

**Article citation info:**

Chłopek Z, Dębski B, Szczepański K. Theory and practice of inventory pollutant emission from civilization-related sources: share of the emission harmful to health from road transport. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2018; 79(1): 5-22, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL.79.ART1>

# THEORY AND PRACTICE OF INVENTORY POLLUTANT EMISSION FROM CIVILIZATION-RELATED SOURCES: SHARE OF THE EMISSION HARMFUL TO HEALTH FROM ROAD TRANSPORT

## TEORIA I PRAKTYKA INWENTARYZACJI EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ ZE ŹRÓDEŁ CYWILIZACYJNYCH: UDZIAŁ EMISJI ZANIECZYSZCZEŃ SZKODLIWYCH DLA ZDROWIA Z TRANSPORTU DROGOWEGO

**ZDZISŁAW CHŁOPEK<sup>1</sup>, BOGUSŁAW DĘBSKI<sup>2</sup>, KRYSZTIAN SZCZEPAŃSKI<sup>3</sup>**  
Institute of Environmental Protection – National Research Institute

### Summary

The article presents authors' generalization of the methods used for the inventory of pollutant emission from civilization-related sources. The study has been illustrated with results of an evaluation of the share of road transport in pollutant emission from civilization-related sources in Poland

<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: [zdzislaw.chlopek@kobize.pl](mailto:zdzislaw.chlopek@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: [boguslaw.debski@kobize.pl](mailto:boguslaw.debski@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)

in 2015 with respect to the contribution of road transport to total pollutant emission. Official results of an inventory of the emission of substances harmful to health of living organisms, carried out by the National Centre for Emissions Management (KOBiZE) at the Institute of Environmental Protection – National Research Institute, have been presented. The said results are reported in the European Union. They pertain to the civilization-related sources classified as in SNAP (Selected Nomenclature for sources of Air Pollution). It has been found that among the most important environmental hazards related to the emission of substances harmful to health from civilization-related sources, road transport is chiefly accountable for nitrogen oxides emission; however, the national annual emission of nitrogen oxides in Poland has been decreasing from as long ago as 2007, in spite of a significant growth in the number and intensity of use of motor vehicles. The contribution of motorization to the air pollution with particulate matter is relatively small. Definitely, dusts are predominantly emitted by the power industry, especially the dispersed emission sources. Road transport has been found to emit particularly small quantities of one of the most harmful air pollutants, i.e. sulphur oxides. This has been achieved thanks to widespread introduction of low-sulphur fuels. Thanks to the introduction of unleaded fuels to general use, only trace influence of road transport on lead emission has been recorded.

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

## Streszczenie

W artykule przedstawiono autorskie uogólnienie metodyki stosowanej w inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń ze źródeł cywilizacyjnych. Rozważania zilustrowano wynikami oceny transportu drogowego w emisji zanieczyszczeń ze źródeł cywilizacyjnych w Polsce w 2015 r. ze względu na udział transportu drogowego w całkowitej emisji zanieczyszczeń. Przedstawiono oficjalne wyniki inwentaryzacji emisji substancji szkodliwych dla zdrowia organizmów żywych, wykonanej w Krajowym Ośrodku Bilansowania i Zarządzania Emisjami Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego. Wyniki te są raportowane w Unii Europejskiej. Wyniki emisji zanieczyszczeń dotyczą źródeł działalności cywilizacyjnej zgodnie z klasyfikacją SNAP (Selected Nomenclature for sources of Air Pollution). Stwierdzono, że spośród najważniejszych zagrożeń środowiska w związku z emisją ze źródeł cywilizacyjnych substancji szkodliwych dla zdrowia transport drogowy jest przede wszystkim odpowiedzialny za emisję tlenków azotu, jednak krajowa emisja roczna tlenków azotu w Polsce już od 2007 r. zmniejsza się, mimo znacznego przyrostu liczby samochodów oraz intensyfikacji ich użytkowania. Stosunkowo mały jest wkład motoryzacji w zanieczyszczenie powietrza cząstkami stałymi. Decydującym źródłem emisji pyłów jest energetyka, szczególnie rozproszone źródła emisji. Szczególnie mała jest emisja z transportu drogowego jednego z najpoważniejszych zanieczyszczeń powietrza – tlenków siarki.

Osiągnięto to dzięki powszechnemu wprowadzeniu niskosiarkowych paliw. Śladowy jest również wpływ transportu drogowego na emisję ołowiu – dzięki wprowadzeniu do eksploatacji paliw bezołowiowych.

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

## 1. Introduction

The propaganda of populist circles, not verified by facts because of having arisen in a part from lack of knowledge, blames road transport for all evil for the environment. Some scientific circles, either, do not remain faithful to a saying attributed to Aristotle "Amicus Plato, sed magis amica veritas" ("Plato is my friend, but truth is a better friend") and are

easily influenced by populist vagues. Therefore, an attempt was made to analyse the actual share of emission of pollutants harmful to health from road transport in all the emission from civilization-related sources. To do this, the researchers made use of the official inventory results reported by Poland to the European Union in 2015 about pollutant emission from civilization-related sources, according to a Report of the National Centre for Emission Management (KOBiZE) at the Institute of Environmental Protection – National Research Institute in Warsaw) [16]).

In spite of many methodological limitations, the inventory of pollutant emission from both natural and, especially, civilization-related sources has considerable importance for the rationalization of actions aimed at environmental improvement. The limitations chiefly include the impossibility, in many cases, of taking as a basis the results of empirical research and the necessity of using modelling to explore the problem. Of course, a problem arises in such cases as regards the standard of the models adopted and the identification of the models. An air pollutant emitter that is particularly sensitive to the modelling method is road transport, which is characterized by the fact that individual pollution sources are mobile and, in consequence, the empirical verification of the total pollutant emission is impracticable [7]. Therefore, the modelling of pollutant emission is the only way to acquire knowledge of the total emission. The information thus obtained has been used here for evaluating the share of pollutant emission harmful to health from road transport in all the civilization-related emission.

The pollutant emission from civilization-related sources is inventoried in all the developed countries. In the European Union, it is obligatory for all the member states to report results of inventories of national annual emission of pollutants harmful to health of living organisms [11] as well as greenhouse gases [2]. The reports are commonly available, e.g. [4, 12, 14, 18–20]. The inventories of pollutant emission are also carried out in developed states outside of the European Union, e.g. in the USA [3, 17] and Canada [1]. In most cases, the methods of inventory the pollutant emission are similar to each other, thanks to which comparable inventory results are obtained. Although so extensive knowledge about the pollutant emission from individual civilization-related sources is available, popular views relatively often predominate in the formulation of opinions about environmental pollution. This arises in a part from lack of sufficiently thorough analyses of results of the examination of total pollutant emission. An attempt to carry out such an analysis has been made herein.

Results of an analysis of the inventory of national pollutant emission in Poland have been presented.

## 2. Subject and method of the research

The article presents authors' generalization of the methods used for the inventory of pollutant emission from civilization-related sources.

The subject of this research is the emission of pollutants harmful to health of living organisms from civilization-related sources. The sources of this kind have been classified according to SNAP (Selected Nomenclature for sources of Air Pollution) – Table 1 [11, 12, 14, 15, 18–20].

Table 1. Classification of the civilization-related sources of the emission of pollutants harmful to health of living organisms

SNAP	Selected Nomenclature for sources of Air Pollution
01	Combustion in energy production and transformation industries
02	Non-industrial combustion plants
03	Combustion in manufacturing industry
04	Production processes
05	Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy
06	Solvent and other product use
07	Road transport
08	Other mobile sources and machinery
09	Waste treatment and disposal
10	Agriculture
11	Other sources and sinks

The following substances are covered by the subject of this research [7, 11-16, 18-20]:

- carbon monoxide – CO;
- non-methane volatile organic compounds – NMVOC;
- polycyclic aromatic hydrocarbons – PAH;
- nitrogen oxides – NO<sub>x</sub>;
- total suspended particles – TSP;
- particulate matter PM10 emitted from tribological pairs in motor vehicles – PM10;
- particulate matter PM2.5 emitted from tribological pairs in motor vehicles – PM2.5;
- black carbon – BC;
- ammonia – NH<sub>3</sub>;
- sulphur dioxide – SO<sub>2</sub>;
- polychlorinated dibenzodioxins and furans – PCDD/F;
- hexachlorobenzene – HCB;
- polychlorobiphenyls – PCB;
- cadmium – Cd;
- mercury – Hg;
- lead – Pb;
- arsenic – As;
- chromium – Cr;
- copper – Cu;
- nickel – Ni;
- zinc – Zn.

This study has been based on results of the inventory of pollutant emission from civilization-related sources carried out in Poland in 2015.

In the inventory of pollutant emission, the following assumptions are usually adopted [7]:

1. The intensity of emission of individual pollutants is an additive quantity.
2. The inventory of pollutant emission exclusively applies to the pollutants in the state as emitted from the emission sources rather than to the substances produced in result of the processes that occur in the environment.

In the inventory of pollutant emission, the basic notion is emission –  $m$ , defined as the mass of a pollutant introduced into the environment.

The pollutant emission intensity (rate) –  $E$  is a derivative of the pollutant emission treated as a function of time –  $t$  with respect to time

$$E = \frac{dm}{dt} \quad (1)$$

The annual emission of pollutants from the whole territory of a specific state is referred to as the national annual pollutant emission –  $E_a$ .

The annual pollutant emission is the pollutant emission intensity averaged for the year of the inventory.

In the inventory of pollutant emission in its most general form, the national annual pollutant emission is determined as a product of a pair of mutually conjugated coefficients of inventory of pollutant emission:

- coefficient of pollutant emission –  $w_e$ ;
- coefficient of activity of pollutant emission from the territory of a state –  $w_a$ .

The coefficient of pollutant emission is a zero-dimensional characteristic of a pollutant emission and it is an intensive quantity. The coefficient of activity of pollutant emission represents the total effective work done during the year of the inventory by the pollutant-emitting objects on the territory of the state subject to the inventory of pollutant emission. Thus, the coefficient of activity is an extensive quantity. Hence, the determining of an annual emission from an area other than the territory of a state, e.g. from the area of a region, differs from the one mentioned above only in the referring of the extensive quantity, i.e. the coefficient of activity, to the area under the inventory of pollutant emission.

The annual energy consumption as well as the annual consumption of e.g. fuels and raw materials may be inventoried in a similar way.

In general, the national annual pollutant emission is defined by a formula:

$$E_a = \sum_{i=cc}^c w_{cc} \cdot w_{ac} \quad (2)$$

where:  $w_{ci}$  – mean coefficient of pollutant emission from the  $c^{\text{th}}$  object, averaged in relation to the total activity of the object during one year of the inventory;

$w_{ai}$  – activity of the  $c^{\text{th}}$  object during one year of the inventory;

$C$  – number of the pollutant-emitting objects used in the state subject to the inventory of pollutant emission.

The following basic pairs of mutually conjugated coefficients of the inventory of pollutant emission may be discerned in the inventory of pollutant emission:

1. Specific distance emission of a pollutant and distance travelled by the means of transport

The specific distance emission of a pollutant –  $b$  is a derivative of the pollutant emission from a means of transport, treated as a function of distance –  $s$ , with respect to the distance travelled by the means of transport:

$$b = \frac{dm}{ds} \quad (3)$$

Thus, the national annual pollutant emission is:

$$E_a = \sum_{i=1}^N b_i \cdot S_i \quad (4)$$

where:  $b_i$  – mean specific distance emission of the pollutant from the  $i^{\text{th}}$  means of transport, averaged in relation to the total distance travelled by the means of transport during one year of the inventory;

$S_i$  – distance travelled by the  $i^{\text{th}}$  means of transport during one year of the inventory;

$N$  – number of the means of transport used in the state subject to the inventory of pollutant emission.

2. Pollutant emission indicator and fuel consumption by mass

The pollutant emission indicator –  $W$  is a derivative of the pollutant emission, treated as a function of fuel consumption by mass –  $m_f$ , with respect to the fuel consumption by mass:

$$W = \frac{dm}{dm_f} \quad (5)$$

Thus, the national annual pollutant emission is:

$$E_a = \sum_{j=1}^M W_j \cdot m_{fj} \quad (6)$$

where:  $W_j$  – mean indicator of the pollutant emission from the  $j^{\text{th}}$  object, averaged in relation to the total fuel consumption by mass of the object during one year of the inventory;

$m_{fj}$  – fuel consumption by mass by the  $j^{\text{th}}$  object during one year of the inventory;

$M$  – number of the objects under consideration that were used in the state subject to the inventory of pollutant emission.

### 3. Energy-related pollutant emission indicator and energy consumption

The energy-related pollutant emission indicator –  $WE$  is a derivative of the pollutant emission, treated as a function of energy consumption –  $\Omega$ , with respect to the energy consumption:

$$WE = \frac{dm}{d\Omega} \quad (7)$$

Thus, the national annual pollutant emission is:

$$E_a = \sum_{k=1}^K WE_k \cdot \Omega_k \quad (8)$$

where:  $WE_k$  – mean energy-related indicator of the pollutant emission from the  $k^{\text{th}}$  object, averaged in relation to the total energy consumption of the object during one year of the inventory;

$\Omega_k$  – energy consumption by the  $k^{\text{th}}$  object during one year of the inventory;

$K$  – number of the objects under consideration that were used in the state subject to the inventory of pollutant emission.

### 4. Specific brake emission of a pollutant and work done by the object

The specific brake emission of a pollutant –  $e$  is a derivative of the pollutant emission, treated as a function of the work done by the object –  $L$ , with respect to the work done by the object:

$$e = \frac{dm}{dL} \quad (9)$$

Thus, the national annual pollutant emission is:

$$E_a = \sum_{g=1}^G e_g \cdot L_g \quad (10)$$

where:  $e_g$  – mean specific brake emission of the pollutant from the  $g^{\text{th}}$  object, averaged in relation to the total work done by the object during one year of the inventory;

$L_g$  – work done by the  $g^{\text{th}}$  object during one year of the inventory;

$G$  – number of the objects under consideration that were used in the state subject to the inventory of pollutant emission.

### 5. Production-related pollutant emission indicator and production output indicator

The production-related pollutant emission indicator –  $W\Psi$  is a derivative of the pollutant emission, treated as a function of the production output indicator –  $\Psi$ , with respect to the production output indicator:

$$W\Psi = \frac{dm}{d\Psi} \quad (11)$$

Thus, the national annual pollutant emission is:

$$E_a = \sum_{r=1}^R W\Psi_r \cdot \Psi_r \quad (12)$$

where:  $W\Psi_r$  – mean production-related indicator of the pollutant emission from the  $r^{\text{th}}$  object, averaged in relation to the indicator characterizing the total production output of the object during one year of the inventory;

$\Psi_r$  – indicator characterizing the production output of the  $r^{\text{th}}$  object during one year of the inventory;

$R$  – number of the objects that were involved in the production under consideration in the state subject to the inventory of pollutant emission.

#### 6. Size-related pollutant emission indicator and object size indicator

The size-related pollutant emission indicator –  $W\Theta$  is a derivative of the pollutant emission, treated as a function of the object size indicator –  $\Theta$ , with respect to the object size indicator:

$$W\Theta = \frac{dm}{d\Theta} \quad (13)$$

Thus, the national annual pollutant emission is:

$$E_a = \sum_{u=1}^U W\Theta_u \cdot \Theta_u \quad (14)$$

where:  $W\Theta_u$  – mean size-related indicator of the pollutant emission from the  $u^{\text{th}}$  object, averaged in relation to the indicator characterizing the total size of the object during one year of the inventory;

$\Theta_u$  – indicator characterizing the size of the  $u^{\text{th}}$  object during one year of the inventory;

$U$  – number of the objects under consideration that were present in the state subject to the inventory of pollutant emission.

The pair of the coefficients of inventory of pollutant emission composed of specific distance emission of a pollutant and distance travelled by the means of transport is applicable to the inventory of pollutant emission from transport means.

The pairs of the coefficients of inventory of pollutant emission that consist of:

- pollutant emission indicator and fuel consumption by mass; or
  - energy-related pollutant emission indicator and energy consumption
- are used for inventory pollutant emission from stationary objects.

The pair where the specific brake emission of a pollutant is taken together with the work done by the object may be used for an inventory of pollutant emission from devices other than transport means, e.g. from building machinery.

A production-related pollutant emission indicator paired with a production output indicator is used for the inventory of pollutant emission from production processes, e.g. in industry, agriculture, or forestry.



The pair of the coefficients of inventory of pollutant emission composed of size-related pollutant emission indicator and object size indicator finds application in the inventory of pollutant emission from dispersed sources, e.g. from fields under cultivation or from households.

In the inventory of pollutant emission from civilization-related sources in Poland, carried out in 2015 [16], the methods as recommended in the EEA guidebook [11] were used. The national annual pollutant emission from road transport was determined with using the COPERT 4 program [13]. The input data for the COPERT program were prepared on the grounds of, *inter alia*, statistical information about motor vehicles in Poland. The said input data have been described in detail in publications [6, 8].

### 3. Results of the research

The national annual emission of selected pollutants harmful to health of living organisms, from all the sources covered by the inventory – T and from road transport – RT as recorded in Poland in 2015, has been presented in Table 2.

Table 2. National annual pollutant emission in Poland in 2015

	CO	NM VOC	PAH	NO <sub>x</sub>	TSP	PM10	PM2.5
	[Mg]						
T	2 401 347.1	530 618.9	139.4	713 803.8	317 739.3	221 115.6	124 562.5
RT	497 931.8	72 051	0.9	213 408.2	14 384.5	11 680.6	9 798.7

	BC	NH <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PCDD/F	HCB	PCB
	[Mg]			[g]	[kg]	
T	24 432.8	267 100.7	690 260.2	290.2	13.3	678
RT	9 798.7	4 390.3	241.2	6.6	2.2	49.4

	Cd	Hg	Pb	As	Cr	Cu	Ni	Zn
	[kg]							
T	13 472.8	10 575.9	507 849	43 547.7	47 292.7	415 557	138 532	1 407 130
RT	184	0	11 711.3	0	4 455.3	90 426.5	791.8	61 018.5

Figs 1–9 visualize the national annual emission of selected pollutants in absolute values and as shares of pollutant emission from sources classified in individual categories; the emission from the sources classified in the road transport category has been marked out in the graphs.

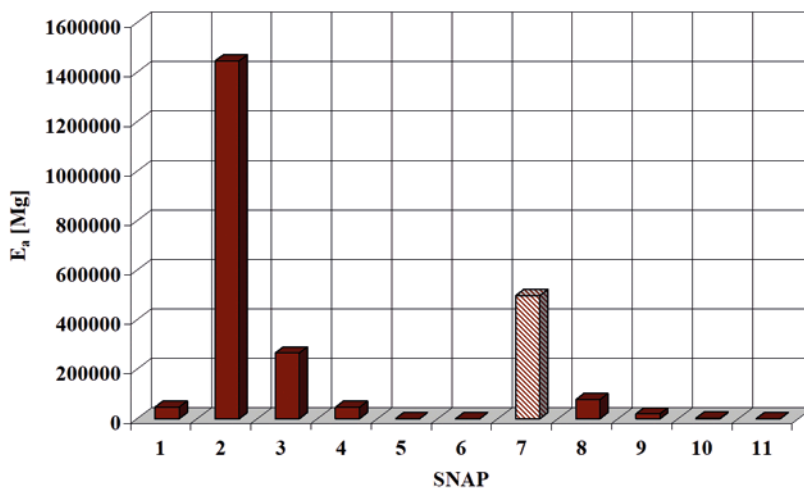


Fig. 1. National annual emission of carbon monoxide – CO

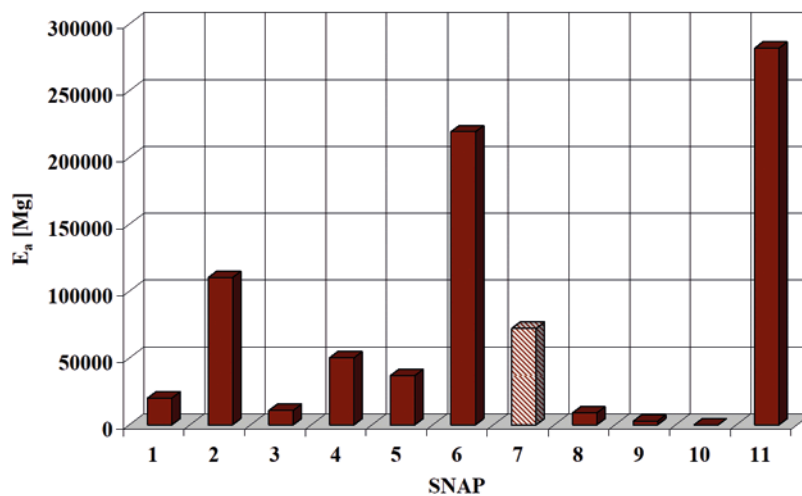


Fig. 2. National annual emission of non-methane volatile organic compounds – NMVOC

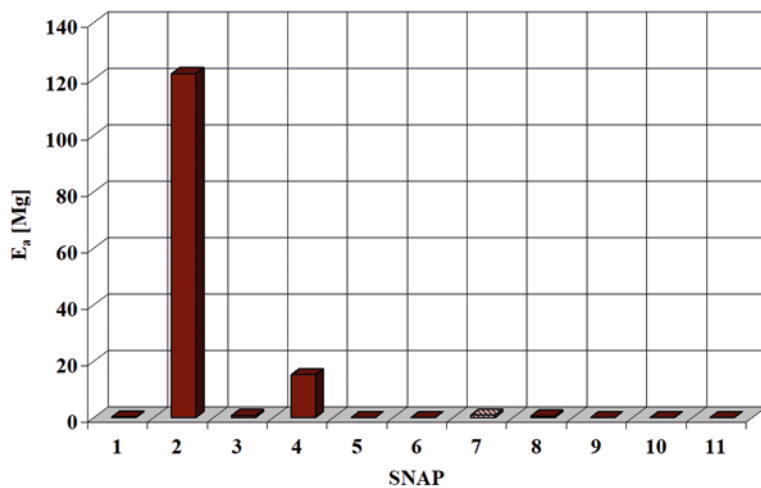


Fig. 3. National annual emission of polycyclic aromatic hydrocarbons – PAH

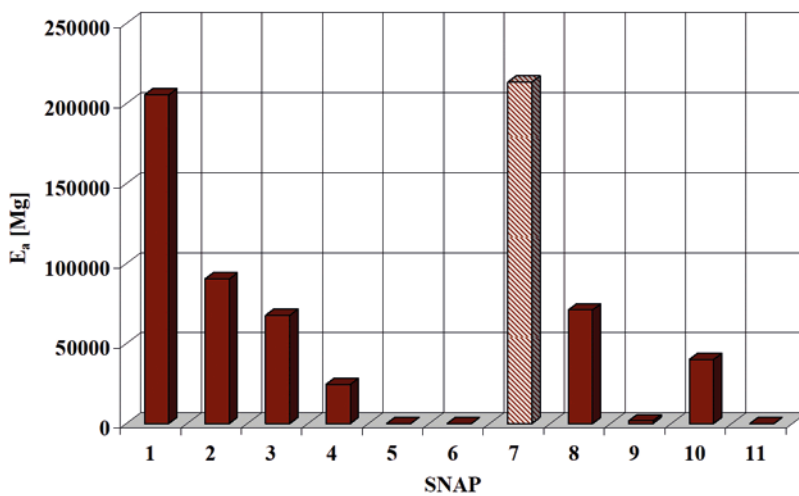


Fig. 4. National annual emission of nitrogen oxides –  $\text{NO}_x$

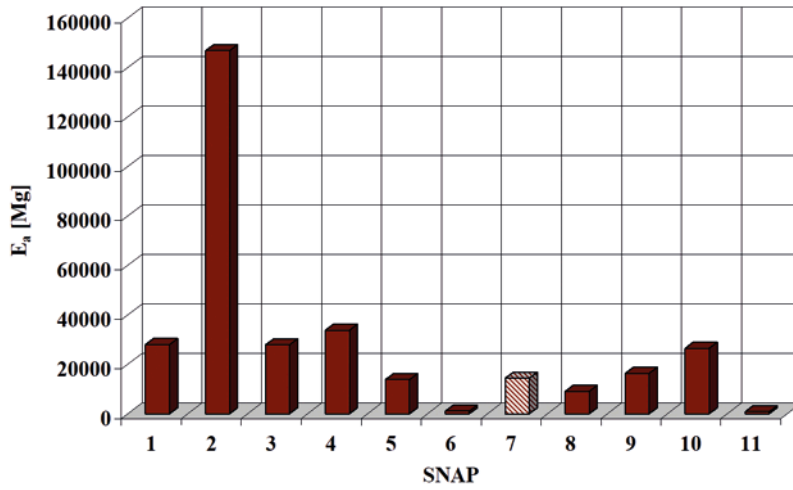


Fig. 5. National annual emission of total suspended particles - TSP

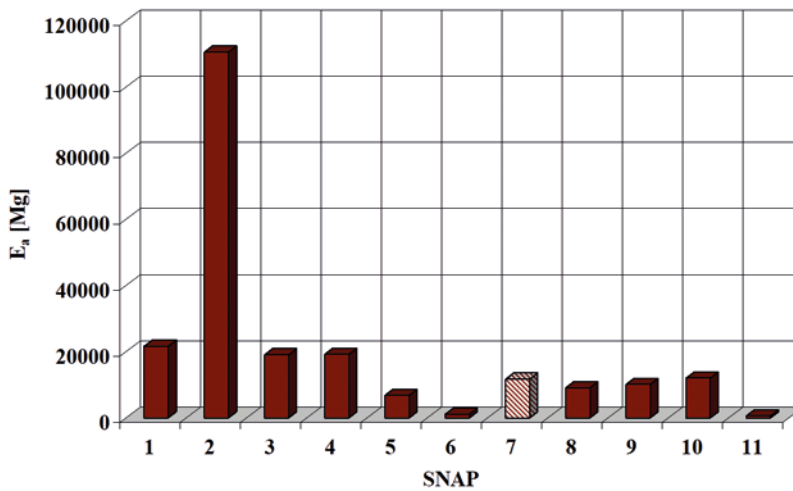


Fig. 6. National annual emission of particulate matter PM10

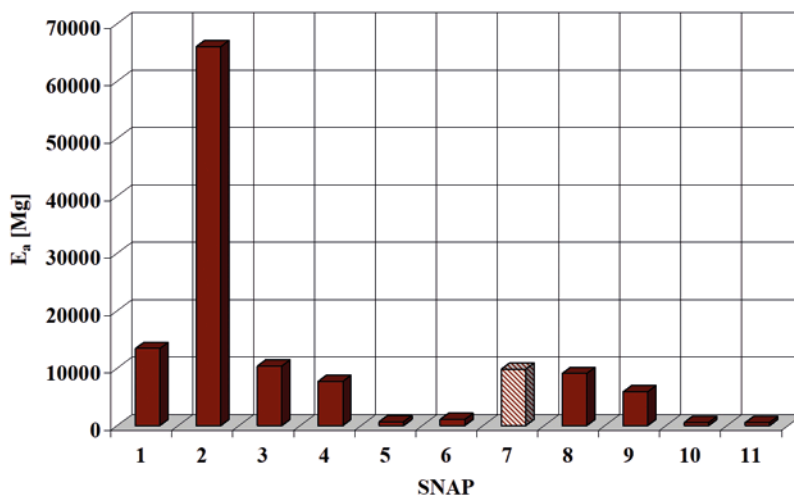


Fig. 7. National annual emission of particulate matter PM2.5

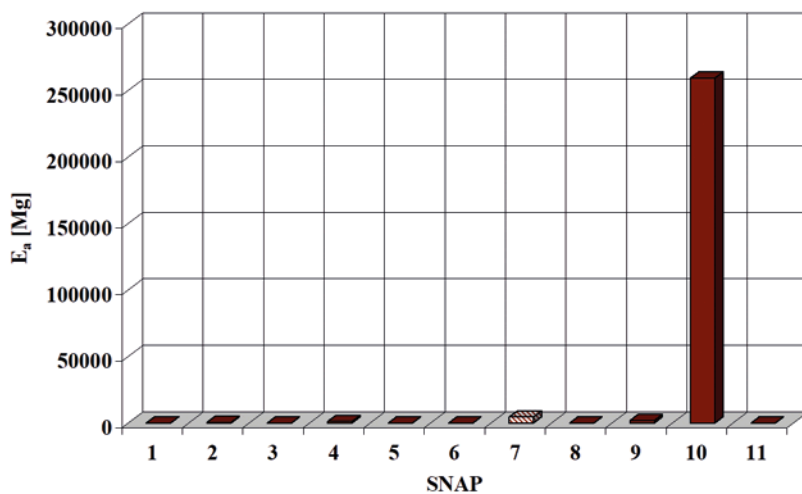


Fig. 8. National annual emission of ammonia - NH3

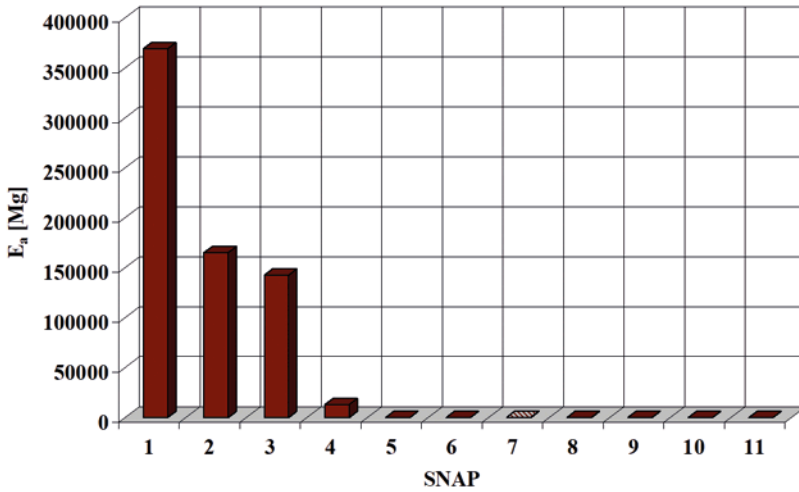


Fig. 9. National annual emission of sulphur dioxide – SO<sub>2</sub>

It can be clearly seen how wide diversity exists between the shares of the national annual emission of individual pollutants from all the sources covered by the inventory. Among all the substances the annual emission values of which have been presented, only nitrogen oxides are the pollutant whose emission is in its biggest part attributed to road transport compared with all the other sources under consideration. Road transport has also a considerable share in the emission of non-methane volatile organic compounds. This is confirmed by the fact that the occurrence of photochemical smog in large urban agglomerations is chiefly caused by road transport. However, the emission of polycyclic aromatic hydrocarbons, extremely dangerous for health, from motor vehicles is rather insignificant. So is the share of dusts emitted from road transport in all the dust emission. In additional consideration of the inappreciable emission of sulphur oxides from motor vehicles, a statement may be made that the blaming of chiefly the road transport for the London smog in in most cases unjustified.

Figs 10 and 11 show the share of national annual pollutant emission from road transport in the national annual pollutant emission from all the emission sources under inventory.

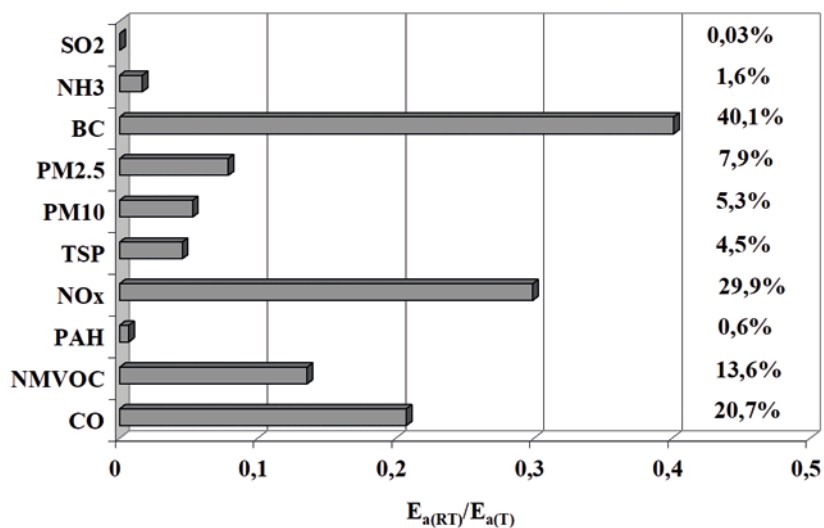


Fig. 10. Share of national annual pollutant emission from road transport in the national annual pollutant emission from all the emission sources under inventory

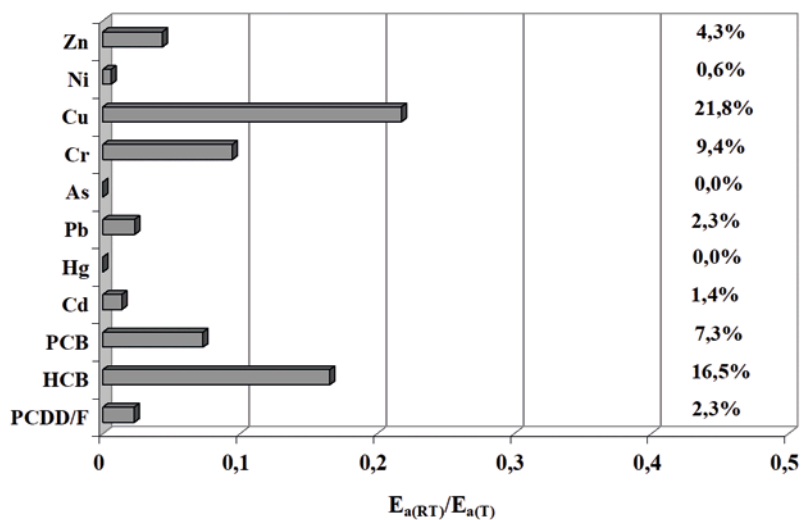


Fig. 11. Share of national annual pollutant emission from road transport in the national annual pollutant emission from all the emission sources under inventory

The share of road transport in the national annual pollutant emission from all the emission sources is the highest (40%) in the case of black carbon. This is caused by the fact that the carbon fraction is the main component of the particulate matter that is discharged from exhaust systems of internal combustion engines. For nitrogen oxides, this share is about 30%. In the case of carbon monoxide and non-methane volatile organic compounds, this share is about 20% and almost 14%, respectively. As regards heavy metals, this share is small, except for copper, for which it is about 22%. An extremely small share is observed for sulphur oxides, thanks to the fact that practically sulphurless fuels have been introduced since 1990, chiefly because of the requirements arising from the use of catalytic systems of exhaust gas treatment [5]. A similar cause-and-effect connection could be seen in result of the introduction of unleaded petrol grades; in consequence, the share of road transport in the lead emission has become very small (2.3%).

## 4. Recapitulation

The article presents authors' generalization of the methods used for the inventory of pollutant emission from civilization-related sources.

In recapitulation of the evaluation of the share of road transport in pollutant emission, the following conclusions may be formulated:

1. Among the most important environmental hazards related to the emission of substances harmful to health from civilization-related sources, road transport is chiefly accountable for nitrogen oxides emission. The emission of this pollutant is conducive to the risk of occurrence of photochemical smog in large urban agglomerations in the summer season. It is worth noticing, however, that the nitrogen oxides emission from internal combustion engines could be successfully reduced to a significant extent thanks to new technological solutions [5, 21, 22]; in this connection, the national annual emission of nitrogen oxides has already been declining in Poland since 2007, in spite of a significant growth in the number of motor vehicles and in the intensity of their operation [6].
2. The contribution of motorization to the air pollution with particulate matter is relatively small. Definitely, dusts are predominantly emitted by the power industry, especially dispersed emission sources; this has been confirmed by measurements of dust concentration in the atmosphere depending on the time of the year and the related heating seasons [9, 10]. It should be remembered, however, that the local dust concentrations in areas close to arterial roads is strongly correlated with the intensity of particulate matter emission from motor vehicles [9, 10].
3. Particularly advantageous is the very small emission of sulphur oxides, which are counted among the most harmful air pollutants, from the road transport sector. This has been achieved thanks to widespread introduction of low-sulphur fuels.
4. The impact of road transport on lead emission is also small, thanks to the introduction of unleaded fuels to general use.



An analysis of results of pollutant emission inventories carried out in other countries [1, 3, 4, 12, 13, 17–20] provides grounds for the formulation of similar conclusions: the substantial technological progress in the automotive industry has considerably contributed to a reduction in the environmental hazard caused by road transport.

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] 1990–2015. Air pollutant emission inventory report. Environment and Climate Change Canada. 2016. <http://www.ec.gc.ca/Pollution/A17452DA-CFC0-4222-985F-36B12FCBAA0B/APEI2017-E-Feb%2015%202017.pdf>.
- [2] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. (2016–12–06).
- [3] 2014 National Emissions Inventory, version 1 Technical Support Document. U.S. Environmental Protection Agency December 2016. [https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/nei2014v1\\_tsd.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/nei2014v1_tsd.pdf).
- [4] Air pollutant emissions data viewer (LRTAP Convention). <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/air-emissions-viewer-lrtap>.
- [5] AVL Emission Testing Handbook 2016.
- [6] Bebkiewicz K, Chłopek Z, Szczepański K, Zimakowska-Laskowska M. Estimating pollutant emission from motor vehicles in the years 2000–2015. *Combustion Engines* 2017; 171(4): 62–67.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Chłopek Z, Żegota M. The emission of particulate matter PM10 from vehicles. *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2004; 21(1): 3–13.
- [10] Chłopek Z. Testing of hazards to the environment caused by particulate matter during use of vehicles. *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2012; 14(2): 160–170.
- [11] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2016. European Environment Agency. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>. (2016–12–06).
- [12] European Union emission inventory report 1990–2014 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP). EEA Report No 16/2016. <https://www.eea.europa.eu/publications/lrtap-emission-inventory-report-2016>.
- [13] 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.
- [14] Mareckova K, Pinterits M, Tista M, Wankmueller R. Inventory Review 2016. Review of emission data reported under the LRTAP Convention and NEC Directive. Umweltbundesamt GmbH, Vienna, 2016. [http://www.ceip.at/fileadmin/site/ueberuns/DP-148\\_InventoryReport\\_2016\\_final.pdf](http://www.ceip.at/fileadmin/site/ueberuns/DP-148_InventoryReport_2016_final.pdf)
- [15] Mareckova K et al. 2016. Methodologies applied to the technical review of emission data. [https://www.ceip.at/fileadmin/inhalte/emep/pdf/20154/methodology\\_report2016.pdf](https://www.ceip.at/fileadmin/inhalte/emep/pdf/20154/methodology_report2016.pdf).
- [16] 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.

- [17] Profile of version 1 of the 2014 national emissions inventory U.S. EPA 2014 NEI Version 1.0 Office of Air Quality Planning and Standards Emissions Inventory and Analysis Group. April 2017.  
[https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-04/documents/2014nei1\\_profile\\_final\\_april182017.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-04/documents/2014nei1_profile_final_april182017.pdf)
- [18] 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.
- [19] 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).
- [20] 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).
- [21] Worldwide emission standards. Heavy duty & off-road vehicles. Delphi. Innovation for the real world. 2015/2016.
- [22] Worldwide emission standards. Passenger cars and light duty vehicles. Delphi. Innovation for the real world. 2016/2017.

## Basic notation

<b>CO</b>	carbon monoxide
<b>NM VOC</b>	Non-Methane Volatile Organic Compounds
<b>PAH</b>	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons
<b>NO<sub>x</sub></b>	nitrogen oxides
<b>TSP</b>	Total Suspended Particles
<b>PM<sub>10</sub></b>	Particulate Matter 10
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	Particulate Matter 2.5
<b>BC</b>	Black Carbon
<b>NH<sub>3</sub></b>	ammonia
<b>SO<sub>2</sub></b>	sulphur dioxide
<b>PCDD/F</b>	PolyChlorinated Dibenzo-p-Dioxins and polychlorinated dibenzoFurans
<b>HCB</b>	HexaChloroBenzene
<b>PCB</b>	PolyChloroBiphenyls
<b>Cd</b>	cadmium
<b>Hg</b>	mercury
<b>Pb</b>	lead
<b>As</b>	arsenic
<b>Cr</b>	chromium
<b>Cu</b>	copper
<b>Ni</b>	nickel
<b>Zn</b>	zinc
<b>SNAP</b>	Selected Nomenclature for sources of Air Pollution
<b>E<sub>a</sub></b>	national annual emission
<b>(RT)</b>	Road Transport
<b>(T)</b>	Total emission sources

**Article citation info:**

Chłopek Z, Dębski B, Szczepański K. Theory and practice of inventory pollutant emission from civilization-related sources: share of the emission harmful to health from road transport. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2018; 79(1): 5-22, <http://dx.doi.org/10.14669/AM.VOL.79.ART1>

# **Teoria i praktyka inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń ze źródeł cywilizacyjnych: udział emisji zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia z transportu drogowego**

**ZDZISŁAW CHŁOPEK<sup>1</sup>, BOGUSŁAW DĘBSKI<sup>2</sup>, KRYSTIAN SZCZEPAŃSKI<sup>3</sup>**

Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy

## **Streszczenie**

W artykule przedstawiono autorskie uogólnienie metodyki stosowanej w inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń ze źródeł cywilizacyjnych. Rozważania zilustrowano wynikami oceny transportu drogowego w emisji zanieczyszczeń ze źródeł cywilizacyjnych w Polsce w 2015 r. ze względu na udział transportu drogowego w całkowitej emisji zanieczyszczeń. Przedstawiono oficjalne wyniki inwentaryzacji emisji substancji szkodliwych dla zdrowia organizmów żywych, wykonanej w Krajowym Ośrodku Bilansowania i Zarządzania Emisjami Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego. Wyniki te są raportowane w Unii Europejskiej. Wyniki emisji zanieczyszczeń dotyczą źródeł działalności cywilizacyjnej zgodnie z klasyfikacją SNAP (Selected Nomenclature for sources of Air Pollution). Stwierdzono, że spośród najważniejszych zagrożeń środowiska w związku z emisją ze źródeł cywilizacyjnych substancji szkodliwych dla zdrowia transport drogowy jest przede wszystkim odpowiedzialny za emisję tlenków azotu, jednak krajowa emisja roczna tlenków azotu w Polsce już od 2007 r. zmniejsza się, mimo znacznego przyrostu liczby samochodów oraz intensyfikacji ich użytkowania. Stosunkowo mały jest wkład motoryzacji w zanieczyszczenie powietrza cząstkami

---

<sup>1</sup> Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy – Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami; ul. Chmielna 132/134; 00-805 Warszawa; [zdzislaw.chlopek@kobize.pl](mailto:zdzislaw.chlopek@kobize.pl).

<sup>2</sup> Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy – Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami; ul. Chmielna 132/134; 00-805 Warszawa; [boguslaw.debski@kobize.pl](mailto:boguslaw.debski@kobize.pl).

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

stałymi. Decydującym źródłem emisji pyłów jest energetyka, szczególnie rozproszone źródła emisji. Szczególnie mała jest emisja z transportu drogowego jednego z najpoważniejszych zanieczyszczeń powietrza – tlenków siarki.

Osiągnięto to dzięki powszechnemu wprowadzeniu niskosiarkowych paliw. Śladowy jest również wpływ transportu drogowego na emisję ołowiu – dzięki wprowadzeniu do eksploatacji paliw bezołowiowych.

Słowa kluczowe: inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń, transport drogowy.

## Wstęp

Propaganda środowisk populistycznych, nie weryfikowana faktami, bo wynikająca po części z niewiedzy, czyni transport drogowy przyczyną wszelkiego zła dla środowiska. Również niektóre środowiska naukowe nie pozostają wierne zasadzie Arystotelesa „Amicus Plato, sed magis amica veritas” i ulegają modom populistycznym. W związku z tym podjęto się próby przeanalizowania udziału emisji zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia z transportu drogowego w emisji zanieczyszczeń ze źródeł cywilizacyjnych. Wykorzystano w tym celu oficjalne wyniki raportowania emisji zanieczyszczeń ze źródeł cywilizacyjnych przez Polskę do Unii Europejskiej w 2015 r. – raport Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisjami Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego w Warszawie [16].

Inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń ze źródeł zarówno naturalnych, jak i – szczególnie – cywilizacyjnych, mimo wielu ograniczeń metodycznych, ma ważne znaczenie w racjonalizacji działań proekologicznych. Te ograniczenia to przede wszystkim brak możliwości w wielu wypadkach oparcia się na wynikach badań empirycznych i konieczność stosowania do celów poznawczych modelowania. Oczywiście w takich wypadkach powstaje problem standardu przyjętych modeli i ich identyfikacji. Szczególnie wrażliwym podmiotem emisji zanieczyszczeń na sposób modelowania jest transport drogowy, dla którego jest znamienne, że poszczególne źródła emisji zanieczyszczeń są ruchome i – w związku z tym – nie ma możliwości empirycznej weryfikacji całkowitej emisji zanieczyszczeń [7]. Modelowanie emisji zanieczyszczeń jest zatem jedynym sposobem uzyskania wiedzy o całkowitej emisji zanieczyszczeń. Informacje uzyskane w ten sposób zostały wykorzystane w niniejszym artykule do oceny udziału emisji zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia z transportu drogowego w emisji zanieczyszczeń ze źródeł cywilizacyjnych.

Inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń ze źródeł cywilizacyjnych jest prowadzona we wszystkich państwach rozwiniętych W Unii Europejskiej jest obowiązkowe raportowanie przez państwa członkowskie inwentaryzacji krajowej emisji rocznej zanieczyszczeń: szkodliwych dla zdrowia organizmów żywych [11] oraz gazów cieplarnianych [2]. Raporty są powszechnie dostępne, np. [4, 12, 14, 18–20]. Również w innych państwach rozwiniętych spoza Unii Europejskiej, jest prowadzona inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń, m.in. w Stanach Zjednoczonych Ameryki [3, 17] i w Kanadzie [1]. Metodyka inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń w większości wypadków jest podobna, dzięki czemu uzyskuje się porównywalne wyniki. Mimo tak obszernej wiedzy na temat emisji zanieczyszczeń z poszczególnych źródeł cywilizacyjnych stosunkowo często dominujący jest udział obiegowych poglądów w formułowaniu sądów na temat zanieczyszczenia środowiska. Wynika to częściowo z faktu braku dostatecznie pogłębionych analiz wyników badań emisji całkowitej zanieczyszczeń. W niniejszym artykule podjęto się takiej próby analizy.

W niniejszym artykule są przedstawiane wyniki badań inwentaryzacji krajowej emisji

## Przedmiot i metoda badań

W artykule przedstawiono autorskie uogólnienie metodyki stosowanej w inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń ze źródeł cywilizacyjnych.

Przedmiotem badań jest emisja zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia organizmów żywych ze źródeł cywilizacyjnych. Źródła cywilizacyjne są sklasyfikowane zgodnie z zasadami systematyki SNAP (Selected Nomenclature for sources of Air Pollution – wybrane nazewnictwo źródeł zanieczyszczeń powietrza) – tabela 1 [11, 12, 14, 15, 18–20].

Tabela 1. Klasyfikacja źródeł cywilizacyjnych emisji zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia organizmów żywych

SNAP	Selected nomenclature for sources of air pollution	Wybrane nazewnictwo źródeł zanieczyszczeń powietrza
01	Combustion in energy and transformation industries	Procesy spalania w sektorze wytwarzania i przekształcania energii
02	Non-industrial combustion plants	Procesy spalania poza przemysłem
03	Combustion in manufacturing industry	Procesy spalania w przemyśle
04	Production processes	Procesy produkcyjne
05	Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy	Wydobycie i rozprowadzanie paliw kopalnych i nośników energii geotermalnej
06	Solvent and other product use	Zastosowanie rozpuszczalników i innych produktów
07	Road transport	Transport drogowy
08	Other mobile sources and machinery	Inne pojazdy i urządzenia
09	Waste treatment and disposal	Zagospodarowanie odpadów
10	Agriculture	Rolnictwo
11	Other sources and sinks	Inne źródła emisji i pochłaniania zanieczyszczeń

Substancje, których emisja jest przedmiotem badań, są następujące [7, 11–16, 18–20]:

- tlenek węgla – CO,
- niemetanowe lotne związki organiczne – NMVOC,
- wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne – PAH,
- tlenki azotu – NO<sub>x</sub>,
- całkowite cząstki zawieszone – TSP,
- cząstki stałe PM<sub>10</sub> z trybologicznych węzłów samochodów – PM<sub>10</sub>,
- cząstki stałe PM<sub>2.5</sub> z trybologicznych węzłów samochodów – PM<sub>2.5</sub>,
- sadza – BC,
- amoniak – NH<sub>3</sub>,

- dwutlenek siarki<sup>4</sup> – SO<sub>2</sub>,
- polichlorowane dioksyny i furany – PCDD/F,
- heksachlorobenzen – HCB,
- polichlorowane bifenyle – PCB,
- kadm – Cd,
- rtęć – Hg,
- ołów – Pb,
- arsen – As,
- chrom – Cr,
- miedź – Cu,
- nikiel – Ni,
- cynk – Zn.

W artykule przedstawiono rozważania na podstawie wyników inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń ze źródeł cywilizacyjnych w Polsce w 2015 r.

W inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń przyjmuje się następujące założenia [7]:

1. Natężenie emisji poszczególnych zanieczyszczeń jest wielkością addytywną.
2. Inwentaryzacji podlegają substancje w takiej postaci, w jakiej są emitowane ze źródeł emisji, bez uwzględniania zatem przemian tych substancji zachodzących w środowisku.

Podstawowym pojęciem w inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń jest emisja. Emisja – m to masa wprowadzanego do środowiska zanieczyszczenia.

Natężenie emisji – E to pochodna emisji zanieczyszczenia, traktowanej jako funkcja czasu – t względem czasu:

$$E = \frac{dm}{dt} \quad (1)$$

Krajową emisją roczną zanieczyszczeń – E<sub>a</sub> nazywa się emisję roczną zanieczyszczeń z obszaru całego państwa.

Emisja roczna zanieczyszczeń to uśrednione w czasie roku inwentaryzacji natężenie emisji zanieczyszczeń.

W inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń w najogólniejszej postaci krajową emisję roczną zanieczyszczenia wyznacza się jako iloczyn pary sprzężonych ze sobą współczynników inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń:

- współczynnika emisji zanieczyszczenia – w<sub>e</sub>,
- współczynnika aktywności z obszaru państwa – w<sub>a</sub>.

Współczynnik emisji zanieczyszczenia jest zerowymiarową charakterystykę emisji zanieczyszczeń, będącą wielkością o charakterze intensywnym. Współczynnik aktywności jest wielkością opisującą pracę użyteczną, wykonywaną w czasie roku inwentaryzacji przez obiekty emisji na terenie państwa, którego dotyczy inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń. Współczynnik

---

<sup>4</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”.

aktywności jest zatem wielkością o charakterze ekstensywnym. W związku z tym wyznaczenie emisji rocznej z obszaru innego niż obszar państwa, np. z obszaru regionu, różni się tylko odniesieniem wielkości ekstensywnej – współczynnika aktywności do obszaru inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń.

W analogiczny sposób można inwentaryzować roczne zużycie energii oraz roczne zużycie materiałów, np. paliw i surowców.

Krajowa emisja roczna zanieczyszczenia to w ogólności:

$$E_a = \sum_{i=c}^C w_{ec} \cdot w_{ac} \quad (2)$$

gdzie:  $w_{ei}$  – średni względem aktywności obiektu w ciągu jednego roku inwentaryzacji współczynnik emisji zanieczyszczenia z  $c$ -tego obiektu,  
 $w_{ai}$  – aktywność  $c$ -tego obiektu w ciągu jednego roku inwentaryzacji,  
 $C$  – liczba obiektów użytkowanych w państwie objętym inwentaryzacją zanieczyszczeń.

W inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń można wyróżnić jako podstawowe następujące pary sprzężonych ze sobą współczynników inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń:

1. Emisja drogowa zanieczyszczenia i droga przebywana przez środki transportu.

Emisja drogowa zanieczyszczenia –  $b$  to pochodna emisji zanieczyszczenia ze środka transportu, traktowanej jako funkcja drogi –  $s$ , względem drogi przebywanej przez środek transportu:

$$b = \frac{dm}{ds} \quad (3)$$

Zatem krajowa emisja roczna zanieczyszczenia to:

$$E_a = \sum_{i=1}^N b_i \cdot S_i \quad (4)$$

gdzie:  $b_i$  – średnia względem drogi przebywanej w ciągu jednego roku inwentaryzacji emisja drogowa zanieczyszczenia z  $i$ -tego środka transportu,  
 $S_i$  – droga przebywana przez  $i$ -ty środek transportu w ciągu jednego roku inwentaryzacji,  
 $N$  – liczba środków transportu użytkowanych w państwie objętym inwentaryzacją zanieczyszczeń.

2. Wskaźnik emisji zanieczyszczenia i masowe zużycie paliwa

Wskaźnik emisji zanieczyszczenia to pochodna emisji zanieczyszczenia, traktowanej jako funkcja masowego zużycia paliwa –  $m_f$ , względem masowego zużycia paliwa:

$$W = \frac{dm}{dm_f} \quad (5)$$

Zatem krajowa emisja roczna zanieczyszczenia to:

$$E_a = \sum_{j=1}^M W_j \cdot m_{fj} \quad (6)$$

gdzie:  $W_j$  – średni względem masowego zużycia paliwa w ciągu jednego roku inwentaryzacji wskaźnik emisji zanieczyszczenia z  $j$ -tego obiektu,  
 $m_{fj}$  – masowe zużycie paliwa przez  $j$ -ty obiekt w ciągu jednego roku inwentaryzacji,  
 $M$  – liczba obiektów użytkowanych w państwie objętym inwentaryzacją zanieczyszczeń.

3. Energetyczny wskaźnik emisji zanieczyszczenia i zużycie energii



Energetyczny wskaźnik emisji zanieczyszczenia to pochodna emisji zanieczyszczenia, traktowanej jako funkcja zużycia energii –  $\Omega$ , względem zużycia energii:

$$WE = \frac{dm}{d\Omega} \quad (7)$$

Zatem krajowa emisja roczna zanieczyszczenia to:

$$E_a = \sum_{k=1}^K WE_k \cdot \Omega_k \quad (8)$$

gdzie:  $WE_k$  – średni względem zużycia energii w ciągu jednego roku inwentaryzacji wskaźnik energetyczny emisji zanieczyszczenia z k-tego obiektu,  
 $\Omega_k$  – zużycie energii przez k-ty obiekt w ciągu jednego roku inwentaryzacji,  
 $K$  – liczba obiektów użytkowanych w państwie objętym inwentaryzacją zanieczyszczeń.

4. Emisja jednostkowa zanieczyszczenia i praca wykonywana przez obiekt.

Emisja jednostkowa zanieczyszczenia to pochodna emisji zanieczyszczenia, traktowanej jako funkcja pracy wykonywanej przez obiekt –  $L$ , względem pracy wykonywanej przez obiekt:

$$e = \frac{dm}{dL} \quad (9)$$

Zatem krajowa emisja roczna zanieczyszczenia to:

$$E_a = \sum_{g=1}^G e_g \cdot L_g \quad (10)$$

gdzie:  $e_g$  – średnia względem pracy wykonywanej przez obiekt w ciągu jednego roku inwentaryzacji emisja jednostkowa zanieczyszczenia z g-tego obiektu,  
 $L_g$  – praca wykonywana przez g-ty obiekt w ciągu jednego roku inwentaryzacji,  
 $G$  – liczba obiektów użytkowanych w państwie objętym inwentaryzacją zanieczyszczeń.

5. Wskaźnik emisji zanieczyszczenia przy produkcji i wielkość charakteryzująca produkcję obiektu.

Wskaźnik emisji zanieczyszczenia przy produkcji to pochodna emisji zanieczyszczenia, traktowanej jako funkcja wielkości charakteryzującej produkcję –  $\Psi$ , względem wielkości charakteryzującej produkcję:

$$W\Psi = \frac{dm}{d\Psi} \quad (11)$$

Zatem krajowa emisja roczna zanieczyszczenia to:

$$E_a = \sum_{r=1}^R W\Psi_r \cdot \Psi_r \quad (12)$$

gdzie:  $W\Psi_r$  – średni względem wielkości charakteryzującej produkcję obiektu w ciągu jednego roku inwentaryzacji wskaźnik zanieczyszczenia przy produkcji z r-tego obiektu,  
 $\Psi_r$  – wielkość charakteryzująca produkcję obiektu w ciągu jednego roku inwentaryzacji,  
 $R$  – liczba obiektów produkujących w państwie objętym inwentaryzacją zanieczyszczeń.

6. Wskaźnik wielkościowy zanieczyszczenia i wielkość charakteryzująca wielkość obiektu.

Wskaźnik wielkościowy zanieczyszczenia to pochodna emisji zanieczyszczenia, traktowanej jako funkcja wielkości charakteryzującej wielkość obiektu –  $\Theta$ , względem wielkości charakteryzującej produkcję:

$$W_{\Theta} = \frac{dm}{d\Theta} \quad (13)$$

Zatem krajowa emisja roczna zanieczyszczenia to:

$$E_a = \sum_{u=1}^U W_{\Theta_u} \cdot \Theta_u \quad (14)$$

gdzie:  $W_{\Theta_u}$  – średni względem wielkości charakteryzującej wielkość obiektu w ciągu jednego roku inwentaryzacji wskaźnik wielkościowy zanieczyszczenia z  $u$ -tego obiektu,  
 $\Theta_u$  – wielkość charakteryzująca wielkość obiektu w ciągu jednego roku inwentaryzacji,  
 $U$  – liczba obiektów w państwie objętym inwentaryzacją zanieczyszczeń.

Parę współczynników inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń: emisja drogowa zanieczyszczenia i droga przebywana przez środki transportu stosuje się do inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń ze środków transportu.

Parę współczynników inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń:

- wskaźnik emisji zanieczyszczenia i masowe zużycie paliwa,
- energetyczny wskaźnik emisji zanieczyszczenia i zużycie energii

wykorzystuje się do inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń z obiektów stacjonarnych.

Para współczynników inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń: emisja jednostkowa zanieczyszczenia i praca wykonywana przez obiekt może być wykorzystana do inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń z urządzeń innych niż środki transportu, np. z maszyn roboczych.

Para współczynników inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń: wskaźnik zanieczyszczenia przy produkcji i wielkość charakteryzująca produkcję obiektu jest stosowana do inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń w produkcji, m.in. w przemyśle, rolnictwie, leśnictwie.

Para współczynników inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń: wskaźnik wielkościowy zanieczyszczenia i wielkość charakteryzująca wielkość obiektu znajduje zastosowanie do inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń z rozproszonych źródeł, np. z pól uprawnych czy z gospodarstw domowych.

W inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń ze źródeł cywilizacyjnych w Polsce w 2015 r. [16] wykorzystano metodykę zgodną z przewodnikiem Europejskiej Agencji Środowiska [11]. Krajową emisję roczną zanieczyszczeń z sektora transportu drogowego wyznaczono z zastosowaniem oprogramowania COPERT 4 [13]. Dane do oprogramowania COPERT przygotowano m.in. dzięki statystycznym informacjom o pojazdach samochodowych w Polsce – szczegółowy opis przyjętych danych wejściowych do oprogramowania znajduje się w publikacjach [6, 8].

## Wyniki badań

W tabeli 2 przedstawiono krajową emisję roczną wybranych zanieczyszczeń szkodliwych dla zdrowia organizmów żywych w Polsce w 2015 r.: ze wszystkich inwentaryzowanych źródeł – T oraz transportu drogowego – RT.

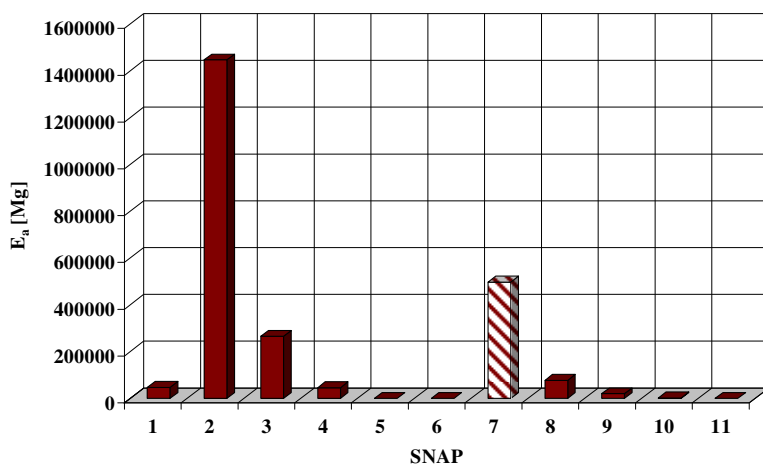
Tabela 2. Krajowa emisja roczna w Polsce w 2015 r.

	CO	NMVOC	PAH	NO <sub>x</sub>	TSP	PM10	PM2.5
	[Mg]						
T	2401347,1	530618,9	139,4	713803,8	317739,3	221115,6	124562,5
RT	497931,8	72051	0,9	213408,2	14384,5	11680,6	9798,7

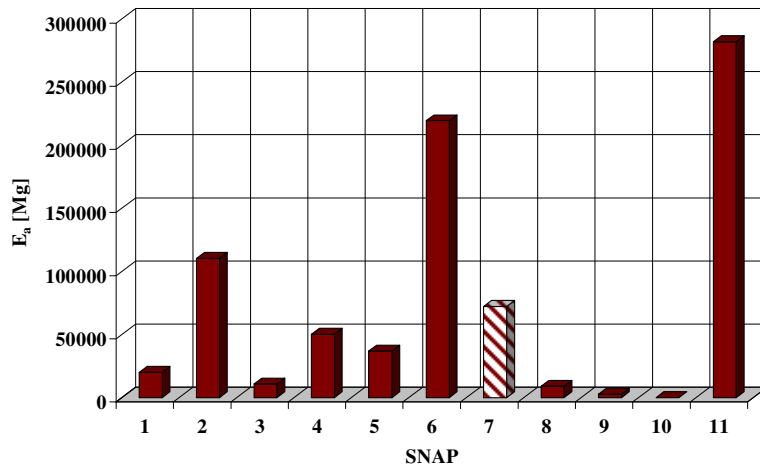
	BC	NH <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PCDD/F	HCB	PCB
	[Mg]			[g]	[kg]	
T	24432,8	267100,7	690260,2	290,2	13,3	678
RT	9798,7	4390,3	241,2	6,6	2,2	49,4

	Cd	Hg	Pb	As	Cr	Cu	Ni	Zn
	[kg]							
T	13472,8	10575,9	507849	43547,7	47292,7	415557	138532	1407130
RT	184	0	11711,3	0	4455,3	90426,5	791,8	61018,5

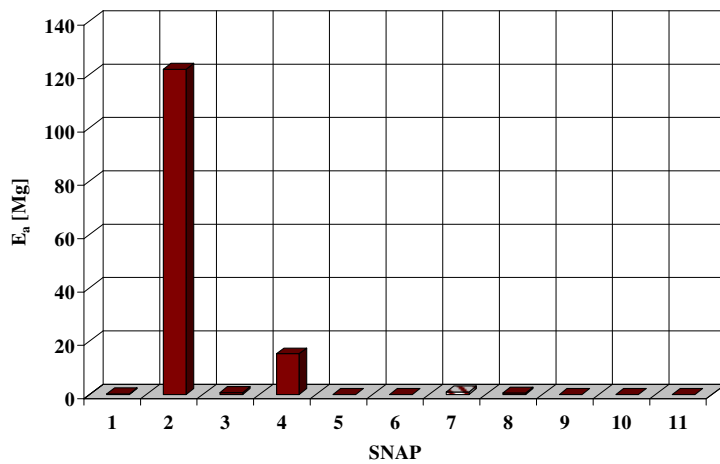
Na rysunkach 1–9 przedstawiono krajową emisję roczną wybranych substancji: w wartościach bezwzględnych i jako udziału emisji z poszczególnych kategorii źródeł emisji – na wykresach wyróżniono źródło emisji zanieczyszczeń – transport drogowy.



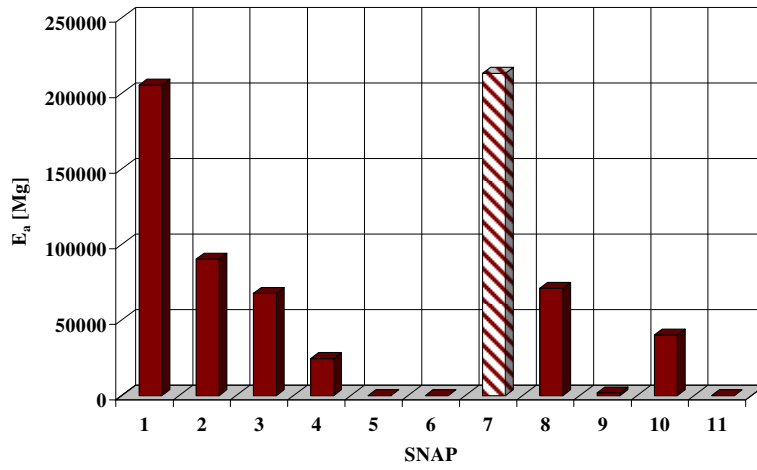
Rys. 1. Krajowa emisja roczna tlenku węgla



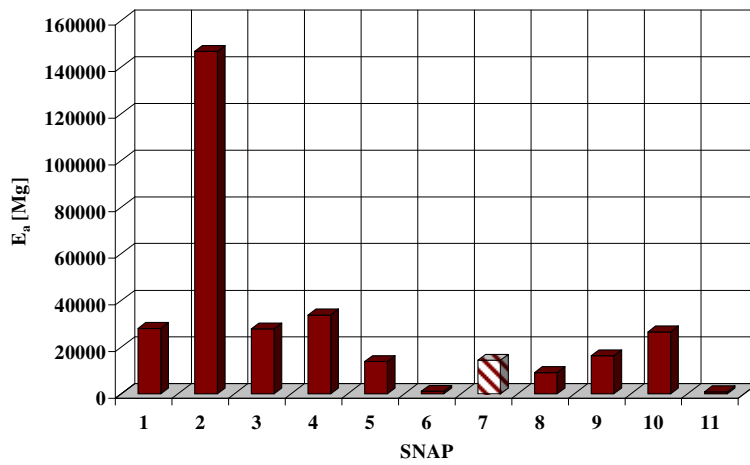
Rys. 2. Krajowa emisja roczna niemetanowych lotnych związków organicznych



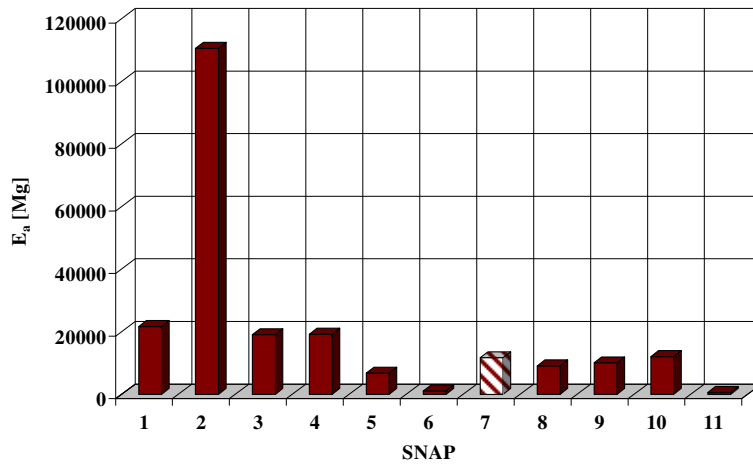
Rys. 3. Krajowa emisja roczna wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych



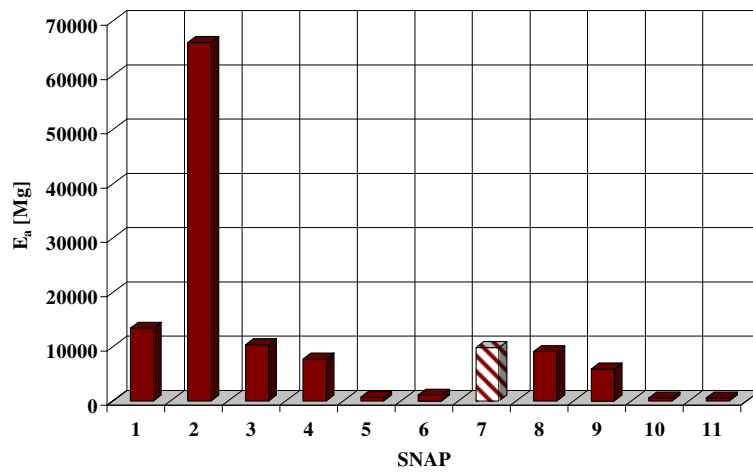
Rys. 4. Krajowa emisja roczna tlenków azotu



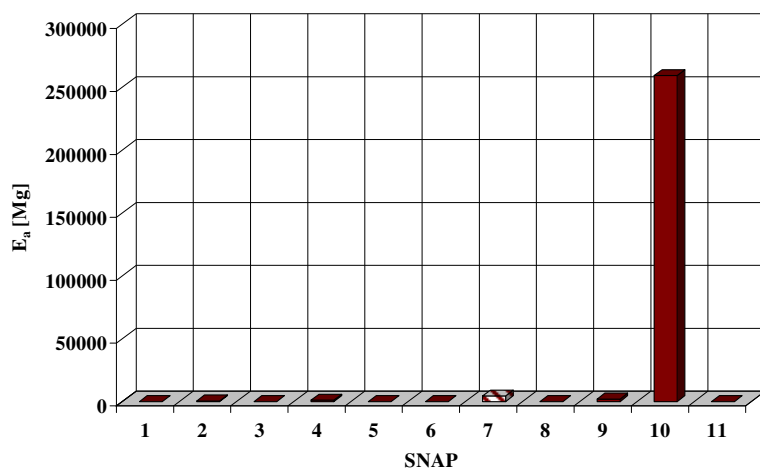
Rys. 5. Krajowa emisja roczna cząstek stałych



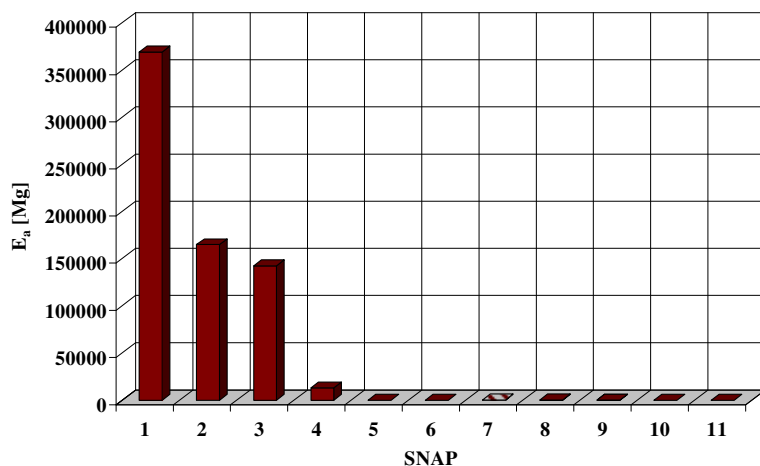
Rys. 6. Krajowa emisja roczna cząstek stałych PM10



Rys. 7. Krajowa emisja roczna cząstek stałych PM2.5



Rys. 8. Krajowa emisja roczna amoniaku

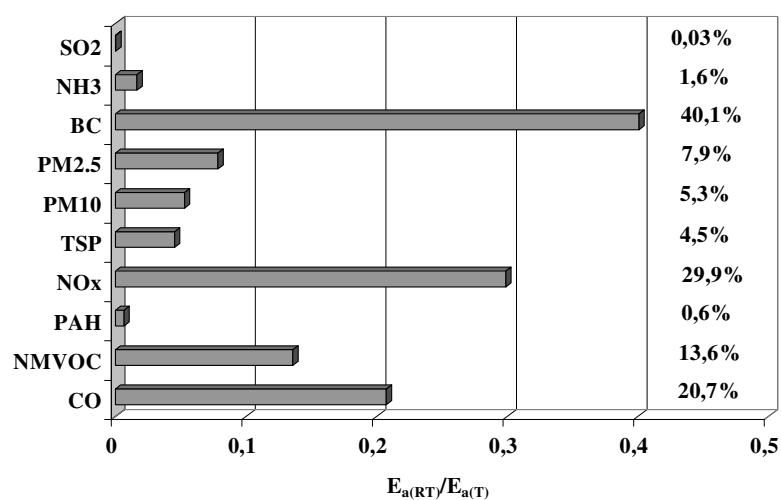


Rys. 9. Krajowa emisja roczna dwutlenku siarki

Jest wyraźnie widoczne, jak duże jest zróżnicowanie udziału krajowej emisji rocznej poszczególnych substancji z sektora transportu drogowego krajowej emisji rocznej zanieczyszczeń ze wszystkich inwentaryzowanych źródeł. Spośród przedstawianych wartości krajowej emisji rocznej substancji jedynie w wypadku tlenków azotu ten udział jest największy ze wszystkich źródeł. Istotny jest również udział transportu w emisji niemetalowych lotnych związków organicznych. Potwierdza to fakt, że podstawową przyczyną smogu fotochemicznego w wielkich aglomeracjach miejskich jest transport drogowy. Jednak emisja bardzo groźnych dla

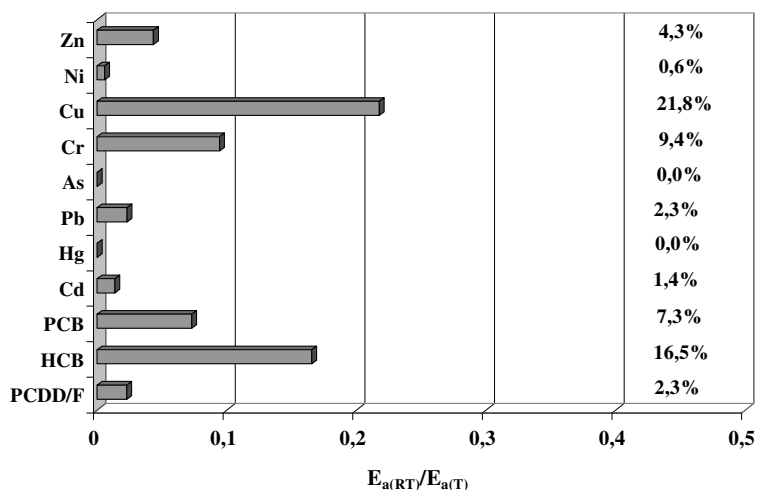
zdrowia wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych jest z pojazdów samochodowych niewielka. Również udział emisji pyłów, pochodzących z transportu drogowego, jest niewielki. Uwzględniając dodatkowo znikomą emisję tlenków siarki z pojazdów samochodowych, można stwierdzić, że obarczanie transportu drogowego odpowiedzialnością za smog londyński jest zazwyczaj nie uzasadniony.

Na rysunkach 10 i 11 przedstawiono udział krajowej emisji rocznej zanieczyszczeń z transportu drogowego w krajowej emisji rocznej zanieczyszczeń ze wszystkich inwentaryzowanych źródeł emisji.



Rys. 10. Udział krajowej emisji rocznej zanieczyszczeń z transportu drogowego w krajowej emisji rocznej zanieczyszczeń ze wszystkich inwentaryzowanych źródeł emisji





Rys. 11. Udział krajowej emisji rocznej zanieczyszczeń z transportu drogowego w krajowej emisji rocznej zanieczyszczeń ze wszystkich inwentaryzowanych źródeł emisji

Największy udział – 40% jest w wypadku sadzy, co wynika z faktu, że podstawowym składnikiem cząstek stałych z układów wylotowych silników spalinowych jest frakcja węglowa. Dla tlenków azotu badany udział wynosi około 30%. Udział w wypadku tlenku węgla jest równy około 20%, a niemetanowych lotnych związków organicznych – prawie 14%. Mały jest udział dla metali ciężkich, z wyjątkiem miedzi – około 22%. Znikomy jest udział dla tlenków siarki – 0,03%, co wynika z wprowadzenia po 1990 r. praktycznie beziarkowych paliw – podstawowym powodem wprowadzenia takich paliw były wymagania ze strony katalitycznych systemów oczyszczania spalin [5]. Podobny powód był w wypadku wprowadzenia w tym samym czasie benzyn bezołowiowych – konsekwencji udział transportu drogowego w emisji ołowiu jest bardzo mały (2,3%).

## Podsumowanie

W artykule zostało przedstawione autorskie uogólnienie metodyki stosowanej w inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń ze źródeł cywilizacyjnych.

W podsumowaniu oceny udziału transportu drogowego w emisji zanieczyszczeń można sformułować następujące wnioski:

1. Spośród najważniejszych zagrożeń środowiska w związku z emisją ze źródeł cywilizacyjnych substancji szkodliwych dla zdrowia transport drogowy jest przede wszystkim odpowiedzialny za emisję tlenków azotu. Jest to czynnik sprzyjający zagrożeniu występowania w okresie letnim w wielkich aglomeracjach miejskich smogu fotochemicznego. Warto jednak zwrócić uwagę, że dzięki nowym rozwiązaniom technicznym udało się znacznie ograniczyć emisję tlenków azotu z silników spalinowych [5, 21, 22] – w związku z tym krajowa emisja roczna tlenków azotu w Polsce już od 2007 r. zmniejsza się, mimo znacznego przyrostu liczby samochodów oraz intensyfikacji ich użytkowania [6].

2. Stosunkowo mały jest wkład motoryzacji w zanieczyszczenie powietrza cząstkami stałymi. Decydującym źródłem emisji pyłów jest energetyka, szczególnie rozproszone źródła emisji, co potwierdzają badania stężeń pyłów w zależności od pór roku i związanych z tym sezonami grzewczymi [9, 10]. Należy jednak pamiętać, że lokalnie w okolicach arterii komunikacyjnych stężenie pyłów jest silnie skorelowane z natężeniem emisji cząstek stałych z pojazdów samochodowych [9, 10].
3. Szczególnie korzystnym zjawiskiem jest bardzo mała emisja z sektora transportu drogowego jednego z najpoważniejszych zanieczyszczeń powietrza – tlenków siarki. Osiągnięto to dzięki powszechnemu wprowadzeniu niskosiarkowych paliw.
4. Mały jest również wpływ transportu drogowego na emisję ołowiu – dzięki wprowadzeniu do eksploatacji paliw bezołowiowych.

Analiza wyników inwentaryzacji zanieczyszczeń z innych państw [1, 3, 4, 12, 13, 17–20] umożliwia sformułowanie podobnych wniosków – znaczny postęp techniczny w przemyśle motoryzacyjnym wydatnie przyczynił się do zmniejszenia zagrożenia środowiska przez transport drogowy.

### Piśmiennictwo

- [1] 1990–2015. Air pollutant emission inventory report. Environment and Climate Change Canada. 2016.  
<http://www.ec.gc.ca/Pollution/A17452DA-CFC0-4222-985F-36B12FCBAA0B/APEI2017-E-Feb%2015%202017.pdf>.
- [2] 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.  
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. (2016–12–06).
- [3] 2014 National Emissions Inventory, version 1 Technical Support Document. U.S. Environmental Protection Agency December 2016.  
[https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/nei2014v1\\_tsd.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/nei2014v1_tsd.pdf).
- [4] Air pollutant emissions data viewer (LRTAP Convention).  
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/air-emissions-viewer-lrtap>.
- [5] AVL Emission Testing Handbook 2016.
- [6] BEBKIEWICZ K, CHŁOPEK Z, SZCZEPAŃSKI K, ZIMAKOWSKA-LASKOWSKA M. Estimating pollutant emission from motor vehicles in the years 2000–2015. *Combustion Engines* 2017; 171(4): 62–67.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] CHŁOPEK Z, ŻEGOTA M. The emission of particulate matter PM10 from vehicles. *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2004; 21(1): 3–13.
- [10] CHŁOPEK Z. Testing of hazards to the environment caused by particulate matter during use of vehicles. *Eksplatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2012; 14(2): 160–170.
- [11] EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2016. European Environment Agency.

- <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>. (2016–12–06).
- [12] European Union emission inventory report 1990–2014 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP). EEA Report No 16/2016. <https://www.eea.europa.eu/publications/lrtap-emission-inventory-report-2016>.
- [13] 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.
- [14] MARECKOVA K, PINTERITS M, TISTA M, WANKMUELLER R. Inventory Review 2016. Review of emission data reported under the LRTAP Convention and NEC Directive. Umweltbundesamt GmbH, Vienna, 2016. [http://www.ceip.at/fileadmin/site/ueberuns/DP-148\\_InventoryReport\\_2016\\_final.pdf](http://www.ceip.at/fileadmin/site/ueberuns/DP-148_InventoryReport_2016_final.pdf)
- [15] MARECKOVA K et al. 2016. Methodologies applied to the technical review of emission data. [https://www.ceip.at/fileadmin/inhalte/emep/pdf/20154/methodology\\_report2016.pdf](https://www.ceip.at/fileadmin/inhalte/emep/pdf/20154/methodology_report2016.pdf).
- [16] 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.
- [17] Profile of version 1 of the 2014 national emissions inventory U.S. EPA 2014 NEI Version 1.0 Office of Air Quality Planning and Standards Emissions Inventory and Analysis Group. April 2017. [https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-04/documents/2014neiv1\\_profile\\_final\\_april182017.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-04/documents/2014neiv1_profile_final_april182017.pdf).
- [18] 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.
- [19] 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).
- [20] 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).
- [21] Worldwide emission standards. Heavy duty & off-road vehicles. Delphi. Innovation for the real world. 2015/2016.
- [22] Worldwide emission standards. Passenger cars and light duty vehicles. Delphi. Innovation for the real world. 2016/2017.

### Ważniejsze oznaczenia

CO	carbon monoxide	tlenek węgla
NMVOC	Non-Methane Volatile Organic Compounds	niemetanowe lotne związki organiczne
PAH	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne
NO <sub>x</sub>	nitrogen oxides	tlenki azotu
TSP	Total Suspended Particles	całkowite cząstki zawieszone
PM10	Particulate Matter 10	cząstki stałe PM10 z trybologicznych węzłów samochodów
PM2.5	Particulate Matter 2.5	cząstki stałe PM2.5 z trybologicznych węzłów samochodów
BC	Black Carbon	sadza
NH <sub>3</sub>	ammonia	amoniak
SO <sub>2</sub>	sulphur dioxide	dwutlenek azotu
PCDD/F	PolyChlorinated Dibenzo-p-Dioxin and polychlorinated dibenzoFuran	polichlorowane dioksyny i furany
HCB	HexaChloroBenzene	heksachlorobenzen
PCB	PolyChloroBiphenyl	polichlorowane bifenyle
Cd	cadmium	kadm
Hg	mercury	rtęć
Pb	lead	ołów
As	arsenic	arsen
Cr	chrome	chrom
Cu	copper	miedź
Ni	nickel	nikiel
Zn	zinc	cynk
SNAP	Selected Nomenclature for sources of Air Pollution	wybrane nazewnictwo źródeł zanieczyszczeń powietrza
E <sub>a</sub>	national annual emission	krajowa emisja roczna
(RT)	Road Transport	transport drogowy
(T)	Total emission sources	całkowite inwentaryzowane źródła emisji

