

Mirosław WITASZEK¹, Kazimierz WITASZEK²

EMISJA WYBRANYCH, TOKSYCZNYCH SKŁADNIKÓW SPALIN PRZEZ RÓŻNE ŚRODKI TRANSPORTU

Streszczenie. W niniejszym artykule zestawiono emisję: tlenków azotu, węglowodorów, tlenku węgla i cząstek stałych dla różnych środków transportu. W zestawieniu uwzględniono transport: drogowy, kolejowy i lotniczy. Do analizy użyto danych dostępnych w literaturze. Przedstawiono je oddzielnie dla każdego z ww. rodzajów transportu. W celu ułatwienia porównania środków pasażerskiego i towarowego transportu drogowego zestawiono dane dotyczące emisji przypadającej na jednostkę drogi. Ponadto, zaprezentowano dane dotyczące emisji na jednostkę pracy przewozowej, która umożliwia porównanie transportu drogowego z kolejowym i lotniczym. Porównanie to umożliwiło określenie różnic występujących pomiędzy poszczególnymi rodzajami transportu. W transporcie lotniczym zaobserwowano istotny wpływ odległości pokonywanej w trakcie lotu na emisję. W przypadku lotów w kierunku zbliżonym do równoleżnikowego istotne jest także, czy odbywa się on zgodnie z ruchem Ziemi czy przeciwnie do niego.

Słowa kluczowe: Emisja, tlenki azotu, węglowodory, tlenek węgla, cząstki stałe, transport, drogowy, transport kolejowy, transport lotniczy.

CHOSEN TOXIC COMPONENTS OF EXHAUST GASSES EMISSION FOR DIFFERENT MEANS OF TRANSPORT

Summary. This article presents data that concerns emission of nitrogen oxides, hydrocarbons, carbon monoxide and particles by different transport means. The road, rail and air transport were taken into account. The data published in references were analysed. To compare freight and passenger road transport emission expressed in grams per kilometre was presented. The emission in mg per passenger-kilometre enabled comparison of cars trains and planes in terms of air pollutant discharge. The data comparison revealed significant differences between transport modes. For aviation significant influence of flight distance on emission was observed. For flights running evenly with a parallel of latitude also the direction – according or opposite to the Earth rotation is significant.

Keywords: Emission, nitrogen oxides, hydrocarbons, carbon monoxide, particles, road transport, railway transport, air transport.

¹ Faculty of Transport, The Silesian University of Technology, Katowice, Poland, e-mail: miroslaw.witaszek@polsl.pl

² Faculty of Transport, The Silesian University of Technology, Katowice, Poland, e-mail: kazimierz.witaszek@polsl.pl

1. WPROWADZENIE

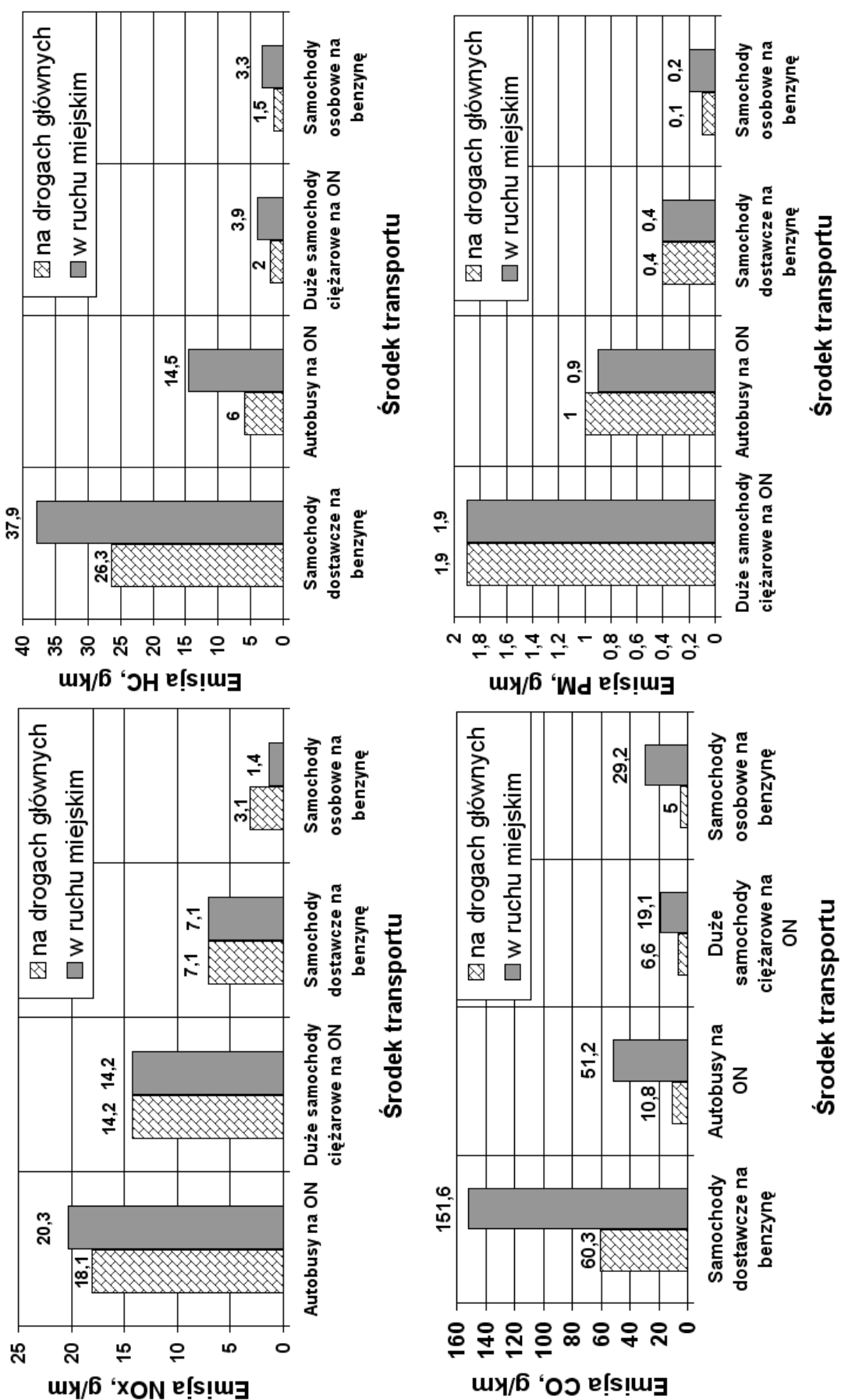
Obecnie transport jest w znacznym stopniu uzależniony od paliw ropopochodnych. Według pracy [3] udział tych paliw w wytwarzaniu energii w transporcie pod koniec ubiegłego stulecia wynosił aż 97%. Od tamtej pory udział ten nie uległ znaczącym zmianom [4, 5]. Spalanie takich paliw powoduje emisję spalin, których głównymi składnikami są substancje nietoksyczne: azot, dwutlenek węgla i para wodna. Powszechnie wiadomo, że spaliny zawierają także składniki szkodliwe dla zdrowia ludzi oraz środowiska naturalnego, spośród których najważniejsze to: tlenki azotu, węglowodory, cząstki stałe i tlenek węgla. Dzięki wprowadzaniu coraz bardziej surowych norm, emisje tych składników są stopniowo obniżane, zwłaszcza w transporcie drogowym. Zmniejszenie szkodliwości przemieszczania ładunków i pasażerów dla zdrowia ludzi oraz środowiska naturalnego można uzyskać również przez odpowiedni dobór rodzaju transportu do określonych zadań przewozowych. Wymaga to porównania emisji toksycznych składników spalin przez różne rodzaje i środki transportu. W niniejszym artykule zestawiono zaczerpnięte z literatury dane dotyczące emisji głównych, toksycznych składników spalin dla transportu: drogowego, kolejowego i lotniczego.

2. EMISJE TOKSYCZNYCH SKŁADNIKÓW SPALIN W TRANSPORCIE DROGOWYM

Liczba i wiek samochodów oraz innych środków transportu drogowego na określonym terenie zależą w znacznym stopniu od zamożności zamieszkujących go ludzi. Wiadomo, że większość społeczeństw zamieszkujących naszą planetę nie należy do bogatych, stąd też na drogach w wielu krajach często spotyka się nienajnowsze samochody czy autobusy. Również w Polsce sporadycznie spotyka się np. autobusy miejskie z przełomu lat 80. i 90. ubiegłego stulecia. Pojazdy te nie spełniają najnowszych norm emisji spalin. Dlatego omawianie emisji szkodliwych składników spalin przez pojazdy transportu drogowego rozpoczęto od danych zawartych w pracy [5] z 1995 roku. Na rys. 1 przedstawiono emisję głównych, toksycznych składników spalin przez samochody i autobusy w końcówce minionego stulecia. Z uwagi na to, że dane dotyczą pojazdów wykorzystywanych zarówno w transporcie pasażerskim, jak i towarowym emisje wyrażono w gramach na kilometr przebytej drogi. Zestawiono dane dotyczące emisji w ruchu miejskim oraz na drogach głównych.

Z rys. 1 wynika, że dawne pojazdy samochodowe nieobjęte restrykcyjnymi normami emisji spalin emitowały znaczne ilości tlenu węgla, szczególnie w ruchu miejskim. Największą emisją (przekraczającą 150 g/km w ruchu miejskim i 60 g/km na drogach głównych) cechowały się lekkie samochody ciężarowe (tzw. samochody dostawcze), napędzane silnikami z zapłonem iskrowym. Najmniejszą emisję CO na drogach głównych wykazywały samochody osobowe (5 g/km), a w ruchu miejskim, ciężkie samochody napędzane silnikami wysokoprężnymi (ponad 19 g/km). Charakter ruchu wywierał bardzo znaczny wpływ na emisję tlenu węgla, która dla niektórych pojazdów zmieniała się kilkakrotnie, np. autobusy wydzielały ok. pięciokrotnie, a samochody osobowe – blisko sześciokrotnie więcej tego gazu w mieście niż na drogach głównych.

Rodzaj ruchu wywierał także istotny wpływ na emisję lotnych węglowodorów w spalinach. Zazwyczaj jazda w ruchu miejskim charakteryzowała się ok. dwukrotnie większą ich emisją niż miało to miejsce na drogach głównych. W przypadku emisji węglowodorów przodowały samochody dostawcze zasilane benzyną, a najbardziej ekologiczne były samochody osobowe, zarówno w ruchu miejskim, jak i na drogach głównych.

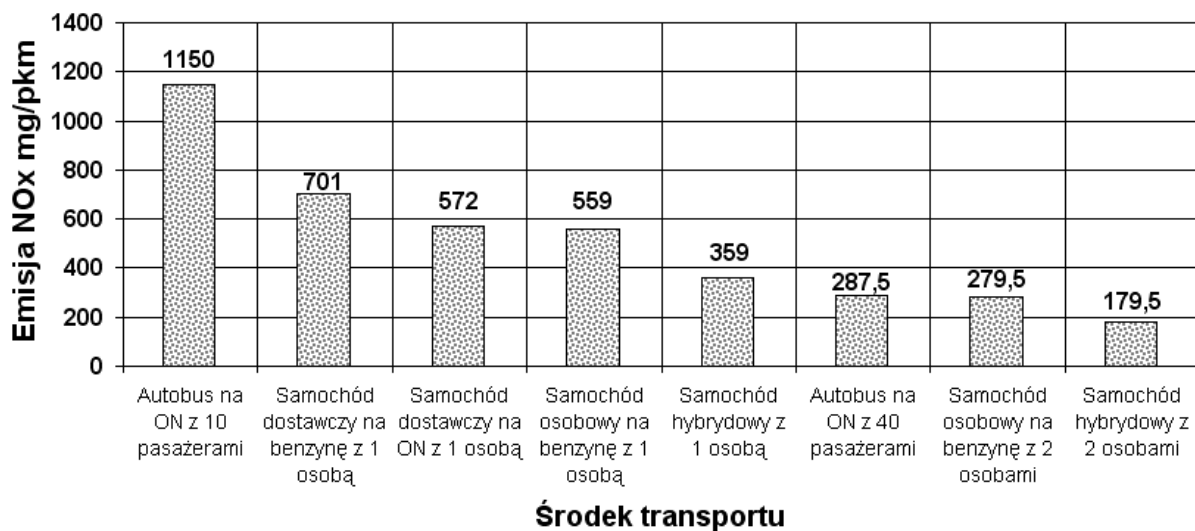


Rys. 1. Emisja tlenków azotu (NO_x), węglowodorów (HC), tlenku węgla (CO) i cząstek stałych (PM) na kilometr przez różne środki transportu drogowego w 1995 r. [5]

Fig. 1. Nitrogen oxides (NO_x), hydrocarbons (HC), carbon monoxide (CO) and particles (PM) emission per kilometre by different road transport means in 1995 [5]

Wysoka zawartość tlenu węgla i węglowodorów w spalinach jest charakterystyczna dla silników z zapłonem iskrowym, podczas gdy największe emisje tlenków azotu i cząstek stałych wykazują silniki z zapłonem samoczynnym. Należy jednak zauważyć, że w ruchu miejskim silniki te wytwarzają spore ilości CO, przeważnie więcej niż NOx. Na drogach głównych w spalinach samochodów z takimi silnikami dominują tlenki azotu. Podobne prawidłowości można zaobserwować w przypadku cząstek stałych, których emisja jest o rząd wielkości niższa niż NOx. Emisja tlenków azotu i cząstek stałych nie wykazuje istotnej zależności od warunków ruchu. Wyjątkiem są tu samochody osobowe zasilane benzyną, dla których emisje te są najmniejsze.

Jak już wspomniano, pojazdy o emisjach zbliżonych do omówionych wyżej zanieczyszczają nadal powietrze w wielu biedniejszych rejonach świata. Dotyczy to także pojazdów pierwotnie wyposażonych w systemy obniżające toksyczność spalin, pracujących obecnie bez nich np. w niektórych krajach Afryki Środkowej. Kraje rozwinięte w trosce o ochronę środowiska i zdrowie swoich obywateli dążą do ograniczenia emisji toksycznych składników spalin. Szczególnie wysoką efektywność (85-98%) osiąga się w obniżaniu zawartości tlenu węgla w spalinach za pomocą katalizatorów [11], stąd nowsze opracowania często nie uwzględniają tego składnika spalin. Przykładem jest kanadyjska praca [1]. Na rys. 2-4 przedstawiono emisję pozostałych trzech, głównych składników toksycznych spalin według danych zawartych w tej pracy [1]. Aby ułatwić porównanie tej emisji z emisją generowaną przez środki transportu kolejowego i lotniczego, wyrażono ją w mg na jednostkę pracy przewozowej w transporcie pasażerskim.

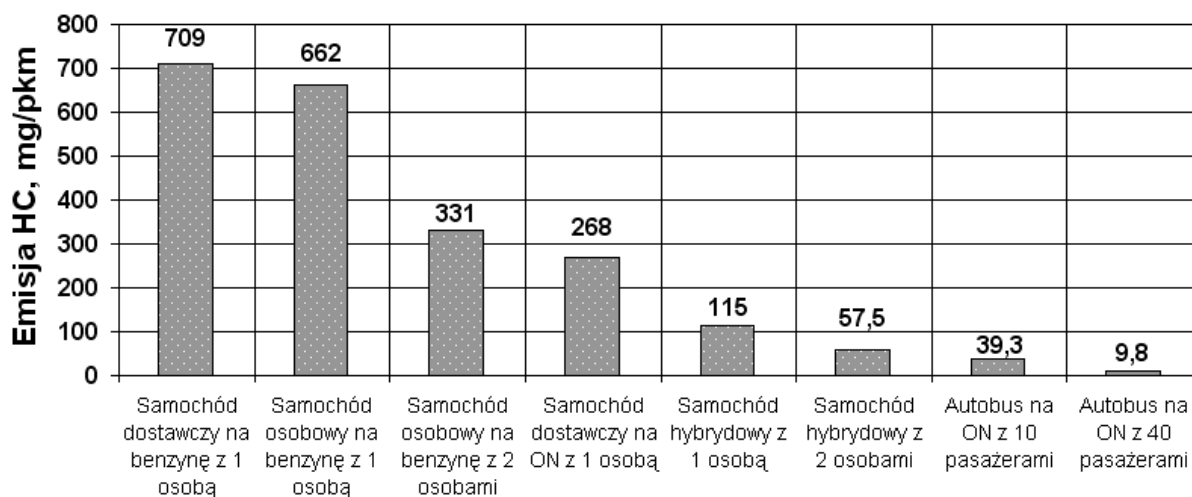


Rys. 2. Emisja tlenków azotu na pasażerokilometr przez różne środki transportu drogowego w Kanadzie [1]

Fig. 2. Nitrogen oxides emission per passenger-kilometre by different road transport means in Canada [1]

Z rys. 2 wynika, że autobusy zasilane olejem napędowym nadal charakteryzują się wysoką emisją tlenków azotu. Po odpowiednich przeliczeniach nietrudno zauważyć, że obecnie wynosi ona 11,5 g/km i jest niespełna dwukrotnie niższa niż przed dwudziestu laty. Znaczną poprawę czystości spalin w zakresie zawartości NOx uzyskano natomiast w przypadku samochodów dostawczych z silnikami o zapłonie iskrowym. Ograniczenie emisji jest w tym przypadku aż dziesięciokrotne. Jak wynika z rys. 2, korzystniejsze, pod względem emisji NOx, jest stosowanie współczesnych silników z zapłonem samoczynnym do napędzania samochodów dostawczych. Istotną poprawę osiągnięto również w przypadku samochodów osobowych zasilanych benzyną. Obecnie emisja tlenków azotu wynosi (w ich

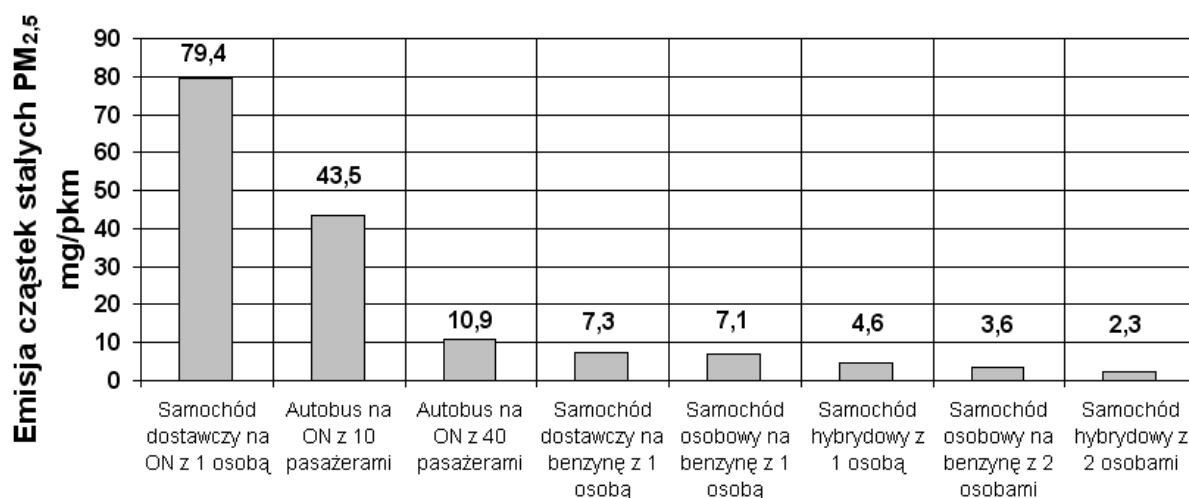
przypadku) ok. 0,56 g/km, co w porównaniu z 1,4-3,1 g/km przed 20 laty daje kilkakrotny spadek. Dalszą poprawę czystości spalin uzyskuje się dzięki zastosowaniu samochodów hybrydowych. Oczywiście korzystanie z jednego pojazdu przez dwie lub więcej osób (zamiast jazdy osobnymi samochodami) znacząco obniża emisję toksycznych składników spalin.



Środek transportu

Rys. 3. Emisja węglowodorów na pasażerokilometr przez różne środki transportu drogowego w Kanadzie [1]

Fig. 3. Hydrocarbons emission per passenger-kilometre by different road transport means in Canada [1]



Środek transportu

Rys. 4. Emisja cząstek stałych, o średnicy mniejszej niż 2,5 μm na pasażerokilometr przez różne środki transportu drogowego w Kanadzie [1]

Fig. 4. Emission of particles, smaller than 2,5 μm in diameter, per passenger-kilometre by different road transport means in Canada [1]

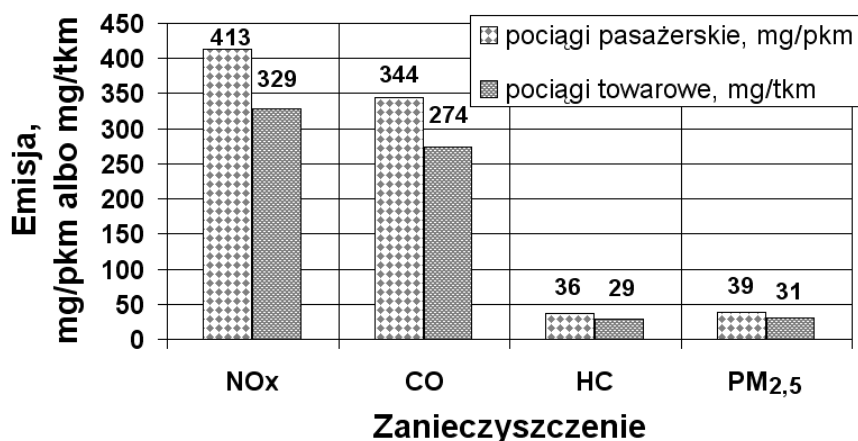
Największą emisję węglowodorów (rys. 3) nadal wykazują samochody dostawcze zasilane benzyną, jednak obecnie wydzielają one aż kilkadziesiąt razy mniej tych substancji niż w połowie ostatniej dekady ubiegłego stulecia. Emisja ta nieznacznie przekracza tę, którą cechują się samochody osobowe z silnikami o zapłonie iskrowym. W ich przypadku obserwuje się kilkakrotny spadek emisji węglowodorów, podobnie jak ma to miejsce dla tlenków azotu. Znaczną poprawę czystości spalin uzyskano także dla autobusów,

w przypadku których dość wysoka emisja (6-14,5 g/km) obniżyła się do ok. 0,4 g/km, co oznacza spadek od piętnastokrotnego do ponaddwudziestokrotnego.

Na rys. 4 przedstawiono emisję cząstek stałych o średnicy mniejszej niż 2,5 μm przez współczesne samochody, według danych kanadyjskich. Nie jest zatem możliwe bezpośrednie ich porównanie z danymi zaprezentowanymi na rys. 1, które obejmują emisję wszystkich cząstek stałych. Zgodnie z oczekiwaniami, największą emisją cechują się pojazdy napędzane silnikami z zapłonem samoczynnym. Emisja cząstek stałych przez współczesne samochody osobowe i dostawcze z silnikami o zapłonie iskrowym jest zbliżona. Niższą emisją cechują się tylko samochody hybrydowe. Właściwy dobór środka transportu ze względu na ochronę zdrowia ludzi i środowiska wymaga porównania tych emisji z emisjami występującymi w innych gałęziach transportu.

3. EMISJE TOKSYCZNYCH SKŁADNIKÓW SPALIN W TRANSPORCIE KOLEJOWYM

Na rys. 5 przedstawiono emisję głównych, toksycznych składników spalin w transporcie kolejowym, obliczoną na podstawie danych zawartych w pracach [2, 7, 8, 10]. Jak wynika z porównania tego rysunku z rys. 2, przewożenie 1 pasażera na odległość 1 km koleją powoduje mniejszą emisję tlenków azotu niż ma to miejsce w przypadku indywidualnego transportu drogowego oraz słabo wypełnionych autobusów. Emisja ta jest zbliżona do wywoływanej przez samochody hybrydowe, stosowane w transporcie indywidualnym. Również emisja węglowodorów przez pociągi pasażerskie jest niska. Pod tym względem ustępują one jedynie autobusom o znacznym wypełnieniu.



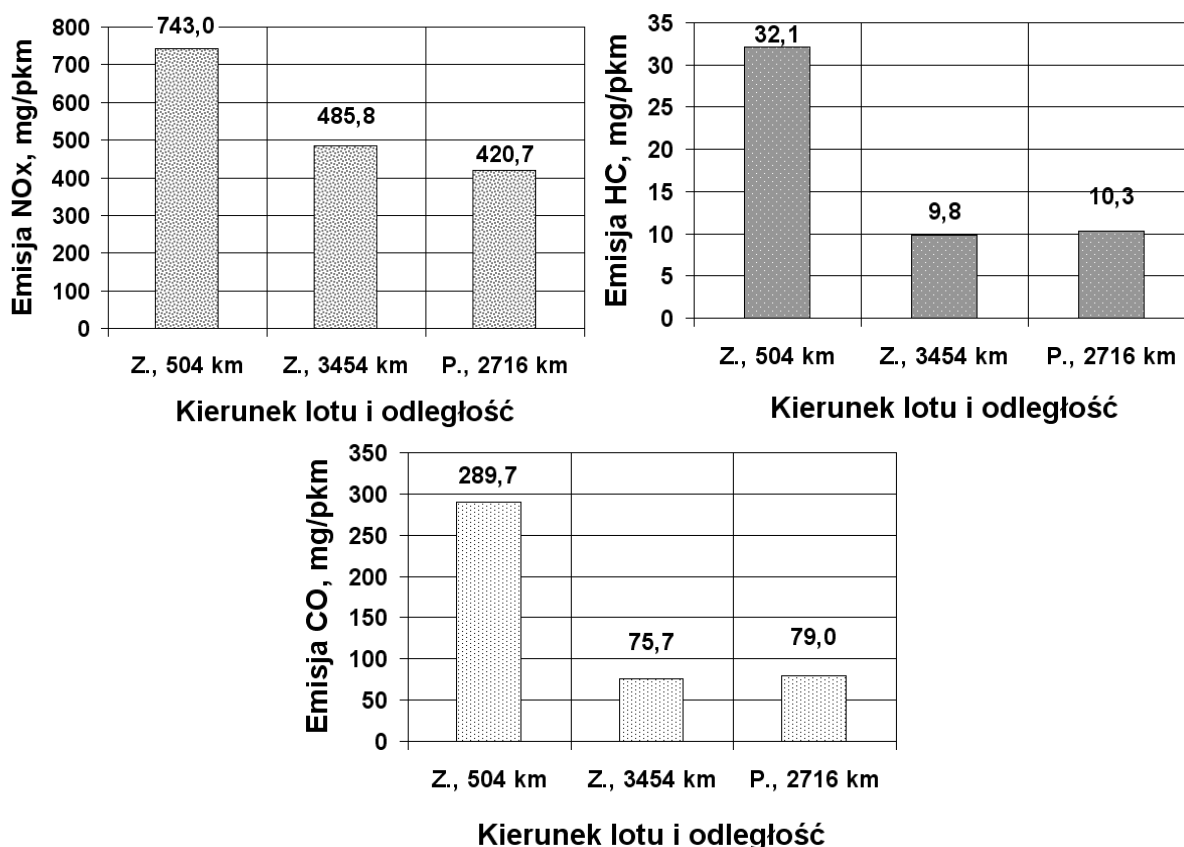
Rys. 5. Emisja toksycznych składników spalin przez koleje wyrażona w mg na pasażerokilometr (dla pociągów pasażerskich) albo tonokilometrach (dla pociągów towarowych) [2, 7, 8, 10]: NOx – tlenki azotu, CO – tlenek węgla, HC – węglowodory, PM_{2,5} – cząstki stałe o średnicy do 2,5 μm

Fig. 5. Toxic components of exhaust gasses emission for railways expressed in mg per emission per passenger-kilometre (for passenger trains) or tonn-kilometre (for freight trains) [2, 7, 8, 10]: NOx – nitrogen oxides, CO – carbon monoxide, HC – hydrocarbons, PM_{2,5} – particles with diameter up to 2,5 μm

Ponieważ w spalinowych pojazdach trakcyjnych stosowane są wyłącznie silniki wysokoprężne, emisja cząstek stałych przez pociągi jest wyższa niż dla samochodów napędzanych silnikami benzynowymi. Również autobusy przewożące komplet pasażerów są pod tym względem korzystniejsze od kolei.

4. EMISJE TOKSYCZNYCH SKŁADNIKÓW SPALIN W TRANSPORCIE LOTNICZYM

Na przestrzeni ostatnich dekad nastąpił znaczny rozwój pasażerskiego transportu lotniczego. Na rys. 6 przedstawiono emisję toksycznych składników spalin w tym transporcie, obliczoną na podstawie danych zawartych w pracy [6]. Wynika z niego, że transport lotniczy na krótkich dystansach powoduje zbliżoną emisję węglowodorów i tlenku węgla do kolei, natomiast przy długich lotach emisje przypadające na pasażerokilometr są zauważalnie mniejsze. W przypadku tlenków azotu kolej okazuje się korzystniejsza, niezależnie od długości dystansu, choć przy długich lotach różnice te nie są znaczne.



Rys. 6. Emisja toksycznych składników spalin przez samoloty [6]: Z. – kierunek lotu zgodny z kierunkiem ruchu obrotowego Ziemi, P. – kierunek lotu przeciwny niż kierunek ruchu obrotowego Ziemi

Fig. 6. Toxic components of exhaust gasses emission for planes [6]: Z. – flight direction according to direction of Earth rotary motion, P. – flight direction opposite to direction of Earth rotary motion

5. PODSUMOWANIE

Porównanie danych zaprezentowanych w artykule pozwoliło na określenie, które rodzaje i środki transportu pasażerskiego charakteryzują się, w określonych warunkach, najmniejszą emisją toksycznych składników spalin. Dla najdłuższych podróży (np. 3000 km), najniższe emisje występują w transporcie lotniczym. Powszechnie wiadomo, że jego istotną zaletą jest też krótki czas podróży. Znaczne zużycie paliwa, konieczne do startu samolotu i jego

wzniesienia się na wysokość przelotu [6], sprawia, że w przypadku podróży na odległość kilkuset km samolot wytwarza znacząco większe ilości szkodliwych składników spalin przypadających na jednostkę pracy przewozowej niż przy długich lotach. W tym przypadku transport kolejowy oraz autobusowy generują niższe emisje przy przemieszczeniu jednego pasażera na odległość 1 km. Zgodnie z zaprezentowanymi danymi, autobusy zazwyczaj charakteryzują się mniejszymi emisjami szkodliwych składników spalin niż kolej. Trzeba jednak wziąć pod uwagę, że kolej elektryczna nie wytwarza spalin bezpośrednio, lecz powstają one w trakcie produkcji energii elektrycznej. Przy zastosowaniu np. energetyki wodnej takie zanieczyszczenia powietrza nie powstają wcale. Kolej elektryczna, która dominuje np. na terenie Europy [9], oferuje więc znaczne możliwości obniżenia zanieczyszczenia powietrza spalinami. Indywidualny transport samochodowy, pomimo znacznego obniżenia ilości emitowanych substancji szkodliwych, pozostaje nadal najmniej ekologicznym sposobem przemieszczania się. Jednak i w jego przypadku istnieją spore możliwości poprawy tego stanu rzeczy, np. dzięki zastosowaniu samochodów hybrydowych.

Bibliografia

1. British Columbia. "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, nr 3, 2007". Available at: http://www.atoc.org/clientfiles/files/publicationsdocuments/npsB3A7_tmp.pdf.
3. Johansson B. 1996. "Transportation fuels from Swedish biomass – environmental and cost aspects". *Transpn. Res.-D* 1 (1): 47-62.
4. MacLean H.L., L.B. Lave. 2003. "Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies". *Progress in Energy and Combustion Science* 29: 1-69.
5. Mäkelä K. 1995. "Traffic emissions in Russia and the Baltic states". *The Science of the Total Environment* 169: 219-229.
6. Nojoumi 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. EPA. "Optional Emissions from Commuting , Bussiness Travel, and Product Transport. Climate Leaders GHG Inventory Protocol, nr 5, 2008". Available at: http://www.epa.gov/climateleadership/documents/resources/commute_travel_product.pdf.
8. UIC. "Rail Transport and Environment Facts & Figures. The Voice of European Railways nr 6, 2008. UIC, CER". Available at: http://www.uic.org/homepage/railways&environment_facts&figures.pdf.
9. Madej J. (red.). 2000. *Technika taboru drogowo-szynowego (bimodalnego)*. [In Polish: *Technique rolling road-rail (bimodal)*]. Poznań: Instytut Pojazdów Szynowych.
10. Eurostat. "Transport energy consumption and emissions. EUROSTAT, 2013". Available at: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Transport_energy_consumption_and_emissions.
11. Zhao F., M.-C. Lai, D.L. Harrington. 1999. "Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines". *Progress in Energy and Combustion Science* 25: 437-562.