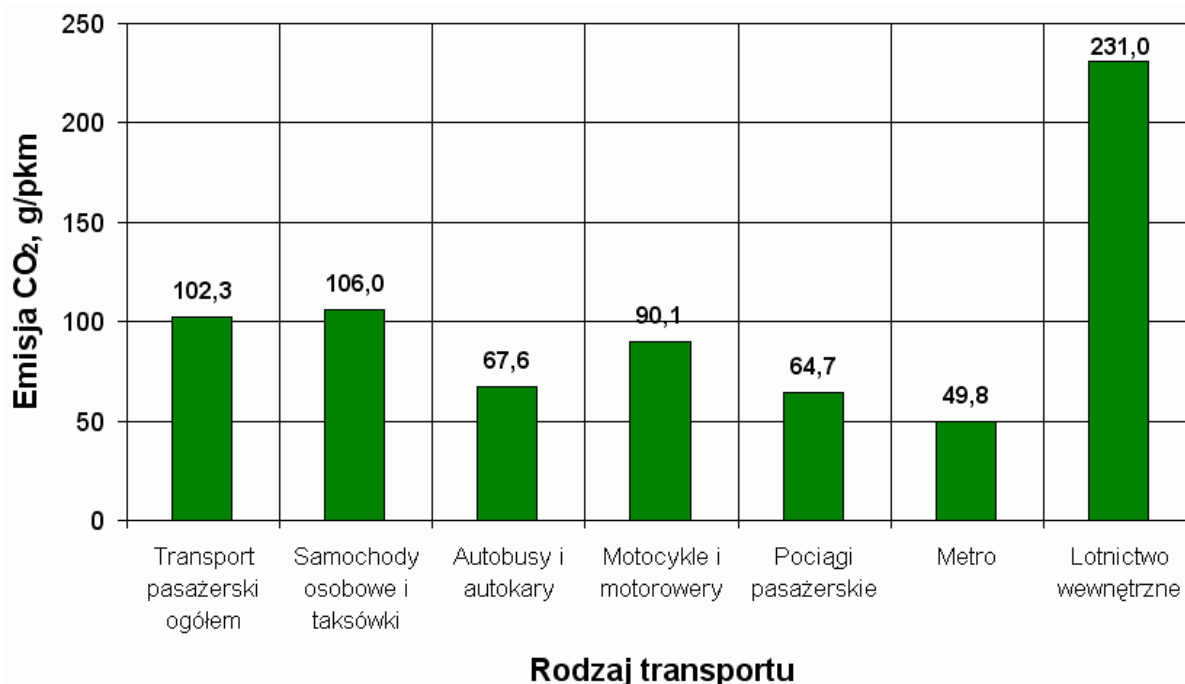
Rys. 2. Porównanie emisji dwutlenku węgla przy spalaniu wybranych paliw kopalnych przy wytworzeniu 1 kWh energii elektrycznej w Stanach Zjednoczonych [3]



Rys. 3. Porównanie emisji dwutlenku węgla przez różne rodzaje transportu na całej Ziemi w latach 1900-2000 [4]

2. Porównanie emisji zanieczyszczeń powietrza dla poszczególnych rodzajów transportu

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono emisję dwutlenku węgla przypadającą na 1 pasażerokilometr (pkm) i tonokilometr (tkm) dla różnych rodzajów transportu odpowiednio pasażerskiego oraz towarowego. Określono je na podstawie danych brytyjskich zawartych w pracy [5].

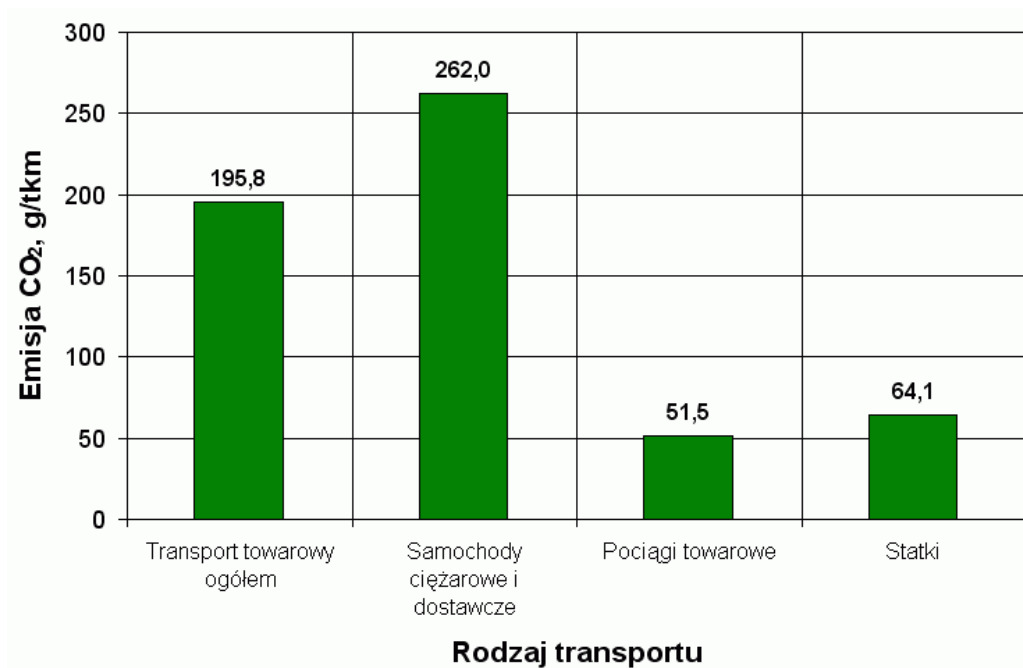


Rys. 4. Porównanie emisji dwutlenku węgla przypadającej na pasażerokilometr przez różne rodzaje transportu pasażerskiego w latach 2004-2006 według danych brytyjskich [5]

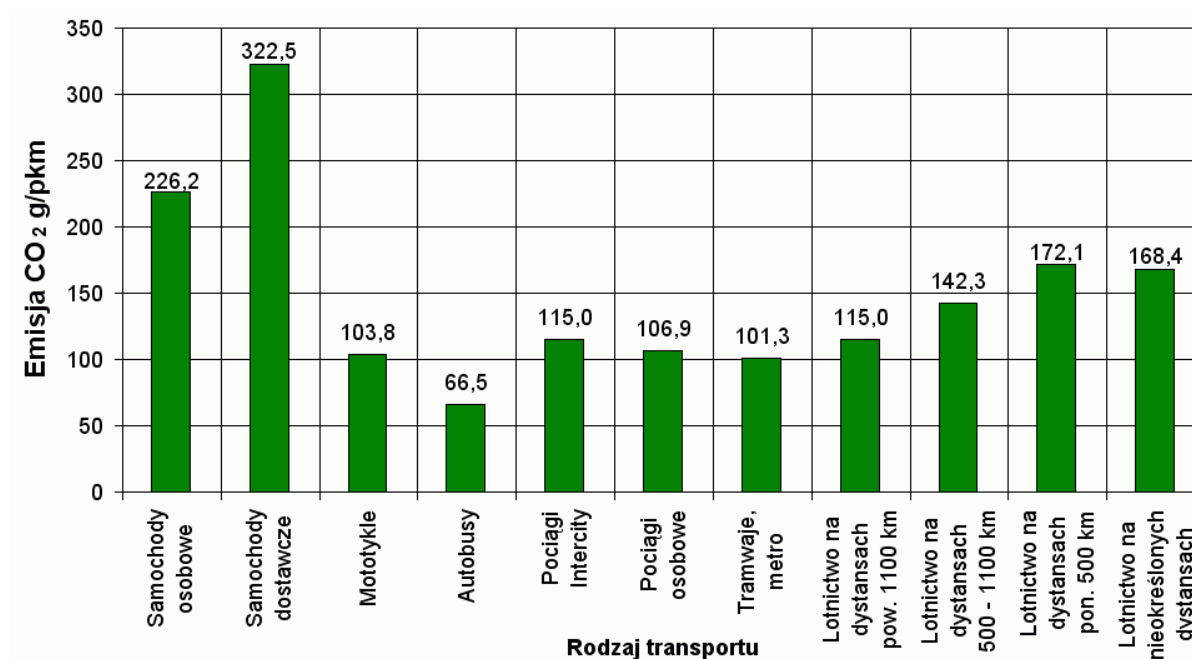
Z rys. 4 wynika, że dla transportu pasażerskiego średnia emisja CO₂ wynosi nieco powyżej 100 g/pkm. Dla samochodów osobowych wskaźnik ten jest nieco wyższy i wynosi 106 g/pkm. Motocykle, pomimo znacznie mniejszej masy od samochodów osobowych charakteryzują się emisją równą ok. 90% wartości średniej. Dla pociągów pasażerskich i autobusów wartość ta jest zbliżona i wynosi ok. 2/3 średniej. Najniższa jest dla metra - około połowy średniej emisji. Natomiast podróż samolotem na niewielkich dystansach powoduje znaczną emisję na pkm, ponad dwukrotnie przekraczającą średnią dla całego transportu pasażerskiego.

Na rys. 5 widoczne jest, że w przypadku transportu 1 t towarów na odległość 1 km największą emisją CO₂ cechuje się transport drogowy. Dla transportu kolejowego wskaźnik ten jest ponad 5 krotnie niższy. Nieco wyższy wskaźnik od kolei ma transport wodny.

Bardziej szczegółowe dane amerykańskie przedstawione w pracy [6] pozwoliły na porównanie emisji dwutlenku węgla i dwóch innych gazów cieplarnianych: metanu i podtlenku azotu (CH₄ i N₂O) przez różne rodzaje transportu pasażerskiego i towarowego. Na rys. 6 – 8 przedstawiono emisje tych zanieczyszczeń dla transportu pasażerskiego, a na rys. 9 – 11, dla towarowego.



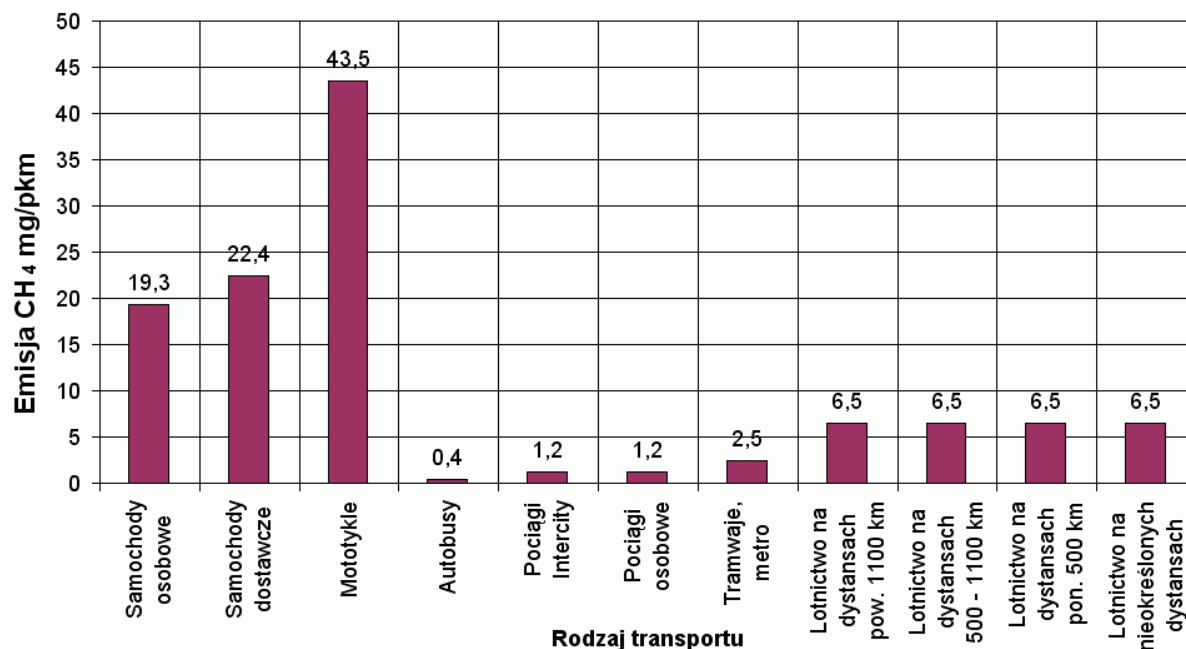
Rys. 5. Porównanie emisji dwutlenku węgla przypadającej na tonokilometr przez różne rodzaje transportu towarowego w latach 2004-2006 według danych brytyjskich [5]



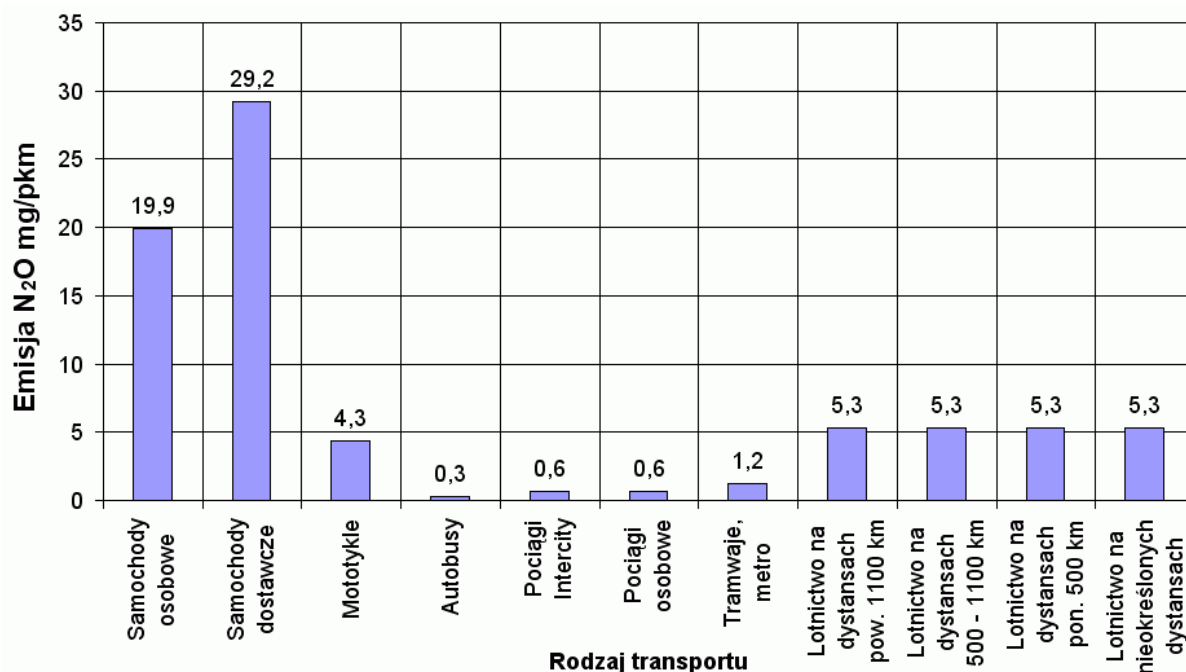
Rys. 6. Porównanie emisji dwutlenku węgla przypadającej na pasażerokilometr przez różne rodzaje transportu pasażerskiego w roku 2008 według danych amerykańskich [6]

Z rys. 6 – 8 wynika, że amerykański, indywidualny transport drogowy charakteryzuje się wysokimi emisjami wszystkich, zanieczyszczeń powietrza omawianych w pracy [6]. Są one z reguły większe od emisji dla lotnictwa, które wykazuje spadek emisji ze wzrostem

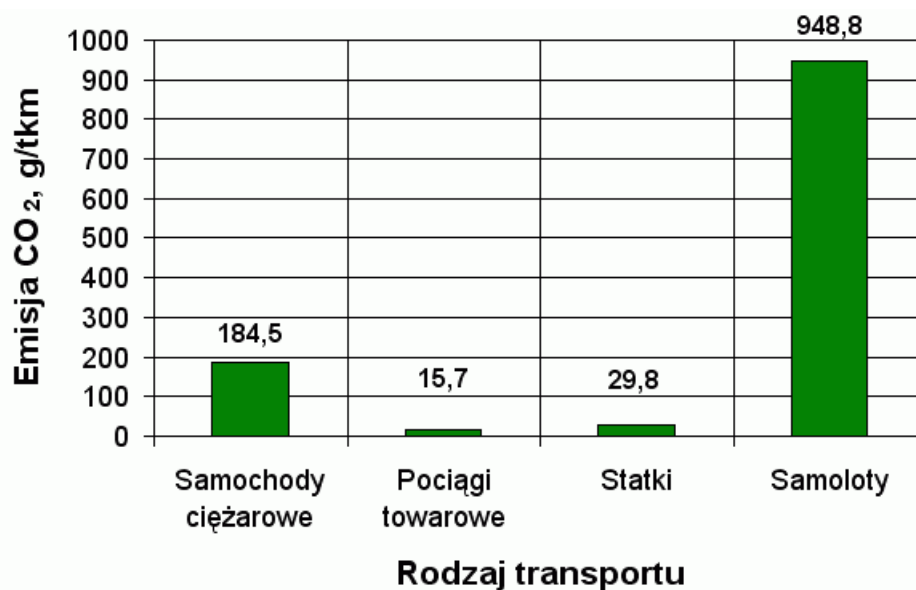
pokonywanej odległości. Kolejną gałęzią transportu o emisjach niższych niż lotnictwo są koleje. Emisje dwutlenku węgla są w ich przypadku znacząco wyższe niż w Europie. Przyczyną tego może być powszechnie używanie trakcji spalinowej przez koleje w Stanach Zjednoczonych. Najkorzystniej pod względem emisji zanieczyszczeń powietrza plasuje się w Stanach Zjednoczonych transport autobusowy.



Rys. 7. Porównanie emisji metanu przypadającej na pasażerokilometr przez różne rodzaje transportu pasażerskiego w roku 2008 według danych amerykańskich [6]

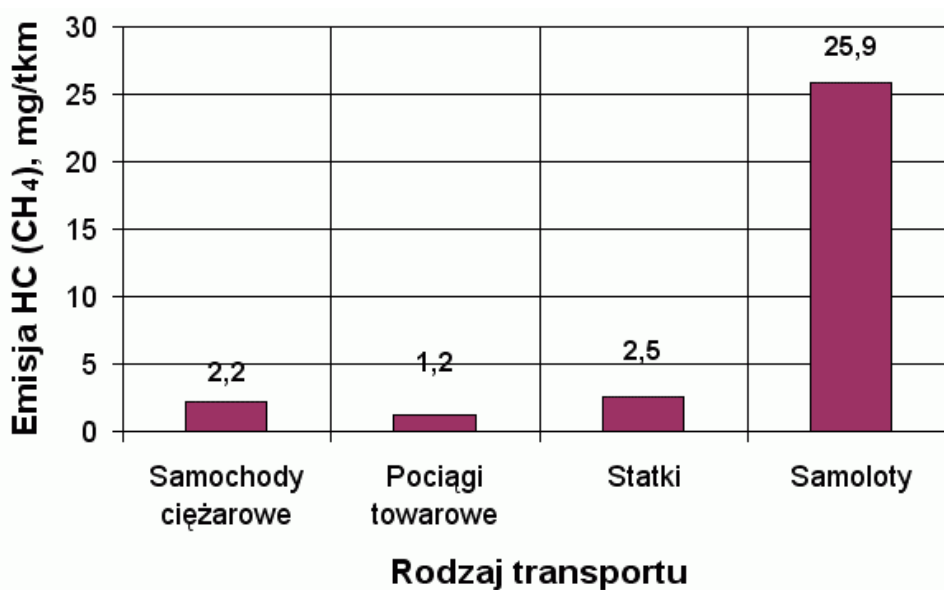


Rys. 8. Porównanie emisji podtlenku azotu przypadającej na pasażerokilometr przez różne rodzaje transportu pasażerskiego w roku 2008 według danych amerykańskich [6]

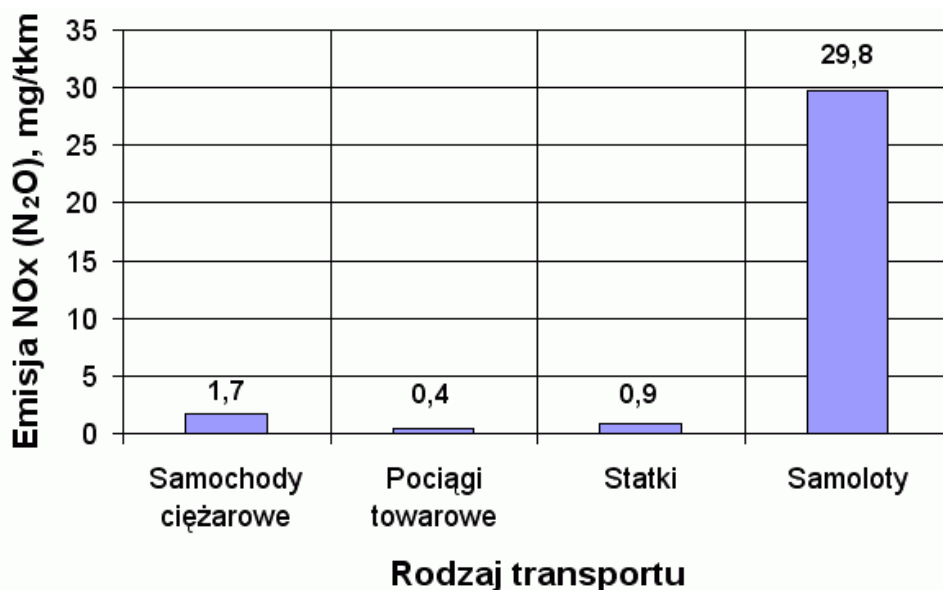


Rys. 9. Porównanie emisji dwutlenku węgla przypadającej na tonokilometr przez różne rodzaje transportu towarowego w roku 2008 według danych amerykańskich [6]

Inaczej przedstawia się porównanie różnych rodzajów transportu towarowego w USA. Najniższymi emisjami charakteryzuje się transport kolejowy. Następnie plasuje się z reguły transport wodny (poza przypadkiem emisji metanu), później samochodowy. Natomiast dla lotnictwa emisje są znacząco wyższe niż dla pozostałych rodzajów transportu.

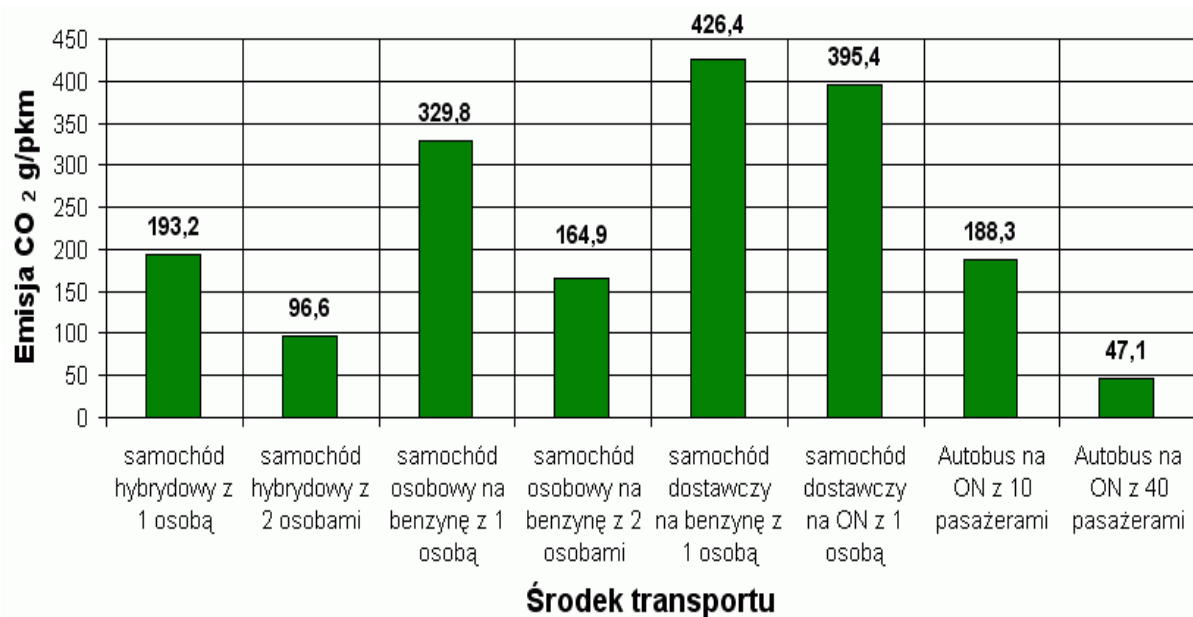


Rys. 10. Porównanie emisji metanu przypadającej na tonokilometr przez różne rodzaje transportu towarowego w roku 2008 według danych amerykańskich [6]

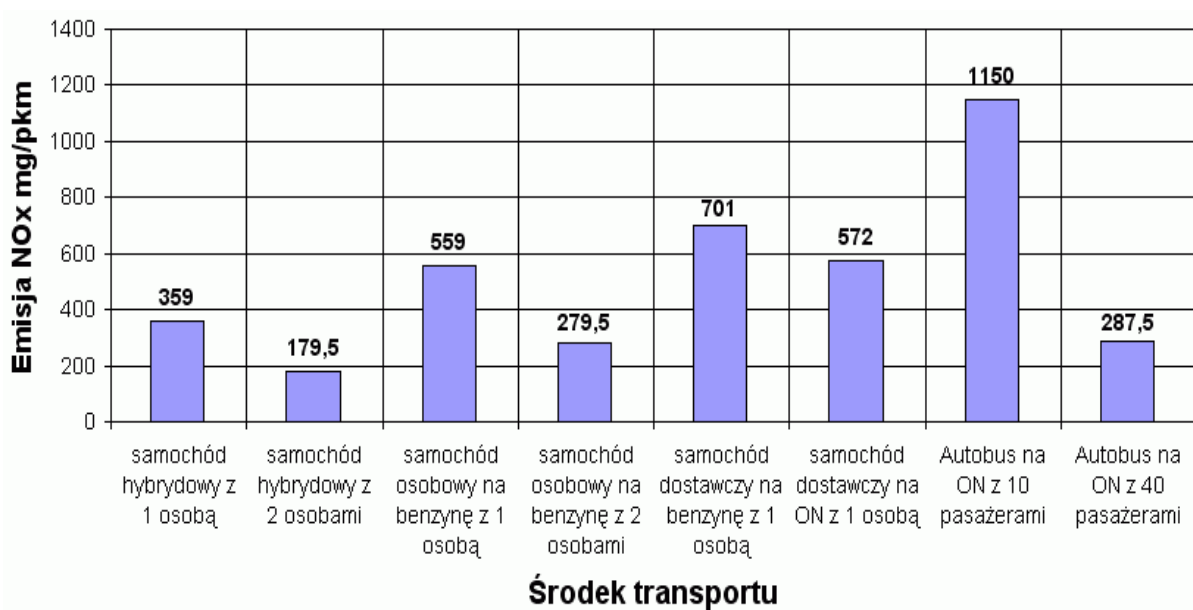


Rys. 11. Porównanie emisji podtlenku azotu przypadającej na tonokilometr przez różne rodzaje transportu towarowego w roku 2008 według danych amerykańskich [6]

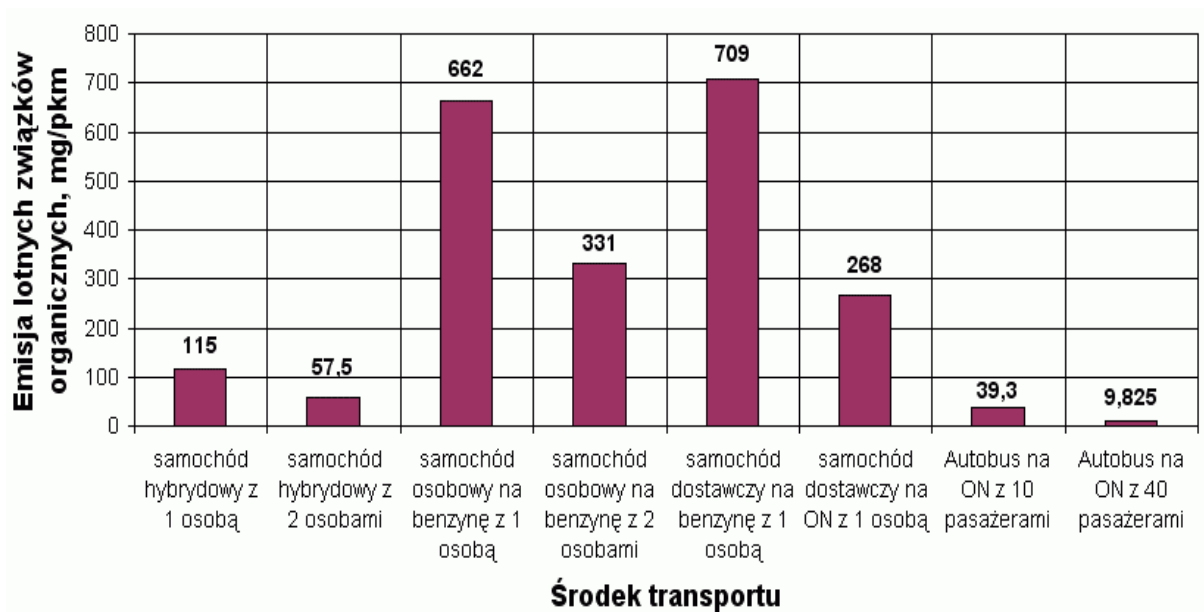
Szczegółowe porównanie emisji różnych zanieczyszczeń powietrza przez pasażerski transport drogowy podano w pracy [7]. Zawiera ona dane kanadyjskie z 2006 r. Pozwoliły one na porównanie emisji dwutlenku węgla, tlenków azotu, węglowodorów i cząstek stałych o średnicy do 2,5 μm dla różnych środków transportu drogowego, niekiedy w zależności od ilości przewożonych osób (rys. 12 – 15). Z rys. 12 – 15 wynika, że szczególnie niekorzystne wskaźniki emisji zanieczyszczeń na pasażerokilometr wykazuje z reguły indywidualny transport drogowy. Jedynie w przypadku emisji tlenków azotu najwyższą emisją cechuje się autobus wypełniony pasażerami w ok. $\frac{1}{4}$. Dość niekorzystnie wypada w tym zestawieniu transport pasażerów samochodami dostawczymi. Emisja cząstek stałych z takich samochodów napędzanych silnikami wysokoprężnymi jest najwyższa. Natomiast w przypadku dwutlenku węgla i lotnych związków organicznych (głównie węglowodorów) największą emisją charakteryzują się samochody dostawcze z silnikami o zapłonie iskrowym. W przypadku tych zanieczyszczeń dość wysoką emisję na pkm wykazują samochody osobowe napędzane silnikami zasilanymi benzyną. Zastosowanie napędu hybrydowego znacząco obniża emisję omawianych składników spalin. Podobnie jak w przypadku Stanów Zjednoczonych niskimi emisjami charakteryzują się autobusy przewożące komplet pasażerów.



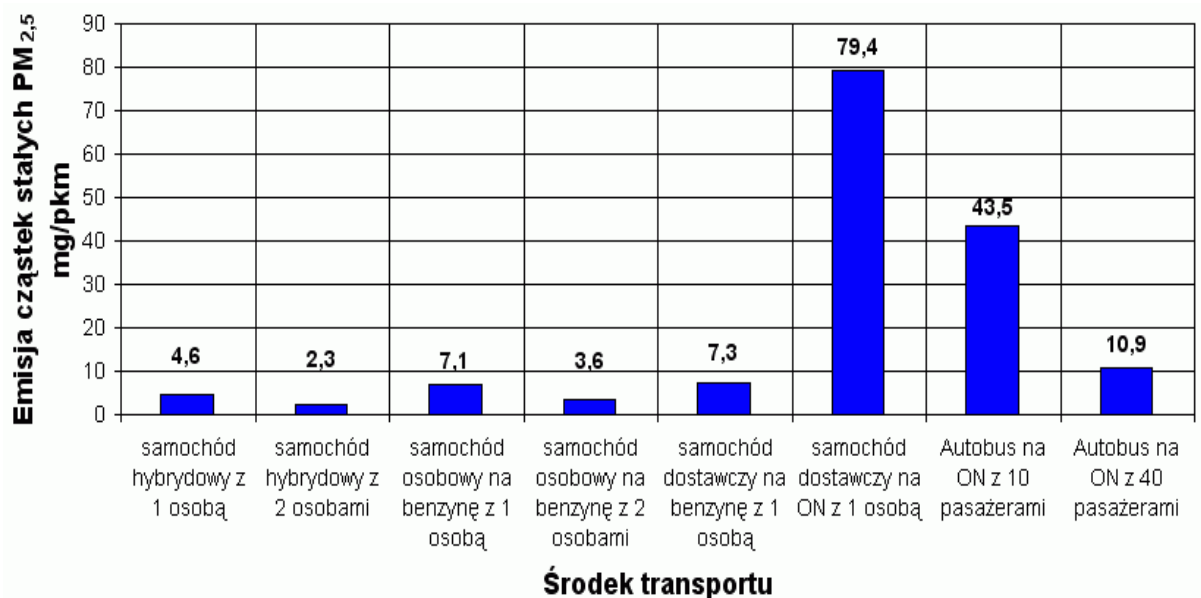
Rys. 12. Porównanie emisji dwutlenku węgla przypadającej na pasażerokilometr przez różne rodzaje pasażerskiego transportu drogowego w roku 2006 według danych kanadyjskich [7]



Rys. 13. Porównanie emisji tlenków azotu przypadającej na pasażerokilometr przez różne rodzaje pasażerskiego transportu drogowego w roku 2006 według danych kanadyjskich [7]



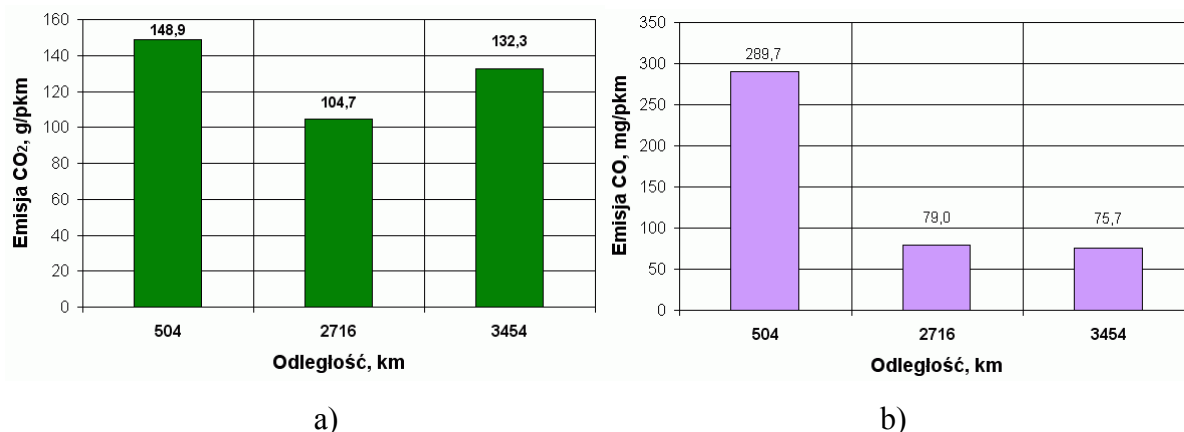
Rys. 14. Porównanie emisji węglowodorów przypadającej na pasażerokilometr przez różne rodzaje pasażerskiego transportu drogowego w roku 2006 według danych kanadyjskich [7]



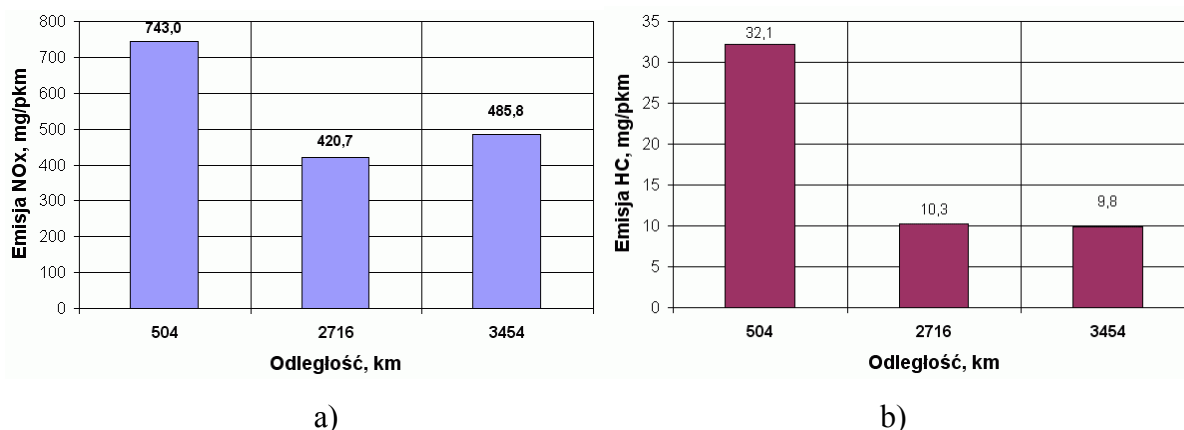
Rys. 15. Porównanie emisji cząstek stałych o średnicy do 2,5 μm przypadającej na pasażerokilometr przez różne rodzaje pasażerskiego transportu drogowego w roku 2006 według danych kanadyjskich [7]

Wpływ pokonywanej odległości na emisję zanieczyszczeń powietrza przez transport lotniczy przedstawiono w pracy [8]. Uwzględniono w niej emisję dwutlenku i tlenku węgla, tlenków azotu i węglowodorów (rys. 16 i 17). Z rys. 16 i 17 wynika, że największe emisje

zanieczyszczeń na pkm występują dla lotów na niewielkie odległości. Istotny jest w tym przypadku niekorzystny wpływ startu i lądowania, które powodują znacznie wyższe emisje niż pokonywanie reszty trasy [8]. Przy dłuższych dystansach pewien wpływ na wydzielanie zanieczyszczeń przez samoloty ma także kierunek lotu – zgodny czy przeciwny do ruchu Ziemi.



Rys. 16. Emisja dwutlenku (a) i tlenku węgla (b) przez samolot Airbus A320 przypadająca na pasażerokilometr według danych kanadyjskich [8]

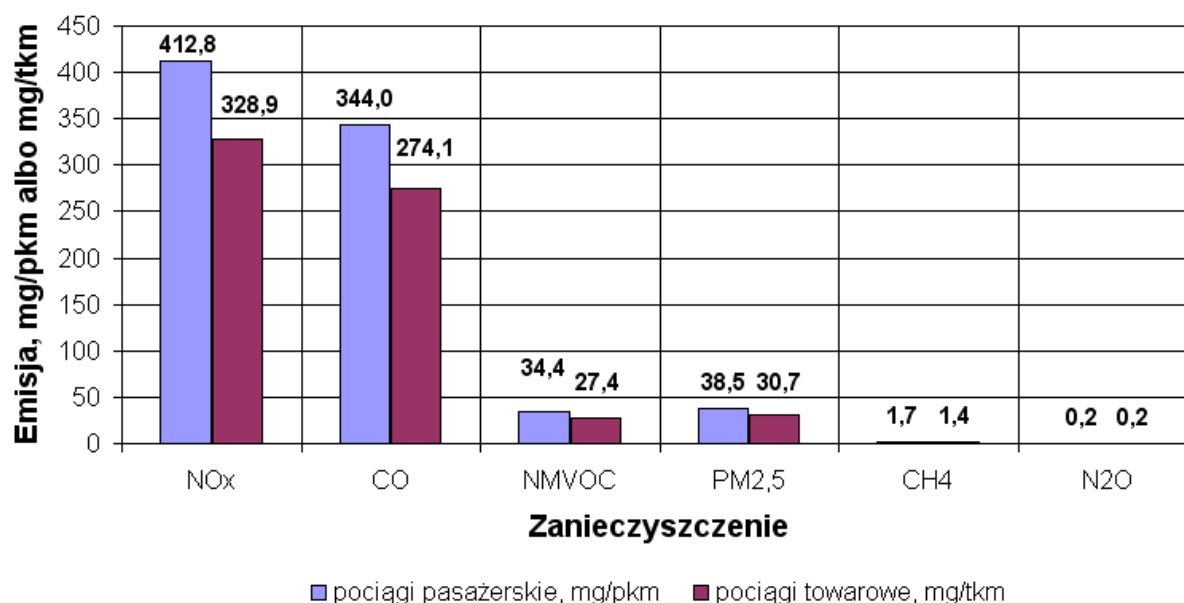


Rys. 17. Emisja tlenków azotu (a) i węglowodorów (b) przez samolot Airbus A320 przypadająca na pasażerokilometr według danych kanadyjskich [8]

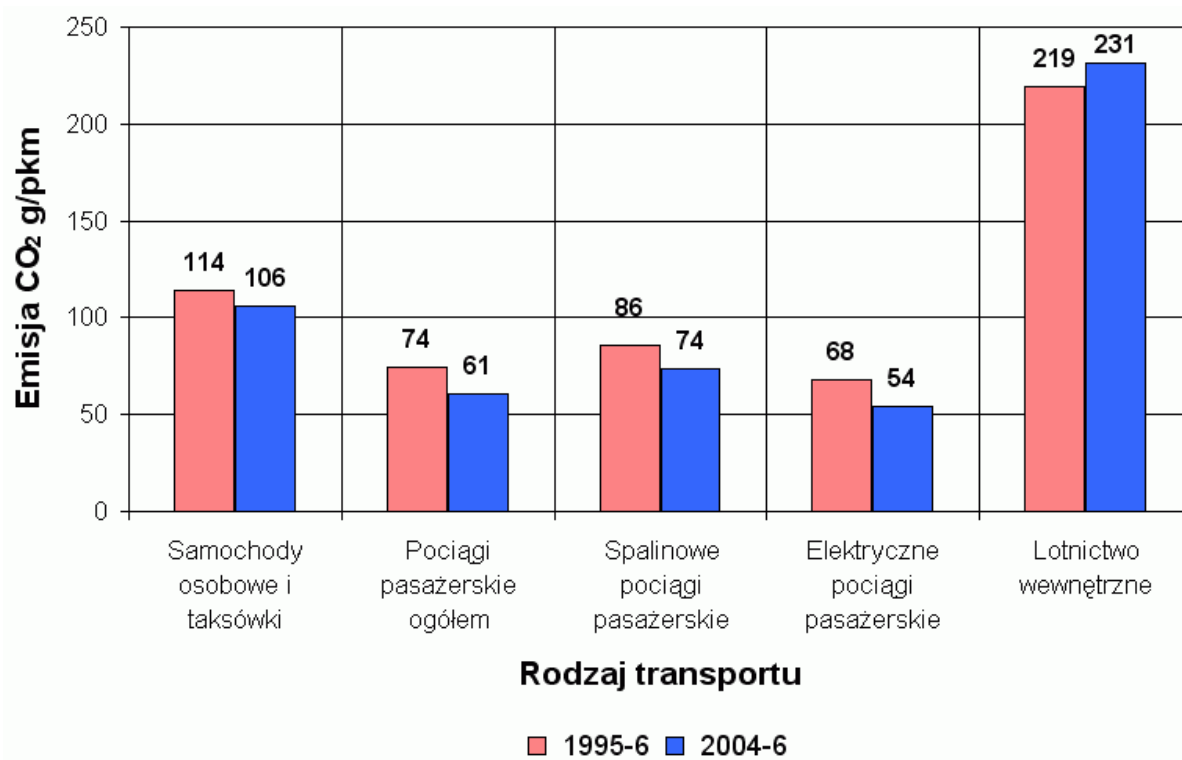
W przypadku kolei emisje wybranych zanieczyszczeń powietrza, przypadające na pasażerokilometr czy tonokilometr, obliczono na podstawie danych zawartych w pracach [1, 2, 4 i 7]. Przedstawiono je na rys. 18. Emisje tlenków azotu dla pociągów pasażerskich są porównywalne z emisjami samolotów na długich dystansach, natomiast są z reguły niższe niż dla indywidualnego transportu samochodowego (por. rys. 13 i 18). Jedynie samochody hybrydowe i autobusy z kompletem pasażerów charakteryzują się niższą emisją NO_x na pasażerokilometr. Emisje tlenku węgla i węglowodorów są dla pociągów wyższe niż dla

samolotów. Natomiast pociągi emitują znacznie mniej węglowodorów niż samochody. Lepsze wskaźniki od kolei osiągają tylko autobusy. Porównanie emisji cząstek stałych pociągów i samochodów napędzanych silnikami wysokoprężnymi i słabo wypełnionych autobusów wypada na korzyść kolei. Jednak samochody zasilane benzyną emitują znacznie mniej cząstek stałych niż kolej.

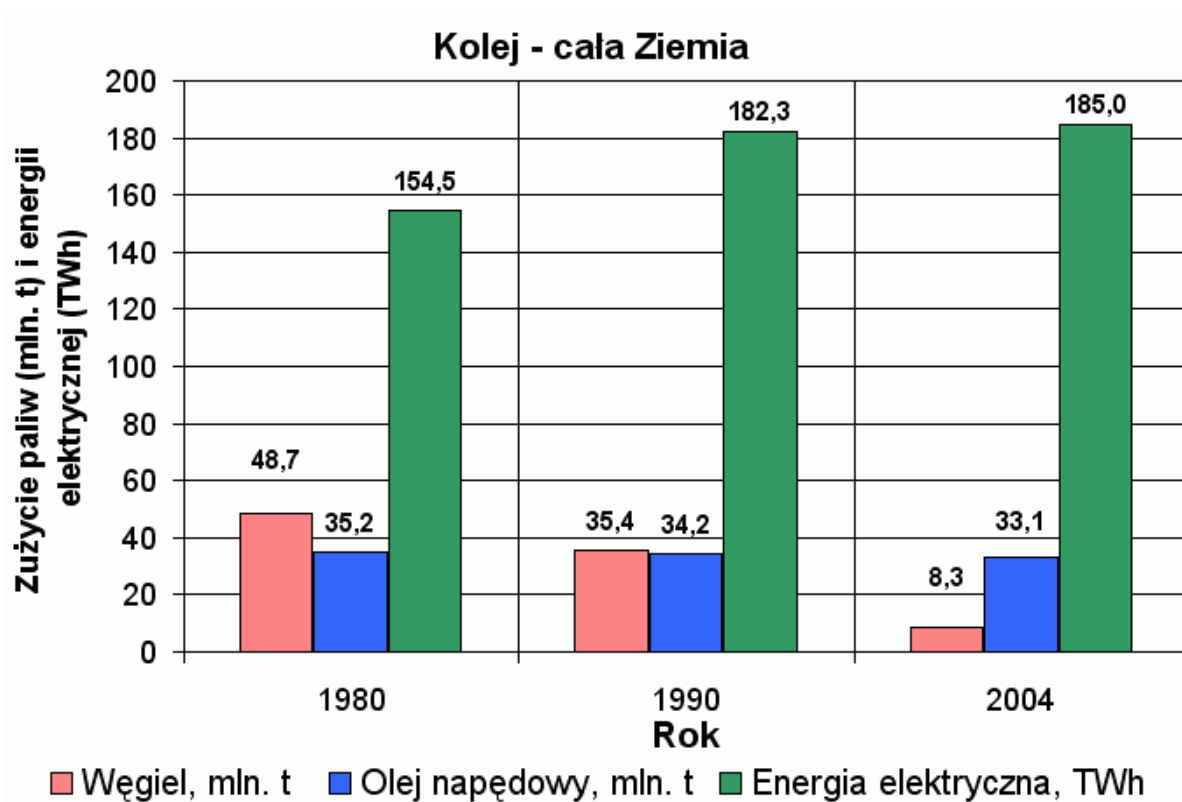
Ponieważ pociągi są prowadzone różnymi rodzajami trakcji, czyli mogą być napędzane za pomocą różnych źródeł energii, emisje zanieczyszczeń powietrza mogą zostać znacząco ograniczone. Na rys. 19 przedstawiono zmiany emisji CO₂ w Wielkiej Brytanii w latach 1995 – 2006. Wynika z niego, że największe ograniczenie emisji odnotowano w przypadku transportu kolejowego. Można to osiągnąć zarówno poprzez doskonalenie konstrukcji pojazdów jak i zmiany rodzaju trakcji. Z rys. 20 wynika, że w skali globu w latach 1980 – 2004 znacznie zmalało zużycie węgla do napędu pociągów, nieznacznie – oleju napędowego, a zauważalnie wzrosło zużycie energii elektrycznej, która może być produkowana metodami przyjaznymi dla środowiska naturalnego.



Rys. 18. Przykładowe wskaźniki emisji zanieczyszczeń przez koleje w mg na pkm (dla pociągów pasażerskich albo tkm (dla pociągów towarowych) [1, 2, 4, 7]: NO_x – tlenki azotu, CO – tlenek węgla, NMVOC – niemetanowe lotne związki organiczne (głównie węglowodory), PM_{2,5} – cząstki stałe o średnicy do 2,5 μm, CH₄ – metan, N₂O – podtlenek azotu



Rys. 19. Zmiany emisji CO₂ na pkm w Wielkiej Brytanii w latach 1995 – 2006 [4]



Rys. 20. Zużycie paliw i energii elektrycznej przez koleje na Ziemi w latach 1980 – 2004 [4]

3. Podsumowanie

Przeprowadzone w pracy zestawienie pozwala stwierdzić, że indywidualny, drogowy transport pasażerski powoduje przeważnie największe emisje zanieczyszczeń powietrza potrzebne do przewiezienia 1 osoby na odległość 1 km. Wyjątkiem jest wydzielanie się cząstek stałych z samochodów napędzanych silnikami o zapłonie iskrowym. Ograniczenie wysokich emisji z pojazdów samochodowych wymaga stosowania skomplikowanych i kosztownych napędów hybrydowych.

Znaczną poprawę emisji zanieczyszczeń w pasażerskim transporcie drogowym uzyskuje się poprzez zastosowanie transportu autobusowego zamiast indywidualnego. Transport kolejowy cechuje się przeważnie mniejszymi emisjami zanieczyszczeń niż transport drogowy, zwłaszcza przy przewozie ładunków. Z uwagi na stosowanie różnorodnych rozwiązań napędu pojazdów szynowych, wykazują one duży potencjał obniżania ilości emitowanych zanieczyszczeń. Natomiast dla transportu lotniczego obserwuje się wyraźny wpływ pokonywanej odległości na wskaźniki emisji. Z uwagi na duży udział startu i lądowania w emisji zanieczyszczeń powietrza wzrost odległości powoduje obniżenie ilości wydzielanych zanieczyszczeń na jednostkę wykonanej pracy przewozowej.

Literatura

1. D. Huggins: Panorama of Transport, 1990-2006. Sixth edition. EUROSTAT 2009, dostępny na: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-DA-09-001/EN/KS-DA-09-001-EN.PDF
2. Rail Transport and Environment Facts & Figures. The Voice of European Railways 6/2008. UIC, CER. Dostępny na: http://www.uic.org/homepage/railways&environment_facts&figures.pdf
3. Alan W. Hodges and Mohammad Rahmani: Fuel Sources and Carbon Dioxide Emissions by Electric Power Plants in the United States.htm Dostępny na: <https://edis.ifas.ufl.edu/fe796>
4. E. Uherek, 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: Transport impacts on atmosphere and climate: Land transport. Atmospheric Environment 44 (2010) 4772-4816.

5. Baseline energy statement – energy consumption and carbon dioxide emissions on the railway. The Voice of the passenger railway, 3/2007. Dostępny na:
http://www.atoc.org/clientfiles/files/publicationsdocuments/npsB3A7_tmp.pdf
6. H. Nojumi, I. Dincer, G.F. Naterer: Greenhouse gas emissions assessment of hydrogen and kerosene-fueled aircraft propulsion. international journal of hydrogen energy 34 (2009) 1363 – 1369.
7. Optional Emissions from Commuting , Bussiness Travel, and Product Transport. CLIMATE LEADERS GHG INVENTORY PROTOCOL, 5/2008. Dostępny na:
http://www.epa.gov/climateleadership/documents/resources/commute_travel_product.pdf
8. Air Pollution and Greenhouse Gases from Different Commuting Options. Dostępny na:
<http://www.bcairquality.ca/topics/emissions-transportation-options.html>