

Article citation info:

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

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

**KATARZYNA BEBKIEWICZ¹, ZDZISŁAW CHŁOPEK²,
KRYSTIAN SZCZEPAŃSKI³, MAGDALENA
ZIMAKOWSKA-LASKOWSKA⁴**

Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy

Streszczenie

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

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

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

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

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

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

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

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

Wstęp

Inwentaryzacja emisji zanieczyszczeń pochodzenia cywilizacyjnego jest systematycznie prowadzona od kilkadziesiąt lat w skali zarówno poszczególnych państw i ich wyodrębnionych obszarów, jak i w skali światowej. Jedną z pierwszych europejskich inicjatyw w tym zakresie były działania podjęte w ramach działania CORINAIR (ang. *Core Inventory of Air Emissions* – inwentaryzacja emisji do powietrza) [19] – Polska uczestniczyła w pracach CORINAR-u już od początku lat 90-tych XX w. W ramach europejskich programów naukowych podjęto wiele przedsięwzięć związanych z emisją zanieczyszczeń z sektora transportu drogowego, m.in. COST⁵ 319 „*Estimation of pollutant emissions from transport*” (Oszacowanie emisji zanieczyszczeń pochodzących z transportu) [14] i MEET (ang. *Methodology for Calculating Transport Emissions and Energy Consumption* – Metodyka obliczania emisji i zużycia energii w transporcie) [15]. Zostały również opracowane narzędzia informatyczne do wspomagania inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń i zużycia paliwa w sektorze transportu drogowego, przede wszystkim program COPERT (ang. *Calculation of Emissions from Road Transport* – Obliczanie emisji zanieczyszczeń z transportu drogowego) [20].

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

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

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

W niniejszym artykule są przedstawiane wyniki badań inwentaryzacji krajowej emisji zanieczyszczeń z zastosowaniem oprogramowania COPERT 4⁶ [13, 15]. Obowiązek raportowania emisji zanieczyszczeń wynika z Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (ang: *United Nations Framework Convention on Climate Change* – UNFCCC lub FCCC). W celu ujednoczenia wyników emisji zanieczyszczeń, została opracowana pod patronatem Europejskiej Agencji Środowiska (EEA – *European Environment Agency*) metodyka – jednakowa dla wszystkich państw członkowskich, opisana w wytycznych IPCC 2006 [1] oraz EMEP/EEA [14]. Model COPERT jest oprogramowaniem opartym na tej preferowanej w Unii Europejskiej metodyce.

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

Zasady modelowania emisji zanieczyszczeń i zużycia paliw w sektorze transportu drogowego

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

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

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

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

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

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

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

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

⁶ Od października 2016 r. jest już udostępniona wersja oprogramowania COPERT 5.

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

- samochody osobowe – *Passenger Cars* – PC:
 - samochody osobowe z silnikami o zapłonie iskrowym na benzynę – PC-SI-G,
 - samochody osobowe z silnikami o zapłonie iskrowym na skroplony gaz ropopochodny – PC-SI-LPG,
 - samochody osobowe z silnikami o zapłonie samoczynnym – PC-CI;
- lekkie samochody ciężarowe (samochody dostawcze) – *Light Commercial Vehicles* – LCV:
 - lekkie samochody ciężarowe z silnikami o zapłonie iskrowym – LCV-SI,
 - lekkie samochody ciężarowe z silnikami o zapłonie samoczynnym – LCV-CI;
- samochody ciężarowe – *Heavy Duty Trucks* – HDT:
 - samochody ciężarowe nieprzegubowe (samochody ciężarowe skrzyniowe) – HDT-R,
 - samochody ciężarowe przegubowe (ciągniki siodłowe, ciągniki balastowe) – HDT-A;
- autobusy miejskie – *Urban Buses* – UB;
- autobusy dalekobieżne – *Coaches* – C;
- motocykle – *Motorcycles* – Mc;
- motorowery⁷ – *Mopeds* – Mp.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Podstawowymi substancjami⁸, których emisja może być wyznaczana w oprogramowaniu COPERT 4, są [13–15, 23]:

- tlenek węgla – CO,
- lotne związki organiczne – LZO (ang. *Volatile Organic Compounds* – VOC),
- niemetanowe lotne związki organiczne – NMLZO (ang. *Non-Methane Volatile Organic Compounds* – NMVOC),
- metan – CH₄,
- grupy związków organicznych, m.in.: alkany, alkeny, alkiny, furany, aldehydy, ketony, cykloalkany, aromaty, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne –WVA (ang. *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* – PAH).
- tlenki azotu – NO_x,
- tlenek azotu – NO,
- dwutlenek azotu – NO₂,
- podtlenek azotu – N₂O,
- amoniak – NH₃,
- cząstki stałe PM z układu wylotowego silnika spalinowego,
- cząstki stałe PM₁₀,
- cząstki stałe PM_{2.5},

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

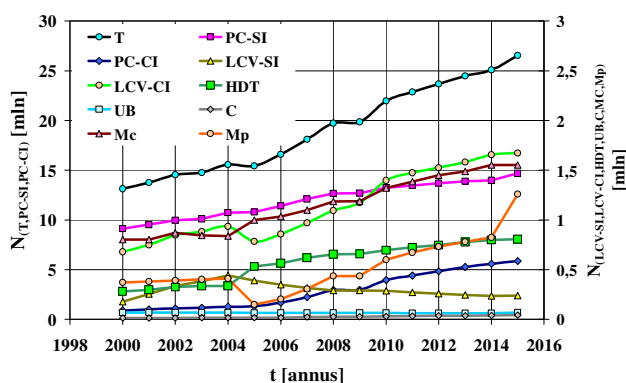
- sadza – BC (ang. *Black Carbon*),
- dwutlenek węgla – CO₂,
- ołów i jego związki sprowadzone do ołowiu – Pb,
- tlenki siarki, sprowadzone do tlenku siarki – SO₂,
- metale ciężkie: Cd, Cr, Cu, Ni, Se, Zn.

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

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

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

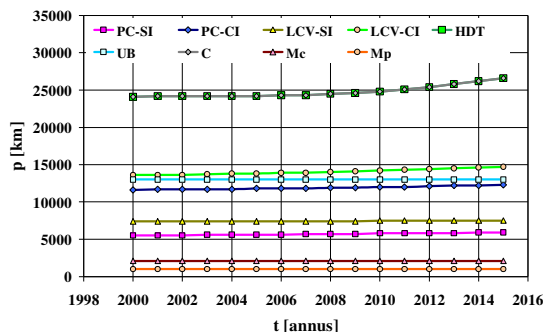
Na rysunku 1 przedstawiono licznosc pojazdów kategorii skumulowanych. Licznosc pojazdów samochodowych przyjętych kategorii skumulowanych wyznaczono dla lat 2000–2014 na podstawie danych zawartych w Systemie Informatycznym Centralnej Ewidencji Pojazdów i Kierowców (CEPiK), a dla 2015 r. na podstawie danych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



Rys. 1. Licznosc pojazdów kategorii skumulowanych

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

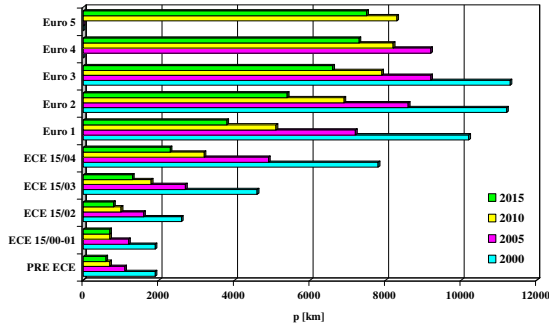
- pracy przewozowej,
- liczbie zarejestrowanych samochodów,
- średniej wartości wskaźników techniczno-eksploatacyjnych charakteryzujących pracę transportu samochodowego (np. liczby osób przewożonych pojazdem, wskaźnika wykorzystania taboru itp.).



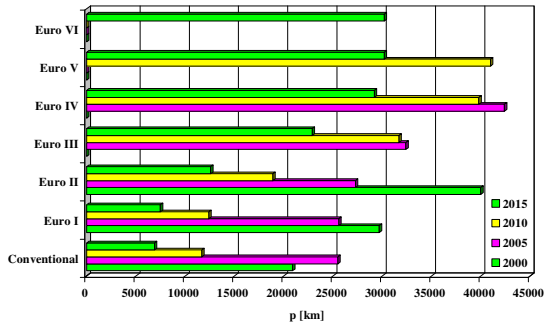
Rys. 2. Przebieg roczny pojazdów kategorii skumulowanych

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

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

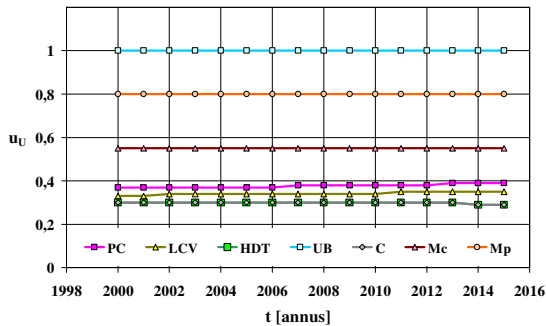


Rys. 3. Średni przebieg roczny samochodów osobowych z silnikami o zapłonie iskrowym o objętości skokowej zawartej w granicach $(1,4 \div 2) \text{ dm}^3$ w kategoriach ekologicznych

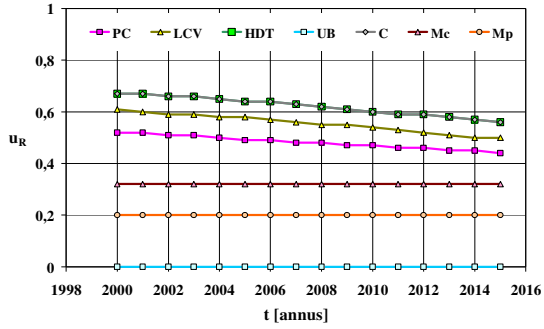


Rys. 4. Średni przebieg roczny ciągników siodłowych o masie maksymalnej zawartej w granicach $(40 \div 50) \text{ Mg}$ w kategoriach ekologicznych

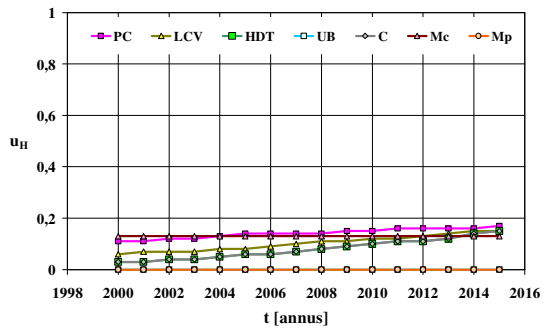
Na rysunkach 5–7 przedstawiono przyjęte udziały drogi przebywanej przez pojazdy kategorii skumulowanych w modelowych warunkach ruchu w miastach, poza miastami oraz na autostradach i drogach ekspresowych [9].



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

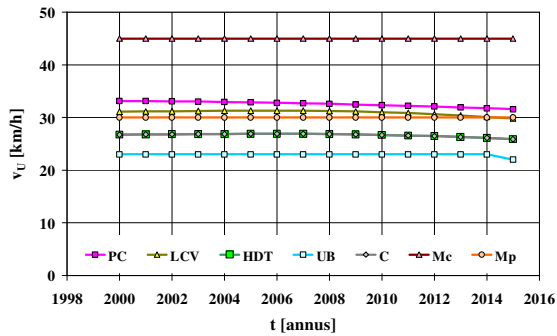


Rys. 6. Udział drogi przebywanej przez pojazdy kategorii skumulowanych w modelowych warunkach ruchu poza miastami

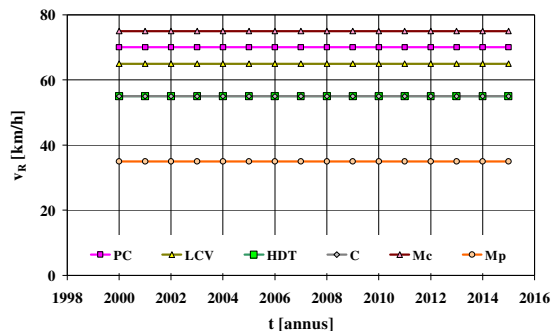


Rys. 7. Udział drogi przebywanej przez pojazdy kategorii skumulowanych w modelowych warunkach ruchu na autostradach i drogach ekspresowych

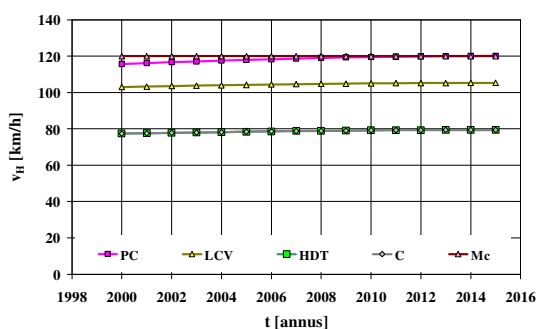
Na rysunkach 8–10 przedstawiono przyjętą średnią prędkość jazdy pojazdów kategorii skumulowanych w modelowych warunkach ruchu w miastach, poza miastami oraz na autostradach i drogach ekspresowych [9].



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



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



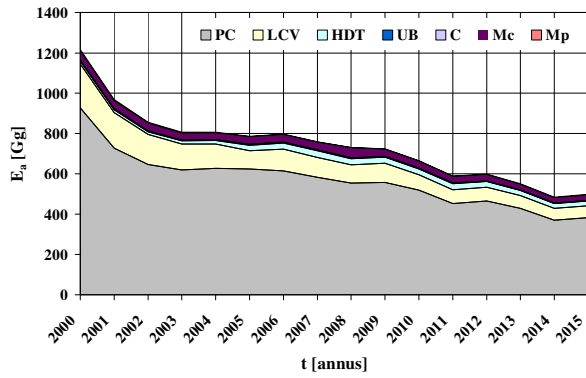
Rys. 10. Prędkość średnia pojazdów kategorii skumulowanych w modelowych warunkach ruchu na autostradach i drogach ekspresowych

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

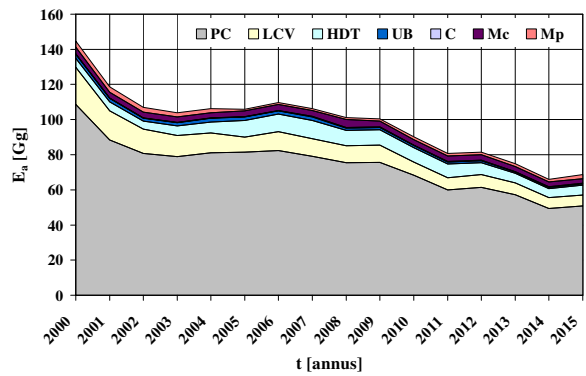
Wyniki inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń w sektorze transportu drogowego w Polsce w latach 2000–2015

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

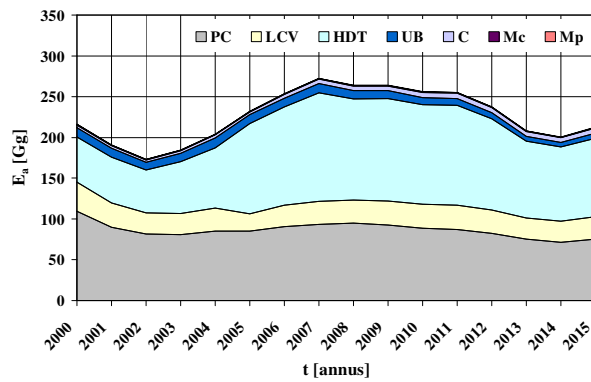
Na rysunkach 11–17 przedstawiono wyniki inwentaryzacji emisji zanieczyszczeń w sektorze transportu drogowego w Polsce w latach 2000–2015: krajową emisję roczną wybranych zanieczyszczeń.



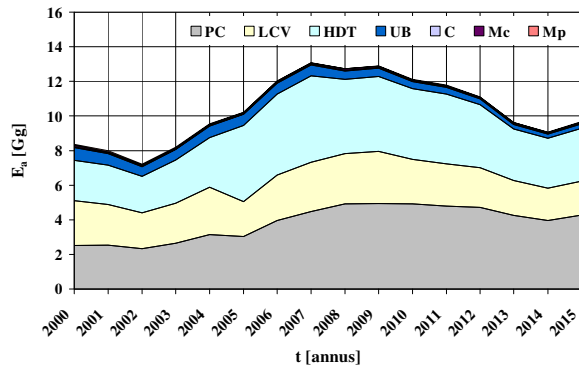
Rys. 11. Krajowa emisja roczna tlenku węgla z pojazdów skumulowanych kategorii



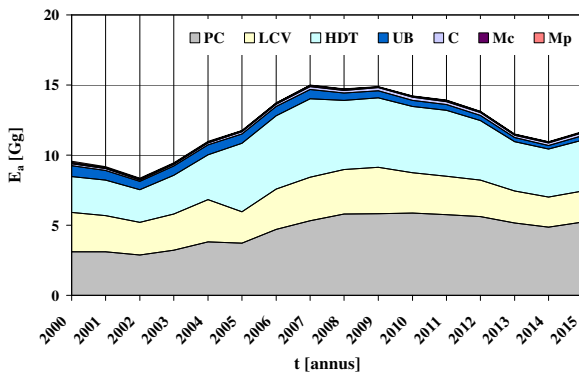
Rys. 12. Krajowa emisja roczna lotnych związków organicznych z pojazdów skumulowanych kategorii



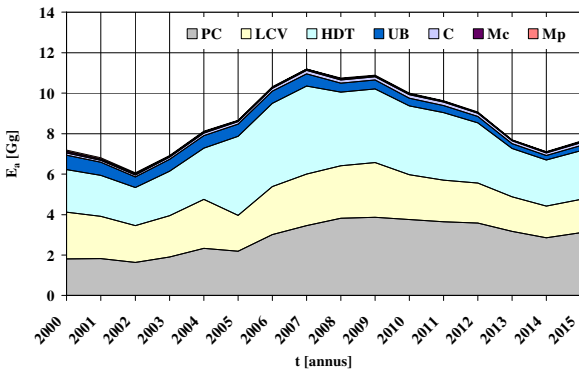
Rys. 13. Krajowa emisja roczna tlenków azotu z pojazdów skumulowanych kategorii



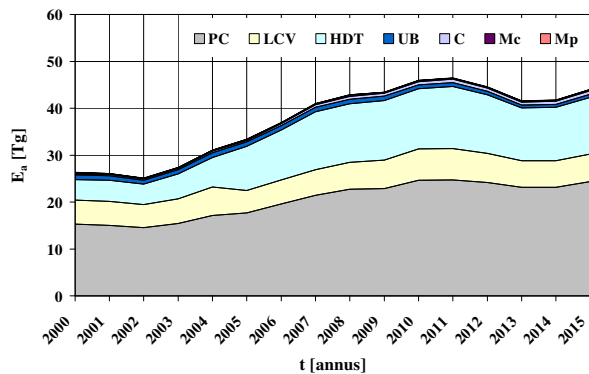
Rys. 14. Krajowa emisja roczna cząstek stałych PM2.5 z par trybologicznych pojazdów skumulowanych kategorii



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



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



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

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

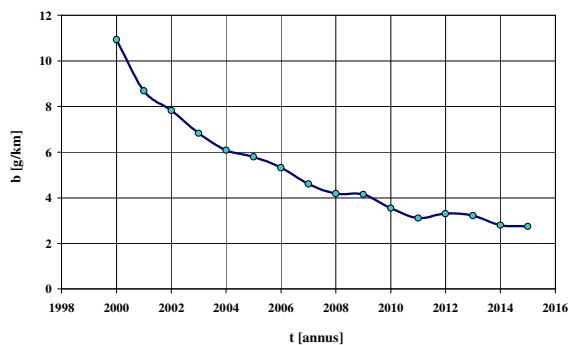
Jest charakterystyczny dominujący udział samochodów osobowych w emisji tlenku węgla, lotnych związków organicznych oraz dwutlenku węgla. W wypadku tlenków azotu i cząstek stałych znaczący jest udział samochodów ciężarowych.

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

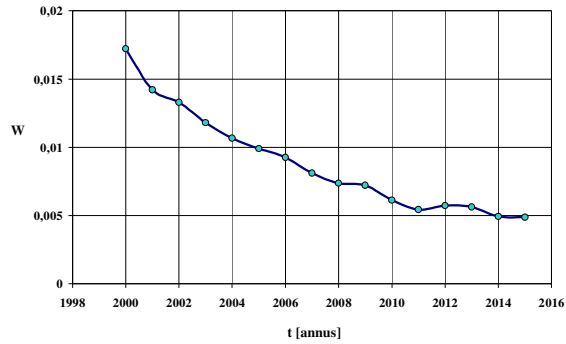
Wskaźnik emisji – W_x zanieczyszczenia „x” jest pochodną emisji zanieczyszczenia – m_x względem masy zużywanego paliwa – m_f [10].

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

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



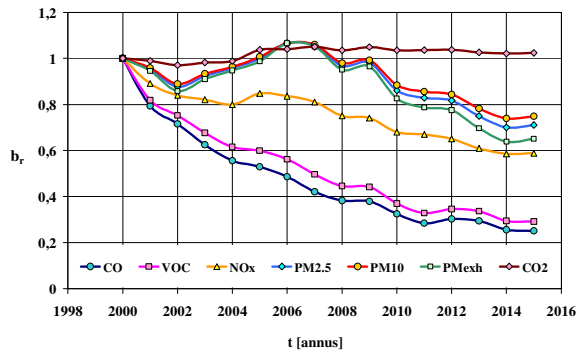
Rys. 18. Średnia emisja drogową tlenku węgla z umownego pojazdu



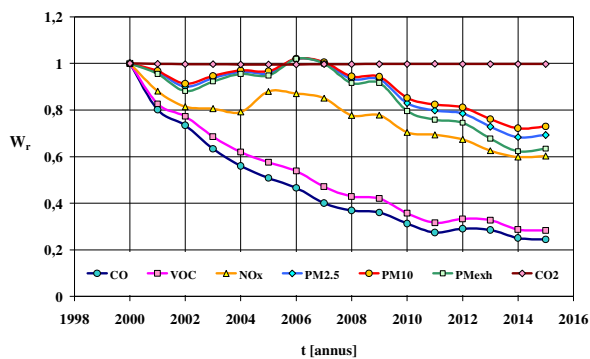
Rys. 19. Średni wskaźnik emisji tlenku węgla z umownego pojazdu

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

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



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



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

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

Podsumowanie

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

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

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

Oczywiście – mimo niekwestionowanej przewidywanej intensyfikacji transportu drogowego – krajowa emisja roczna zanieczyszczeń powinna się w dalszym ciągu zmniejszać, przede wszystkim na skutek korzystnej zmiany struktury ekologicznej pojazdów, np. zwiększania się liczności pojazdów z napędami hybrydowymi. W wypadku rozpatrywania zmiany struktury pojazdów z uwzględnieniem samochodów z napędami elektrycznymi, analiza krajowej emisji rocznej jest bardziej skomplikowana, jest bowiem konieczne rozpatrywanie nie tylko sektora transportu drogowego, lecz także energetyki w zakresie wytwarzania i dystrybucji energii elektrycznej [11]. Innym problemem ekologicznej oceny sektora transportu drogowego jest analiza cyklu istnienia pojazdów LCA (ang. Life Cycle Assessment – ocena cyklu życia⁹) [7].

Literatura

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

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

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

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

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

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