

**Article citation info:**

Bebkiewicz K, Chłopek Z, Szczepański K, Zimakowska-Laskowska M. Assessment of results of pollutant emission inventory of the road transport sector in Poland in 2000–2015. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2017; 78(4): 5-25, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL78.ART1>

# ASSESSMENT OF RESULTS OF POLLUTANT EMISSION INVENTORY OF THE ROAD TRANSPORT SECTOR IN POLAND IN 2000–2015

## OCENA WYNIKÓW INWENTARYZACJI EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ W SEKTORZE TRANSPORTU DROGOWEGO W POLSCE W LATACH 2000–2015

**KATARZYNA BEBKIEWICZ<sup>1</sup>, ZDZISŁAW CHŁOPEK<sup>2</sup>, KRYSZTIAN SZCZEPAŃSKI<sup>3</sup>,  
MAGDALENA ZIMAKOWSKA-LASKOWSKA<sup>4</sup>**

Institute of Environmental Protection – National Research Institute

### Summary

The article presents results of inventorying pollutant emission from road transport in Poland in the years 2000–2015, prepared at the National Centre for Emissions Management (KOBiZE) of the Institute of Environmental Protection – National Research Institute. The pollutant emission was determined by modelling, which was carried out with using the EU-recommended COPERT 4 program. The fleet sizes and annual mileage (in kilometres) of vehicles classified in each cumulated category have been

<sup>1</sup> Institute of Environmental Protection – National Research Institute – National Centre for Emissions Management (KOBiZE); ul. Chmielna 132/134; 00-805 Warszawa, Poland; e-mail: [katarzyna.bebkiewicz@kobize.pl](mailto:katarzyna.bebkiewicz@kobize.pl)

<sup>2</sup> Institute of Environmental Protection – National Research Institute – National Centre for Emissions Management (KOBiZE); ul. Chmielna 132/134; 00-805 Warszawa, Poland; e-mail: [zdzislaw.chlopek@kobize.pl](mailto:zdzislaw.chlopek@kobize.pl)

<sup>3</sup> Institute of Environmental Protection – National Research Institute; ul. Krucza 132/134; 00-548 Warszawa, Poland; e-mail: [krystian.szczepanski@ios.edu.pl](mailto:krystian.szczepanski@ios.edu.pl)

<sup>4</sup> Institute of Environmental Protection – National Research Institute – National Centre for Emissions Management (KOBiZE); ul. Chmielna 132/134; 00-805 Warszawa, Poland; e-mail: [magdalena.zimakowska-laskowska@kobize.pl](mailto:magdalena.zimakowska-laskowska@kobize.pl)

given. The motor vehicle traffic was characterized by the shares of vehicle mileages covered in the urban, extra-urban (rural), and high-speed (highway) driving modes in the total vehicle mileage and by the average vehicle velocity values determined for the said different driving modes. Data on annual national emission of carbon monoxide – CO, volatile organic compounds – VOC, nitrogen oxides – NO<sub>x</sub>, particulate matter – PM, and carbon dioxide – CO<sub>2</sub> have been specified for the years 2000–2015, for which the emission balance was inventoried. A marked downward trend was revealed in the annual national emission, especially for carbon monoxide and volatile organic compounds. This is an effect of technological progress in the field of automotive engineering. The average specific distance emission and average emission factor values were also experimentally determined.

Based on results of these tests, conclusions have been formulated as regards clearly visible improvement in the environmental properties of motor vehicles in the years 2000–2015; an effect of this improvement is a considerable reduction in the environmental loading caused by road transport.

**Keywords:** inventory of pollutant emission, motor vehicles, road transport

## Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń w sektorze transportu drogowego w Polsce w latach 2000–2015, opracowane w Krajowym Ośrodku Bilansowania i Zarządzania Emisjami Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego. Emisję zanieczyszczeń wyznaczono na podstawie modelowania z zastosowaniem oprogramowania COPERT 4, rekomendowanego przez Unię Europejską. Przedstawiono licznosc i przebiegi roczne pojazdów kategorii skumulowanych. Parametry charakteryzujące ruch samochodów przyjęto jako udział długości drogi przebytej przez pojazd w warunkach jazdy: w miastach, poza miastami oraz na autostradach i drogach ekspresowych, a także prędkość średnią pojazdów w tych warunkach. Przedstawiono krajową emisję roczną: tlenku węgla, lotnych związków organicznych, tlenków azotu, cząstek stałych i dwutlenku węgla dla lat bilansowania 2000–2015. Stwierdzono tendencję do znaczącego zmniejszania się krajowej emisji zanieczyszczeń, szczególnie tlenku węgla i lotnych związków organicznych. Jest to wynik postępu technicznego pojazdów samochodowych. Zbadano również średnią emisję drogową i średni wskaźnik emisji zanieczyszczeń dla wszystkich pojazdów samochodowych.

Sformułowano na podstawie tych badań wnioski na temat wyraźnej poprawy właściwości ekologicznej pojazdów samochodowych w latach 2000–2015, czego skutkiem jest znaczące zmniejszenie obciążenia środowiska przez transport drogowy.

**Słowa kluczowe:** inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń, pojazdy samochodowe, transport drogowy

## 1. Introduction

The civilization-related pollutant emission has been regularly inventoried for several decades, on local, national, and worldwide scale. Among the first European initiatives in this field, there was the one taken within CORINAIR (Core Inventory of Air Emissions) [19]. Poland has been participating in the CORINAIR works from the beginning of 1990s. Many projects related to pollutant emission from road transport were undertaken within European scientific programs, e.g. COST<sup>5</sup> 319 "Estimation of pollutant emissions from transport" [14] and MEET (*Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy Consumption*) [31]. Moreover, some computer tools have also been developed to support the inventorying

<sup>5</sup> COST – European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research

of pollutant emission and fuel consumption in the road transport sector, with the program named COPERT (*Calculation of Emissions from Road Transport*) being one of those most important [20].

Apart from that, computer programs have been prepared to determine the quantities that characterize the emission and fuel consumption of motor vehicles. The program developed by INFRAS [26] (described in HBEFA – *Handbook Emission Factors for Road Transport* [30]) makes it possible to determine the specific distance emission and specific distance fuel consumption for motor vehicles of various types, operated in various traffic conditions.

Other programs devised for estimating pollutant emission and fuel consumption include e.g. special versions of the MOBILE program [24] developed in the USA for road and non-road transport facilities as well as numerous programs to assist the estimation of emission from various civilization-related sources, including motorization, e.g. GAINS (*Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies*) [20], TREMOVE (*Transport & Mobility Leuven*) [27], ForFITS (*Future Inland Transport Systems*) [28], TRANSTOOLS (*Tools for Transport Forecasting and Scenario Testing*) [19], or SULTAN (*Sustainable Transport*) [25]. There are also a number of very simplified pollutant emission models, used to assist the modelling of road vehicle traffic, e.g. PTV Visum [21].

The results of inventorying the national pollutant emission, presented herein, were obtained with using the COPERT 4<sup>6</sup> program [13, 15]. The obligation to report pollutant emission arises from the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC or FCCC). For the sake of uniformity of emission inventory results, a standard method, identical for all the EU member states, has been developed under the auspices of the European Environment Agency (EEA) and described in the IPCC 2006 [1] and EMEP/EEA [14] guidelines. The COPERT model is a program based on this EU preferred method.

The COPERT program is based on results of tests and projects supported by, *inter alia*, the Joint Research Centre in Ispra (Italy) and ERMES (*The European Research Group on Mobile Emission Sources*).

## 2. Principles of modelling pollutant emission and fuel consumption in the road transport sector

The inventorying of pollutant emission from road transport is one of the most difficult tasks in the field of determining the balance of pollutant emission from various civilization-related sources. This is because of the fact that in the case of mobile emission sources, only modelling results may be utilized, as the measurements of total emission from motor vehicles, as opposed to other stationary emission sources, are technically infeasible [3, 11, 12].

In the model of total pollutant emission from road transport, the following assumptions have been adopted [3, 12]:

- the intensity of emission of individual pollutants is an additive quantity;

<sup>6</sup> The COPERT 5 version of this program has already been available since October 2016.

- the inventory of pollutant emission exclusively applies to the pollutants in the state as emitted from vehicles rather than the substances produced in result of the processes that occur in the environment.

The total pollutant emission from motor vehicles is modelled as a sum of the total emission from [3, 6, 10, 12–15, 17, 18, 22, 23, 30]:

- internal combustion (IC) engines heated to a stabilized temperature;
- IC engines during the heating process;
- fuel evaporation from vehicles' fuel systems.

In the inventory of pollutant emission from road transport, the notion of vehicle category has been introduced. Motor vehicles are classified in individual categories according to the following basic criteria [3, 6, 10, 12–15, 17, 18, 22, 23, 30]:

- operational purpose of the vehicle (vehicle type);
- conventional size of the vehicle or its IC engine (gross vehicle mass or engine capacity);
- vehicle properties in consideration of the engineering solutions adopted;
- fuel used;
- technological level, primarily the emission control level.

The elementary category of motor vehicles, defined by the features considered as classification criteria, exclusively covers the vehicles whose features meet all the classification criteria of the same vehicle category. The vehicles with not all features meeting the same classification criteria are classified in cumulated motor vehicle categories.

The cumulated categories of motor vehicles, defined by the intended vehicle use and vehicle's combustion system type, include (the English category names and their acronyms used in this publication are identical with those used in the COPERT 4 program) [13, 15]:

- Passenger Cars – PC:
  - passenger cars with spark-ignition engines, fuelled with gasoline – PC-SI-G,
  - passenger cars with spark ignition engines, fuelled with liquefied petroleum gas – PC-SI-LPG,
  - passenger cars with compression-ignition engines;
- Light Commercial Vehicles – LCV:
  - light commercial vehicles with spark-ignition engines – LCV-SI,
  - light commercial vehicles with compression-ignition engines – LCV-CI;
- Heavy Duty Trucks – HDT:
  - heavy duty rigid trucks (platform trucks) – HDT-R,
  - heavy duty articulated trucks (truck tractors, ballast tractors) – HDT-A;
- Urban Buses – UB;
- Coaches – C;
- Motorcycles – Mc;

- Mopeds<sup>7</sup> – Mp.

In the categories of passenger cars, motorcycles and mopeds, the subcategories of vehicles with 4-stroke and 2-stroke engines are also distinguished.

The conventional vehicle size is defined by the following criteria [3, 6, 10, 12–15, 17, 18, 22, 23, 30]:

- for passenger cars and light commercial vehicles and for motorcycles and mopeds, cubic capacity of their IC engines;
- for heavy duty trucks and buses, their maximum authorized mass (MAM).

The criterion of classifying motor vehicles in specific technological level categories is referred to the successive stages of development of the regulations that govern the protection of natural environment from the impact of motor vehicle operation [2, 37, 38]; thus:

- for vehicles with MAM not exceeding 3.5 Mg for regulation stages EURO 1–4 and for vehicles with reference mass not exceeding 2.61 Mg for regulation stages EURO 5 and EURO 6, the categories are named Pre-EURO (or, alternatively, Conventional), Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5, and Euro 6;
- for vehicles with MAM exceeding 3.5 Mg for regulation stages EURO I–IV and for vehicles with reference mass exceeding 2.61 Mg for regulation stages EURO V and EURO VI, the categories are named Pre-EURO (or, alternatively, Conventional), Euro I, Euro II, Euro III, Euro IV, Euro V, and Euro VI.

The pollutant emission from road transport is modelled depending on the vehicle motion conditions typical for the following driving modes [3, 6, 10, 12–15, 17, 18, 22, 23, 30]:

- urban;
- extra-urban (rural);
- high-speed (highway).

The vehicle velocity process is primarily characterized by the average velocity value [3, 6, 10, 12–15, 17, 18, 22, 23, 30].

In the inventorying of pollutant emission from road transport, one calendar year is usually adopted as the averaging period and the emission intensity thus averaged is referred to as annual pollutant emission [10]. The annual pollutant emission determined for the territory of a specific state is referred to as annual national pollutant emission [4].

The annual pollutant emission is modelled for each of the elementary vehicle categories and for each of the driving modes as a quantity proportional to [4, 6, 10, 12–15, 17, 18, 22, 23]:

- number of vehicles of an individual category (population of the fleet);
- distance travelled during one year by a representative vehicle of an individual category, (annual mileage) and being a measure of the intensity of vehicle operation;

<sup>7</sup> Pursuant to the "Road Traffic Law" Act of 20 June 1997 (Dz. U. of 202, item 1137), motor vehicle is a self-propelled vehicle other than a moped or a rail-vehicle. Regardless of this definition, the set of motor vehicles taken into account in the modelling of pollutant emission from road transport facilities includes mopeds, too.

- characteristic specific distance emission for a representative vehicle of an individual category, referred to as specific distance emission of a pollutant.

The specific distance emission  $b_x$  of pollutant "x" is defined as derivative of the emission (by mass)  $m_x$  of pollutant "x" with respect to the distance  $s$  travelled by the vehicle [10]:

$$b_x = \frac{dm_x}{ds} \quad (1)$$

The annual pollutant emission from the vehicles of a cumulated category is a sum of pollutant emission from vehicles of the elementary categories the cumulated category is composed of.

The annual national pollutant emission is a sum of the annual pollutant emission from the vehicles of all the cumulated categories.

The basic substances the emission of which may be determined by the COPERT 4 program include [13–15, 23]:

- carbon monoxide – CO;
- Volatile Organic Compounds – VOC;
- Non-Methane Volatile Organic Compounds – NMVOC;
- methane – CH<sub>4</sub>;
- groups of organic compounds, such as alkanes, alkenes, alkynes, furans, aldehydes, ketones, cycloalkanes, aromatic compounds, or Polycyclic Aromatic Hydrocarbons – PAH;
- nitrogen oxides – NO<sub>x</sub>;
- nitrogen monoxide – NO;
- nitrogen dioxide – NO<sub>2</sub>;
- dinitrogen monoxide – N<sub>2</sub>O;
- ammonia – NH<sub>3</sub>;
- particulate matter – PM emitted from the IC engine exhaust system;
- particulate matter PM10;
- particulate matter PM2.5;
- Black Carbon – BC;
- carbon dioxide – CO<sub>2</sub>;
- lead and its compounds, in lead equivalent terms – Pb;
- sulphur oxides, in sulphur dioxide equivalent terms – SO<sub>2</sub>;
- heavy metals: Cd, Cr, Cu, Ni, Se, Zn.

The following quantities are applied as inputs to the COPERT program [1, 13, 14]:

- number of vehicles of an individual category of specific elementary categories – N;
- intensity of operation of the fleets of specific elementary categories (annual mileage) – p;
- shares of the mileage covered in individual driving modes in the total mileage of the fleets of specific elementary categories, i.e. urban –  $u_U$ , rural –  $u_R$ , and highway –  $u_H$ ;

- average velocity of the fleet of a specific elementary category in individual driving modes, i.e. urban, rural, and highway –  $v$ ;
- minimum and maximum ambient temperature values in individual months;
- sulphur content of fuels;
- lead content of fuels;
- elementary composition of fuels;
- heavy metal contents of fuels;
- saturated vapour pressure of fuels;
- average length of the vehicle trip under cold start conditions.

### 3. Data for the inventory of pollutant emission from road transport in Poland for 2000–2015

Figure 1 shows sizes of the fleets of individual cumulated vehicle categories. The numbers of the motor vehicles classified in the cumulated categories adopted were determined for the years 2000–2014 from the data kept in the Computer System of the Central Register of Vehicles and Drivers (CEPIK); the figures for 2015 were based on the data published by the Central Statistical Office [16].

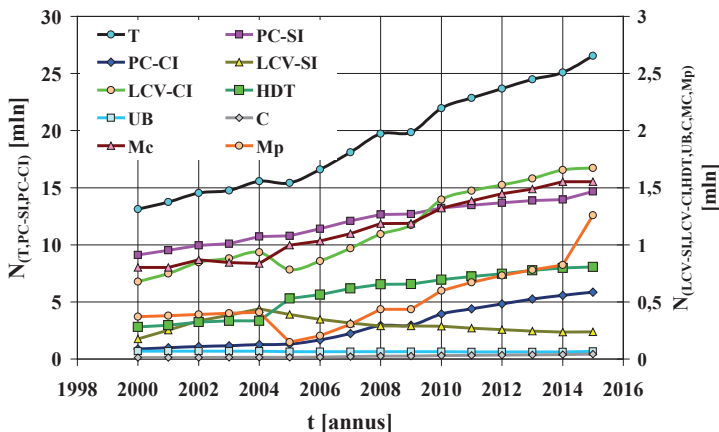


Fig. 1. Sizes of the fleets of cumulated vehicle categories

Figure 2 shows the assumed annual mileage of the vehicles classified in individual cumulated categories. The average annual mileage of such vehicles was estimated on the grounds of information about [9]:

- transport work;
- number of vehicles registered;

- average values of the technical and operational indicators that characterize the motor transport operation, e.g. number of people transported by a vehicle, average rate of utilization of the rolling stock, etc.

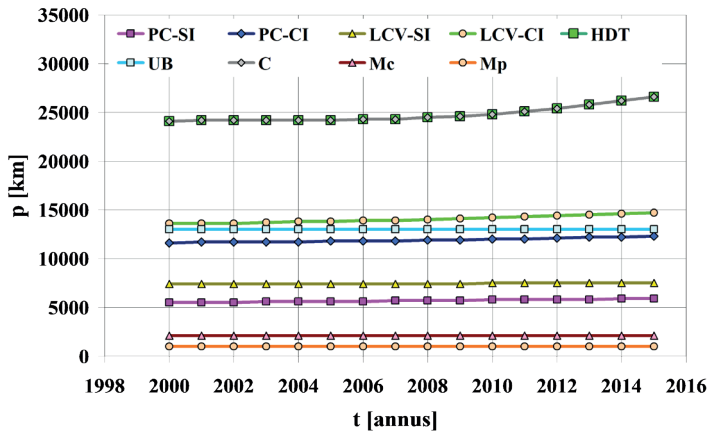


Fig. 2. Annual mileage of the vehicles classified in individual cumulated categories

The annual mileage of motor vehicles classified in elementary pollutant emission (ecological) categories was estimated with using an authors' model of intensity of motor vehicle operation. The said model is based on the functional similarity principle [8, 33]. Its structure has the form of an increasing function of a quantity that describes successive stages of development of the vehicle type-approval regulations concerning pollutant emission control, with the values of this quantity rising with the regulation stages. The model is consistent with a characteristic trend in the annual mileage of vehicles of elementary categories corresponding to various pollutant emission classes, observed e.g. in reports of national pollutant emission [29, 34–36] and in the databases incorporated in the INFRAS program for determining characteristics of pollutant emission from motor vehicles: newer vehicles, which are classified in a higher pollutant emission category, are more intensively used than the older ones. The model of intensity of operation of motor vehicles classified in elementary pollutant emission categories was adjusted with using the INFRAS data about the structure of the fleet of motor vehicles at the level of elementary categories.

Figures 3 and 4 show the average annual mileage of motor vehicles classified in elementary pollutant emission categories for two cumulated categories taken as an example, i.e. passenger cars with spark-ignition engines of (1.4÷2) dm<sup>3</sup> cubic capacity and heavy duty articulated trucks of (40÷50) Mg MAM, respectively.



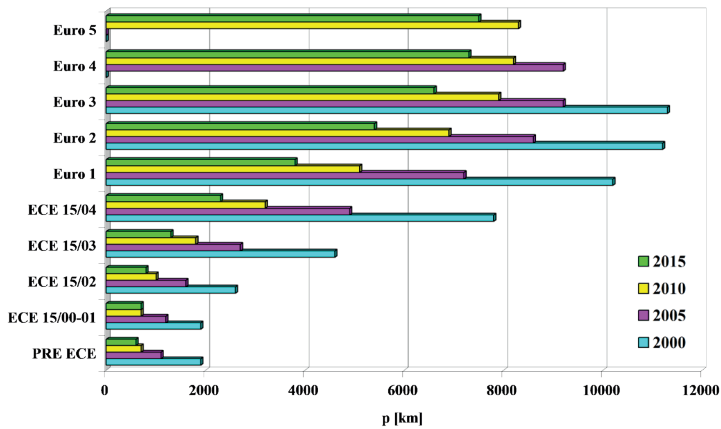


Fig. 3. Average annual mileage of passenger cars with spark-ignition engines of (1.4÷2) dm<sup>3</sup> cubic capacity, classified in ecological categories

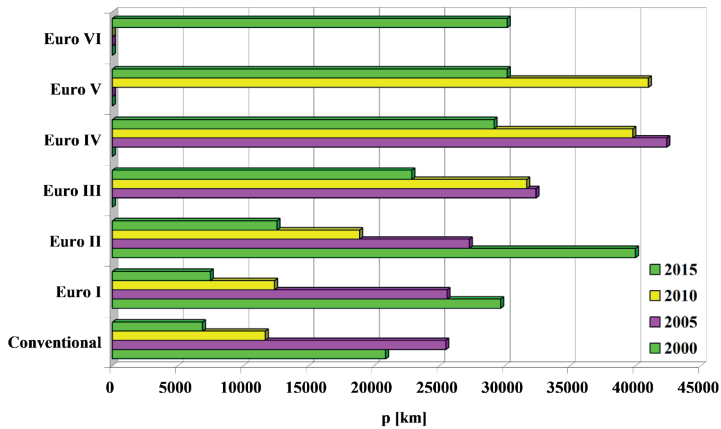


Fig. 4. Average annual mileage of heavy duty articulated trucks of (40÷50) Mg MAM, classified in ecological categories

Figures 5–7 show the adopted shares of the mileage covered in individual driving modes modelled, i.e. urban –  $u_U$ , rural –  $u_R$ , and highway –  $u_H$  driving modes, in the total mileage of the fleets of specific cumulated categories [9].

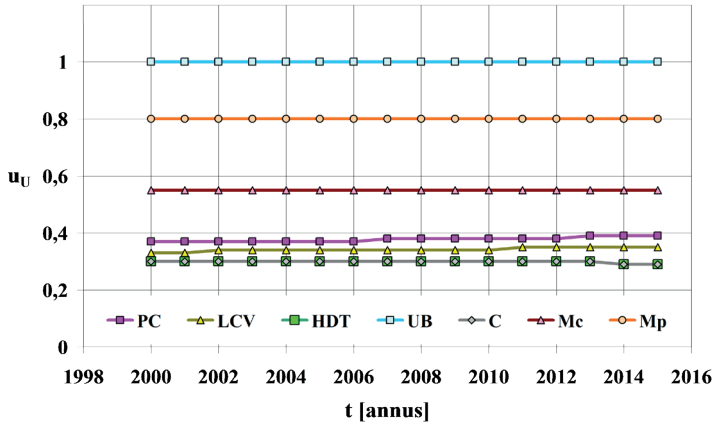


Fig. 5. Shares of the mileage covered in the urban driving mode modelled -  $u_U$  in the total mileage of the fleets of specific cumulated categories

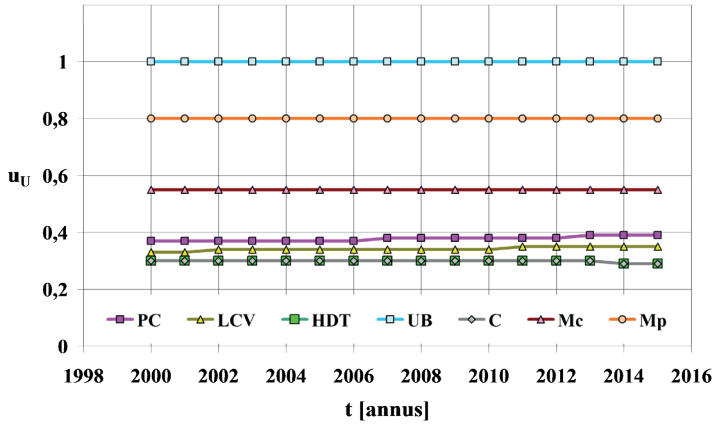


Fig. 6. Shares of the mileage covered in the rural driving mode modelled -  $u_r$  in the total mileage of the fleets of specific cumulated categories

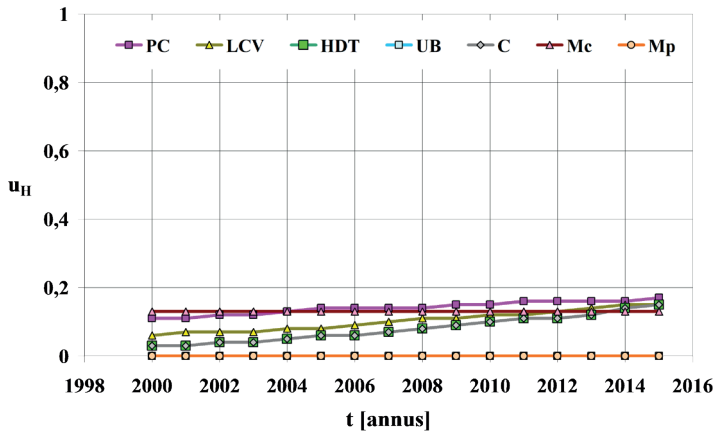


Fig. 7. Shares of the mileage covered in the highway driving mode modelled –  $u_H$  in the total mileage of the fleets of specific cumulated categories

Figures 8–10 show the average velocity of the fleets of specific cumulated categories, adopted for individual, i.e. urban –  $v_U$ , rural –  $v_R$ , and highway –  $v_H$ , driving modes modelled [9].

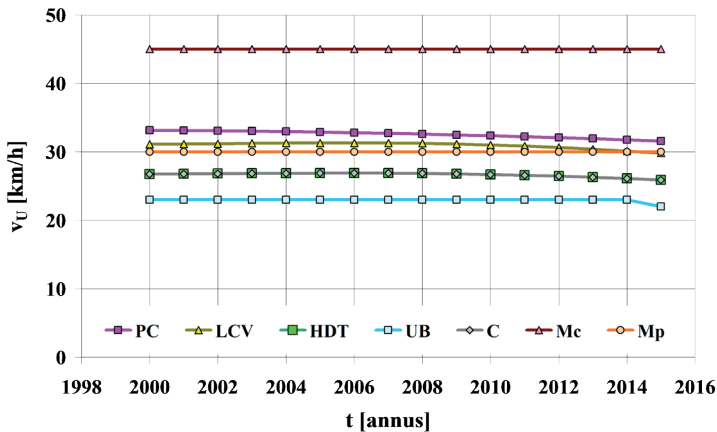


Fig. 8. Average velocity of the fleets of specific cumulated categories in the urban driving mode modelled –  $v_U$

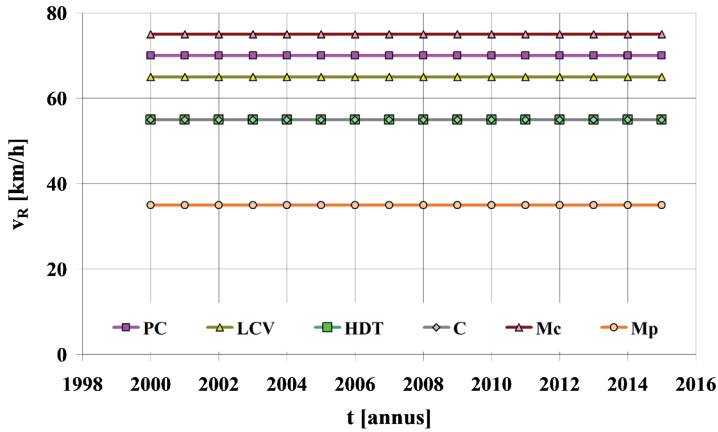


Fig. 9. Average velocity of the fleets of specific cumulated categories in the rural driving mode modelled -  $v_R$

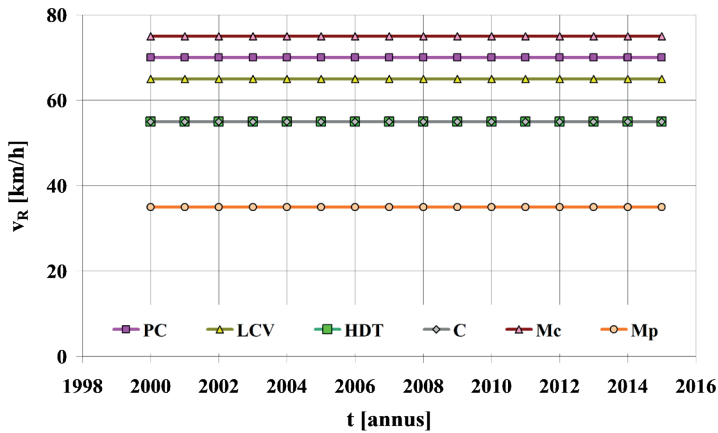


Fig. 10. Average velocity of the fleets of specific cumulated categories in the highway driving mode modelled -  $v_H$

The average length of the vehicle trip under cold start conditions was assumed as 12 km, according to [14].

The other coefficients of the model adopted in the COPERT 4 program, concerning the motor vehicle's technical level related to emission control, were adopted in accordance with program suggestions.

## Results of the inventory of pollutant emission from road transport in Poland for 2000–2015

Complete results of the official inventory of pollutant emission in Poland can be found in a report prepared at the National Centre for Emissions Management (KOBiZE) of the Institute of Environmental Protection – National Research Institute [31].

Selected results of the inventory of pollutant emission from road transport in Poland for 2000–2015, i.e. annual national emission of selected pollutants, have been presented in figures 11–17.

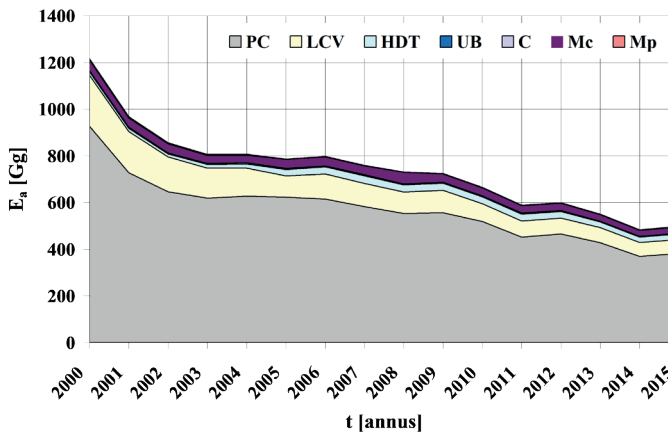


Fig. 11. Annual national emission of carbon monoxide – CO from vehicles of specific cumulated categories

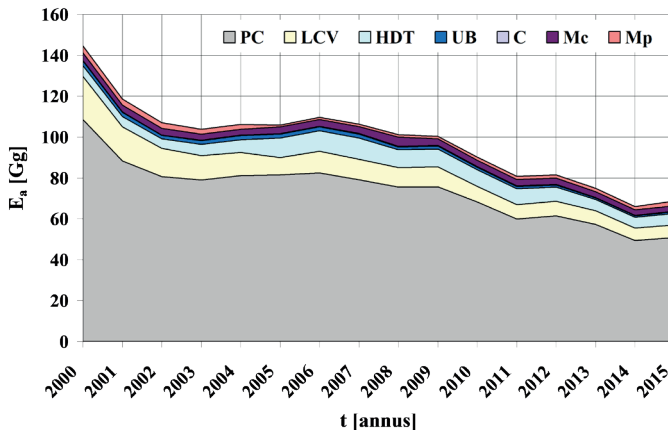


Fig. 12. Annual national emission of volatile organic compounds – VOC from vehicles of specific cumulated categories

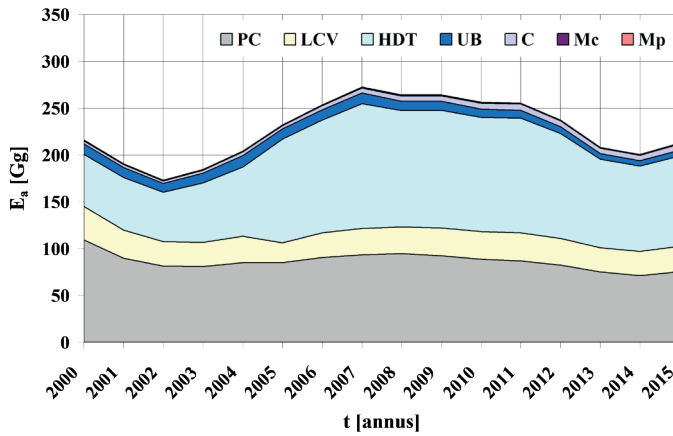


Fig. 13. Annual national emission of nitrogen oxides –  $\text{NO}_x$  from vehicles of specific cumulated categories

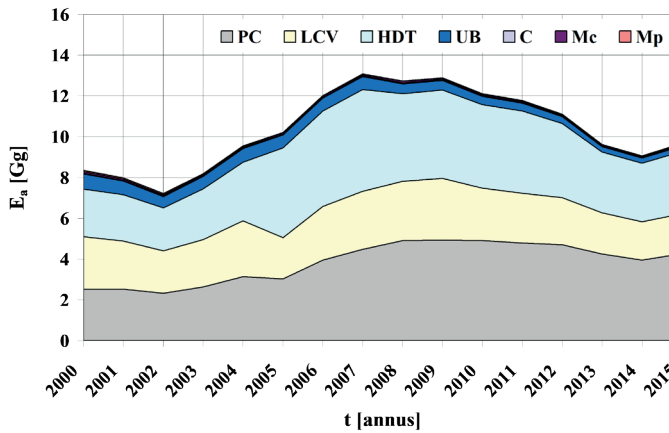


Fig. 14. Annual national emission of particulate matter  $\text{PM}_{2.5}$  from tribological pairs of vehicles of specific cumulated categories

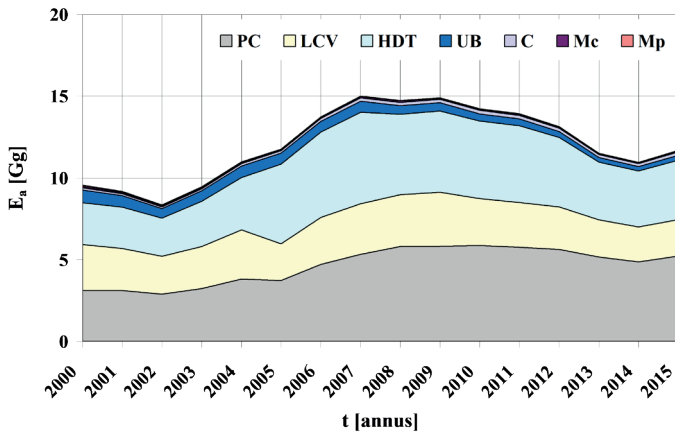


Fig. 15. Annual national emission of particulate matter PM10 from tribological pairs of vehicles of specific cumulated categories

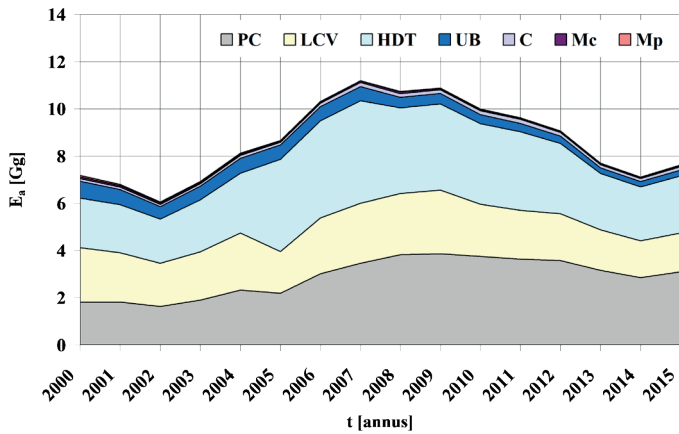


Fig. 16. Annual national emission of particulate matter – PM from IC engines of vehicles of specific cumulated categories

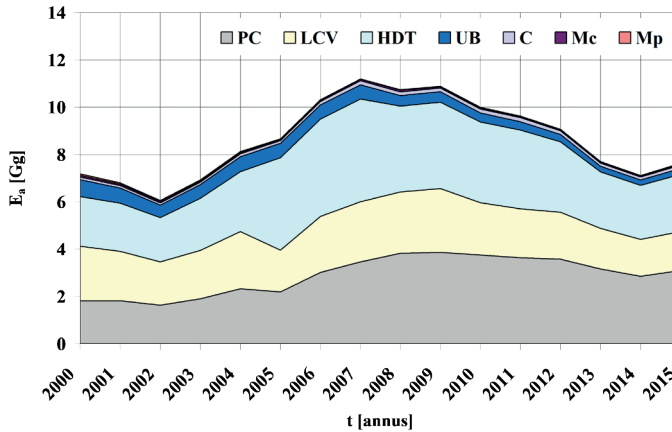


Fig. 17. Annual national emission of carbon dioxide – CO<sub>2</sub> from vehicles of specific cumulated categories

The annual national emission of carbon monoxide and volatile organic compounds shows a downward trend while for the particulate matter and nitrogen oxides, a downward trend can only be noticed since 2007. The annual national emission of carbon dioxide, corresponding to fuel consumption, has been approximately stable from 2011 on.

Noteworthy is a predominating share of passenger cars in the emission of carbon monoxide, volatile organic compounds, and carbon dioxide. As regards nitrogen oxides and particulate matter, a significant share of motor trucks in this emission can be observed.

To assess the progress in the reduction of pollutant emission from road transport, the average pollutant emission factor and the average specific distance emission were determined for an equivalent motor vehicle (figures 18 and 19).

The emission factor  $W_x$  for pollutant "x" is defined as derivative of the emission (by mass)  $m_x$  of this pollutant with respect to the mass  $m_f$  of the fuel consumed [10].

$$W_x = \frac{dm_x}{dm_f} \quad (2)$$

Example time histories of the specific distance emission and emission factor for carbon monoxide have been presented in figures 18 and 19, respectively.



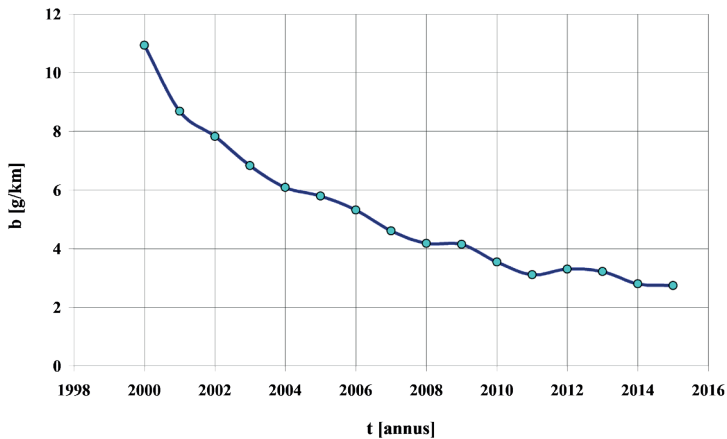


Fig. 18. Average specific distance emission of carbon monoxide – CO for an equivalent motor vehicle

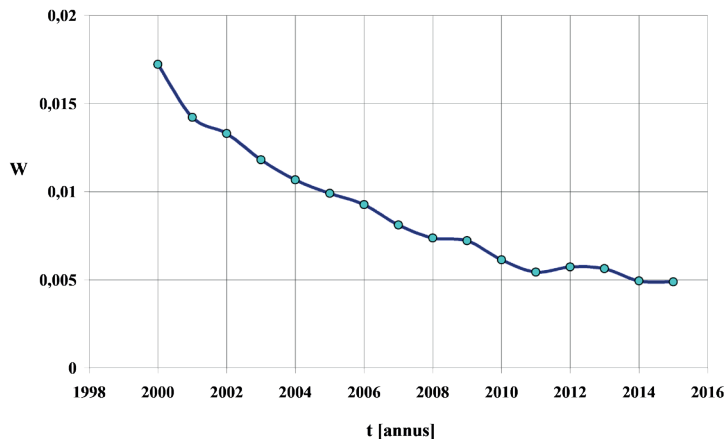


Fig. 19. Average carbon monoxide – CO emission factor for an equivalent motor vehicle

A marked downward trend in both the average specific distance emission and the average emission factor can be seen for carbon monoxide – CO. This is an effect of technological progress in the field of pollutant emission control, which is consistent with the evolution in the pollutant emission limits stipulated in the regulations that govern vehicle type-approval procedures [2, 37, 38].

To evaluate the effects of reduction in emission of the pollutants under consideration, resulting from technological progress, relative specific distance emission and relative emission factors were determined, compared with the corresponding figures of 2000 (figures 20 and 21).

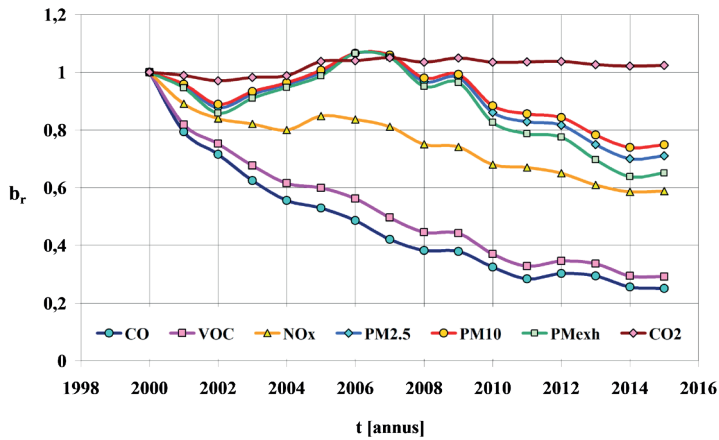


Fig. 20. Relative average specific distance emission of individual pollutants from an equivalent vehicle

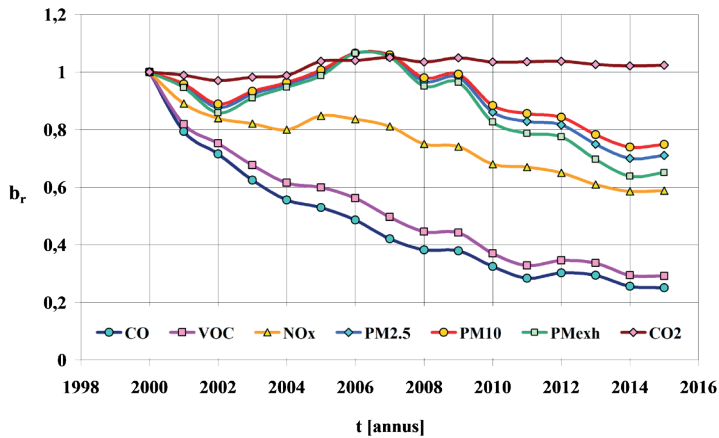


Fig. 21. Relative average factors of emission of individual pollutants from an equivalent motor vehicle

The most significant progress in the controlling of pollutant emission occurred for carbon monoxide (by 75%) and, next, for volatile organic compounds (by 70%). From 2005 on, a drop in the quantities under analysis has been recorded for nitrogen oxides: the difference in relation to the figures of 2000 has reached 41%. As regards particulate matter, the relative average specific distance emission has been declining since 2007. In comparison with the 2000 figures, the emission of particulate matter fractions PM2.5 and PM10 decreased by 30% and 25%, respectively, and the particulate matter – PM emission from the IC engine exhaust systems dropped by 35%.

## Recapitulation

The results of the inventory of pollutant emission from road transport in Poland for 2000–2015 as presented herein, officially reported within cooperation in the European Union [32], were obtained for the first time with using the COPERT program preferred in the EU. The problems found to be most difficult in the modelling of pollutant emission were encountered at determining model parameters. The data about the sizes of the fleets of specific elementary categories were determined from databases of the Central Register of Vehicles and Drivers (CEPIK) and the Central Statistical Office. The annual mileages of the vehicles classified in individual cumulated categories were estimated on the grounds of works dedicated to determining the balance of fuel consumption [9]. The annual mileages of motor vehicles classified in elementary pollutant emission categories were estimated with using an authors' model of intensity of motor vehicle operation. To estimate the data on the vehicle driving modes, fuel consumption modelling results [9] were used.

A complete set of results of the inventory of pollutant emission in Poland, including the emission from road transport, can be found in a report prepared at the National Centre for Emissions Management (KOBIZE) of the Institute of Environmental Protection – National Research Institute [32]. This paper shows the results obtained for selected pollutants, chiefly those considered damaging to health and taken into account in the European type-approval procedures applicable to motor vehicles. A marked downward trend was revealed in the annual national emission of substances damaging to health, in spite of dynamic increase in the number of motor vehicles and in the intensity of operation of such vehicles. This is a conclusion of great practical importance, especially in the situation where it has become customary to disseminate opinions about disastrous environmental impact of motorization. The favourable changes in the environmental impact of road transport are chiefly an effect of technological progress in the construction of motor vehicles, which is also reflected in evolution in the limits imposed on the parameters adopted as acceptance criteria in vehicle type-approval procedures. The relative average specific distance emission of pollutants from an equivalent vehicle was significantly reduced in comparison with the 2000 figures, e.g. by 75% for carbon monoxide, by 70% for volatile organic compounds, by 41% for nitrogen oxides, or by (25÷30)% for particulate matter, with a special stress being put on a reduction by 35% in the relative specific distance emission of particulate matter from the IC engine exhaust systems (such particles are extremely dangerous to health because of their very small dimensions, below 1 µm in most cases, and their chemical composition, especially the content of polycyclic aromatic hydrocarbons).

Of course, in spite of the intensification of road transport, which unquestionably may be expected, further decrease may be anticipated in the annual national pollutant emission, chiefly thanks to favourable changes in the ecological composition of the fleet of motor vehicles, e.g. a growth in the number of vehicles with hybrid drive systems. If a change in the fleet composition is considered, with electrically driven vehicles being also taken into account, the analysis of annual national emission will become more complicated, because its scope must cover not only the road transport sector but also the power industry in its part related to the generation and distribution of electric energy [11]. Another

problem related to the ecological assessment of the road transport sector is the Life Cycle Assessment<sup>8</sup> of motor vehicles [7].

The full text of the article is available in Polish online on the website <http://archiwummotoryzacji.pl>.

Tekst artykułu w polskiej wersji językowej dostępny jest na stronie <http://archiwummotoryzacji.pl>.

## References

- [1] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. (Cited: 2016 Dec. 06).
- [2] AVL Emission Testing Handbook 2016.
- [3] Bebkiewicz K, Chłopek Z, Szczepański K, Zimakowska-Laskowska M. Issues of modeling the total pollutant emission from vehicles. *Proceedings of the Institute of Vehicles*. 2017; 110 (1): 103–118.
- [4] Bebkiewicz K, Chłopek Z, Szczepański K, Zimakowska-Laskowska M. Results of air emission inventory from road transport in Poland in 2014. *Proceedings of the Institute of Vehicles*. 2017; 110 (1): 77–88.
- [5] Bebkiewicz K, Chłopek Z, Szczepański K, Zimakowska-Laskowska M. The influence of the properties of vehicles traffic on the total pollutant emission. *Proceedings of the Institute of Vehicles*. 2017; 110 (1): 89–102.
- [6] BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), INFRAS AG (Infrastruktur-, Umwelt- und Wirtschaftsberatung). *Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1950–2010. BUWAL-Bericht*. 1995; 255.
- [7] Chłopek Z, Lasocki J. Zastosowanie oceny cyklu istnienia LCA w motoryzacji (Application of the Life Cycle Assessment (LCA) method in automotive engineering). *Wydawnictwo Naukowe PIMOT*. Warszawa, 2017.
- [8] Chłopek Z, Piaseczny L. Remarks about the modelling in science researches. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2001; 11 (4): 47–57.
- [9] Chłopek Z, Waśkiewicz J. Projections of the fuel consumption by the road transport in Poland. *Journal of KONES*. 2013; 20; 2: 33–39.
- [10] Chłopek Z. Modelowanie procesów emisji spalin w warunkach eksploatacji trakcyjnej silników spalinowych (Modelling of exhaust emission processes in the conditions of operation of combustion engines in mobile applications). *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Mechanika, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej* (Publishing House of the Warsaw University of Technology). Warszawa. 1999; 173.
- [11] Chłopek Z. Research on energy consumption by an electric car. *The Archives of Automotive Engineering*. 2012; 03: 105–117.
- [12] Chłopek Z. Zasady modelowania zużycia paliwa i energii oraz emisji zanieczyszczeń związanych z użytkowaniem pojazdów drogowych (The principles of modeling of fuel and energy consumption and pollutant emission related to the use of road vehicles). *Technika Transportu Szybnego*. 2015;12: 262–267.
- [13] COPERT Training 5. COPERT 5 vs COPERT 4. European Environment Agency. 2016. [http://emisja.com/sites/default/files/COPERT\\_5\\_features.pdf](http://emisja.com/sites/default/files/COPERT_5_features.pdf). (Cited: 2016 Dec. 06).
- [14] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2016. European Environment Agency. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>. (Cited: 2016 Dec. 06).
- [15] Gkatzoflias D, Kouridis C, Ntziachristos L, Samaras Z. COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport. User manual (version 9.0). European Environment Agency. Emisia SA. 2012 [http://emisja.com/sites/default/files/COPERT4v9\\_manual.pdf](http://emisja.com/sites/default/files/COPERT4v9_manual.pdf). (Cited: 2016 Dec. 06).

<sup>8</sup> It has become customary in the Western literature to use the incorrect term "life" (probably for commercial reasons) instead of correct "existence" with reference to inanimate objects. Meanwhile, "life" is the state of an organism, consisting of an uninterrupted series of processes that enable the organism to react to stimuli and usually to move, as against "existence", which means the fact of simple being, according to *The Dictionary of Polish Language*, issued in Polish by PWN. In English, "life" does not mean "existence" either, according to *Oxford Dictionaries*.

- [16] GUS: Transport – wyniki działalności w 2015 r. (Chief Statistical Office: Transport – Output of activities in 2015).
- [17] <http://cordis.europa.eu/cost-transport/src/cost-319.htm>. (Cited: 2014 Aug. 24).
- [18] <http://cordis.europa.eu/transport/src/meetrep.htm>. (Cited: 2014 Aug. 24).
- [19] <http://energy.jrc.ec.europa.eu/transtools/index.htm>. (Cited: 2014 Aug. 24).
- [20] <http://gains.iiasa.ac.at/gains/EU/index.login>. (Cited: 2014 Aug. 24).
- [21] <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-visum/>. (Cited: 2014 Aug. 24).
- [22] <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEP CORINAIR5>. (Cited: 2014 Aug. 24).
- [23] <http://www.emisia.com/copert/>. (Cited: 2014 Aug. 24).
- [24] <http://www.epa.gov/otraq/mobile.htm>. (Cited: 2014 Aug. 24).
- [25] <http://www.eutransportghg2050.eu/cms/assets/SULTAN-User-Guide.pdf>.
- [26] <http://www.infras.ch/d/index.php>. (Cited: 2014 Aug. 24).
- [27] <http://www.tmleuven.be/methode/tremove/home.htm>. (Cited: 2014 Aug. 24).
- [28] [http://www.unece.org/trans/theme\\_forfits.html](http://www.unece.org/trans/theme_forfits.html). (Cited: 2014 Aug. 24).
- [29] Informative Inventory Report Sweden 2016. Swedish Environmental Protection Agency. Stockholm, 2016.
- [30] INFRAS AG: Handbook emission factors for road transport 3.2. Quick reference. Version 3.2. Bern, 2014.
- [31] Methodology For Calculating Transport Emissions And Energy Consumption Transport Research Laboratory Project Report SE/491/98. Brussels, 1999.
- [32] Poland's Informative Inventory Report 2017. Submission under the UN ECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution and the DIRECTIVE (EU) 2016/2284. Institute of Environmental Protection – National Research Institute. National Centre for Emission Management (KOBiZE). Warszawa, February 2017.
- [33] Rosenbluth A, Wiener N. The role of models in science. *Phil. Sci.* 1945; 12 (4).
- [34] Sandmo T. The Norwegian Emission Inventory 2013. Documentation of methodologies for estimating emissions of greenhouse gases and long-range transboundary air pollutants. Statistics Norway. Oslo-Kongsvinger, 2013.
- [35] Wakeling D et al. UK Informative Inventory Report (1990 to 2015). Final Version (v1.0). Ricardo Energy & Environment. March 2017. [https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat07/1703161205\\_GB\\_IIR\\_2017\\_Final\\_v1.0.pdf](https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat07/1703161205_GB_IIR_2017_Final_v1.0.pdf).
- [36] Winther M. Danish emission inventories for road transport and other mobile sources. Inventories until the year 2010. National Environmental Research Institute. University of Aarhus. 2012. Scientific Report No. 24. <http://www.dmu.dk/Pub/SR24.pdf>. (Cited: 2017 May 01).
- [37] Worldwide emission standards. Heavy duty & off-road vehicles. Delphi. Innovation for the real world. 2015/2016.
- [38] Worldwide emission standards. Passenger cars and light duty vehicles. Delphi. Innovation for the real world. 2016/2017.

Article citation info:

Bebkiewicz K, Chłopek Z, Szczepański K, Zimakowska-Laskowska M. Assessment of results of pollutant emission inventory of the road transport sector in Poland in 2000–2015. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2017; 78(4): 5-25, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL78.ART1>

## **Ocena wyników inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń w sektorze transportu drogowego w Polsce w latach 2000–2015**

**KATARZYNA BEBKIEWICZ<sup>1</sup>, ZDZISŁAW CHŁOPEK<sup>2</sup>,  
KRYSTIAN SZCZEPAŃSKI<sup>3</sup>, MAGDALENA  
ZIMAKOWSKA-LASKOWSKA<sup>4</sup>**

Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń w sektorze transportu drogowego w Polsce w latach 2000–2015, opracowane w Krajowym Ośrodku Bilansowania i Zarządzania Emisjami Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego. Emisję zanieczyszczeń wyznaczono na podstawie modelowania z zastosowaniem oprogramowania COPERT 4, rekomendowanego przez Unię Europejską. Przedstawiono licznosc i przebiegi roczne pojazdów kategorii skumulowanych. Parametry charakteryzujące ruch samochodów przyjęto jako udział długości drogi przebywanej przez pojazd w warunkach

---

<sup>1</sup> Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy – Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami; ul. Chmielna 132/134; 00-805 Warszawa; katarzyna.bebkiewicz@kobize.pl.

<sup>2</sup> Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy – Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami; ul. Chmielna 132/134; 00-805 Warszawa; zdzislaw.chlopek@kobize.pl.

<sup>3</sup> Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy; ul. Krucza 132/134; 00-548 Warszawa; krystian.szczepanski@ios.edu.pl.

<sup>4</sup> Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy – Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami; ul. Chmielna 132/134; 00-805 Warszawa; magdalena.zimakowska-laskowska@kobize.pl.

jazdy: w miastach, poza miastami oraz na autostradach i drogach ekspresowych, a także prędkość średnią pojazdów w tych warunkach. Przedstawiono krajową emisję roczną: tlenku węgla, lotnych związków organicznych, tlenków azotu, cząstek stałych i dwutlenku węgla dla lat bilansowania 2000–2015. Stwierdzono tendencję do znaczącego zmniejszania się krajowej emisji zanieczyszczeń, szczególnie tlenku węgla i lotnych związków organicznych. Jest to wynik postępu technicznego pojazdów samochodowych. Zbadano również średnią emisję drogową i średni wskaźnik emisji zanieczyszczeń dla wszystkich pojazdów samochodowych.

Sformułowano na podstawie tych badań wnioski na temat wyraźnej poprawy właściwości ekologicznej pojazdów samochodowych w latach 2000–2015, czego skutkiem jest znaczące zmniejszenie obciążenia środowiska przez transport drogowy.

Słowa kluczowe: inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń, pojazdy samochodowe, transport drogowy.

## Wstęp

Inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń pochodzenia cywilizacyjnego jest systematycznie prowadzona od kilkadziesiąt lat w skali zarówno poszczególnych państw i ich wyodrębnionych obszarów, jak i w skali światowej. Jedną z pierwszych europejskich inicjatyw w tym zakresie były działania podjęte w ramach działania CORINAIR (ang. *Core Inventory of Air Emissions* – inwentaryzacja emisji do powietrza) [19] – Polska uczestniczyła w pracach CORINAR-u już od początku lat 90-tych XX w. W ramach europejskich programów naukowych podjęto wiele przedsięwzięć związanych z emisją zanieczyszczeń z sektora transportu drogowego, m.in. COST<sup>5</sup> 319 „*Estimation of pollutant emissions from transport*” (Oszacowanie emisji zanieczyszczeń pochodzących z transportu) [14] i MEET (ang. *Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy Consumption* – Metodyka obliczania emisji i zużycia energii w transporcie) [15]. Zostały również opracowane narzędzia informatyczne do wspomagania inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa w sektorze transportu drogowego, przede wszystkim program COPERT (ang. *Calculation of Emissions from Road Transport* – Obliczanie emisji zanieczyszczeń z transportu drogowego) [20].

Zostały również stworzone oprogramowania do wyznaczania wielkości charakteryzujących emisję zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych i zużycie paliwa przez nie. Oprogramowanie opracowane przez instytut INFRAS [26] (przewodnik HBEFA – ang. *Handbook Emission Factors for Road Transport* – Przewodnik współczynników emisji zanieczyszczeń dla transportu drogowego) [30] umożliwia wyznaczanie emisji drogowej zanieczyszczeń i drogowego zużycia paliwa dla różnych rodzajów pojazdów samochodowych użytkowanych w różnych warunkach ruchu.

Powstały również inne oprogramowania do szacowania emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa w sektorze transportu drogowego. W Stanach Zjednoczonych Ameryki powstały wersje oprogramowań dla środków transportu drogowego i niedrogowego pod nazwą MOBILE [24]. Powstały również liczne oprogramowania do wspomagania szacowania emisji zanieczyszczeń z różnych źródeł cywilizacyjnych, w tym z motoryzacji, m.in. GAINS (ang. *Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies* – Interakcje i synergie gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń powietrza) [20], TREMOVE (ang. *Transport & Mobility Leuven* – Mobilność i transport z Leuven) [27], ForFITS (ang. *Future Inland Transport Systems* – Przyszłe śródlądowe systemy transportowe) [28], TRANSTOOLS (ang. *Tools for Transport Forecasting and Scenario Testing* – Narzędzia do prognozowania i testowania scenariuszy rozwoju transportu) [19], czy SULTAN (ang. *Sustainable Transport* – Zrównoważony transport) [25]. Istnieją również bardzo uproszczone modele emisji zanieczyszczeń, będące wspomaganiami oprogramowań do modelowania ruchu pojazdów drogowych, np. PTV Visum [21].

---

<sup>5</sup> COST – *European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research* (Europejska Współpraca w Dziedzinie Badań Naukowo-Technicznych).



W niniejszym artykule są przedstawiane wyniki badań inwentaryzacji krajowej emisji zanieczyszczeń z zastosowaniem oprogramowania COPERT 4<sup>6</sup> [13, 15]. Obowiązek raportowania emisji zanieczyszczeń wynika z Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (ang: *United Nations Framework Convention on Climate Change* – UNFCCC lub FCCC). W celu ujednoczenia wyników emisji zanieczyszczeń, została opracowana pod patronatem Europejskiej Agencji Środowiska (EEA – *European Environment Agency*) metodyka – jednakowa dla wszystkich państw członkowskich, opisana w wytycznych IPCC 2006 [1] oraz EMEP/EEA [14]. Model COPERT jest oprogramowaniem opartym na tej preferowanej w Unii Europejskiej metodyce.

Oprogramowanie COPERT opiera się na wynikach badań i projektach wspieranych m.in. przez Joint Research Centre w Isprze oraz ERMES (*The European Research Group on Mobile Emission Sources*).

## Zasady modelowania emisji zanieczyszczeń i zużycia paliw w sektorze transportu drogowego

Inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń w sektorze transportu drogowego należy do najtrudniejszych zadań w obszarze bilansowania emisji zanieczyszczeń z różnych źródeł działalności cywilizacyjnej. Wynika to z faktu, że w wypadku mobilnych źródeł emisji zanieczyszczeń jest konieczne wykorzystywanie wyłącznie wyników modelowania – pomiar emisji całkowitej zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych – w odróżnieniu od emisji zanieczyszczeń z innych stacjonarnych źródeł – nie jest technicznie możliwy [3, 11, 12].

W modelu całkowitej emisji zanieczyszczeń z sektora transportu drogowego przyjmuje się założenia [3, 12]:

- natężenie emisji poszczególnych zanieczyszczeń jest wielkością addytywną,
- inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń dotyczy substancji w stanie emitowanym z pojazdów, a nie substancji, które są wynikiem przemian w środowisku.

Całkowitą emisję zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych modeluje się jako sumę całkowitej emisji zanieczyszczeń [3, 6, 10, 12–15, 17, 18, 22, 23, 30]:

- z silników spalinowych nagranych do ustabilizowanej temperatury,
- w czasie nagrzewania się silników spalinowych,
- parowania paliwa z układów paliwowych pojazdów.

W inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń z sektora transportu drogowego wprowadza się pojęcie kategorii pojazdów. Podstawowymi kryteriami kwalifikowania pojazdów samochodowych do kategorii są [3, 6, 10, 12–15, 17, 18, 22, 23, 30]:

- przeznaczenie pojazdu,
- umowna wielkość pojazdu lub silnika spalinowego,
- właściwości ze względu na zastosowane rozwiązania konstrukcyjne,
- stosowane paliwo,
- poziom techniczny, przede wszystkim ze względu na emisję zanieczyszczeń.

Do kategorii elementarnej pojazdów samochodowych ze względu na przyjęte cechy kryterialne są zaliczane pojazdy o wszystkich takich samych rozpatrywanych cechach kryterialnych. Do kategorii skumulowanych pojazdów samochodowych należą pojazdy o nie wszystkich takich samych rozpatrywanych cechach kryterialnych.

---

<sup>6</sup> Od października 2016 r. jest już udostępniona wersja oprogramowania COPERT 5.

Kategorie skumulowane pojazdów samochodowych ze względu na ich przeznaczenie i rodzaj systemu spalania to (wraz z oryginalnymi nazwami w języku angielskim, stosowanymi w oprogramowaniu COPERT 4, oraz wraz ze stosowanymi w publikacji skrótowcami) [13, 15]:

- samochody osobowe – *Passenger Cars* – PC:
  - samochody osobowe z silnikami o zapłonie iskrowym na benzynę – PC-SI-G,
  - samochody osobowe z silnikami o zapłonie iskrowym na skroplony gaz ropopochodny – PC-SI-LPG,
  - samochody osobowe z silnikami o zapłonie samoczynnym – PC-CI;
- lekkie samochody ciężarowe (samochody dostawcze) – *Light Commercial Vehicles* – LCV:
  - lekkie samochody ciężarowe z silnikami o zapłonie iskrowym – LCV-SI,
  - lekkie samochody ciężarowe z silnikami o zapłonie samoczynnym – LCV-CI;
- samochody ciężarowe – *Heavy Duty Trucks* – HDT:
  - samochody ciężarowe nieprzegubowe (samochody ciężarowe skrzyniowe) – HDT-R,
  - samochody ciężarowe przegubowe (ciągniki siodłowe, ciągniki balastowe) – HDT-A;
- autobusy miejskie – *Urban Buses* – UB;
- autobusy dalekobieżne – *Coaches* – C;
- motocykle – *Motorcycles* – Mc;
- motorowery<sup>7</sup> – *Mopeds* – Mp.

Wyodrębnia się również w kategoriach samochodów osobowych, motocykli i motorowerów pojazdy z silnikami: czteresurowymi i dwusurowymi.

Jako kryterium umownej wielkości pojazdów samochodowych przyjmuje się [3, 6, 10, 12–15, 17, 18, 22, 23, 30]:

- dla samochodów osobowych i lekkich samochodów ciężarowych oraz dla motocykli i motorowerów – objętość skokową silników spalinowych,
- dla samochodów ciężarowych oraz autobusów – masę maksymalną pojazdu.

Kryterium kwalifikowania do kategorii poziomu technicznego pojazdów samochodowych jest związane z odpowiednimi etapami przepisów ochrony środowiska przed skutkami eksploatacji pojazdów [2, 36, 37]:

- dla samochodów o masie maksymalnej mniejszej od 3,5 Mg dla etapów przepisów Euro 1 – 4 oraz o masie odniesienia mniejszej od 2,61 Mg dla etapów Euro 5 i 6: Pre Euro (ew. inna nazwa: Conventional), Euro 1, Euro 2, Euro 3, Euro 4, Euro 5 i Euro 6;
- dla samochodów o masie maksymalnej większej od 3,5 Mg dla etapów Euro I – IV oraz o masie odniesienia większej od 2,61 Mg dla etapów Euro V i VI: Pre Euro (ew. inna nazwa: Conventional), Euro I, Euro II, Euro III, Euro IV, Euro V i Euro VI.

Emisję zanieczyszczeń z transportu drogowego modeluje się w zależności od warunków ruchu pojazdów, charakterystycznych dla jazdy [3, 6, 10, 12–15, 17, 18, 22, 23, 30]:

- w miastach,
- poza miastami,
- na autostradach i drogach ekspresowych.

Jako charakterystykę procesu prędkości przyjmuje się przede wszystkim wartość średnią prędkości [3, 6, 10, 12–15, 17, 18, 22, 23, 30].

W inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń z sektora transportu drogowego zazwyczaj przyjmuje się jako okres uśredniania jeden rok kalendarzowy – tak uśrednione natężenie emisji

<sup>7</sup> Zgodnie z ustawą z dnia 20 czerwca 1997 r. „Prawo o ruchu drogowym” (Dz. U. z 2012 r. poz. 1137) pojazd samochodowy to pojazd wyposażony w silnik, z wyjątkiem motorowerów i pojazdów szynowych. Niezależnie od tej definicji w modelowaniu emisji zanieczyszczeń ze środków transportu drogowego w zbiorze pojazdów samochodowych uwzględnia się również motorowery.

zanieczyszczeń jest nazywane emisją roczną zanieczyszczeń [10]. Emisji roczna zanieczyszczeń wyznaczana dla obszaru konkretnego państwa jest nazywana krajową emisją roczną zanieczyszczeń [4].

Emisja roczna zanieczyszczenia jest modelowana dla każdej z elementarnych kategorii w każdym z modelowanych warunków ruchu jako wielkość proporcjonalna do [4, 6, 10, 12–15, 17, 18, 22, 23]:

- liczności pojazdów kategorii,
- drogi przebywanej przez reprezentatywny samochód kategorii w ciągu jednego roku (tzw. przebiegu rocznego), będącej miarą intensywności użytkowania pojazdu,
- charakterystyki emisji drogowej zanieczyszczeń dla reprezentatywnego pojazdu kategorii w postaci emisji drogowej zanieczyszczenia.

Emisja drogowa –  $b_x$  zanieczyszczenia „x” jest definiowana jako pochodna emisji (masy) –  $m_x$  zanieczyszczenia względem drogi –  $s$  przebywanej przez pojazd [10]:

$$b_x = \frac{dm_x}{ds} \quad (1)$$

Emisja roczna zanieczyszczeń z pojazdów skumulowanej kategorii jest sumą emisji zanieczyszczeń z pojazdów kategorii elementarnych, z których składa się kategoria skumulowana.

Krajowa emisja roczna zanieczyszczeń jest sumą emisji rocznej zanieczyszczeń z pojazdów wszystkich kategorii skumulowanych.

Podstawowymi substancjami<sup>8</sup>, których emisja może być wyznaczana w oprogramowaniu COPERT 4, są [13–15, 23]:

- tlenek węgla – CO,
- lotne związki organiczne – LZO (ang. *Volatile Organic Compounds* – VOC),
- niemetanowe lotne związki organiczne – NMLZO (ang. *Non-Methane Volatile Organic Compounds* – NMVOC),
- metan – CH<sub>4</sub>,
- grupy związków organicznych, m.in.: alkany, alkeny, alkiny, furany, aldehydy, ketony, cykloalkany, aromaty, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne –WVA (ang. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* – PAH).
- tlenki azotu – NO<sub>x</sub>,
- tlenek azotu – NO,
- dwutlenek azotu – NO<sub>2</sub>,
- podtlenek azotu – N<sub>2</sub>O,
- amoniak – NH<sub>3</sub>,
- cząstki stałe PM z układu wylotowego silnika spalinowego,
- cząstki stałe PM<sub>10</sub>,
- cząstki stałe PM<sub>2.5</sub>,

<sup>8</sup> W artykule jest używane powszechnie stosowane nazewnictwo niektórych związków chemicznych, w odróżnieniu od nazewnictwa systematycznego zgodnego z IUPAC (ang. *International Union of Pure and Applied Chemistry* – Międzynarodowa Unia Chemii Czystej i Stosowanej). Wynika to z faktu, że Czasopismo jest skierowane przede wszystkim do czytelników, reprezentujących dyscypliny naukowe dziedziny nauk technicznych: „Budowa i eksploatacja maszyn”, „Mechanika” i „Inżynieria środowiska”, a w mniejszym stopniu dziedziny nauk chemicznych oraz dyscyplin dziedziny nauk technicznych: „Inżynierii chemicznej” i „Technologii chemicznej”.

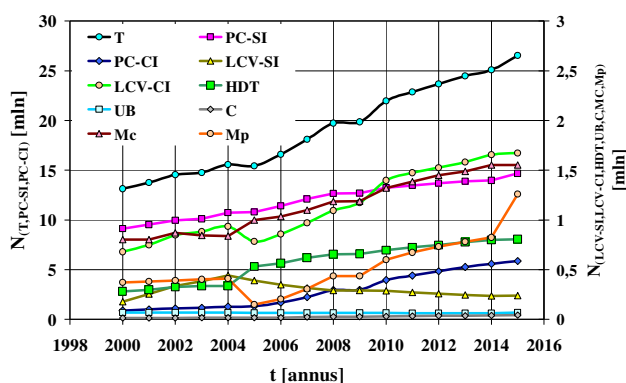
- sadza – BC (ang. *Black Carbon*),
- dwutlenek węgla – CO<sub>2</sub>,
- ołów i jego związki sprowadzone do ołowiu – Pb,
- tlenki siarki, sprowadzone do tlenku siarki – SO<sub>2</sub>,
- metale ciężkie: Cd, Cr, Cu, Ni, Se, Zn.

Wielkościami wejściowymi do oprogramowania COPERT są [1, 13, 14]:

- liczność pojazdów kategorii elementarnych – N,
- intensywność użytkowania pojazdów kategorii elementarnych – przebiegi roczne – p,
- udział drogi przebywanej przez pojazdy elementarnych kategorii w warunkach ruchu: w miastach – u<sub>U</sub>, poza miastami – u<sub>R</sub> oraz na autostradach i drogach ekspresowych w stosunku do całkowitej drogi – u<sub>H</sub>,
- wartość średnia prędkości pojazdów elementarnych kategorii w warunkach ruchu: w miastach, poza miastami oraz na autostradach i drogach ekspresowych – v,
- temperatura w poszczególnych miesiącach: wartości minimalne i maksymalne,
- zawartość siarki w paliwach,
- zawartość ołowiu w paliwach,
- skład elementarny paliw,
- zawartość metali ciężkich w paliwach,
- prężność par nasyconych paliw,
- średnia długość drogi przebywanej przez pojazd po rozruchu.

## Dane do inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń w sektorze transportu drogowego w Polsce w latach 2000–2015

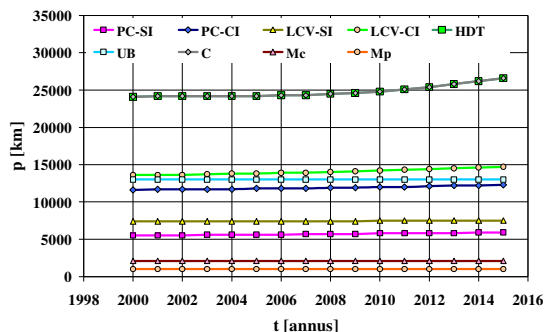
Na rysunku 1 przedstawiono licznosc pojazdów kategorii skumulowanych. Licznosc pojazdów samochodowych przyjętych kategorii skumulowanych wyznaczono dla lat 2000–2014 na podstawie danych zawartych w Systemie Informatycznym Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców (CEPiK), a dla 2015 r. na podstawie danych Głównego Urzędu Statystycznego [16].



Rys. 1. Licznosc pojazdów kategorii skumulowanych

Na rysunku 2 przedstawiono przyjęty przebieg roczny pojazdów kategorii skumulowanych. Średni roczny przebieg pojazdów kategorii skumulowanych oszacowano na podstawie informacji o [9]:

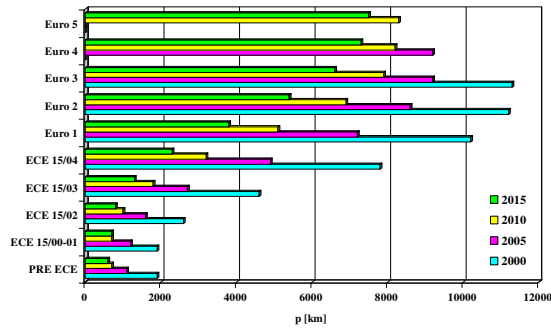
- pracy przewozowej,
- liczbie zarejestrowanych samochodów,
- średniej wartości wskaźników techniczno-eksploatacyjnych charakteryzujących pracę transportu samochodowego (np. liczby osób przewożonych pojazdem, wskaźnika wykorzystania taboru itp.).



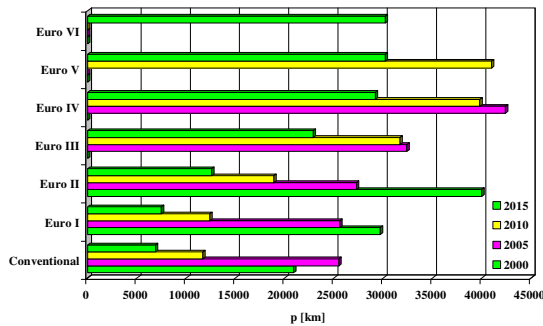
Rys. 2. Przebieg roczny pojazdów kategorii skumulowanych

Przebieg roczny pojazdów samochodowych elementarnych kategorii ekologicznych ze względu na emisję zanieczyszczeń oszacowano z wykorzystaniem opracowanego przez autorów modelu intensywności użytkowania pojazdów samochodowych. Jest to model utworzony na zasadzie podobieństwa funkcjonalnego [8, 32]. Strukturę modelu przyjęto w postaci rosnącej funkcji wielkości opisującej kolejne etapy przepisów homologacyjnych pojazdów ze względu na emisję zanieczyszczeń – wartości tej wielkości są rosnące w miarę coraz nowszych etapów przepisów. Model ten jest zgodny charakterystyczną właściwością dotyczącą przebiegów rocznych pojazdów kategorii elementarnych o różnej klasie emisji zanieczyszczeń, wynikającą np. z raportów krajowej emisji zanieczyszczeń [29, 33–35] oraz baz danych zawartych w oprogramowaniu INFRAS do wyznaczania charakterystyk emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych: pojazdy nowsze, a więc o wyższej kategorii ze względu na emisję zanieczyszczeń, są bardziej intensywnie użytkowane niż pojazdy starsze. Do dostrojenia modelu intensywności użytkowania pojazdów samochodowych kategorii elementarnych ze względu na emisję zanieczyszczeń wykorzystano dane o strukturze pojazdów samochodowych na poziomie kategorii elementarnych, zawarte w oprogramowaniu INFRAS.

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono średni przebieg roczny pojazdów samochodowych kategorii elementarnych ze względu na emisję zanieczyszczeń dla dwóch przykładowych kategorii skumulowanych: samochodów osobowych z silnikami o zapłonie iskrowym o objętości skokowej zawartej w granicach  $(1,4 \div 2) \text{ dm}^3$  oraz roczny ciągników siodłowych o masie maksymalnej zawartej w granicach  $(40 \div 50) \text{ Mg}$ .

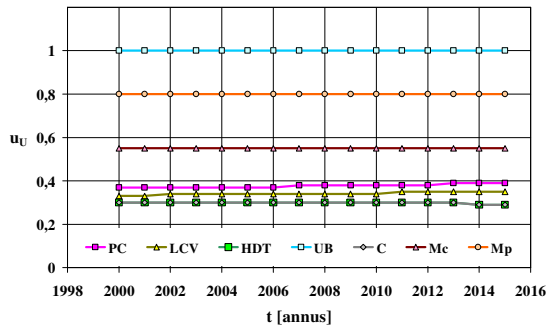


Rys. 3. Średni przebieg roczny samochodów osobowych z silnikami o zapłonie iskrowym o objętości skokowej zawartej w granicach  $(1,4 \div 2) \text{ dm}^3$  w kategoriach ekologicznych

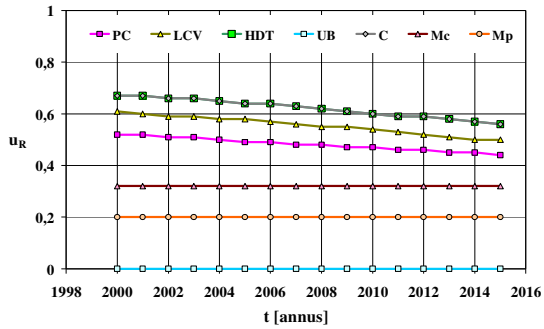


Rys. 4. Średni przebieg roczny ciągników siodłowych o masie maksymalnej zawartej w granicach  $(40 \div 50) \text{ Mg}$  w kategoriach ekologicznych

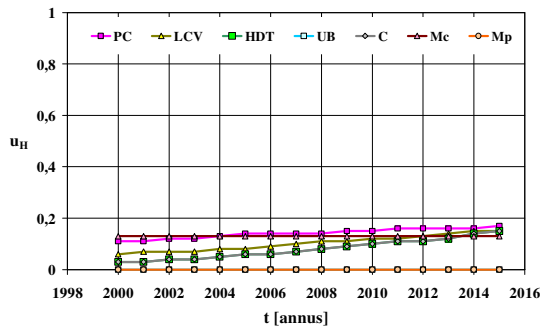
Na rysunkach 5–7 przedstawiono przyjęte udziały drogi przebywanej przez pojazdy kategorii skumulowanych w modelowych warunkach ruchu w miastach, poza miastami oraz na autostradach i drogach ekspresowych [9].



Rys. 5. Udział drogi przebywanej przez pojazdy kategorii skumulowanych w modelowych warunkach ruchu w miastach

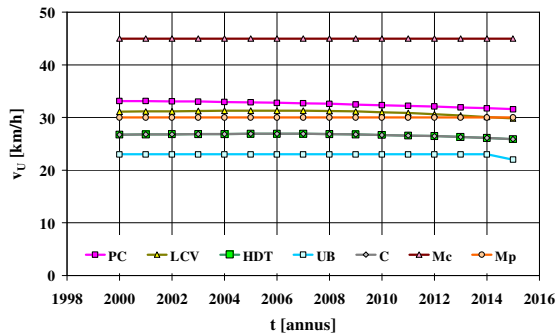


Rys. 6. Udział drogi przebywanej przez pojazdy kategorii skumulowanych w modelowych warunkach ruchu poza miastami

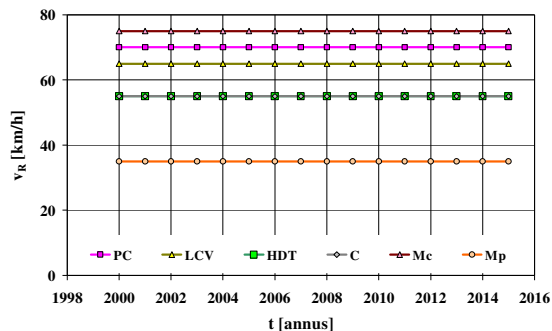


Rys. 7. Udział drogi przebywanej przez pojazdy kategorii skumulowanych w modelowych warunkach ruchu na autostradach i drogach ekspresowych

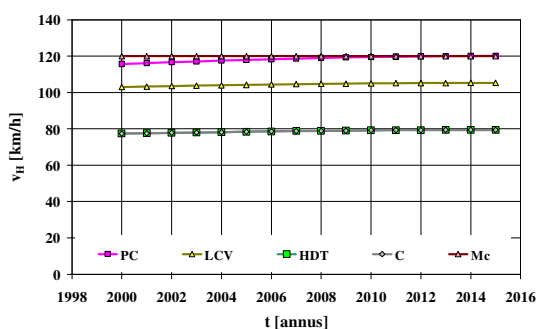
Na rysunkach 8–10 przedstawiono przyjętą średnią prędkość jazdy pojazdów kategorii skumulowanych w modelowych warunkach ruchu w miastach, poza miastami oraz na autostradach i drogach ekspresowych [9].



Rys. 8. Prędkość średnia pojazdów kategorii skumulowanych w modelowych warunkach ruchu w miastach



Rys. 9. Prędkość średnia pojazdów kategorii skumulowanych w modelowych warunkach ruchu poza miastami



Rys. 10. Prędkość średnia pojazdów kategorii skumulowanych w modelowych warunkach ruchu na autostradach i drogach ekspresowych

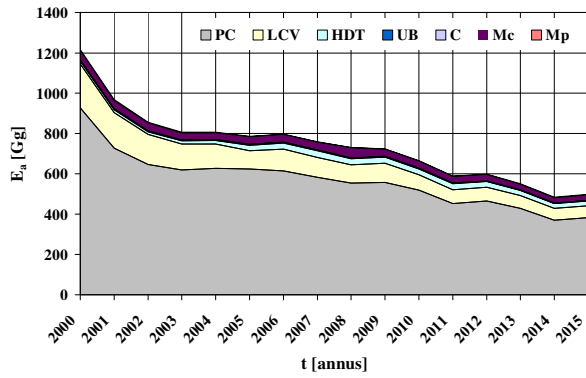
Średnią długość drogi przebywanej przez pojazd po rozruchu przyjęto równą 12 km wg [14]. Inne współczynniki modelu w oprogramowaniu COPERT 4, dotyczące poziomu technicznego pojazdów samochodowych ze względu na emisję zanieczyszczeń przyjęto zgodnie z propozycjami oprogramowania.

## Wyniki inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń w sektorze transportu drogowego w Polsce w latach 2000–2015

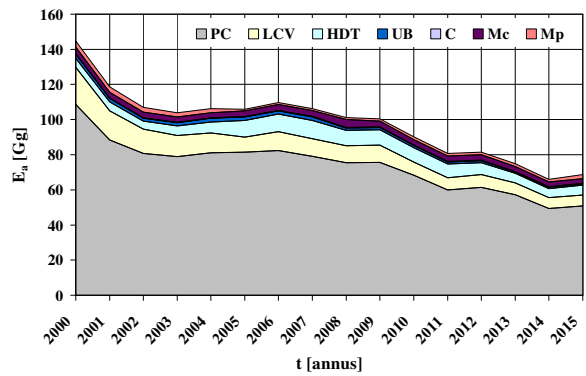
Pełne wyniki oficjalnej inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń w Polsce znajdują się w raporcie opracowanym w Krajowym Ośrodku Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBIZE) Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego [31].

Na rysunkach 11–17 przedstawiono wyniki inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń w sektorze transportu drogowego w Polsce w latach 2000–2015: krajową emisję roczną wybranych zanieczyszczeń.

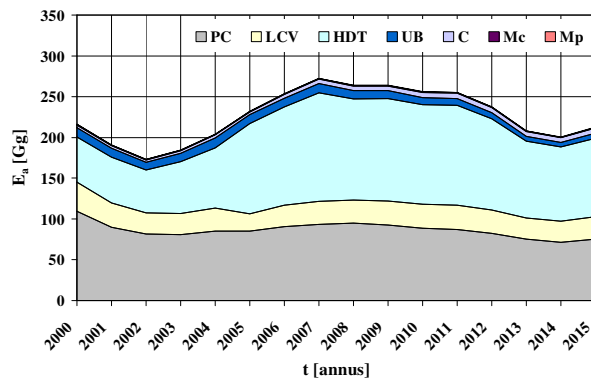




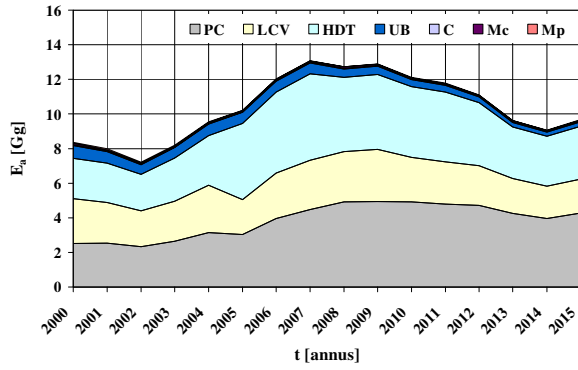
Rys. 11. Krajowa emisja roczna tlenku węgla z pojazdów skumulowanych kategorii



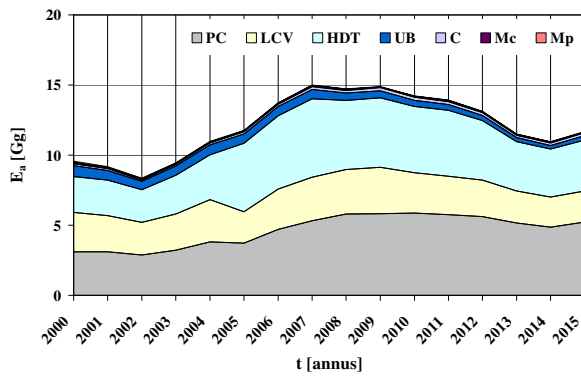
Rys. 12. Krajowa emisja roczna lotnych związków organicznych z pojazdów skumulowanych kategorii



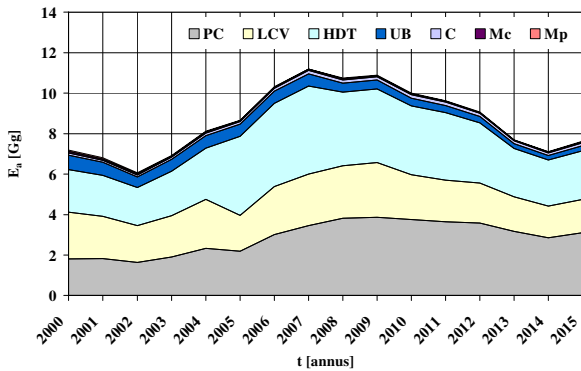
Rys. 13. Krajowa emisja roczna tlenków azotu z pojazdów skumulowanych kategorii



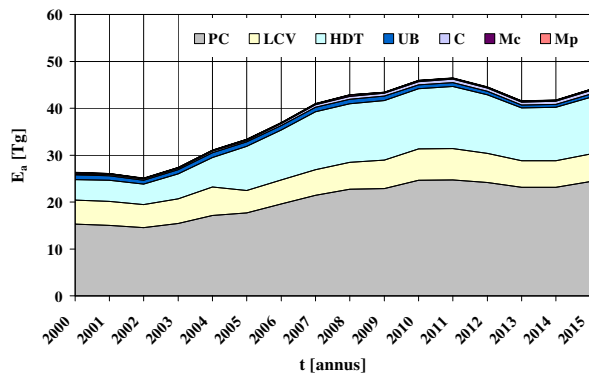
Rys. 14. Krajowa emisja roczna cząstek stałych PM2.5 z par trybologicznych pojazdów skumulowanych kategorii



Rys. 15. Krajowa emisja roczna cząstek stałych PM10 z par trybologicznych pojazdów skumulowanych kategorii



Rys. 16. Krajowa emisja roczna cząstek stałych z silników spalinowych pojazdów skumulowanych kategorii



Rys. 17. Krajowa emisja roczna dwutlenku węgla z pojazdów skumulowanych kategorii

Krajowa emisja roczna tlenku węgla i lotnych związków organicznych ma tendencję zmniejszającą się, natomiast w wypadku cząstek stałych i tlenków azotu krajowa emisja roczna zmniejsza się od 2007 r. Krajowa emisja roczna dwutlenku węgla, odpowiadająca zużyciu paliwa, utrzymuje się na podobnym poziomie od 2011 r.

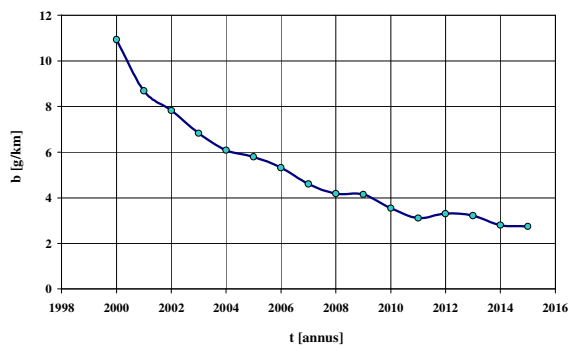
Jest charakterystyczny dominujący udział samochodów osobowych w emisji tlenku węgla, lotnych związków organicznych oraz dwutlenku węgla. W wypadku tlenków azotu i cząstek stałych znaczący jest udział samochodów ciężarowych.

W celu oceny postępu w zakresie ograniczania emisji zanieczyszczeń z sektora transportu drogowego wyznaczono średni wskaźnik emisji zanieczyszczeń i średnią emisję drogową zanieczyszczeń dla umownego pojazdu samochodowego – rysunki 18 i 19.

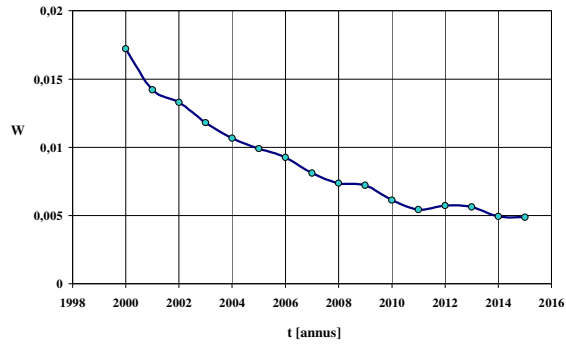
Wskaźnik emisji –  $W_x$  zanieczyszczenia „x” jest pochodną emisji zanieczyszczenia –  $m_x$  względem masy zużywanego paliwa –  $m_f$  [10].

$$W_x = \frac{dm_x}{dm_f} \quad (2)$$

Przykładową emisję drogową i wskaźnik emisji dla tlenku węgla przedstawiono na rysunkach 18 i 19.



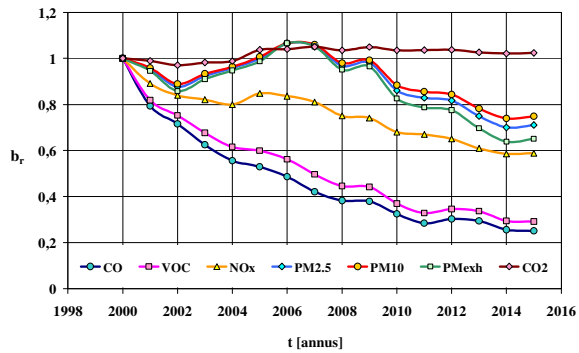
Rys. 18. Średnia emisja drogową tlenku węgla z umownego pojazdu



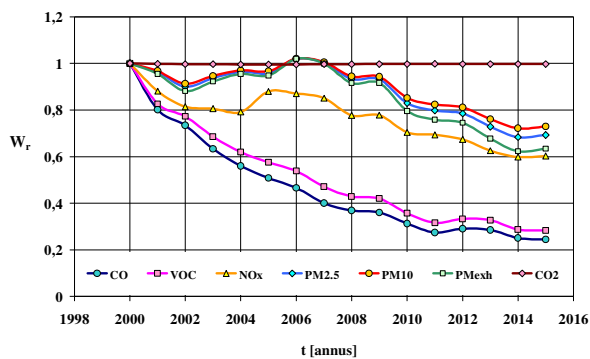
Rys. 19. Średni wskaźnik emisji tlenku węgla z umownego pojazdu

Wyraźnie widoczna jest tendencja zmniejszania się zarówno średniej emisji drogowej, jak i wskaźnika emisji tlenku węgla. Jest to wynik postępu technicznego w zakresie ograniczania emisji zanieczyszczeń, co jest zgodne z ewolucją limitów wielkości charakteryzujących emisję zanieczyszczeń w przepisach dotyczących procedur homologacyjnych [2, 36, 37].

W celu porównania dla rozpatrywanych substancji skutków zmniejszania emisji zanieczyszczeń dzięki postępowi technicznemu porównano względną emisję drogową i względny wskaźnik emisji zanieczyszczeń, odniesione do wartości w roku 2000 – rysunki 20 i 21.



Rys. 20. Względna średnia emisja drogowa zanieczyszczeń z umownego pojazdu



Rys. 21. Względny średni wskaźnik emisji zanieczyszczeń z umownego pojazdu

Najbardziej wyraźny postęp w ograniczaniu emisji zanieczyszczeń jest dla tlenku węgla – o 75% oraz, w następnej kolejności, lotnych związków organicznych – o 70%. Od 2005 r. odnotowuje się zmniejszanie się analizowanych wielkości dla tlenków azotu – w stosunku do 2000 r. różnica względna wynosi 41%. Dla cząstek stałych względna średnia emisja drogowa zmniejsza się od 2007 r. W stosunku do 2000 r. jest to zmniejszenie się dla cząstek stałych: frakcji PM2.5 – 30%, frakcji PM10 – 25%, a cząstek stałych z układu wylotowego silnika spalinowego o 35%.

## Podsumowanie

Przedstawione w artykule wyniki inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń z sektora transportu drogowego w Polsce dla lat 2000–2015, oficjalnie raportowane w ramach współpracy w Unii Europejskiej [31], zostały po raz pierwszy uzyskane z zastosowaniem oprogramowania COPERT, preferowanego w UE. Najtrudniejszymi problemami w modelowaniu emisji zanieczyszczeń okazało się wyznaczenie parametrów modelu. Dane o liczności poszczególnych elementarnych kategorii pojazdów wyznaczono na podstawie danych Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców oraz Głównego Urzędu Statystycznego. Przebiegi roczne pojazdów kategorii skumulowanych oszacowano na podstawie prac dotyczących bilansowania zużycia paliw [9]. Przebiegi roczne dla samochodów kategorii elementarnych z uwzględnieniem kryteriów emisji zanieczyszczeń oszacowano dzięki zastosowaniu modelu intensywności użytkowania pojazdów, opracowanego przez autorów. Do oszacowania danych dotyczących charakteru ruchu pojazdów wykorzystano wyniki z modelowania zużycia paliw [9].

Pełny komplet wyników inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń, w tym z sektora transportu drogowego, znajduje się w raporcie Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego [31]. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki dla wybranych substancji, przede wszystkim tych, które są szkodliwe dla zdrowia i które są uwzględniane w europejskich procedurach homologacyjnych pojazdów samochodowych. Stwierdzono wyraźną tendencję zmniejszania się krajowej emisji rocznej substancji szkodliwych dla zdrowia, mimo dynamicznego wzrostu liczby samochodów i intensywności ich użytkowaniu. Jest to ważny wniosek o charakterze praktycznym, szczególnie w sytuacji, gdy przyjęło się rozpowszechniać obiegowe opinie o „katastrofalnym” wpływie motoryzacji na środowisko. Te korzystne zmiany w oddziaływaniu transportu drogowego na środowisko są skutkiem przede wszystkim postępu technicznego w konstrukcji pojazdów, czego odzwierciedleniem jest również ewolucja limitów wielkości kryterialnych w procedurach

homologacyjnych samochodów. Względna średnia emisja drogowa zanieczyszczeń z umownego pojazdu uległa znacznemu zmniejszeniu w stosunku do 2000 r., m.in. dla: tlenku węgla o 75%, lotnych związków organicznych o 70%, tlenków azotu o 41%, cząstek stałych o (25 ÷ 30)% ze szczególnym podkreśleniem zmniejszenia się względnej emisji drogowej cząstek stałych z układu wylotowego silnika spalinowego (o 35%) – cząstki te są bardzo groźne dla zdrowia w związku z bardzo małymi wymiarami (w większości wypadków mniejszymi od 1 µm) i składem (m.in. zawartość wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych).

Oczywiście – mimo niekwestionowanej przewidywanej intensyfikacji transportu drogowego – krajowa emisja roczna zanieczyszczeń powinna się w dalszym ciągu zmniejszać, przede wszystkim na skutek korzystnej zmiany struktury ekologicznej pojazdów, np. zwiększania się liczności pojazdów z napędami hybrydowymi. W wypadku rozpatrywania zmiany struktury pojazdów z uwzględnieniem samochodów z napędami elektrycznymi, analiza krajowej emisji rocznej jest bardziej skomplikowana, jest bowiem konieczne rozpatrywanie nie tylko sektora transportu drogowego, lecz także energetyki w zakresie wytwarzania i dystrybucji energii elektrycznej [11]. Innym problemem ekologicznej oceny sektora transportu drogowego jest analiza cyklu istnienia pojazdów LCA (ang. Life Cycle Assessment – ocena cyklu życia<sup>9</sup>) [7].

### Literatura

- [1] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. (2016–12–06).
- [2] AVL Emission Testing Handbook 2016.
- [3] Bebkiewicz K, Chłopek Z, Szczepański K, Zimakowska-Laskowska M. Issues of modeling the total pollutant emission from vehicles. *Proceedings of the Institute of Vehicles*. 2017; 110 (1): 103–118.
- [4] Bebkiewicz K, Chłopek Z, Szczepański K, Zimakowska-Laskowska M. Results of air emission inventory from road transport in Poland in 2014. *Proceedings of the Institute of Vehicles* 2017; 110 (1): 77–88.
- [5] Bebkiewicz K, Chłopek Z, Szczepański K, Zimakowska-Laskowska M. The influence of the properties of vehicles traffic on the total pollutant emission. *Proceedings of the Institute of Vehicles* 2017; 110 (1): 89–102.
- [6] BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft), INFRAS AG (Infrastruktur-, Umwelt- und Wirtschaftsberatung). *Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1950–2010*, BUWAL-Bericht Nr. 255, 1995.
- [7] Chłopek Z., Lasocki J. *Zastosowanie oceny cyklu istnienia LCA w motoryzacji*. Wydawnictwo Naukowe PIMOT. Warszawa, 2017.
- [8] Chłopek Z, Piaseczny L. Remarks about the modelling in science researches. *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 2001; 11 (4): 47–57.
- [9] Chłopek Z, Waśkiewicz J.: Projections of the fuel consumption by the road transport in Poland. *Journal of KONES* 2013 Vol. 20, No. 2. 33–39.

---

<sup>9</sup> W literaturze zachodniej przyjęło się stosować błędny, prawdopodobnie podyktowany względami komercyjnymi, termin „życie” w odniesieniu do przedmiotów nieożywionych, zamiast – prawidłowo – istnienie. Wg „Słownika języka polskiego” PWN „życie” jest to stan organizmu polegający na nieprzerwanym ciągu procesów umożliwiających reagowanie na bodźce i zwykle poruszanie się, natomiast „istnieniem” jest to, co istnieje czyli podmiot bycia. Również wg Oxford Dictionaries „life” nie oznacza istnienia czyli „existence”.

- [10] Chłopek Z. Modelowanie procesów emisji spalin w warunkach eksploatacji trakcyjnej silników spalinowych. Prace Naukowe. Seria „Mechanika” z. 173. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa, 1999.
- [11] Chłopek Z. Research on energy consumption by an electric car. The Archives of Automotive Engineering 2012; 03: 105-117.
- [12] Chłopek Z. Zasady modelowania zużycia paliwa i energii oraz emisji zanieczyszczeń związanych z użytkowaniem pojazdów drogowych. Technika Transportu Szybowego 2015;12: 262–267.
- [13] COPERT Training 5. COPERT 5 vs COPERT 4. European Environment Agency. 2016. [http://emisia.com/sites/default/files/COPERT\\_5\\_features.pdf](http://emisia.com/sites/default/files/COPERT_5_features.pdf). (2016–12–06).
- [14] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2016. European Environment Agency. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>. (2016–12–06).
- [15] Gkatzoflias D., Kouridis Ch., Ntziachristos L., Samaras Z.. COPERT 4 Computer programme to calculate emissions from road transport User manual (version 9.0). European Environment Agency. Emisia SA. 2012. (2016–12–06).
- [16] GUS: Transport – wyniki działalności w 2015 r.
- [17] <http://cordis.europa.eu/cost-transport/src/cost-319.htm>. (2014–08–24).
- [18] <http://cordis.europa.eu/transport/src/meetrep.htm>. (2014–08–24).
- [19] <http://energy.jrc.ec.europa.eu/transtools/index.html>. (2014–08–24).
- [20] <http://gains.iiasa.ac.at/gains/EU/index.login>. (2014–08–24).
- [21] <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-visum/>. (2014–08–24).
- [22] <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR5>. (2014–08–24).
- [23] <http://www.emisia.com/copert/>. (2014–08–24).
- [24] <http://www.epa.gov/otaaq/mobile.htm>. (2014–08–24).
- [25] <http://www.eutransportghg2050.eu/cms/assets/SULTAN-User-Guide.pdf>.
- [26] <http://www.infras.ch/d/index.php>. (2014–08–24).
- [27] <http://www.tmlleuven.be/methode/tremove/home.htm>. (2014–08–24).
- [28] [http://www.unece.org/trans/theme\\_forfits.html](http://www.unece.org/trans/theme_forfits.html). (2014–08–24).
- [29] Informative Inventory Report Sweden 2016. Swedish Environmental Protection Agency. Stockholm. 2016.
- [30] INFRAS AG: Handbook emission factors for road transport 3.2. Quick reference. Version 3.2. Bern, 2014.
- [31] Poland’s Informative Inventory Report 2017. Submission under the UN ECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution and the DIRECTIVE (EU) 2016/2284. Institute of Environmental Protection – National Research Institute. National Centre for Emission Management (KOBiZE). Warszawa. February 2017.
- [32] Rosenbluth A., Wiener N. The role of models in science. Phil. Sci. 1945; 12 (4).
- [33] Sandmo T. The Norwegian Emission Inventory 2013. Documentation of methodologies for estimating emissions of greenhouse gases and long-range transboundary air pollutants. Statistics Norway. Oslo-Kongsvinger. 2013.
- [34] Wakeling D et al. UK Informative Inventory Report (1990 to 2015). Final Version (v1.0). Ricardo Energy & Environment. March 2017. [https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat07/1703161205\\_GB\\_IIR\\_2017\\_Final\\_v1.0.pdf](https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat07/1703161205_GB_IIR_2017_Final_v1.0.pdf).
- [35] Winther M.: Danish emission inventories for road transport and other mobile sources. Inventories until the year 2010. National Environmental Research Institute. University of

- Aarhus. 2012. Scientific Report No. 24. <http://www.dmu.dk/Pub/SR24.pdf>. (2017-05-01).
- [36] Worldwide emission standards. Heavy duty & off-road vehicles. Delphi. Innovation for the real world. 2015/2016.
- [37] Worldwide emission standards. Passenger cars and light duty vehicles. Delphi. Innovation for the real world. 2016/2017.



**Assessment of results of pollutant emission inventory of the road transport sector in Poland in 2000-2015**

Keywords: inventory of pollutant emissions, motor vehicles, road transport.