

**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.



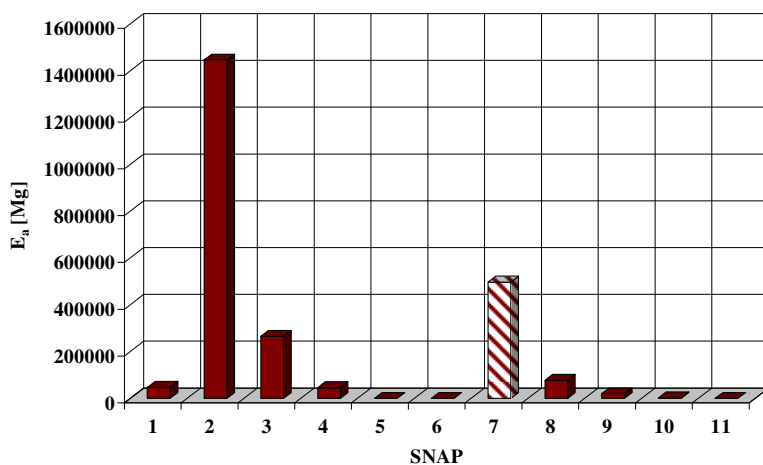
Tabela 2. Krajowa emisja roczna w Polsce w 2015 r.

	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

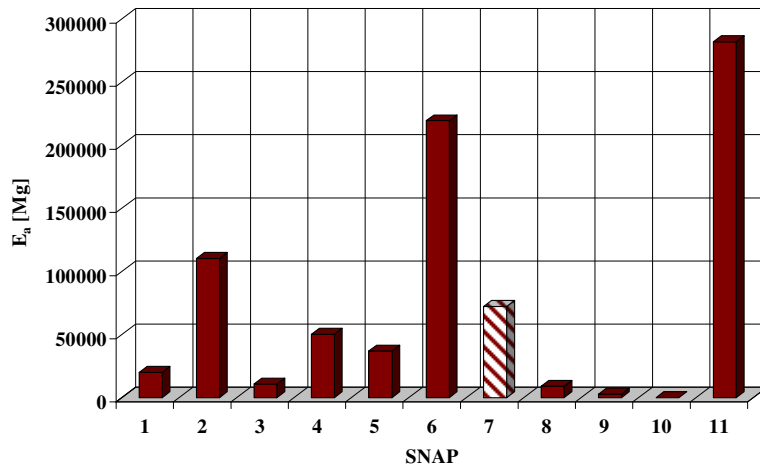
	BC	NH <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	PCDD/F	HCB	PCB
	[Mg]			[g]	[kg]	
T	24432,8	267100,7	690260,2	290,2	13,3	678
RT	9798,7	4390,3	241,2	6,6	2,2	49,4

	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

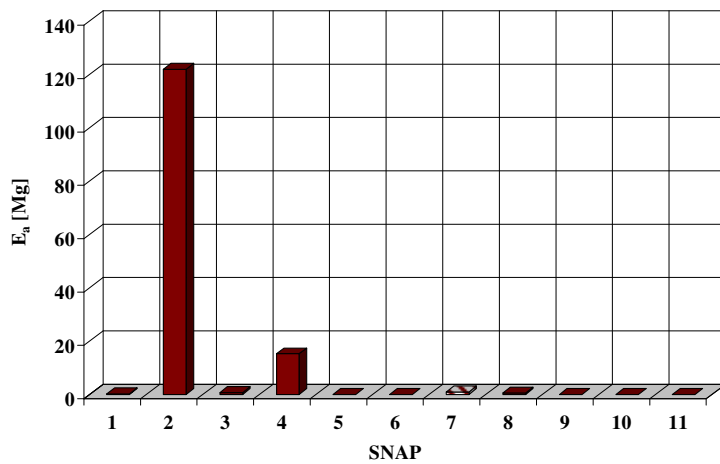
Na rysunkach 1–9 przedstawiono krajową emisję roczną wybranych substancji: w wartościach bezwzględnych i jako udziału emisji z poszczególnych kategorii źródeł emisji – na wykresach wyróżniono źródło emisji zanieczyszczeń – transport drogowy.



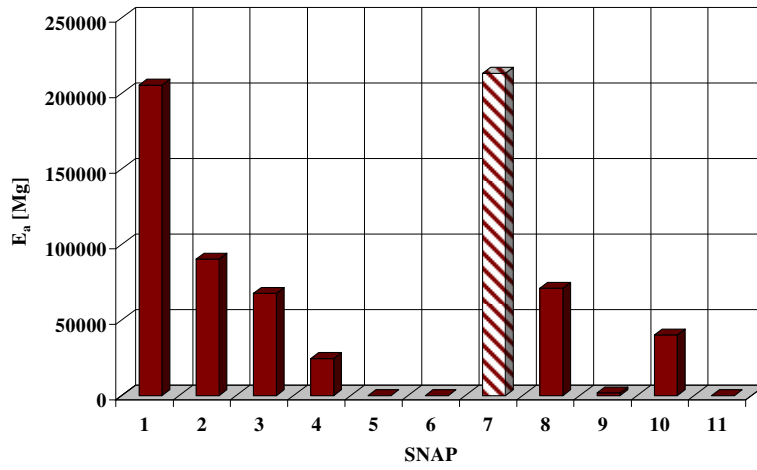
Rys. 1. Krajowa emisja roczna tlenku węgla



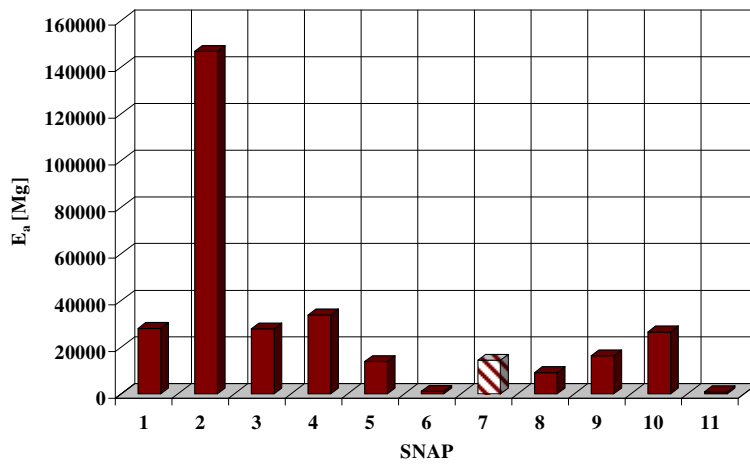
Rys. 2. Krajowa emisja roczna niemetanowych lotnych związków organicznych



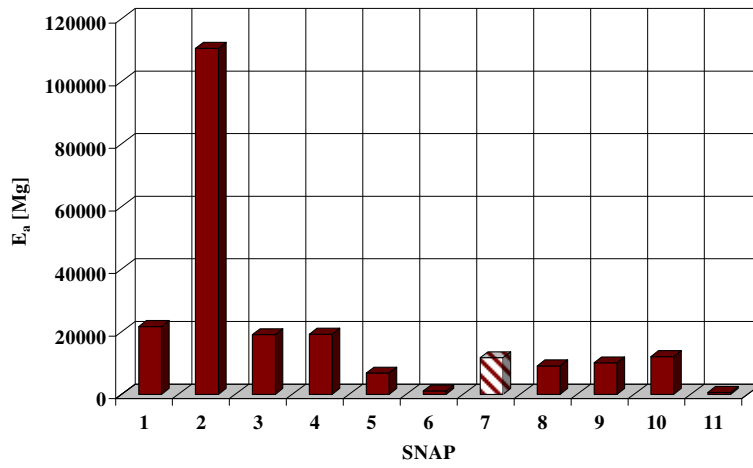
Rys. 3. Krajowa emisja roczna wielopierścieniowych węglodorów aromatycznych



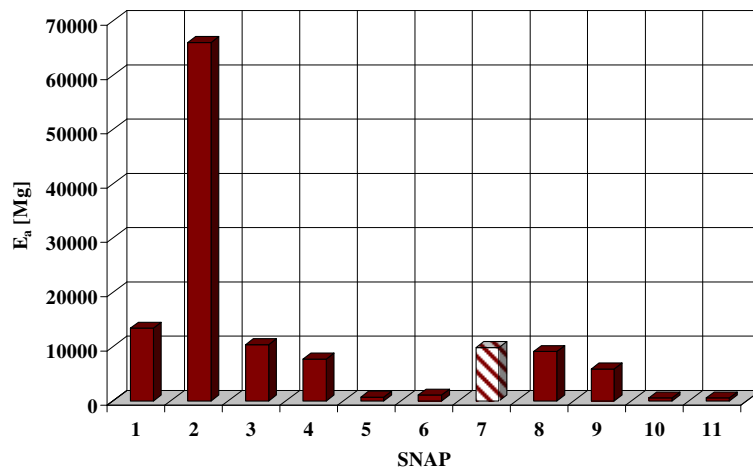
Rys. 4. Krajowa emisja roczna tlenków azotu



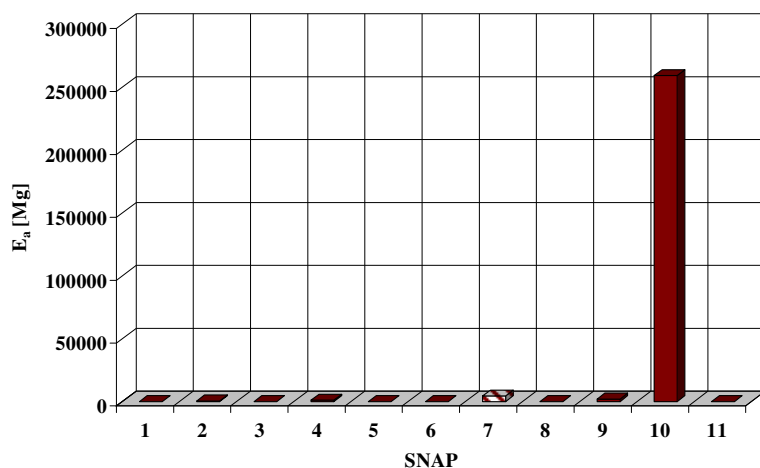
Rys. 5. Krajowa emisja roczna cząstek stałych



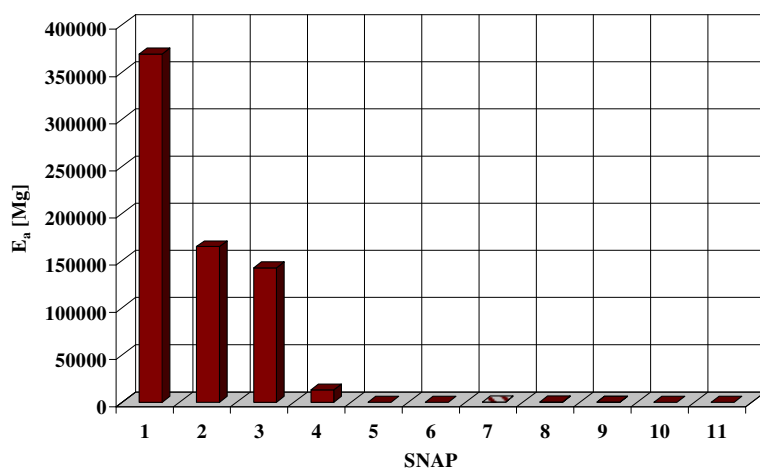
Rys. 6. Krajowa emisja roczna cząstek stałych PM10



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



Rys. 8. Krajowa emisja roczna amoniaku

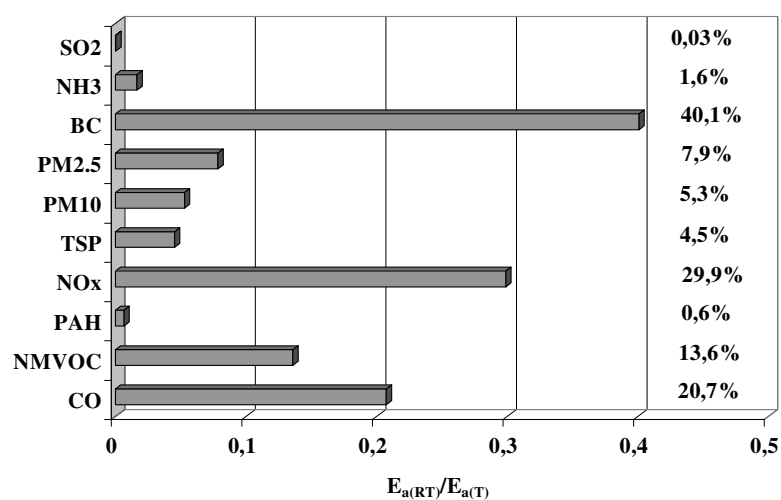


Rys. 9. Krajowa emisja roczna dwutlenku siarki

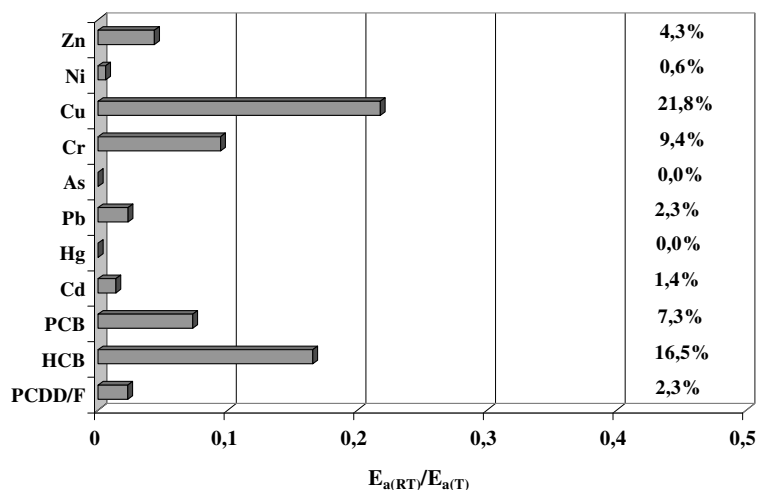
Jest wyraźnie widoczne, jak duże jest zróżnicowanie udziału krajowej emisji rocznej poszczególnych substancji z sektora transportu drogowego krajowej emisji rocznej zanieczyszczeń ze wszystkich inwentaryzowanych źródeł. Spośród przedstawianych wartości krajowej emisji rocznej substancji jedynie w wypadku 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. *Eksploracja 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. *Eksploracja 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

