



Raport końcowy Final Report

Praca badawcza
Research work

Opracowanie metodyki i oszacowanie kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego ze środków transportu drogowego na poziomie kraju

Development of the methodology and estimation of the external costs of air pollution emitted from road transport at national level

Praca powstała na podstawie umowy nr 20/BR/POPT/CBiES/2017 zawartej dnia 18 lipca 2017 r. pomiędzy GUS a CBiES w ramach Projektu Programu Operacyjnego Pomoc Techniczna 2014–2020



Szczecin 2018

Centrum Badań i Edukacji Statystycznej GUS

Jachranka 81 k/Warszawy, 05-140 Serock
tel. 22 768 14 84
jachranka@stat.gov.pl
cbies.stat.gov.pl



Jednostka opracowująca raport

The unit preparing the report

Centrum Badań i Edukacji Statystycznej GUS
Research and Statistical Education Centre

Zespół realizujący II etap pracy badawczej

Team implementing the second stage of research work

Eksperci zewnętrzni

External experts

Prof. nzw. dr hab. inż. Wojciech Gis, Jakub Maśkiewicz, prof. UG dr hab. Barbara Pawłowska,
dr inż. Mariusz Trela, dr inż. Andrzej Żółtowski

Zespół badawczy

Research group

Magdalena Wegner, Anna Andrychowska, Anna Bawelska, Katarzyna Bącela, Justyna Brzezińska,
Damian Budny, Izabela Grzonka, dr Magdalena Mojsiewicz, Agnieszka Ozdoba, Maria Pauter,
Małgorzata Radlińska, Grzegorz Schodowski, Robert Szczykutowicz

Prace redakcyjne

Editorial work

Ewa Aleksandra Kacperczyk

Tłumaczenie

Translation

Ewelina Konarska-Michalczyk

Skład i opracowanie graficzne

Typesetting and graphics

Jerzy Karolak

Raport dostępny na <http://stat.gov.pl>

Przy publikowaniu danych GUS prosimy o podanie źródła



Przedmowa

Transport odgrywa kluczową rolę w nowoczesnej gospodarce, umożliwiając zaspokajanie popytu na usługi przemieszczania osób i rzeczy. Rozwój systemu transportowego oddziałuje na rozwój społeczno-gospodarczy współczesnego świata poprzez sprawne, efektywne ekonomicznie i maksymalnie bezpieczne jego funkcjonowanie. Tak sprecyzowane cele znalazły odzwierciedlenie w koncepcji zrównoważonego rozwoju transportu, która odnosi się do ładu zintegrowanego, uwzględniającego kryteria środowiskowe, społeczne i ekonomiczne. Idea ta przedstawiona została w dokumentach strategicznych Unii Europejskiej.

Pomimo znaczącej roli jaką transport odgrywa w rozwoju gospodarki, to niesie on także negatywne skutki dla jakości życia i zdrowia ludności oraz środowiska naturalnego. Niekorzystne oddziaływanie zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego, powodowanego przez ruch drogowy generuje wysokie koszty związane z oczyszczaniem i poprawą jakości środowiska, które ponosi całe społeczeństwo. Kompleksowe i systemowe ujęcie społecznych kosztów transportu samochodowego, największego udziałowca w przewozach, umożliwi uwzględnienie tych kosztów w rachunkach ekonomicznych. Zastosowanie odpowiednich instrumentów i podjęcie ukierunkowanych działań umożliwi wprowadzenie w życie zasady internalizacji, w myśl której podmiot odpowiedzialny za emitowanie substancji szkodliwych zostanie zobowiązany do zapłacenia naliczonych kwot finansowych.

Celem pracy badawczej pt. „Opracowanie metodyki i oszacowanie kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego ze środków transportu drogowego na poziomie kraju” było obliczenie wielkości emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych oraz oszacowanie kosztów zewnętrznych tej emisji. Zanieczyszczenie powietrza generowane przez ruch drogowy jest jednym z efektów zewnętrznych transportu; należą do nich również hałas, wypadki, zatory komunikacyjne, zmiany klimatu i zajętość terenu.

Niniejsza praca miała charakter eksperymentalny i rozwojowy, a z uwagi na złożoność tematu wymagała wiedzy specjalistycznej oraz konsultacji i wsparcia ekspertów z różnych obszarów wiedzy.

Zawarte w raporcie końcowym wyniki nie są oficjalnymi statystykami, niemniej przeprowadzone obliczenia i dokonane szacunki, pozwolą na ocenę wielkości zanieczyszczeń emitowanych z pojazdów samochodowych oraz przeprowadzenie analizy ich wpływu na wysokość kosztów zewnętrznych transportu drogowego.

Oddając w Państwa ręce niniejszy raport będziemy wdzięczni za wszelkie sugestie dotyczące jego zawartości oraz zakresu prowadzonych prac obliczeniowych i estymacji. Państwa spostrzeżenia i uwagi stanowiąc będą dla nas cenną wskazówkę przy podejmowaniu następnych inicjatyw.



Preface

Transport plays a key role in the modern economy, allowing to meet the demand for services and the movement of people and things. Development of the transport system impacts on the socio-economic development of the modern world by efficient, cost-effective and most secure functioning. So specified goals were reflected in the concept of sustainable transport development, which refers to the integrated governance, taking into account environmental, social and economic criteria. The idea was presented in the strategic documents of the European Union.

Despite transport plays significant role in development of economy, it also carries negative implications for quality of life and health of the population and the environment. An adverse impact of air pollution caused by road traffic generates high costs for the whole society, due to cleaning and improving the quality of the environment. A comprehensive and systematic approach to social car transport costs of the largest shareholder in the transport, will make it possible to include these costs in the economic accounts. The application of relevant instruments and taking targeted actions will enable the implementation of the principle of internalisation, according to which the entity responsible for emission of harmful substances will be obliged to pay the surcharges.

The aim of the research work entitled "Development of the methodology and estimation of the external costs of air pollution emitted from road transport at national level" was the calculation of emissions from vehicles and estimation of the external costs of this emission. Air pollution generated by road traffic is one of the external effects of transport; as noise, accidents, congestion, climate change and area usage.

This study was experimental and developmental, and because of the topic complexity required expertise and consultation as well as support of experts from different areas of knowledge.

The results presented in the final report are not official statistics, however, made calculations and estimations will allow to assess the volume of pollutants emitted from motor vehicles and to analyse their impact on the external costs of road transport.

Presenting You the report we will be grateful for any suggestions concerning the content and the scope of carried out calculations and estimations. Your observations and comments will provide a precious hint for next initiatives.



Spis treści

| | |
|--|----|
| Przedmowa | 3 |
| Spis treści | 5 |
| Objaśnienia skrótów..... | 9 |
| Wstęp | 11 |
| Synteza | 15 |
| 1. Wyniki pracy badawczej..... | 17 |
| 1.1. Wielkość emisji zanieczyszczeń do powietrza z pojazdów samochodowych | 17 |
| 1.1.1. Czynniki wzrostu zanieczyszczeń powietrza z transportu drogowego..... | 17 |
| 1.1.2. Wielkość zanieczyszczeń emitowanych do powietrza z pojazdów samochodowych | 18 |
| 1.2. Koszty zewnętrzne emisji zanieczyszczeń do powietrza z pojazdów samochodowych..... | 31 |
| 1.2.1. Wartość kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń do powietrza z pojazdów samochodowych | 31 |
| 1.2.2. Zestaw wskaźników dla potrzeb szacowania kosztów zewnętrznych transportu drogowego... .. | 38 |
| 2. Metodyka badania | 41 |
| 2.1. Źródła danych wykorzystane w pracy badawczej | 41 |
| 2.1.1. System informacyjny statystyki publicznej | 41 |
| 2.1.2. Systemy i bazy administracyjne | 42 |
| 2.2. Charakterystyka zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery przez pojazdy samochodowe | 43 |
| 2.2.1. Zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego | 43 |
| 2.2.2. Skutki emisji spalin | 46 |
| 2.3. Metodyka szacowania wielkości emisji zanieczyszczeń | 47 |
| 2.3.1. Opis narzędzi stosowanych do szacowania wielkości emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych | 47 |
| 2.3.2. Opracowanie metodyki estymacji emisji zanieczyszczeń | 48 |
| 2.3.3. Obliczenia wielkości emisji zanieczyszczeń z pojazdów w ruchu drogowym | 52 |
| 2.3.4. Opracowanie założeń do tablic wynikowych oraz dokonanie wyboru wskaźników syntetycznych | 53 |
| 2.4. Metodyka szacowania kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych | 59 |
| 2.4.1. Metody wyceny szacowania kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń z transportu drogowego | 59 |
| 2.4.1.1. Metody wyceny zanieczyszczenia powietrza | 60 |
| 2.4.1.2. Metody wyceny zmiany klimatu | 64 |
| 2.4.2. Opracowanie metodyki szacowania kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych | 64 |
| 2.4.3. Analiza porównawcza metody opracowanej przez Instytut Transportu Samochodowego i oprogramowania COPERT IV | 76 |



Spis treści (dok.)

| | |
|--|----|
| 2.4.4. Uwagi końcowe | 78 |
| 3. Podsumowanie i rekomendacje | 79 |
| 4. Załączniki | 80 |
| 4.1. Raport jakości (załącznik nr 1) | 80 |
| 4.2. Tablice wynikowe (załącznik nr 2)..... | 80 |
| 4.3. Instrukcja do programu COPERT IV (załącznik nr 3) | 80 |
| 4.4. Baza danych (załącznik nr 4) | 80 |
| Bibliografia | 81 |



Contents

| | |
|---|----|
| Preface | 4 |
| Contents..... | 7 |
| Abbreviations | 9 |
| Introduction..... | 13 |
| Synthesis | 16 |
| 1. Results of the research work | 17 |
| 1.1. Emission of air pollutants from motor vehicles..... | 17 |
| 1.1.1. Factors of growth air pollution from road transport..... | 17 |
| 1.1.2. The volume of air pollutants emitted from motor vehicles | 18 |
| 1.2. External costs of air pollution from motor vehicles | 31 |
| 1.2.1. The value of external costs of air pollution emitted from motor vehicles | 31 |
| 1.2.2. A set of indicators for estimation of external costs of road transport | 38 |
| 2. Methodology of the survey | 41 |
| 2.1. Data source used in the research work..... | 41 |
| 2.1.1. Information system of the official statistics | 41 |
| 2.1.2. Systems and databases | 42 |
| 2.2. Characteristics of air pollution emitted by motor vehicles..... | 43 |
| 2.2.1. Air pollution..... | 43 |
| 2.2.2. Effects of exhaust emission | 46 |
| 2.3. Methodology for estimating emission of pollutants..... | 47 |
| 2.3.1. Tools used to estimate the emission of pollutants from motor vehicles | 47 |
| 2.3.2. Development of methodology for estimation of pollutants emission | 48 |
| 2.3.3. Calculation of s pollutants emitted from road vehicles | 52 |
| 2.3.4. Development of assumptions to result tables and selection of synthetic indicators | 53 |
| 2.4. Methodology for estimation of external costs of pollutants emitted from motor vehicles | 59 |
| 2.4.1. The valuation method for estimating the external costs of pollutants emitted from road transport | 59 |
| 2.4.1.1. Valuation methods of air pollution..... | 60 |
| 2.4.1.2. Valuation methods of climate change..... | 64 |
| 2.4.2. Development of methodology for estimating external costs of pollutants emitted from motor vehicles | 64 |
| 2.4.3. Comparative analysis of methods developed by the Institute of Motor Transport and software COPERT IV | 76 |
| 2.4.4. Final notes | 78 |
| 3. Summary and recommendations | 79 |



Contents (cont.)

| | |
|---|----|
| 4. Annexes | 80 |
| 4.1. Quality report (Annex no. 1) | 80 |
| 4.2. Result tables (Annex no. 2) | 80 |
| 4.3. Manuals for the COPERT IV program (Annex no. 3)..... | 80 |
| 4.4. Database (Annex no. 4) | 79 |
| Bibliography | 81 |

Objaśnienia skrótów

Abbreviations

| | |
|------------------|---|
| ARTEMIS | Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems – Ocena i niezawodność modeli emisji i systemów magazynowych w transporcie |
| CAFÉ CBA | Clean Air for Europe Cost-Benefit Analysis – Czyste powietrze dla Europy – analiza kosztów i korzyści |
| CBiES | Centrum Badań i Edukacji Statystycznej GUS |
| CEP | Centralna Ewidencja Pojazdów |
| CH ₄ | Metan |
| CNG | Compressed Natural Gas – Sprężony gaz ziemny |
| CO | Tlenek węgla |
| CO ₂ | Dwutlenek węgla |
| COPERT IV | Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport, version 4.11 – Program komputerowy do obliczania emisji z transportu drogowego, wersja 4.11 |
| dmc | Dopuszczalna masa całkowita |
| EEA | European Environment Agency – Europejska Agencja Środowiska |
| EIB | European Investment Bank – Europejski Bank Inwestycyjny |
| EMEP | European Monitoring and Evaluation Programme – Europejski program monitorowania i oceny |
| ER | Stężenie-skutek |
| ERMES Group | European Research Group on Mobile Emission Sources – Europejska grupa badawcza ds. mobilnych źródeł emisji |
| ETC/ACM | European Topic Centre for Air Pollution and Climate Change Mitigation – Europejskie centrum tematyczne ds. zanieczyszczeń powietrza i ograniczania zmian klimatycznych |
| GDDKiA | Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad |
| GPR | Generalny Pomiar Ruchu |
| GWP | Global Warming Potential – Potencjał globalnego ocieplenia |
| HEATCO | Harmonised European Approaches for Transport Costing – Zharmonizowane europejskie podejście do kalkulacji kosztów transportu |
| ICD-10 | International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems – Międzynarodowa statystyczna klasyfikacja chorób i problemów zdrowotnych |
| IMPACT | Internalisation Measures Policies for all external costs of Transport – Zasady internalizacji wskaźników dla wszystkich zewnętrznych kosztów transportu |
| IPCC | Intergovernmental Panel on Climate Change – Międzynarodowy zespół ds. zmian klimatu |
| ITS | Instytut Transportu Samochodowego |
| JRC/CONCAWE/ACEA | Joint Research Centre/Environmental Science for the European Refining Industry/European Automobile Manufacturers Association – Wspólne centrum badawcze/Badania naukowe dla europejskiego przemysłu rafineryjnego/Europejskie stowarzyszenie producentów samochodów |

Objaśnienia skrótów (dok.)

Abbreviations (cont.)

| | |
|-------------------|--|
| MEET | Methodologies to Estimate Emissions from Transport – Metodologie szacowania emisji z transportu |
| N ₂ O | Podtlenek azotu |
| NEEDS | New Energy Externalities Developments for Sustainability – Nowe efekty zewnętrzne energii dla zrównoważonego rozwoju |
| NMVOG | Non-Methane Volatile Organic Compound – Nietanowe lotne związki organiczne |
| NO _x | Tlenek azotu |
| PARTICULATES | Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles – Charakteryzacja emisji cząstek stałych z pojazdów drogowych |
| PM ₁₀ | Cząstki stałe 10μ |
| PM _{2,5} | Cząstki stałe 2,5μ |
| poj·km | Pojazdokilometr |
| ppm | Parts per million – Cząsteczka na milion |
| SCPR | Stacja ciągłego pomiaru ruchu |
| SDRR | Średni dobowy ruch roczny pojazdów; liczba pojazdów na dobę |
| T-04 | Sprawozdanie o towarowym transporcie drogowym zarobkowym |
| T-06 | Sprawozdanie o pasażerskim transporcie drogowym |
| TD-E | Kwestionariusz tygodniowy o przewozach ładunków pojazdem samochodowym |
| UNECE | United Nations Economic Commission for Europe and Executive Committee – Europejska Komisja Gospodarcza |
| L1, L2, L3 | Motocykle i motorowery |
| M1 | Samochody osobowe |
| M2, M3 | Autobusy miejskie i autokary |
| N1 | Samochody lekkie dostawcze (o masie do 3,5t) |
| N2, N3 | Samochody ciężarowe (3,5t do 12t oraz powyżej 12t) |
| VLYL | Value of a Life Year Lost – Wartość utraconych lat życia |
| VOLY | Value of lost year – Wartość straconych lat |
| VSL | Value of Statistical Life – Wartość statystycznego życia |
| WTA | Willingness To Accept – Kwota, jaką użytkownik jest skłonny zaakceptować jako rekompensatę w razie pozbawienia go możliwości korzystania z określonego dobra lub danego poziomu usług dostarczanych przez środowisko |
| WTP | Willingness To Pay – Gotowość do zapłacenia zadeklarowanej kwoty za określone dobro lub dany poziom usług dostarczanych przez środowisko |
| YOLL | Years of Life Loss – Liczba utraconych lat życia |



Wstęp

Prezentowany raport końcowy stanowi podsumowanie pracy badawczej pt.: „Opracowanie metodyki i oszacowanie kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego ze środków transportu drogowego na poziomie kraju”, realizowanej w ramach projektu „Wsparcie systemu monitorowania polityki spójności w perspektywie finansowej 2014–2020 oraz programowania i monitorowania polityki spójności po 2020”, współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Programu Operacyjnego Pomoc Techniczna 2014–2020.

Realizowany projekt pozwoli na powiększenie zasobów informacyjnych istotnych dla kształtowania polityki spójności, powiązanej m.in. ze strategią Unii Europejskiej *Europa 2020* i założonymi przez nią celami związanymi m.in. z klimatem i energią.

Polska prowadzi działania na rzecz realizacji strategii *Europa 2020*. W dokumentach Krajowy Program Reform, Koncepcja Przestrzennego Zagospodarowania Kraju określa sposób realizacji podjętych zobowiązań, między innymi jako:

- wsparcie gospodarki efektywnie korzystającej z zasobów naturalnych i przyjaznej środowisku,
- promowanie zrównoważonego rozwoju transportu oraz zapewnienie odpowiedniej infrastruktury transportowej i teleinformatycznej, służącej wzmocnieniu konkurencyjności oraz sprzyjającej spójności terytorialnej i społecznej,
- kształtowanie struktur przestrzennych wspierających osiągnięcie i utrzymanie wysokiej jakości środowiska przyrodniczego oraz zachowanie walorów krajobrazowych w Polsce.

W strukturze przewozów zarówno osób, jak i ładunków transport samochodowy odgrywa dominującą rolę. Ten rodzaj przewozów, mimo że najpopularniejszy i najbardziej dostępny, generuje jednak dodatkowe efekty zewnętrzne takie jak: kongestia transportowa, wypadki i zanieczyszczenia powietrza oraz zagrożenie hałasem, które wyrażone wartościowo przyjmuje formę kosztów zewnętrznych.

Do opracowania metodyki szacowania kosztów substancji szkodliwych pochodzących z emisji zanieczyszczeń przez pojazdy samochodowe wykorzystano zasoby informacyjne, pochodzące z wielu źródeł administracyjnych i innych, niezbędną wiedzę statystyczną oraz specjalistyczne narzędzia informatyczne.

Pracę badawczą wykonano w dwóch etapach. Pierwszym z nich było obliczenie wielkości zanieczyszczeń emitowanych substancji z pojazdów samochodowych przy wykorzystaniu programu komputerowego COPERT IV *Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport* (opracowanego dla potrzeb obliczania zanieczyszczeń powietrza powodowanych przez środki transportu drogowego) oraz oszacowanie wolumenu kosztów zewnętrznych tych zanieczyszczeń. W drugim etapie zdefiniowano wskaźniki monitorowania kosztów zewnętrznych oraz przeprowadzono analizę otrzymanych wyników, a także dokonano oceny kryteriów jakości i ostatecznych rezultatów badania.

Zaprezentowany raport końcowy składa się z 3 głównych rozdziałów. Rozdział 1 zawiera część analityczną, w której przeprowadzono ocenę wielkości badanych rodzajów zanieczyszczeń emitowanych do powietrza z pojazdów samochodowych z uwzględnieniem charakterystycznych zmiennych determinujących ich wielkość. Ocenie poddano też grupę kosztów zewnętrznych zanieczyszczeń i kształtowanie się ich wolumenu w zależności od rodzaju polutanta, a także czynników mających wpływ na szacowaną wartość.

W rozdziale 2 przedstawiono metodykę obliczania wielkości zanieczyszczeń do powietrza i szacowania kosztów zewnętrznych tych zanieczyszczeń przy uwzględnieniu wytycznych metodycznych Europejskiej Agencji Środowiska (EEA). W ramach tego rozdziału opracowano także zestaw wskaźników do szacowania kosztów zewnętrznych transportu, obejmującego obszary tematyczne: środowisko naturalne, transport, klimat. Analiza porównawcza stosowanych metod do obliczania kosztów zewnętrznych została zaprezentowana w części końcowej tego rozdziału. Efekty wykonanej pracy badawczej, w tym zdefiniowanie adekwatnych wskaźników, stanowiąc mogą podstawę do monitorowania poziomu kosztów zewnętrznych transportu drogowego, a przedstawienie wyników w



różnych agregacjach umożliwi określenie kierunków regionalnych i globalnych trendów. Uzyskane wyniki, uzupełnione o wskaźniki pochodzące z zasobów informacyjnych statystyki publicznej, mogą stać się punktem wyjścia do prowadzenia pogłębionych analiz i opracowań. Rezultatem prowadzonych prac jest ponadto utworzenie bazy danych (załącznik nr 4.), zawierającej wyniki obliczeń przeprowadzonych w procesie badawczym.

Podsumowanie i rekomendacje dotyczące przeprowadzonej pracy badawczej zawarto w rozdziale 3.

Ocenę jakości zrealizowanego projektu obejmującą analizę poszczególnych elementów jakości (raport jakości) zamieszczono w załączniku nr 1.

Część tabelaryczna stanowi integralną składową raportu – dostępna w formie załącznika nr 2, zawiera tablice wynikowe w formacie pliku Excel.

W ramach realizacji projektu nie przeprowadzono badania pilotażowego, a niezbędne informacje pozyskano z zasobów statystyki publicznej i źródeł administracyjnych dotyczących 2015 r.

Introduction

The presented final report summarizes the research work titled "Development of the methodology and estimation of the external costs of air pollution emitted from road transport at national level" carried out within the framework of project „Support for monitoring of cohesion policy in the 2014-2020 financial perspective as well as programming and monitoring cohesion policy after 2020”, co-financed by the European Union from the 2014-2020 Technical Assistance Operational Program funds.

The implemented project will allow to increase the information resources relevant to make the cohesion policy, connected, among others, with the European Union's strategy - Europe 2020 and its objectives regarding, among others, climate and energy.

Poland also implements actions of the strategy Europe 2020. Documents of the National Reform Programme, the National Spatial Development Concept specifies the way of implementation of undertaken commitments, among others as:

- support of the economy efficiently using natural resources and environment-friendly,
- promotion of sustainable development of transport and providing sufficient transport and ICT infrastructure, to strengthen the competitiveness and contribute to territorial and social cohesion,
- the evolution of spatial structures supporting the achievement and upkeeping high quality environment and landscape value of Poland.

Road transport plays a dominant role in the structure of transport both people and cargoes. This mode of transport, although the most popular and accessible, generates additional external effects, such as: transport congestion, accidents and air pollutions as well as noise pollution expressed in value formed as external costs.

To develop a methodology of cost estimation of pollutant emissions from motor vehicles, information resources from multiple sources, necessary statistical knowledge and specialized IT tools were used.

The research work was divided into two stages. At the first stage was to calculate the size of the emission of pollutants from motor vehicles using a computer program COPERT IV *Computer Programme to calculate Emissions from Road Transport* (developed for the calculation of air pollution caused by road vehicles) and to estimate the volume of the external costs of pollution. Monitoring indicators of external costs were defined in the second stage, as well as analysis of the obtained results, and evaluation of quality criteria and final results of the study.

The presented final report contains 3 main chapters. The 1st Chapter contains an analytical part, in which the assessment of the size of pollutants emitted into the air from motor vehicles was carried out, taking into account the characteristic variables determining their size. Also the group of pollutants' external costs and the development of their volume depending on the type of pollutant, as well as factors affecting the estimated value, were evaluated .

The 2nd Chapter presents the methodology of calculating the amount of pollutants to the air and estimating the external costs of these pollutants taking into account the methodological guidelines of the European Environment Agency (EEA). In the framework of this chapter set of indicators have also been developed for estimating the external costs of transport, covering thematic areas: environment, transport, climate. Comparative analysis of the methods used to calculate external costs was presented in the final section of this chapter.

The effects of the research work, including defining appropriate indicators, can provide the basis for monitoring the level of external costs of road transport, and presentation of results in different aggregations will allow to establish regional and global trends.

The obtained results, supplemented by indicators from information resources of official statistics, can be a starting point to conduct in-depth analyses and studies. Moreover, conducted work resulted in creation of database (Annex no. 4) containing results of calculations carried out in the research process.



Chapter no. 3 contains summary and recommendations on the study.

Evaluation of the project's quality involving the analysis of individual elements of quality (quality report) is provided in Annex no. 1.

Tabular part is an integral component of the report - available in the form of Annex no. 2 contains result tables in xls format.

The pilot study was not conducted within the project, and the necessary information was obtained from resources of the official statistics and administrative sources for 2015.



Synteza

Przy realizacji niniejszego projektu wykorzystano metodę obliczania ilości emitowanych zanieczyszczeń do powietrza z pojazdów samochodowych, dokonano rozpoznania substancji szkodliwych oddziałujących na zdrowie ludzkie i środowisko naturalne, a także oszacowano wartość kosztów zewnętrznych emisji tych zanieczyszczeń w oparciu o ilości polutantów wydzielanych przez eksploatowane samochody.

Na podstawie przeprowadzonej pracy badawczej wyznaczono ilości emitowanych zanieczyszczeń dla kraju i województw. Najwięcej zanieczyszczeń emitowanych było przy średniodobowym ruchu pojazdów przekraczającym 15000 i więcej pojazdów na dobę na autostradach i drogach ekspresowych oraz w obszarze miejskim. Wiek pojazdów miał istotny wpływ na wielkość emisji. W 2015 r. ponad połowa samochodów osobowych poruszających się po polskich drogach była w wieku 16 lat i więcej. Starsze pojazdy nie posiadały silników z nowoczesnymi rozwiązaniami technologicznymi, a ustalone dla nich normy spalin były mniej restrykcyjne niż dla obecnie produkowanych. Można to zobrazować na przykładzie grupy pojazdów samochodów ciężarowych oraz ciągników siodłowych (34,4% pojazdów w 2015 r. było w grupie wieku do 11 lat) i emitowało znacznie mniej (23%) zanieczyszczeń niż samochody osobowe, których w 2015 r. (do 11 lat) było 27,6% i emitowało 60%. W 2015 r. w Polsce udział samochodów eksploatowanych w ogólnej liczbie samochodów według norm spalania wyniósł odpowiednio: EURO 4 – 17,3%, EURO 5 – 10,1%, a EURO 6 – 1,7%.

Na wielkość emitowanych zanieczyszczeń ze środków transportu drogowego wpływ ma również rodzaj zastosowanego paliwa. Powszechnie stosowane silniki Diesla wydają z rur wydechowych największe ilości zanieczyszczeń. Odpowiadają one za wydalanie ponad 85% tlenków azotu i pyłów stałych $PM_{2,5}$ i PM_{10} oraz 63% dwutlenku węgla ogólnej emisji z pojazdów samochodowych. Najbardziej przyjaznym środowisku stosowanym paliwem jest gaz płynny – LPG, pomimo, że jego udział w emisji tlenku węgla wynosił – 34% i przewyższał w tym zakresie nawet olej napędowy (o 16 p. proc.).

Biorąc pod uwagę rozkład zanieczyszczeń powietrza w województwach, można zauważyć, że środki transportowe najczęściej szkodliwych substancji generują w województwie mazowieckim, śląskim, wielkopolskim i łódzkim. Są to województwa o dużym natężeniu ruchu drogowego lub o dużej powierzchni (mazowieckie, wielkopolskie) lub o rozbudowanej sieci dróg (śląskie), na których rozwijane są znaczne prędkości.

W trakcie realizacji niniejszej pracy dokonano oszacowania kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń z transportu samochodowego. Na podstawie uzyskanych wyników wykazano, że najwyższe wartości tego wskaźnika notowane są dla emisji tlenków azotu – 152 tys. zł/km drogi publicznej oraz dwutlenku węgla – 75 tys. zł/km drogi.

Tablice wynikowe będące rezultatem badania zostaną zamieszczone na stronie internetowej Głównego Urzędu Statystycznego w części *Statystyka dla polityki spójności*. Stanowią one będą zasób informacyjny dla wszystkich odbiorców zainteresowanych obserwacją zmian poziomu tych kosztów oraz planowaniem polityki regionalnej w różnych obszarach życia społeczno-gospodarczego.

Zaprezentowane wyniki stanowią początek dalszych badań z tego zakresu, a także podstawę analiz dotyczących zarządzania systemami transportowymi oraz wdrażania nowoczesnych technologii w celu poprawy relacji środowiskowych transportu.

Synthesis

During implementation of this project the method of calculating the amount of pollutants emitted into the air from motor vehicles was used, the diagnosis of harmful substances to human health and the environment was made, and the external costs of the emitted pollutants were estimated based on the amount of pollutants emitted by operated vehicles.

On the basis of conducted study the amount of emitted pollutants was presented both for the country and voivodships. The most pollutants were emitted by average daily vehicle traffic exceeding 15000 vehicles per day on motorways, expressways and urban area. The age of vehicles had a significant impact on emissions. In 2015, more than half of cars on Polish roads were aged 16 and more. Older vehicles do not have engines with modern technological solutions, and exhaust standards set for them were less restrictive than for currently produced. We can illustrate this on the example of groups of lorries and road tractors, (in 2015, 34,4% of vehicles was in the age group up to 11 years) and emitted much less pollutants (23%) than passenger cars, which in 2015 amounted to 27,6% and emitted 60% (up to 11 years). In 2015, share of cars operated in total number of cars according to combustion standards amounted respectively: EURO 4 – 17,3%, EURO 5 – 10,1%, a EURO 6 – 1,7% in Poland.

Also the type of used fuel effected on the size of emitted pollutants from road transport vehicles. Diesel engines commonly used for diesel excrete the largest amount of pollutants from the exhaust pipes. They are responsible for excretion of more than 85% of the nitrogen oxides and particulate matter $PM_{2,5}$ and PM_{10} as well as 63% of carbon dioxide in the total number of emissions from motor vehicles. The most eco-friendly used fuel is Liquefied Petroleum Gas LPG, although its share of carbon monoxide was - 34% and exceeded in this area even the gas oil (by 16 p.p.).

Taking into account the distribution of air pollutants in the voivodships, we can notice that transport vehicles generate the most harmful substances in voivodships: mazowieckie, śląskie, wielkopolskie and łódzkie. The regions are characterised by high traffic or large area (mazowieckie, wielkopolskie) or extensive road network (śląskie), where a significant speed can be developed.

During the study implementation, the external costs of pollutants emitted from road transport were estimated. Based on the obtained results, the highest value of this index is indicated for emissions of nitrogen oxides – PLN 152 thousand per km of public road and carbon dioxide – PLN 75 thousand per km of road.

The result tables as a result of the study, will be posted on the website of Statistics of Poland in the Statistics for cohesion policy. They will constitute an information resource for all recipients interested in observation of changes of costs level and in planning regional policy in various areas of socio-economic life.

The presented results can be the beginning of further research in this area, and constitute the basis of analysis on the management of transport systems and the implementation of modern technologies for improvement of environmental transport relations.



1. Wyniki pracy badawczej

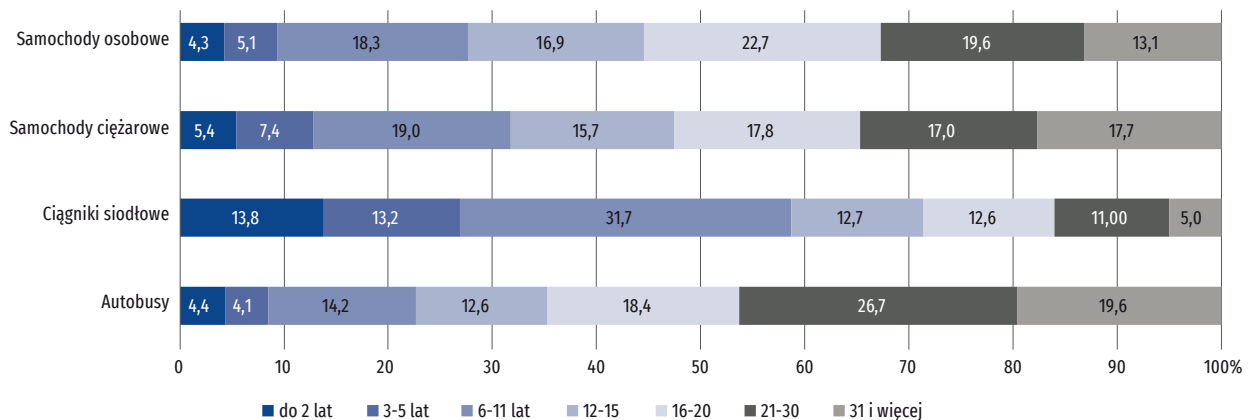
1.1. Wielkość emisji zanieczyszczeń do powietrza z pojazdów samochodowych

1.1.1. Czynniki wzrostu zanieczyszczeń powietrza z transportu drogowego

Ilość substancji szkodliwych w powietrzu pochodzących z pojazdów samochodowych uzależniona jest głównie od natężenia ruchu drogowego. W ostatnich latach obserwuje się systematyczny wzrost liczby samochodów zwłaszcza osobowych, których w 2015 r. w Polsce zarejestrowanych było 21 mln (o 68,0% więcej niż w 2005 r.). Samochodów ciężarowych było ok. 3 mln i w porównaniu z 2005 r. odnotowano wzrost o 42,0%. Według danych Eurostatu w 2015 r. na tysiąc mieszkańców w krajach Unii Europejskiej zarejestrowanych było średnio 497 samochodów osobowych. W Polsce wskaźnik ten przekroczył średnią wartość w Unii i wyniósł 539. Należy tu jednak zauważyć, że mimo wyższego wskaźnika motoryzacji, co trzeci zarejestrowany w Polsce samochód osobowy wyprodukowano przed 20 laty.

Tabor samochodowy w Polsce jest przestarzały. Wśród samochodów osobowych największy udział miały pojazdy w wieku 16-20 lat (22,7%), a wśród autobusów - w wieku 21-30 lat (26,7%). W najmłodszej grupie wiekowej (do 5 lat włącznie) było 9,4% samochodów osobowych oraz 12,8% samochodów ciężarowych. Stosunkowo młodą flotę stanowiły ciągniki siodłowe, wśród których 58,7% było w wieku do 11 lat, a odsetek najstarszych (31 lat i więcej) wyniósł zaledwie 5,0%.

Wykres 1. Struktura pojazdów samochodowych według grup wieku w 2015 r.

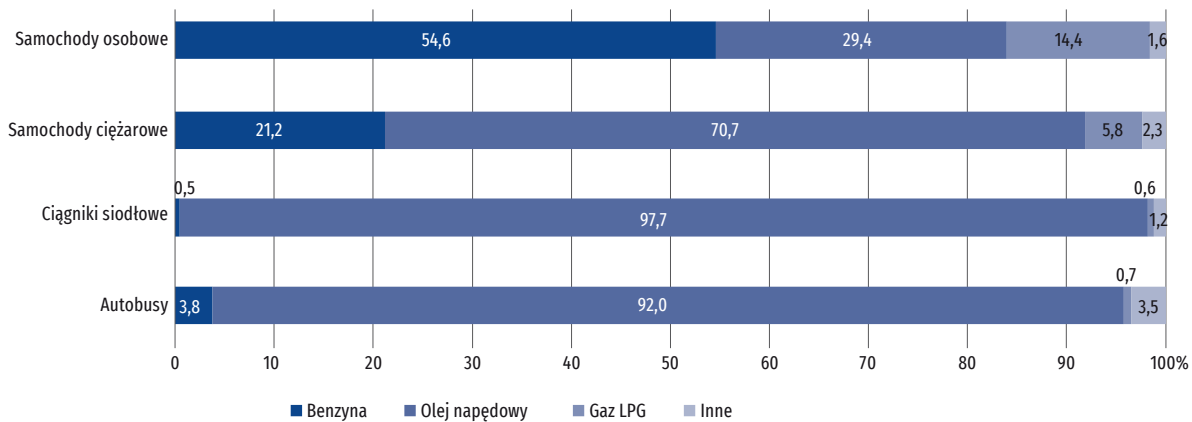


Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Ministerstwa Cyfryzacji

Stan techniczny eksploatowanych pojazdów samochodowych istotnie wpływa na jakość powietrza atmosferycznego. Ilość emitowanych substancji szkodliwych, a także ich skład chemiczny zróżnicowany jest w zależności od wieku pojazdów oraz zastosowanych technologii. Im samochody są starsze, tym normy dotyczące zawartości substancji szkodliwych w spalinach niższe. Rodzaj zastosowanego paliwa w samochodach ma również wpływ na ilość wydalanych z rur wydechowych związków szkodliwych. Prowadzone badania przez organizacje międzynarodowe (m.in. Emission Analytics, WWHO, Międzynarodowa Rada Czystego Transportu (ICCT) dotyczące Euro 6 dowodzą, że dopuszczalne ilości rakotwórczych tlenków azotu z silników Diesla przekraczało 90 - 100% testowanych pojazdów. W pojazdach benzynowych emisja zanieczyszczeń najczęściej pozostawała na poziomie normy.



Wykres 2. Struktura pojazdów samochodowych według rodzajów stosownego paliwa w 2015 r.



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Ministerstwa Cyfryzacji

Co drugi zarejestrowany samochód osobowy w Polsce wyposażony był w silnik benzynowy, a co trzeci wykorzystywał jako paliwo olej napędowy. Samochody ciężarowe, ciągniki siodłowe oraz autobusy najczęściej posiadały silniki Diesla.

Udział pojazdów samochodowych w 2015 r. wykorzystujących niskoemisyjne technologie (napędzane elektrycznie, wodorem, biopaliwami) stanowił zaledwie 0,04% liczby zarejestrowanych pojazdów ogółem.

1.1.2. Wielkość zanieczyszczeń emitowanych do powietrza z pojazdów samochodowych

Sprawnie działający transport jest warunkiem koniecznym do rozwoju społeczno-gospodarczego. Część potrzeb w zakresie mobilności zaspokaja transport kolejowy, wodny i lotniczy, jednak dominującą rolę w przemieszczaniu towarów i osób odgrywa transport drogowy dzięki łatwej dostępności przestrzennej i cenowej. W 2015 r. udział ładunków przewiezionych transportem drogowym wyniósł 86,1% ładunków ogółem.

Tablica 1. Przewozy ładunków według rodzajów transportu

| Wyszczególnienie | Transport kolejowy | Transport drogowy | Transport wodny śródlądowy | Transport morski |
|----------------------------|--------------------|-------------------|----------------------------|------------------|
| Przewozy ładunków w tys. t | | | | |
| 2013 | 232 596 | 1 553 050 | 5 044 | 6 965 |
| 2014 | 227 820 | 1 547 883 | 7 629 | 6 781 |
| 2015 | 224 320 | 1 505 719 | 11 928 | 6 963 |
| Praca przewozowa w mln tkm | | | | |
| 2013 | 50 881 | 259 708 | 768 | 16 299 |
| 2014 | 50 073 | 262 860 | 779 | 13 621 |
| 2015 | 50 603 | 27 3107 | 2 187 | 12 739 |

Źródło: opracowanie własne

Ilość substancji szkodliwych emitowanych przez transport drogowy jest skorelowana z wykonaną pracą przewozową, przy uwzględnieniu innych czynników warunkujących wielkość zanieczyszczeń (wiek, rodzaj silnika etc.).

Poziom emisji zanieczyszczeń z transportu drogowego w krajach Unii Europejskiej w 2015 r. przedstawia tablica poniżej.

Tablica 2. Emisja zanieczyszczeń z transportu drogowego w krajach Unii Europejskiej w 2015 r.

| Kraj | NH ₃ | NMVOC | NO _x | PM _{2,5} |
|-----------------|------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| w tonach | | | | |
| Austria | 1 266,76 | 8 195,40 | 79 814,26 | 1 751,14 |
| Belgia | 879,37 | 5 329,19 | 96 373,64 | 2 174,99 |
| Bułgaria | 925,79 | 9 433,55 | 44 001,63 | 2 156,74 |
| Chorwacja | 512,71 | 5 236,30 | 23 117,51 | 1 127,34 |
| Cypr | 199,58 | 1 332,36 | 5 867,17 | 263,55 |
| Czechy | 2 098,33 | 11 287,73 | 35 621,20 | 1 901,87 |
| Dania | 1 107,36 | 6 717,13 | 37 784,62 | 846,31 |
| Estonia | 153,76 | 1 367,75 | 8 250,43 | 264,65 |
| Finlandia | 1 103,55 | 7 096,17 | 35 754,79 | 1 125,32 |
| Francja | 4 131,15 | 42 764,74 | 504 799,22 | 19 628,69 |
| Grecja | 1 518,06 | 38 495,21 | 68 485,34 | 1 969,10 |
| Hiszpania | 2 637,02 | 21 693,22 | 270 239,08 | 6 614,65 |
| Holandia | 4 181,59 | 22 758,77 | 86 324,73 | 2 357,96 |
| Irlandia | 872,62 | 3 917,77 | 39 363,36 | 1 125,21 |
| Litwa | 168,26 | 3 188,28 | 26 344,28 | 1 097,74 |
| Luksemburg | 187,71 | 896,66 | 14 141,87 | 171,21 |
| Łotwa | 200,13 | 2 740,26 | 11 774,51 | 438,40 |
| Malta | 46,20 | 878,01 | 2 273,75 | 113,37 |
| Niemcy | 11 791,84 | 82 517,65 | 453 492,51 | 8 599,76 |
| Polska | 3 989,12 | 50 942,27 | 200 028,01 | 6 947,45 |
| Portugalia | 1 021,55 | 10 974,24 | 61 136,66 | 2 741,77 |
| Rumunia | 1 006,37 | 15 970,08 | 84 470,22 | 2 931,80 |
| Słowacja | 370,42 | 4 138,91 | 26 976,92 | 846,73 |
| Słowenia | 307,35 | 1 774,12 | 17 279,86 | 561,29 |
| Szwecja | 2 038,57 | 9 519,95 | 49 074,28 | 760,60 |
| Węgry | 1 114,53 | 11 339,99 | 48 350,46 | 1 746,49 |
| Wielka Brytania | 5 261,32 | 22 237,72 | 327 889,52 | 6 680,81 |
| Włochy | 6 010,07 | 90 292,17 | 386 644,67 | 13 233,60 |
| EU28 | 55 101,11 | 493 035,59 | 3 045 674,48 | 90 178,53 |

Źródło: <https://ec.europa.eu> [stan na dzień 29.08.2018 r.]

Na odnotowanie zasługuje fakt, że łączna emisja zanieczyszczeń pochodzących z transportu drogowego z krajów Unii Europejskiej, wykazuje tendencje spadkowe przy jednoczesnym wzroście pracy przewozowej. Spadek ilości substancji szkodliwych wynika z zastosowania zaawansowanych rozwiązań technologicznych w silnikach pojazdów, w efekcie zaostrzenia przez UE limitów emisji zanieczyszczeń, tak zwanych norm EURO.

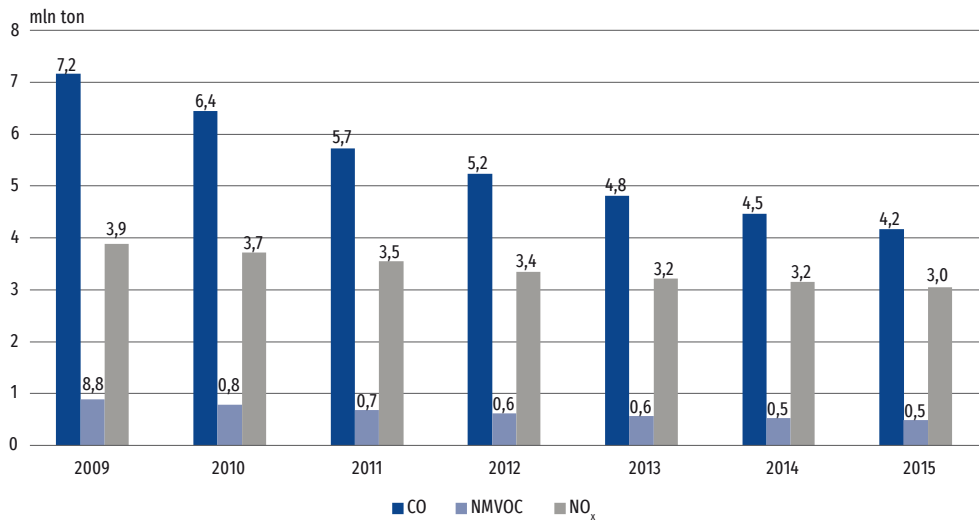
Tablica 3. Praca przewozowa transportu drogowego w wybranych krajach europejskich

| Kraj | Transport samochodowy | | |
|------------------------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| | 2013 | 2014 | 2015 |
| | mln tkm | | |
| Unia Europejska (27 krajów) | 1 711 223 | 1 719 858 | 1 761 624 |
| Austria | 24 213 | 25 260 | 25 458 |
| Belgia | 32 796 | 31 808 | 31 729 |
| Bułgaria | 27 097 | 27 854 | 32 297 |
| Chorwacja | 9 133 | 9 381 | 10 439 |
| Cypr | 634 | 538 | 563 |
| Czechy | 54 893 | 54 092 | 58 715 |
| Dania | 16 072 | 16 184 | 15 500 |
| Estonia | 5 986 | 6 310 | 6 263 |
| Finlandia | 24 429 | 23 401 | 24 488 |
| Francja | 171 472 | 165 225 | 153 580 |
| Grecja | 16 583 | 19 223 | 19 764 |
| Hiszpania | 192 597 | 195 767 | 209 390 |
| Holandia | 72 081 | 72 338 | 68 900 |
| Irlandia | 9 215 | 9 751 | 9 900 |
| Liechtenstein | 317 | . | . |
| Litwa | 12 816 | 13 670 | 14 690 |
| Luksemburg | 8 606 | 9 599 | 8 850 |
| Łotwa | 26 338 | 28 067 | 26 485 |
| Niemcy | 305 744 | 310 142 | 314 816 |
| Norwegia | 21 317 | 21 594 | 23 136 |
| Polska | 247 594 | 250 931 | 260 713 |
| Portugalia | 36 555 | 34 863 | 31 835 |
| Rumunia | 34 026 | 35 136 | 39 023 |
| Słowacja | 30 147 | 31 358 | 33 540 |
| Słowenia | 15 905 | 16 273 | 17 909 |
| Szwajcaria | 12 817 | 13 067 | 12 441 |
| Szwecja | 33 529 | 41 964 | 41 502 |
| Węgry | 35 818 | 37 517 | 38 353 |
| Wielka Brytania | 139 703 | 135 393 | 150 101 |
| Włochy | 127 241 | 117 813 | 116 820 |

Źródło: <https://ec.europa.eu> [stan na dzień 29.08.2018 r.]

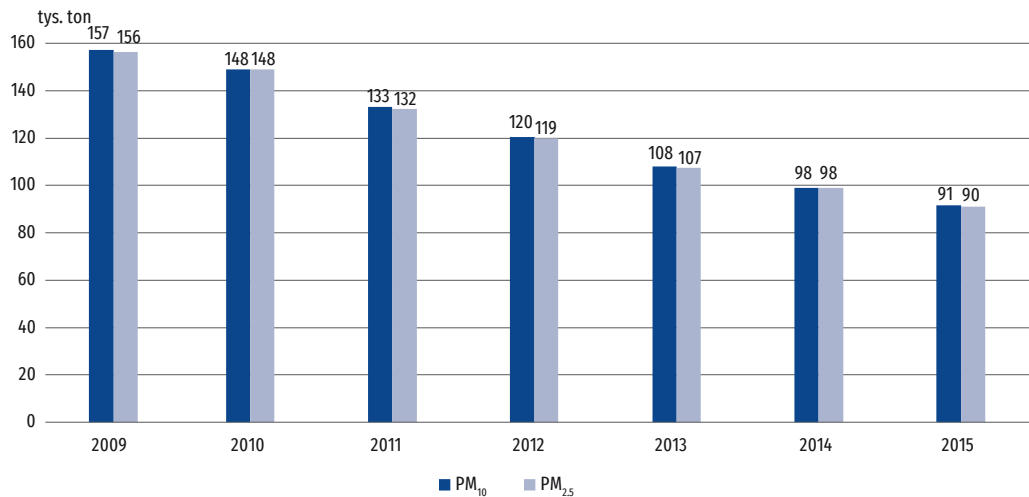


Wykres 3. Emisja związków tlenku węgla (CO), niemetanowych lotnych związków organicznych (NMVOC), tlenków azotu (NO_x) z transportu drogowego w krajach Unii Europejskiej



Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostatu, <https://ec.europa.eu/>

Wykres 4. Emisja pyłów zawieszonych PM_{2,5} i PM₁₀ z transportu drogowego w krajach Unii Europejskiej

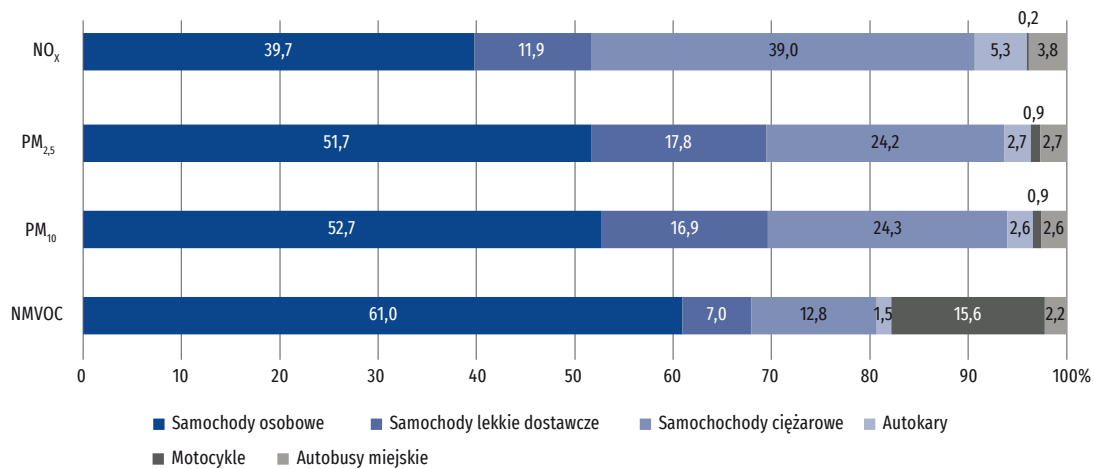


Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Eurostatu, <https://ec.europa.eu/>



W pierwszym etapie realizacji pracy badawczej wykonano obliczenia (z zastosowaniem oprogramowania COPERT IV) wielkości zanieczyszczeń pochodzących z pojazdów samochodowych. W wyniku przeprowadzonych działań pozyskano informacje dotyczące szkodliwych związków w zależności od rodzaju samochodu, stosowanego paliwa, klasyfikacji norm spalin EURO oraz dróg.

Wykres 5. Struktura zanieczyszczeń emitowanych do powietrza według rodzajów pojazdów samochodowych w 2015 r.



Źródło: opracowanie własne

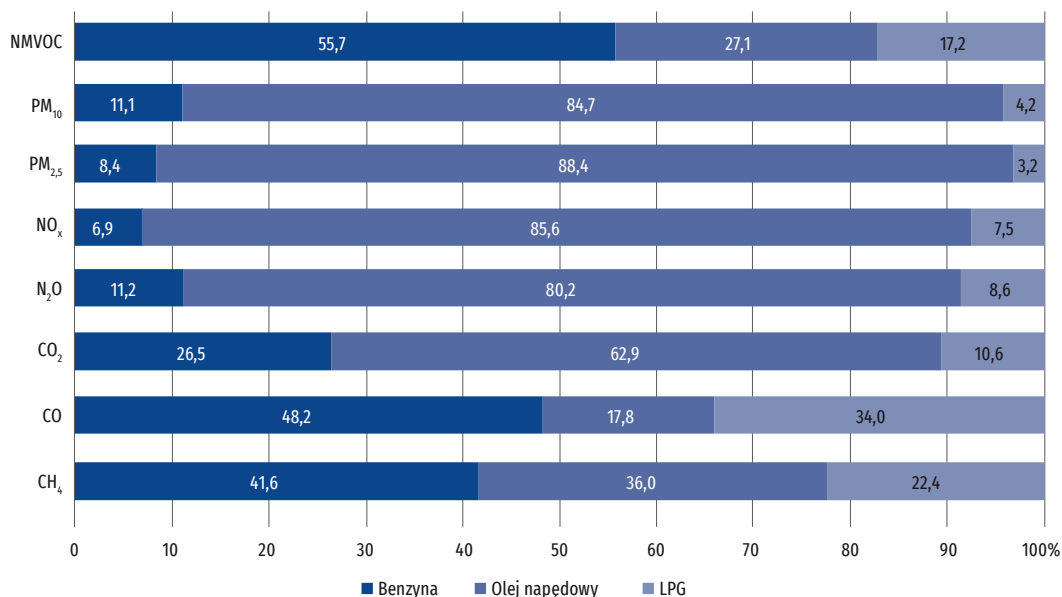
Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że ponad połowa zanieczyszczeń powietrza z transportu drogowego pochodziła z samochodów osobowych. Dominujący udział w substancjach szkodliwych miał dwutlenek węgla, którego ilość w 2015 r. wyniosła 57,8 mln ton. Znaczne ilości zanieczyszczeń dotyczyły również tlenku węgla – 166 tys. t oraz tlenków azotu (przyczyniających się do zachorowań na nowotwory płuc i pęcherza) – 90 tys. t.

Samochody ciężarowe i autobusy, wyposażone najczęściej w silniki Diesla generowały tlenki azotu (108,9 tys. t) oraz tlenek węgla (28,5 tys. t).

Udział tlenków azotu z wszystkich rodzajów pojazdów samochodów wykorzystujących olej napędowy w silnikach Diesla stanowił 86,0% ogółem emisji NO_x.



Wykres 6. Struktura zanieczyszczeń emitowanych do powietrza według rodzajów stosowanego paliwa w 2015 r.



Źródło: opracowanie własne

Tablica 4. Emisja zanieczyszczeń z transportu drogowego na 1 pojazd według rodzajów pojazdów oraz stosowanego paliwa w 2015 r.

| Rodzaj pojazdu | Liczba pojazdów | Zanieczyszczenie | | | | | | | |
|-------------------|-------------------|--|--------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------|
| | | CH ₄ | CO | CO ₂ | N ₂ O | NO _x | PM _{2,5} | PM ₁₀ | NMVOC |
| | | kg na pojazd | | | | | | | |
| OGÓŁEM | 20 959 825 | 0,1 | 11,4 | 2 757,0 | 0,1 | 10,8 | 0,5 | 0,6 | 1,2 |
| | | według rodzajów pojazdów | | | | | | | |
| Osobowe | 17 216 420 | 0,1 | 9,6 | 2 017,4 | 0,1 | 5,2 | 0,3 | 0,4 | 0,9 |
| Lekkie dostawcze | 1 522 458 | 0,1 | 10,8 | 4 494,0 | 0,1 | 17,7 | 1,1 | 1,3 | 1,2 |
| Ciężarowe | 679 174 | 0,7 | 33,9 | 19 425,9 | 0,8 | 130,0 | 3,5 | 4,2 | 4,9 |
| Autokary | 67 732 | 1,3 | 41,6 | 25 483,1 | 0,8 | 176,4 | 3,9 | 4,5 | 5,5 |
| Autobusy miejskie | 11 795 | 8,3 | 225,6 | 85 117,5 | 1,5 | 735,7 | 22,6 | 25,4 | 48,5 |
| Motocykle | 1 462 246 | 0,2 | 18,7 | 197,8 | 0,0 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 2,8 |
| | | według rodzaju stosowanego paliwa * | | | | | | | |
| Benzyna | 10 490 001 | 0,09 | 10,95 | 1 458,99 | 0,02 | 1,48 | 0,08 | 0,12 | 1,37 |
| osobowe | 347 915 | 0,08 | 9,12 | 1 582,49 | 0,02 | 1,62 | 0,08 | 0,12 | 1,15 |
| lekkie dostawcze | 1 462 246 | 0,11 | 24,33 | 3 678,69 | 0,07 | 2,78 | 0,19 | 0,31 | 1,10 |
| motocykle | 8 679 840 | 0,17 | 18,65 | 197,76 | 0,00 | 0,33 | 0,06 | 0,07 | 2,76 |



Tablica 4. Emisja zanieczyszczeń z transportu drogowego na 1 pojazd według rodzajów pojazdów oraz stosowanego paliwa w 2015 r. (dok.)

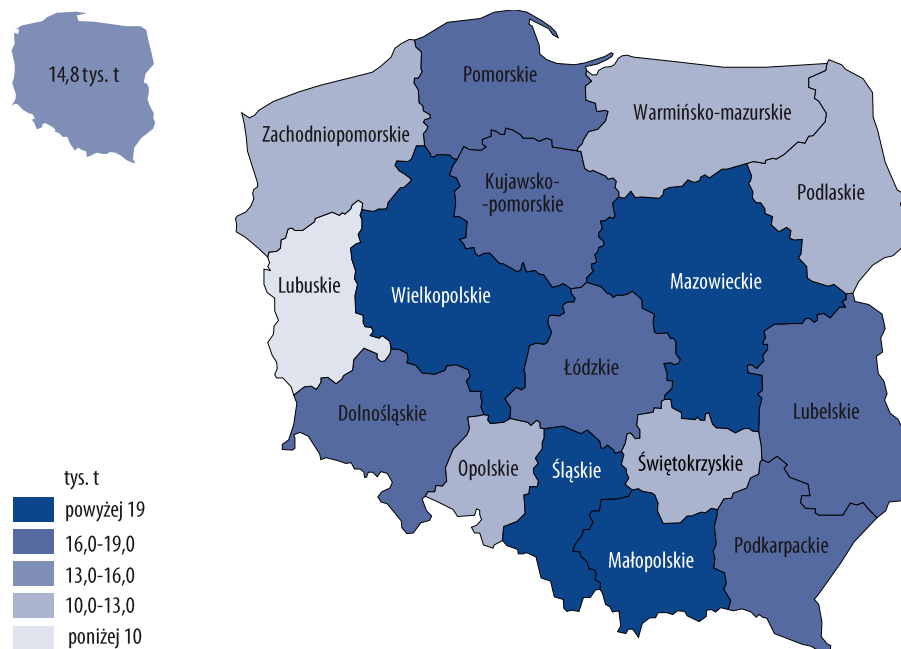
| Rodzaj pojazdu | Liczba pojazdów | Zanieczyszczenie | | | | | | | |
|----------------------|------------------|------------------|--------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------|
| | | CH ₄ | CO | CO ₂ | N ₂ O | NO _x | PM _{2,5} | PM ₁₀ | NM VOC |
| | | kg na pojazd | | | | | | | |
| Olej napędowy | 7 494 071 | 0,11 | 5,64 | 4 844,91 | 0,19 | 25,84 | 1,16 | 1,31 | 0,93 |
| osobowe | 67 732 | 0,03 | 1,05 | 2 669,27 | 0,11 | 10,59 | 0,74 | 0,82 | 0,24 |
| lekkie dostawcze | 679 174 | 0,03 | 6,79 | 4 735,48 | 0,14 | 22,09 | 1,43 | 1,59 | 1,21 |
| ciężarowe | 1 174 543 | 0,70 | 33,88 | 19 425,91 | 0,83 | 130,02 | 3,50 | 4,17 | 4,86 |
| autokary | 5 561 082 | 1,27 | 41,61 | 25 483,12 | 0,75 | 176,37 | 3,89 | 4,45 | 5,55 |
| autobusy miejskie | 11 540 | 5,87 | 228,34 | 85 133,22 | 1,50 | 741,87 | 23,00 | 25,82 | 49,51 |
| LPG | 2 975 498 | 0,17 | 27,20 | 2 067,54 | 0,05 | 5,69 | 0,10 | 0,17 | 1,49 |
| osobowe | 2 975 498 | 0,17 | 27,20 | 2 067,54 | 0,05 | 5,69 | 0,10 | 0,17 | 1,49 |

* nie uwzględnia 255 pojazdów na sprężony gaz ziemny (CNG).

Źródło: opracowanie własne

Najwięcej zanieczyszczeń emitowanych było przez autobusy miejskie i autokary na drogach zamiejskich. Jeden autobus miejski wydzielał średnio 85 tys. kg CO₂ i 736 kg tlenków azotu, a 1 autokar odpowiednio: 25,5 tys. kg i 176 kg. W grupie pojazdów emitujących najwięcej zanieczyszczeń znalazły się również samochody ciężarowe. Większość samochodów w tej grupie wyposażona była w silniki Diesla. Pojazdy napędzanych tym rodzajem paliwa oprócz dwutlenku węgla emitowały najwięcej tlenków azotu oraz pyłów stałych PM_{2,5} i PM₁₀.

Mapa 1. Emisja tlenku węgla (CO₂) z transportu drogowego w 2015 r.

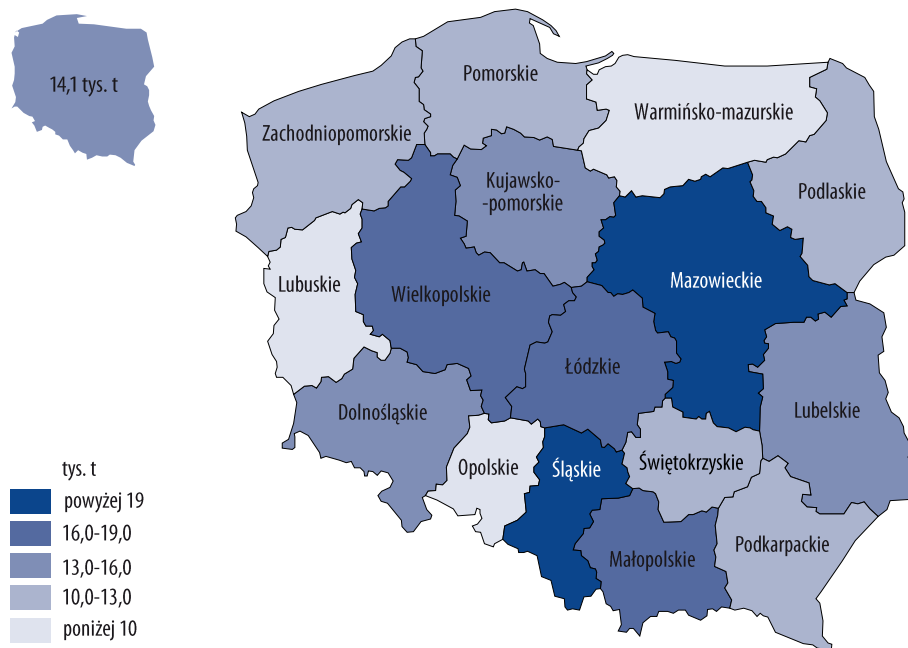


Źródło: opracowanie własne



W 2015 r. najwyższy poziom emisji tlenku węgla przekraczający 19 tys. t odnotowano w województwach: mazowieckim (23,9 tys. t), śląskim (21,6 tys. t), wielkopolskim (19,9 tys. t) i małopolskim (19,9 tys. t). Najmniejsza emisja tego związku wystąpiła w województwie lubuskim (9,1 tys. t). W stosunku do średniej emisji CO w Polsce kształtującej się na poziomie 14,9 tys. t, przekroczenie tej wartości nastąpiło w sześciu województwach.

Mapa 2. Emisja tlenków azotu (NO_x) z transportu drogowego w 2015 r.

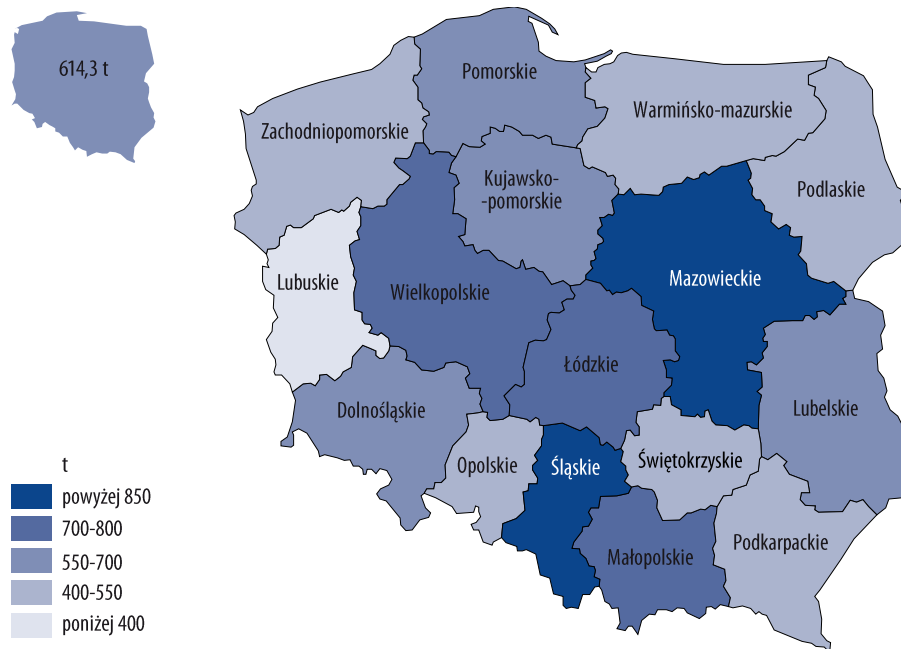


Źródło: opracowanie własne

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że emisja tlenków azotu, uważanych za najbardziej niebezpieczne dla zdrowia ludzi i zwierząt, osiągnęła wielkość 16 tys. t i więcej na powierzchni blisko połowy kraju. Najwięcej tego zanieczyszczenia (19 tys. t i więcej) generowały województwa mazowieckie – 22,8 tys.t i śląskie – 20,5 tys.t. Najmniejsza emisja tlenków azotu podobnie jak w przypadku tlenku węgla wystąpiła w województwie lubuskim koncentrując 8,7 tys. t oraz opolskim 9,6 tys. t.



Mapa 3. Emisja pyłów zawieszonych PM_{2,5} z transportu drogowego w 2015 r.

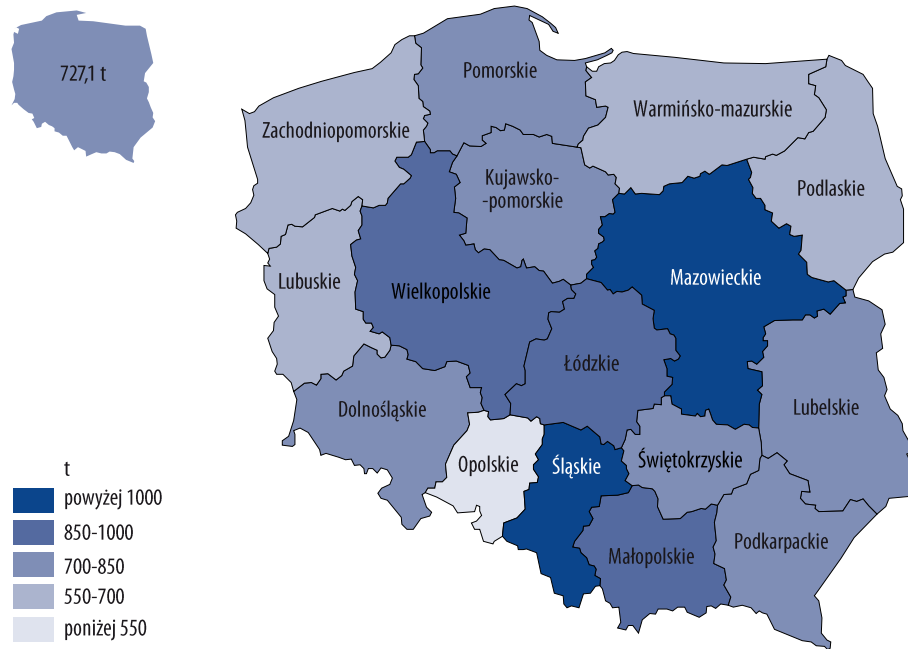


Źródło: opracowanie własne

Pyły zawieszone przyczyniają się do tworzenia zjawiska smogu. Najwyższe poziomy PM_{2,5} odnotowano w województwie mazowieckim i śląskim odpowiednio 988,3 i 891,8 tys. t. Duża koncentracja tych zanieczyszczeń wystąpiła w województwach: wielkopolskim, małopolskim i łódzkim. Tak jak w przypadku pozostałych emisji województwo lubuskie cechowało się najmniejszą jej wielkością, osiągając 375,8 tys. t.



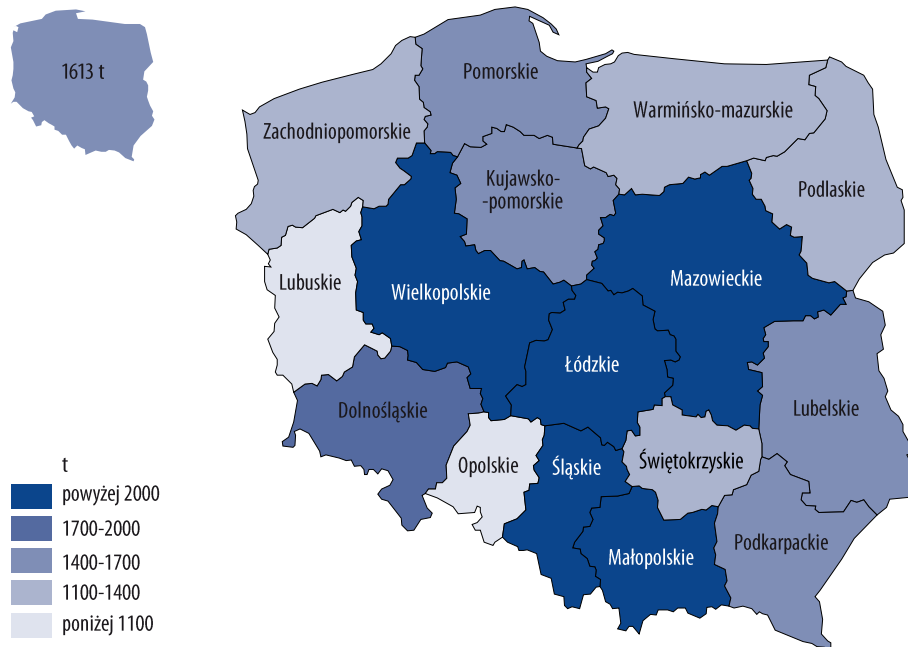
Mapa 4. Emisja pyłów zawieszonych PM₁₀ z transportu drogowego w 2015 r.



Źródło: opracowanie własne

Pyły zawieszone PM₁₀ w sześciu województwach przekroczyły średnią wartość emisji dla Polski (727 t). W tej grupie znalazły się: mazowieckie, śląskie, wielkopolskie, małopolskie, łódzkie i dolnośląskie. Wielkość emisji pyłów w tych województwach kształtowała się na poziomie 771 t – 1,2 tys. t.

Mapa 5. Emisja niemetanowych lotnych związków organicznych (NMVOC) z transportu drogowego w 2015 r.

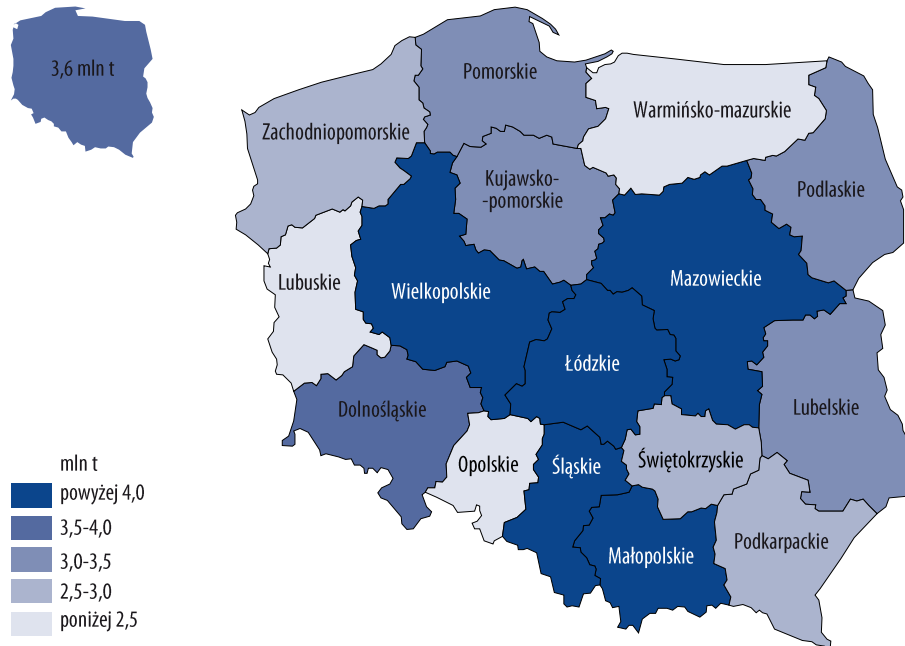


Źródło: opracowanie własne



Najwyższą koncentrację niemetanowych lotnych związków organicznych (powyżej 2,0 tys. t) z pojazdów samochodowych odnotowano w województwach: łódzkim, małopolskim, wielkopolskim, śląskim i mazowieckim, najmniejszą natomiast – w lubuskim. W 2015 r. różnica pomiędzy największą i najmniejszą emisją tego zanieczyszczenia w województwach wyniosła 1608,7 ton.

Mapa 6. Emisja gazów cieplarnianych z transportu drogowego w 2015 r.

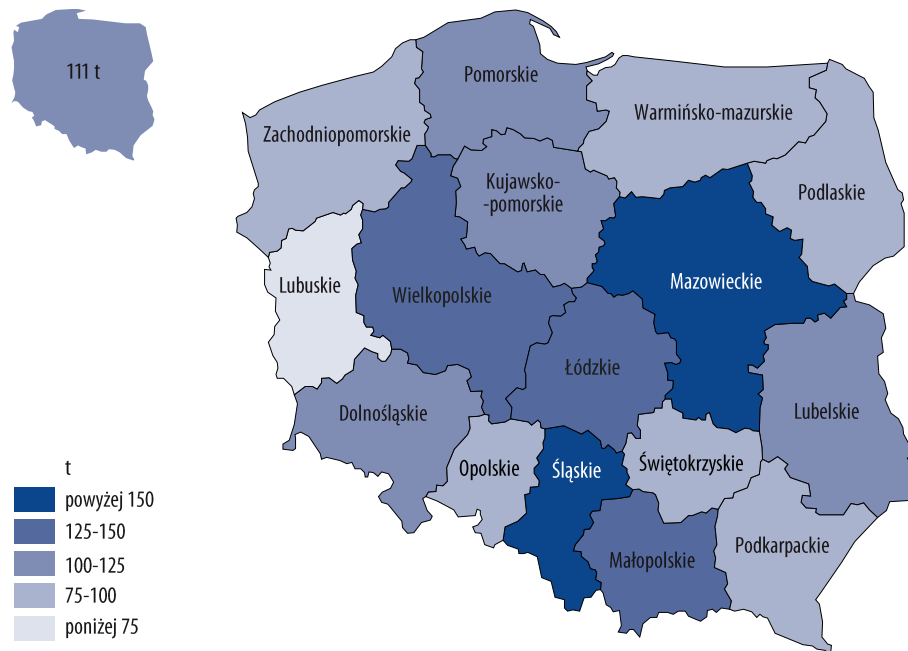


Źródło: opracowanie własne

Analizując wielkość emisji gazów cieplarnianych z transportu samochodowego zauważa się, że w województwach: łódzkim, małopolskim, wielkopolskim, śląskim i mazowieckim emisja tych gazów była najwyższa i przekraczała 4 mln t. Zanieczyszczenie gazami cieplarnianymi w tak dużych ilościach obejmowało blisko połowę powierzchni kraju. Jest to niepokojące z uwagi na długi okres rozkładu tych gazów i kumulowanie ich w atmosferze. Do województw, w których emitowano poniżej 2,5 mln t gazów cieplarnianych należało: lubuskie, opolskie i warmińsko-mazurskie.

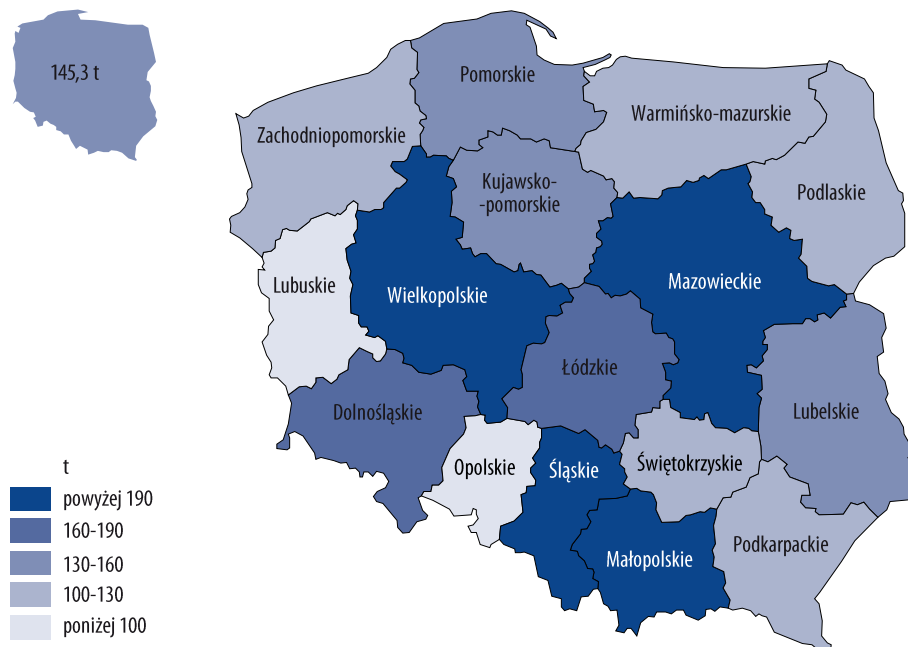


Mapa 7. Emisja podtlenku azotu (N_2O) z transportu drogowego w 2015 r.



Źródło: opracowanie własne

Mapa 8. Emisja metanu (CH_4) z transportu drogowego w 2015 r.



Źródło: opracowanie własne

Prowadzone przez niektóre kraje unijne wieloletnie badania potwierdziły negatywne oddziaływanie zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych na zdrowie ludzkie. Istnieje przypuszczenie, że wraz z innymi czynnikami mogą one wywoływać lub stwarzać dogodne warunki do rozwoju niektórych chorób, szczególnie układu dróg oddechowych, układu krążenia, nowotworów. Poniżej przedstawiono w tabeli liczbę dni absencji chorobowych wybranych grup chorobowych według województw.

Tablica 5. Liczba dni absencji chorobowej według wybranych grup chorobowych w 2015 r.

| Województwo | Liczba dni absencji chorobowej w tys. | w tym | | |
|-------------------------|---------------------------------------|----------------|----------------------------|-------------------------|
| | | nowotwory | choroby układu oddechowego | choroby układu krążenia |
| OGÓŁEM | 226 717,9 | 8 174,3 | 26 657,4 | 12 233,2 |
| Dolnośląskie | 17 417,6 | 647,5 | 2 541,7 | 878,8 |
| Kujawsko-pomorskie | 11 884,3 | 438,8 | 1 245,5 | 636,4 |
| Lubelskie | 9 767,2 | 336,1 | 1 183,0 | 504,7 |
| Lubuskie | 5 424,8 | 203,0 | 647,4 | 294,4 |
| Łódzkie | 18 940,3 | 612,9 | 2 249,5 | 1 319,0 |
| Małopolskie | 17 660,1 | 593,4 | 2 390,7 | 891,8 |
| Mazowieckie | 29 316,8 | 1 072,5 | 3 892,0 | 1 427,6 |
| Opolskie | 5 112,4 | 188,3 | 756,2 | 287,8 |
| Podkarpackie | 11 638,2 | 381,1 | 1 307,1 | 663,1 |
| Podlaskie | 4 728,6 | 189,9 | 518,7 | 210,7 |
| Pomorskie | 13 140,5 | 500,0 | 1 650,4 | 577,3 |
| Śląskie | 29 002,0 | 1032,2 | 4 207,4 | 1 603,0 |
| Świętokrzyskie | 7 723,5 | 227,1 | 819,1 | 475,8 |
| Warmińsko-mazurskie | 7 403,6 | 272,3 | 755,5 | 362,3 |
| Wielkopolskie | 23 585,5 | 874,7 | 3 034,2 | 1 325,8 |
| Zachodniopomorskie | 9 075,9 | 374,0 | 1 131,3 | 444,6 |
| nieustalone województwo | 4 896,6 | 230,5 | 627,7 | 330,1 |

Źródło: opracowanie własne na podstawie raportu ZUS Absencja chorobowa w 2015 r.

Analizując dane o nieobecności w pracy spowodowanej określonymi grupami chorób oraz rozkład wielkości emisji zanieczyszczeń w województwach, można zauważyć korelację pomiędzy tymi zmiennymi. Największą liczbę dni absencji chorobowej odnotowano w województwach, w których jednocześnie emisja zanieczyszczeń była największa: w mazowieckim, śląskim, wielkopolskim, a także łódzkim i dolnośląskim. Na tej podstawie można przypuszczać, że ryzyko zachorowań na choroby układu dróg oddechowych, układu krążenia oraz nowotwory jest większe w województwach o dużym nasileniu zanieczyszczeń. Na podstawie porównania wyników ilości zanieczyszczeń i częstotliwości zachorowań, można przypuszczać, że istnieje większe ryzyko zachorowań na określone choroby w wymienionych wyżej województwach.



1.2. Koszty zewnętrzne emisji zanieczyszczeń do powietrza z pojazdów samochodowych

1.2.1. Wartość kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń do powietrza z pojazdów samochodowych

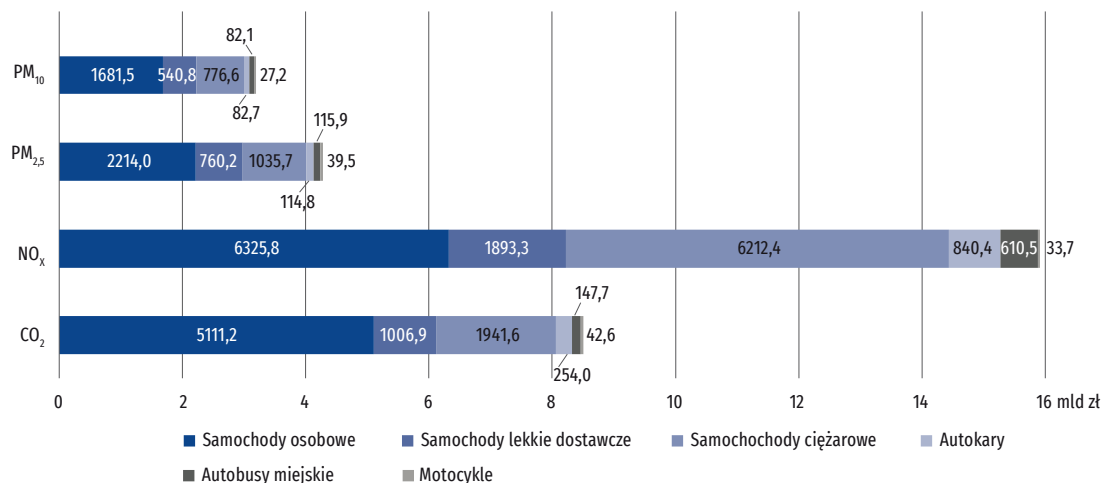
Koszty zewnętrzne transportu są częścią kosztów społecznych i nie mają odzwierciedlenia w cenach rynkowych ani w kosztach wszystkich użytkowników dróg.

Transport oddziałuje negatywnie na środowisko naturalne i powoduje jego degradację przez zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego, użytkowanie terenów pod infrastrukturę i powodowanie zniekształcenia naturalnej rzeźby terenu i krajobrazu. Działanie jego niekorzystnie wpływa także na zdrowie i życie ludzkie.

Na podstawie przeprowadzonych prac dotyczących szacowania kosztów zewnętrznych zanieczyszczeń powietrza pochodzących z transportu drogowego wynika, że w 2015 r. społeczeństwo obciążone było kosztami w wysokości 32,2 mld zł. Około 56% tej wartości pochodziło z transportu pasażerskiego, a 44% z przewozów ładunków. Samochody osobowe i ciężarowe miały największy udział w tych kosztach (odpowiednio 48% i 31%); mniejszy – samochody lekkie dostawcze (13%) i autobusy (7%), a najmniej znaczący był udział motocykli (1%).

Najwyższe koszty generowane były przez pojazdy samochodowe z silnikiem Diesla i stanowiły 79,0% ogółu kosztów zewnętrznych zanieczyszczeń powietrza. Najwyższą wartość oszacowaną na 16 mld zł, przypisano emisji tlenków azotu, z których dwie trzecie przypadło na samochody osobowe i ciężarowe. Koszty zewnętrzne dwutlenku węgla były o połowę mniejsze, a dominujący udział w nich miały samochody osobowe.

Wykres 7. Koszty zewnętrzne zanieczyszczeń emitowanych z transportu drogowego według rodzajów pojazdów w 2015 r.



Źródło: opracowanie własne

Tablica 6. Koszty zewnętrzne zanieczyszczeń powietrza emitowanych z transportu drogowego według rodzajów pojazdów i stosowanego paliwa na 1 pojazd w 2015 r.

| Wyszczególnienie | Liczba pojazdów | Koszty zewnętrzne zanieczyszczeń | | | | | | |
|--------------------------|-------------------|---|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------|
| | | CH ₄ | CO ₂ | N ₂ O | NO _x | PM _{2,5} | PM ₁₀ | NMVOc |
| | | zł na pojazd | | | | | | |
| OGÓŁEM | 20 959 088 | 0,5 | 405,7 | 3,3 | 759,4 | 204,2 | 152,2 | 10,8 |
| | | według rodzaju pojazdu | | | | | | |
| Osobowe | 17 216 420 | 0,3 | 296,9 | 2,2 | 367,4 | 128,6 | 97,7 | 8,0 |
| Lekkie dostawcze | 1 522 458 | 0,2 | 661,3 | 4,7 | 1 243,6 | 499,3 | 355,2 | 10,4 |
| Ciężarowe | 679 174 | 2,9 | 2 858,7 | 32,3 | 9 147,0 | 1 525,0 | 1 143,4 | 42,7 |
| Autokary | 67 732 | 5,2 | 3 750,1 | 29,4 | 12 407,4 | 1 695,6 | 1 220,8 | 48,7 |
| Autobusy miejskie | 11 058 | 36,3 | 13 360,9 | 60,8 | 55 207,3 | 10 483,8 | 7 427,7 | 454,4 |
| Motocykle | 1 462 246 | 0,7 | 29,1 | 0,2 | 23,0 | 27,0 | 18,6 | 24,2 |
| | | według rodzaju stosowanego paliwa* | | | | | | |
| Benzyna | 7 482 531 | 0,5 | 301,0 | 1,0 | 146,1 | 48,4 | 47,2 | 16,9 |
| Olej napędowy | 10 500 821 | 0,3 | 508,8 | 5,3 | 1 297,3 | 360,1 | 257,3 | 5,9 |
| Skroplony gaz ziemny LPG | 2 975 498 | 0,7 | 304,3 | 2,0 | 400,6 | 45,6 | 45,5 | 13,1 |

* nie uwzględniono 238 pojazdów o napędzie na sprężony gaz ziemny CNG.

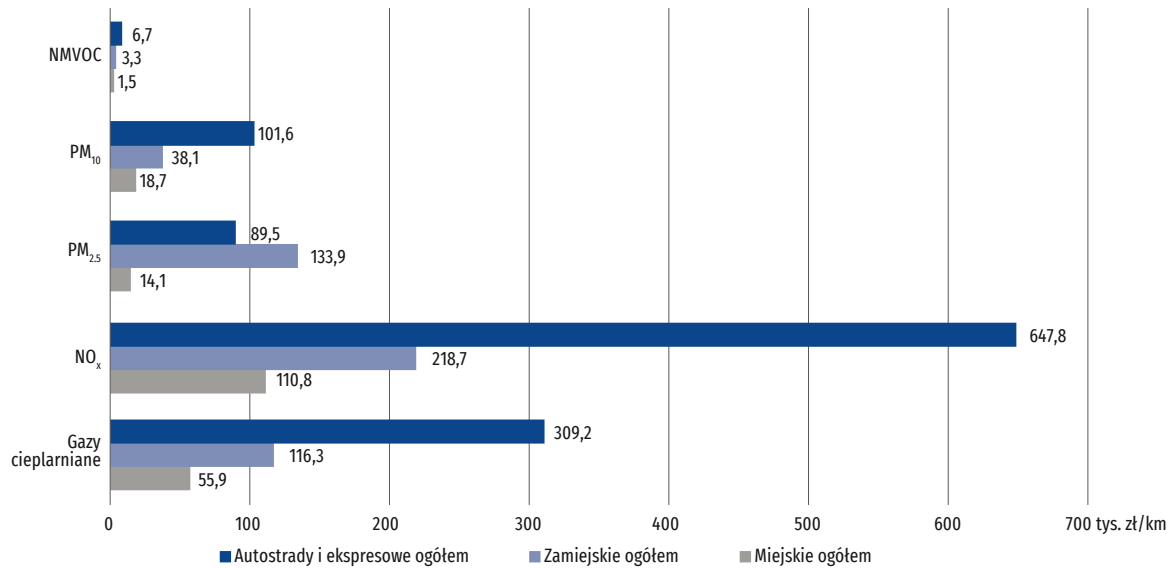
Źródło: opracowanie własne

Koszty zewnętrzne przeliczone na jeden pojazd poruszający się po drogach były najniższe w przypadku motocykli i samochodów osobowych z silnikami benzynowymi, najwyższe natomiast - generowane były przez autobusy miejskie eksploatowane w ciągu dnia najdłużej (duże przebiegi) i napędzane olejem napędowym.

W 2015 r. oszacowane koszty zewnętrzne zanieczyszczeń powietrza przez transport drogowy wyniosły 12 517 mln zł. Koszty te generowane podczas przewozów ładunków i przeliczone na jednostkę pracy przewozowej stanowiły wartość 3 gr/tkm, a w przypadku przewozów pasażerów 26 gr/paskm.



Wykres 8. Koszty zewnętrzne zanieczyszczeń powietrza emitowanych z transportu drogowego według rodzajów dróg w 2015 r.



Analizując wielkość kosztów zewnętrznych zanieczyszczeń według rodzajów dróg, zauważyć można, że najwyższe koszty generowane były na autostradach i drogach szybkiego ruchu. W 2015 r. na drogach tych najwyższa wartość przeliczona na 1 km wynikała z emisji tlenków azotu i wyniosła blisko 650 tys. zł. Na drogach zamiejskich koszty zewnętrzne spowodowane były głównie emisją tlenków azotu, a także pyłów zawieszonych. Na średni koszt zanieczyszczeń na 1 km drogi miejskiej wpływ miały przede wszystkim tlenki azotu i gazy cieplarniane.

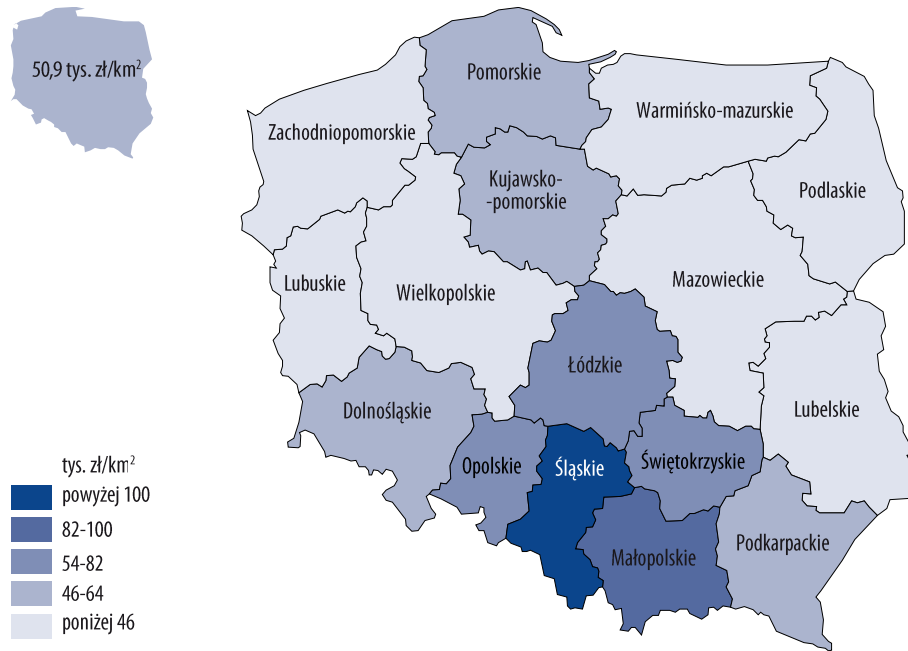
Najmniejsze koszty zewnętrzne zanieczyszczeń z transportu drogowego dotyczyły dróg miejskich, na których najniższe wartości osiągnęły dla niemetanowych lotnych związków organicznych (1,5 tys. zł/km drogi).

W 2015 r. koszty zewnętrzne zanieczyszczeń powietrza przeliczone na 1 km² powierzchni Polski generowane były głównie przez tlenki azotu, a ich wartość oszacowano na poziomie 51,0 tys. zł. Drugą co do wielkości tego wskaźnika substancją szkodliwą był dwutlenek węgla z wyliczoną kwotą 27 tys. zł/km². Najniższy średni koszt dotyczył niemetanowych lotnych związków organicznych (725 zł/km²).

Biorąc pod uwagę podział terytorialny kraju najwyższe wartości wskaźnika kosztów zewnętrznych odnotowano w województwach południowych i centralnych. Wśród nich najbardziej obciążeni kosztami byli mieszkańcy województw śląskiego i małopolskiego.

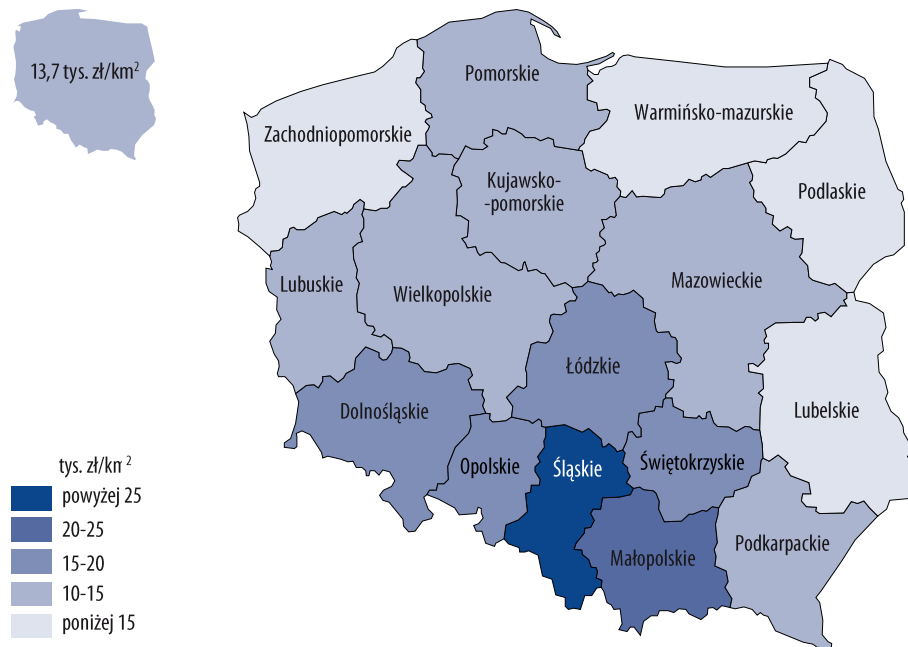


Mapa 9. Koszty zewnętrzne emisji tlenków azotu (NO_x) z transportu drogowego na km^2 w 2015 r.



Źródło: opracowanie własne

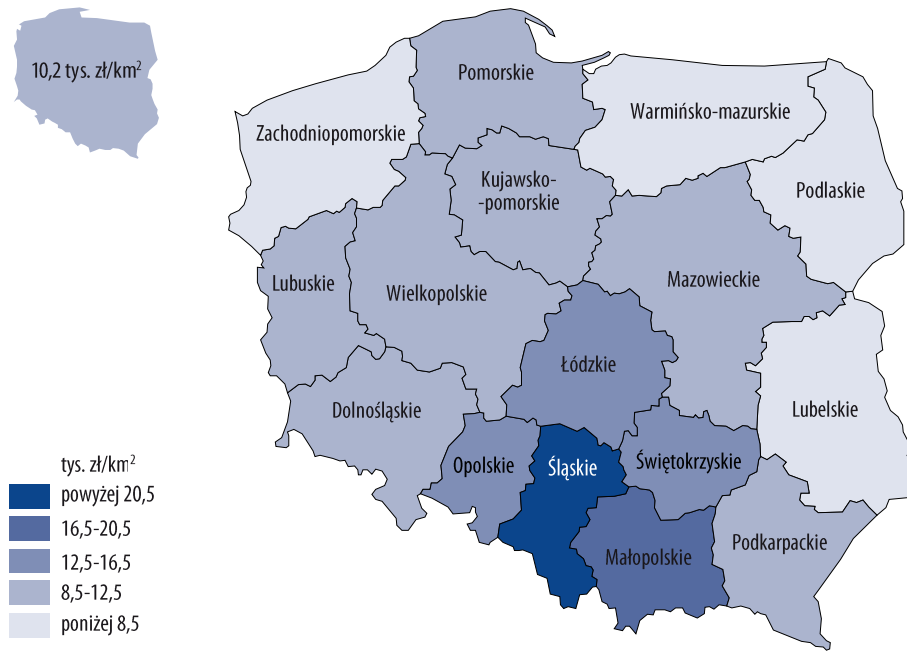
Mapa 10. Koszty zewnętrzne emisji pyłów $\text{PM}_{2,5}$ z transportu drogowego na km^2 w 2015 r.



Źródło: opracowanie własne

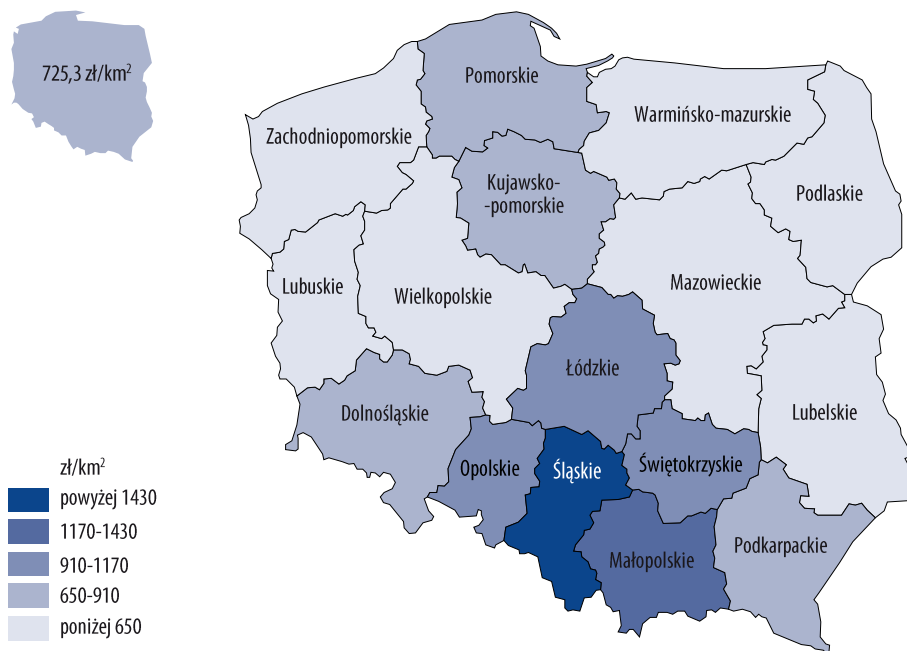


Mapa 11. Koszty zewnętrzne emisji pyłów PM₁₀ z transportu drogowego na km² w 2015 r.



Źródło: opracowanie własne

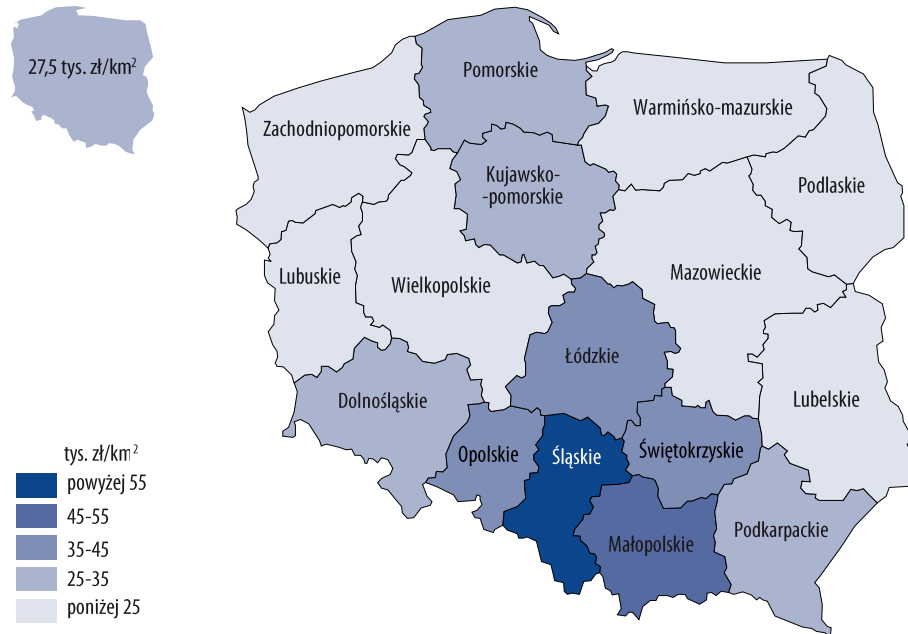
Mapa 12. Koszty zewnętrzne emisji niemetanowych lotnych związków organicznych (NMVOC) z transportu drogowego na km² w 2015 r.



Źródło: opracowanie własne



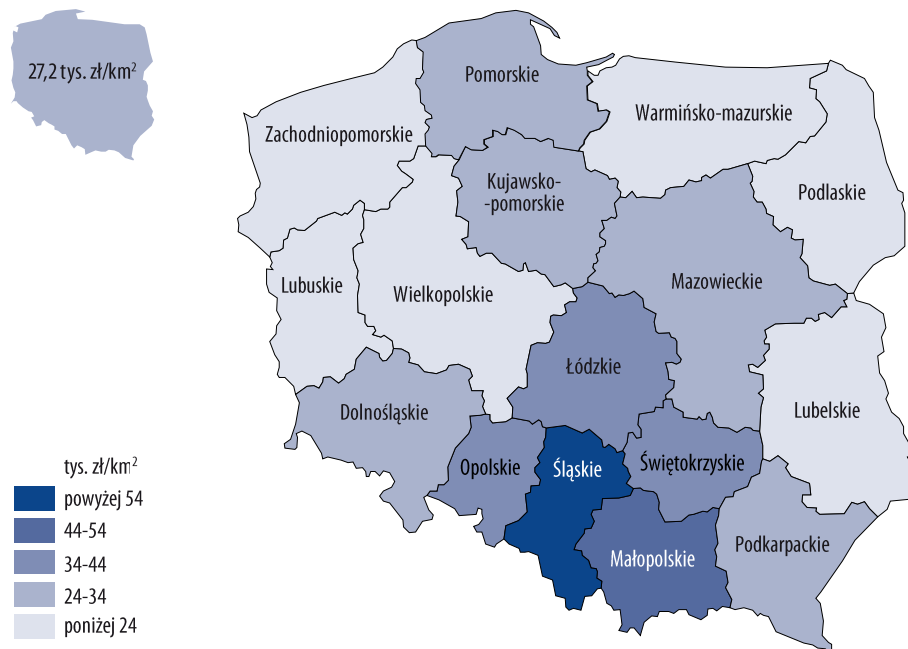
Mapa 13. Koszty zewnętrzne emisji gazów cieplarnianych z transportu drogowego na km² w 2015 r.



* bez kosztów CO

Źródło: opracowanie własne

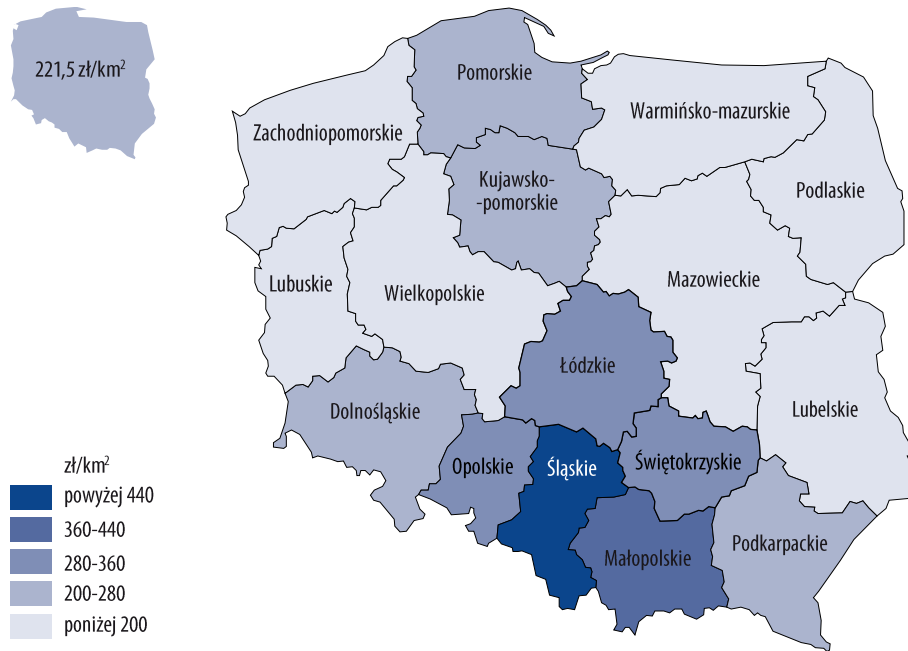
Mapa 14. Koszty zewnętrzne emisji dwutlenku węgla (CO₂) z transportu drogowego na km² w 2015 r.



Źródło: opracowanie własne

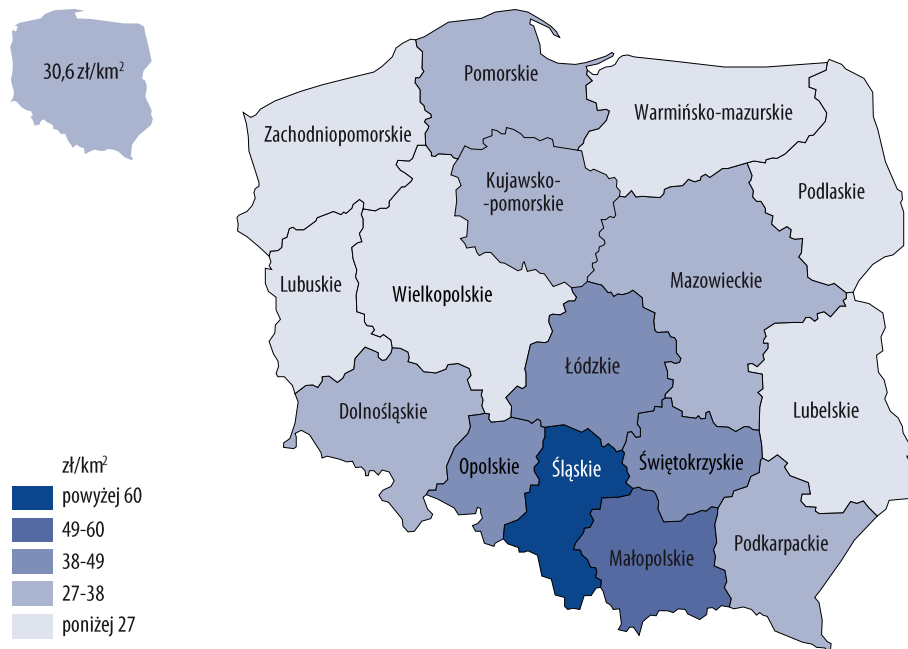


Mapa 15. Koszty zewnętrzne emisji podtlenku azotu (N_2O) z transportu drogowego na km^2 w 2015 r.



Źródło: opracowanie własne

Mapa 16. Koszty zewnętrzne emisji metanu (CH_4) z transportu drogowego na km^2 w 2015 r.



Źródło: opracowanie własne

1.2.2. Zestaw wskaźników dla potrzeb szacowania kosztów zewnętrznych transportu drogowego

Efektom wykonanej pracy badawczej jest przedstawiony poniżej zestaw wskaźników opracowanych zgodnie z celami krajowych i unijnych strategii rozwoju i spójności.

Obszar tematyczny - Środowisko naturalne

| | | |
|--|-----------------------|-----------|
| Ilość zanieczyszczeń emitowanych do powietrza z pojazdów samochodowych w t/km dróg publicznych o twardej nawierzchni | t/km | |
| | CH ₄ | 0,01 |
| | CO | 0,82 |
| | CO ₂ | 198,63 |
| | N ₂ O | 0,01 |
| | NO _x | 0,78 |
| | PM _{2,5} | 0,03 |
| | PM ₁₀ | 0,04 |
| | NMVOC | 0,09 |
| Ilość zanieczyszczeń emitowanych do powietrza z pojazdów samochodowych w t/ 100 km ² powierzchni kraju | t/100 km ² | |
| | CH ₄ | 0,74 |
| | CO | 76,14 |
| | CO ₂ | 18 481,06 |
| | N ₂ O | 0,57 |
| | NO _x | 72,36 |
| | PM _{2,5} | 3,14 |
| | PM ₁₀ | 3,72 |
| | NMVOC | 8,26 |
| Ilość zanieczyszczeń emitowanych do powietrza z pojazdów samochodowych w kg/poj-km | 0,21 | |
| Udział biopaliw w strukturze zużycia paliw ogółem w transporcie drogowym w % | 0,92 | |
| Udział powierzchni terenów przeznaczonych na cele komunikacyjne do ogólnej powierzchni kraju w % | 2,9 | |
| Średniobowy ruch roczny (SDRR) pojazdów/dobę według rodzaju dróg i obszaru: | | |
| drogi miejskie | 19 598 | |
| autostrady | 48 788 | |
| ekspresowe | 35 333 | |
| krajowe | 15 003 | |
| wojewódzkie | 7 580 | |
| drogi zamiejskie | 6 196 | |
| autostrady | 23 788 | |
| ekspresowe | 18 338 | |
| krajowe | 8 261 | |
| wojewódzkie | 3 442 | |

Obszar tematyczny – Transport

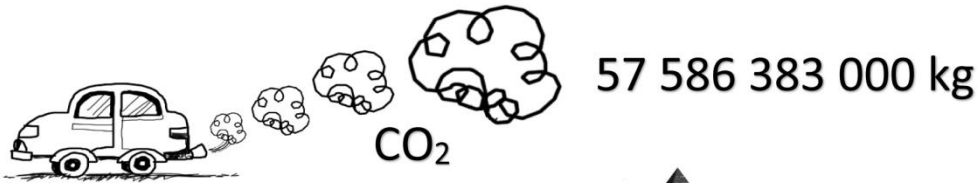
| | |
|---|-----------|
| Udział przewozów ładunków transportem intermodalnym kolejowym w transporcie kolejowym ogółem w % | 4,6 |
| Udział przewozów ładunków transportem kolejowym i wodnym śródlądowym w przewozach transportu ogółem w % | 13,1 |
| Udział długości linii kolejowych dostosowanych do prędkości 160 km/h i więcej w ogólnej długości eksploatowanych linii kolejowych w % | 0,9 |
| Udział przebiegów pojazdów bez ładunków (pustych) w przewozach transportem drogowym ogółem w % | 24,1 |
| Udział pojazdów samochodowych posiadających normę spalin EURO 6 w liczbie zarejestrowanych pojazdów samochodowych ogółem w % | 1,5 |
| Udział nowych pojazdów samochodowych w liczbie zarejestrowanych pojazdów samochodowych ogółem w % | 5,5 |
| Udział zarejestrowanych pojazdów samochodowych elektrycznych w liczbie zarejestrowanych pojazdów samochodowych ogółem w % | 0,04 |
| Liczba zarejestrowanych pojazdów samochodowych na 100 km dróg publicznych o twardej nawierzchni | 6 126,0 |
| Liczba zarejestrowanych pojazdów samochodowych na 100 km dróg miejskich | 37 431,1 |
| Liczba zarejestrowanych pojazdów samochodowych na 100 km dróg zamiejskich | 7 324,8 |
| Liczba zarejestrowanych pojazdów samochodowych na 100 km autostrad i dróg ekspresowych | 842 462,6 |

Obszar tematyczny – Klimat

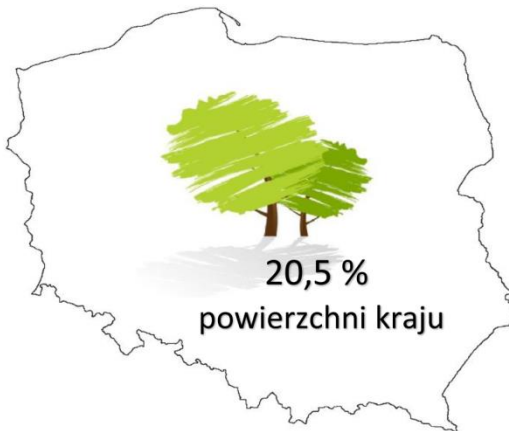
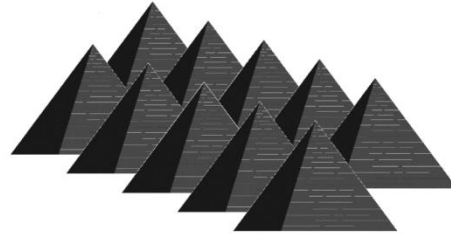
| | |
|---|-------|
| Udział emisji gazów cieplarnianych z transportu (w ekwiwalencie dwutlenku węgla) w emisji gazów cieplarnianych ogółem w% | 15,2 |
| Ilość gazów cieplarnianych emitowanych do powietrza (w ekwiwalencie dwutlenku węgla) z pojazdów samochodowych w t/km dróg publicznych o twardej nawierzchni w t/km | 198,6 |
| Ilość gazów cieplarnianych emitowanych do powietrza (w ekwiwalencie dwutlenku węgla) z pojazdów samochodowych w t/km ² powierzchni kraju t/km ² | 184,8 |
| Ilość gazów cieplarnianych emitowanych do powietrza (w ekwiwalencie dwutlenku węgla) z pojazdów samochodowych w kg/poj-km | 0,3 |



Emisja dwutlenku węgla

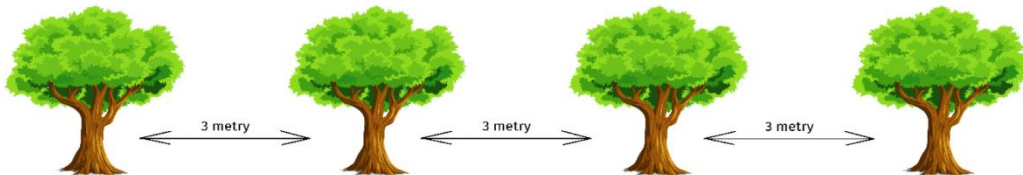


odpowiada to wadze
prawie 10 piramid
Cheopsa



Aby las
wchłonął
taką ilość CO₂
potrzeba
12,8 miliardów
drzew

Ustawiając drzewa co 3 metry
uzyskano długość



963 105
obwódów Ziemi

a to CO₂ tylko z transportu...



2. Metodyka badania

2.1. Źródła danych wykorzystane w pracy badawczej

2.1.1. System informacyjny statystyki publicznej

Statystyka publiczna zgodnie z ustawą z dnia 29 czerwca 1995r. (Dz.U. 1995 Nr 88 poz. 439 z późn. zm.) jest *systemem zbierania danych statystycznych, gromadzenia, przechowywania i opracowywania zebranych danych oraz ogłaszania, udostępniania i rozpowszechniania wyników badań statystycznych jako oficjalnych danych statystycznych.*

Zgromadzone i upowszechnione dane statystyczne mogą być wykorzystywane przez władze rządowe i samorządowe, organizacje, instytucje, przedstawiciele biznesu oraz środowiska naukowe do planowania, zarządzania i podejmowania strategicznych decyzji w obszarze życia społeczno-gospodarczego.

W realizowanym projekcie badawczym wykorzystano wyniki badań statystycznych prowadzonych przez Główny Urząd Statystyczny zgodnie z Programem Badań Statystycznych Statystyki Publicznej, a także inne oficjalne zasoby informacyjne.

Przy realizacji projektu wykorzystano informacje statystyczne pochodzące z następujących badań i rejestrów:

- Centralna Ewidencja Pojazdów (CEP) – dane o pojazdach samochodowych gromadzone przez Ministerstwo Cyfryzacji: liczba pojazdów według grup wiekowych, rodzaju pojazdu, rodzaju stosowanego paliwa, pojemności silnika i dopuszczalnej masy całkowitej,
- TD-E – kwestionariusz tygodniowy o przewozach ładunków pojazdem samochodowym – oparty o obserwację samochodów ciężarowych i ciągników siodłowych w wyznaczonym tygodniu badanego roku. Zebrane dane dotyczą wykonanej pracy przewozowej oraz wielkości przewiezionych ładunków według: klasy emisji spalin, rodzaju stosowanego paliwa i kategorii samochodu (ciężarowe w wieku do 25 lat o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 3,5 ton i ładowności powyżej 1,5 tony oraz ciągniki siodłowe w wieku do 25 lat),
- T-04 – sprawozdanie o towarowym transporcie drogowym zarobkowym – informacje na temat liczby eksploatowanych pojazdów samochodowych (ciężarowych i ciągników siodłowych) według rodzaju stosowanego paliwa, ładowności, klasy emisji spalin, ilości przewiezionych ton i wykonanej pracy przewozowej oraz przebiegu w ciągu roku,
- T-06 – sprawozdanie o pasażerskim transporcie drogowym – dane o przewiezionych pasażerach w komunikacji krajowej i miejskiej (autobusami i taksówkami) oraz wykonanej pracy przewozowej, liczbie eksploatowanych pojazdów według klasy emisji spalin,
- *Badanie pilotażowe zachowań komunikacyjnych ludności w Polsce w 2015 r.*, którego przedmiotem były podróże i przejazdy osób realizowane w ciągu tygodnia, a także wyjazdy okazjonalne (na odległość powyżej 100 km). Badaniem objęto członków gospodarstw domowych w wieku 16 lat i więcej zamieszkujących wylosowane mieszkania. Zbierane dane dotyczyły motywów podróży (dojazdów do pracy lub szkoły, na zakupy, wyjazdów służbowych), a także rodzaju wykorzystywanego środka transportu (pieszo, samochód osobowy, taksówka, komunikacja miejska). Wyniki badania obejmowały: liczbę przewiezionych pasażerów publicznym transportem zbiorowym, przebieg samochodów osobowych, cele podróży, udział poszczególnych rodzajów środków transportu w przewozach osób,
- *Karta zgonu* - dane dotyczące płci, wieku, miejsca zamieszkania i przyczyny zgonu zmarłego; zawiera opis i kod (ICD-10),



- *Ochrona zdrowia w gospodarstwach domowych w 2013 r.* - badanie przeprowadzane cyklicznie co 3 lata. Zbierane są informacje o wydatkach na opiekę zdrowotną ponoszone przez gospodarstwa domowe w ciągu roku.

2.1.2. Systemy i bazy administracyjne

System informacyjny statystyki publicznej coraz częściej wspiera się administracyjnymi źródłami danych o szerokim zakresie tematycznym i dotyczące dużych zbiorowości. Dane pochodzące z takich zbiorów wraz z danymi statystycznymi tworzą zasób informacyjny dla wielu odbiorców.

Przy realizacji niniejszej pracy badawczej wykorzystano następujące źródła:

- Informacje z bazy Ministerstwa Cyfryzacji na podstawie zgromadzonych w CEP odczytów liczników pojazdów z przebiegów pojazdów samochodowych, wskazujące na wielkość wykonanej pracy eksploatacyjnej rodzaju pojazdów, według grup wiekowych, stosowanego paliwa, pojemności silników i dopuszczalnej masy całkowitej,
- Wyniki Generalnego Pomiaru Ruchu Drogowego (GPR 2015) wykonanego w 2015 r. na drogach krajowych i wojewódzkich przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) i zarządców dróg wojewódzkich, odbywającego się cyklicznie co 5 lat zgodnie z zaleceniami EKG ONZ. Podstawowym celem pomiaru było określenie wielkości ruchu na poszczególnych odcinkach, a także na całej sieci dróg krajowych i wojewódzkich (z wyłączeniem odcinków przebiegających przez miasta na prawach powiatu). Opierając się na uzyskanych wynikach możliwe było określenie różnych charakterystyk ruchu, między innymi:
 - średni dobowy ruch na poszczególnych drogach (SDRR),
 - długość dróg krajowych i wojewódzkich według przedziałów średniego dobowego natężenia ruchu pojazdów,
 - wskaźnik wzrostu ruchu,
 - specyfika ruchu (sezonowość, itp.),
 - praca przewozowa na sieci dróg krajowych i wojewódzkich,
 - rozkład obciążenia średnim dobowym ruchem na sieci dróg,
- Dane meteorologiczne z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej dotyczące średnich miesięcznych temperatur (minimalnych i maksymalnych) oraz średniej miesięcznej wilgotności powietrza (według województw w 2015 r.),
- Informacje o liczbie dni absencji z powodu choroby własnej lub konieczności sprawowania osobistej opieki nad chorym członkiem rodziny, według rodzaju jednostek chorobowych oraz w podziale na województwa w 2015 r. - Absencja chorobowa w 2015 r. – dane ZUS
- Koszty świadczeń zdrowotnych osób ubezpieczonych, poniesione przez Narodowy Fundusz Zdrowia, opracowane na podstawie danych ze sprawozdania z wykonania planu finansowego.

Informacje pozyskane z wyżej wymienionych źródeł były niezbędne do realizacji niniejszej pracy badawczej. Podstawowym zbiorem wykorzystanym w projekcie była ewidencja zarejestrowanych pojazdów samochodowych na terenie kraju (według stanu na koniec grudnia 2015 r.). Szacowanie ruchu na drogach wykonano w oparciu o kompilację informacji na temat pojazdów samochodowych i ruchu tych pojazdów pochodzących z:

- Generalnego Pomiaru Ruchu,
- Krajowego modelu ruchu dla sieci drogowej opracowanego w ramach projektów GDDKiA,
- badań statystycznych.

Zebrane dane połączono w zbiory i wydzielono z nich część wspólną – liczbę pojazdów samochodowych według rodzaju. Informacje na temat liczby, przebiegów oraz średniodobowego ruchu tej grupy pojazdów wykorzystano

do obliczenia wielkości zanieczyszczeń emitowanych do powietrza. W celu pokazania skutków zanieczyszczeń w kontekście konsekwencji zdrowotnych i środowiskowych, zgromadzone dane uzupełniono o informacje pochodzące z rejestrów (Zakładu Ubezpieczeń Społecznych, Narodowego Funduszu Zdrowia), raportów i opracowań krajowych i międzynarodowych (Narodowego Instytutu Zdrowia Publicznego - Państwowego Instytutu Zdrowia, Banku Światowego, Międzynarodowej Organizacji Zdrowia, Europejskiej Agencji Środowiska).

Integracja danych pochodzących z różnych źródeł umożliwia przeprowadzanie wielopłaszczyznowych analiz zjawisk, procesów i zmian społeczno-gospodarczych. Wykorzystywanie przez statystykę publiczną informacji gromadzonych przez inne instytucje i organy może w znaczący sposób wpłynąć na powiększenie zasobów informacyjnych, ograniczenie kosztów organizacji badań i czasu, zmniejszenie obciążenia respondentów, a także na poprawę jakości danych.

2.2. Charakterystyka zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery przez pojazdy samochodowe

2.2.1. Zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego

Rozwój cywilizacji wpływa na poprawę jakości życia społeczeństwa, jednakże dynamika tego rozwoju sprawia, że skutki są coraz bardziej uciążliwe i oddziałują na stan otaczającego nas środowiska. Czyste środowisko stanowi bowiem niezbędny czynnik do zachowania dobrego zdrowia i samopoczucia. Zakłócenie jakości ekosystemu istotnie wpływa na pogorszenie zdrowia ludności, jest to zjawisko złożone i trudne do oceny. Głównymi źródłami zanieczyszczenia powietrza są przede wszystkim: elektrownie węglowe, zakłady przemysłowe, gospodarstwa domowe, a także transport, a w obszarach zurbanizowanych – głównie transport samochodowy. Wpływ zanieczyszczenia środowiska na kondycję ludności odnotowuje się głównie jako rosnącą liczbę zachorowań na schorzenia układu oddechowego, krążenia lub układu nerwowego.

Spośród substancji szkodliwych wydalanych w dużych ilościach w spalinach pojazdów samochodowych, mających niekorzystny wpływ na zdrowie ludzi i zwierząt wymienić należy: gazy, aerozole i cząstki stałe. Zanieczyszczenia te klasyfikuje się jako:

- konwencjonalne,
- gazy cieplarniane.

Do grupy zanieczyszczeń konwencjonalnych zalicza się:

- **tlenek węgla (CO)**, zwany czadem – jest bezbarwnym, bezwonny gazem silnie toksycznym, powstającym podczas niepełnego spalania paliw stałych, płynnych i gazowych. Przyczynia się do powstania smogu fotochemicznego. Łączy się z hemoglobina, blokuje transport tlenu we krwi. Powoduje problemy oddechowe, sercowe, bóle i zawroty głowy, nudności oraz kłopoty ze wzrokiem. Stężenie tlenu węgla powyżej 1000 ppm (0,1%) we wdychanym powietrzu stanowi zagrożenie dla życia¹. Silna ekspozycja na CO wynika głównie z powszechnej obecności tego gazu w powietrzu, co jest efektem jego emisji z procesów przemysłowych oraz silników pojazdów mechanicznych. W miejscach nasilonego ruchu samochodowego, w tunelach i na parkingach stwierdza się wysokie stężenie tego gazu. Transport drogowy odpowiada za emisję około 23% całkowitej ilości CO w powietrzu, natomiast pozostałe rodzaje transportu – za 2%. W efekcie oddziaływania tlenu węgla na ludzi wzrasta ich umieralność na niewydolność krążenia oraz zachorowalność na choroby sercowo-naczyniowe,
- **tlenki azotu (NO_x)** – powstają w procesie spalania paliw ze źródeł stacjonarnych (energetycznych, przemysłowych) i mobilnych (z pojazdów mechanicznych), uwalnianych do powietrza, gdzie łączą się z parą

1. *Cichy zabójca – tlenek węgla. Kampania „Nie dla czadu”*, <http://mswia.gov.pl/pl/aktualnosci/9475,dok.html>, [dostęp z dnia 10.05.2018].



wodną. Powracają na ziemię w postaci kwaśnych deszczy, które niszczą rośliny oraz powodują zakwaszenie wód i gleby. Tlenki azotu ponadto inicjują powstawanie związków rakotwórczych. Przyczyniają się także do tworzenia smogu fotochemicznego. U człowieka obniżają odporność organizmu na infekcje bakteryjne, działają drażniąco na oczy i drogi oddechowe, powodują zaburzenia w oddychaniu, mogą być przyczyną astmy. W 2013 r. udział tlenków azotu z transportu drogowego w zanieczyszczonym powietrzu w krajach UE-28 wyniósł około 40%². Negatywne oddziaływanie na zdrowie ludzi skutkuje wzrostem liczby zachorowań na choroby płuc (chroniczny kaszel u dzieci, astma, zaburzenia oddychania, bronchit), układu krążenia i choroby nowotworowe.

- **niemetaanowe lotne związki organiczne** (Non-methane volatile organic compounds NMVOC)
 - są dużą zbiorowością różnorodnych chemicznie związków takich jak: benzen, etanol, formaldehyd, cykloheksan, aceton. Związki te są podobne do lotnych związków organicznych, ale pozbawione metanu. Ponadto niektóre substancje, np. benzen są niebezpieczne dla zdrowia ludzkiego, przyczyniając się do zachorowań na raka. W przypadku związków organicznych transport drogowy produkuje 10% NMVOC, podczas gdy pozostałe rodzaje transportu 2%³,
- **pyły PM_{2,5} i PM₁₀** – generowane są przez samochody, głównie wyposażone w silniki Diesla oraz nowoczesne silniki benzynowe wyposażone w bezpośredni wtrysk paliwa. Są to emitowane w spalinach cząsteczki sadzy, popiołów oraz metali ciężkich. Pył powstaje również wskutek ścierania opon oraz tarczy i klocków hamulcowych. Na powierzchni cząsteczek pyłu osiadają inne substancje, m.in. wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, np. bezo(a)piren kumulowany w organizmie i posiadający właściwości rakotwórcze.
 - pył PM_{2,5} – jego cząstki mają średnicę 2,5 mikrometra lub mniej. PM_{2,5} tworzą często substancje toksyczne, m.in. związki metali ciężkich, lotne związki organiczne. Jest on bardziej niebezpieczny dla zdrowia niż PM₁₀. Mniejsze cząstki trafiają do pęcherzyków płucnych, skąd mogą przenikać do krwi.
 - pył PM₁₀ – jego cząstki mają średnicę 10 mikrometrów lub mniej, łatwo przenika do górnych dróg oddechowych i płuc, powodując kaszel, trudności w oddychaniu i zaostrzenie objawów alergicznych. Skutki zdrowotne mogą być poważniejsze, jeśli na powierzchni cząsteczki pyłu znajdują się substancje toksyczne. Transport drogowy emituje nieznacznie więcej pyłów zawieszonych niż pozostałe rodzaje transportu i odpowiada za emisję około 8% PM₁₀ oraz 12% PM_{2,5}

Do grupy gazów cieplarnianych zalicza się:

- **dwutlenek węgla** (CO₂) – jest głównym gazem cieplarnianym. Przy niewielkich stężeniach powoduje przyspieszenie oddechu i akcji serca. Stężenie CO₂ na poziomie 8-10% wywołuje bóle głowy, przy długotrwałym przebywaniu – utratę przytomności, a stężenie około 40% może powodować obrzęk płuc prowadzący do śmierci. W krajach uprzemysłowionych stanowi on około 80% wszystkich gazów cieplarnianych²,
- **metan** (CH₄) – jest drugim pod względem ważności gazem powodującym wzmocnienie efektu cieplarnianego. W krajach uprzemysłowionych metan stanowi ok. 15% wszystkich gazów cieplarnianych emitowanych do atmosfery. Uwalniany jest ze źródeł naturalnych przez bakterie żywiące się materią organiczną w warunkach niedoboru tlenu oraz w wyniku działalności człowieka przy wydobywaniu i spalaniu paliw kopalnych, hodowli bydła, uprawie ryżu, składowaniu odpadów. W atmosferze metan przechwytuje ciepło 23 razy szybciej niż CO₂. Czas utrzymywania w atmosferze wynosi od 10 do 15 lat⁴,
- **podtlenek azotu** (N₂O) – uwalniany jest w wyniku naturalnych procesów zachodzących w oceanach i lasach deszczowych, przez aktywność bakterii w glebie, a także wskutek działalności człowieka: stosowania nawozów azotowych, spalania paliw kopalnych i używania azotu do produkcji środków chemicz-

2. https://ec.europa.eu/clima/sites/campaign/pdf/gases_pl.pdf.

3. European Environment Agency (EEA) ; Air quality in Europe – 2015 report.

4. Jędrak J., Wpływ zanieczyszczeń powietrza pyłem zawieszonym na śmiertelność: analiza dla Krakowa, <http://www.krakowskialarmsmogowy.pl>

nych, np. do oczyszczania ścieków. W krajach uprzemysłowionych N₂O stanowi ok. 6% wszystkich uwalnianych do atmosfery gazów cieplarnianych. Jest 310 razy skuteczniejszy w pochłanianiu ciepła niż CO₂⁵,

- **ozon** (przygruntowy) – jedna z form tlenu (O₃), nie jest bezpośrednio emitowany do atmosfery, stanowi zanieczyszczenie wtórne. Powstaje w wyniku reakcji fotochemicznej (energia słoneczna) z udziałem zanieczyszczeń zawartych w spalinach samochodowych, tj.: tlenków azotu, tlenku węgla i lotnych związków organicznych. Ozon zaburza procesy fotosyntezy i inne procesy biochemiczne w roślinach, osłabia je i zmniejsza odporność. U ludzi powoduje choroby układu oddechowego.

Zanieczyszczenie powietrza stanowi jeden z ważniejszych problemów ekologicznych z jakimi zmagają się współczesny świat. Lokalne, regionalne i globalne oddziaływanie emisji zanieczyszczeń obniża jakość powietrza i wpływa negatywnie na równowagę w ekosystemie. Zanieczyszczenia powstają w wyniku działalności człowieka w różnych dziedzinach gospodarki i życia społecznego. Duży udział w wytwarzaniu substancji szkodliwych ma transport samochodowy. Powstające w wyniku spalania paliw dwutlenek siarki i tlenki azotu, w sposób bezpośredni wpływają na uszkodzenia drzew, konstrukcji stalowych, niszczenie wapiennych fasad budynków. Tlenki te mogą być również przenoszone przez wiatr na duże odległości i w połączeniu z wodą tworzą kwaśne deszcze, które prowadzą do zakwaszenia gleby i wody nawet w znacznej odległości od źródła zanieczyszczeń.

Jakość życia społeczeństwa w dużym stopniu zależy od stężenia zanieczyszczeń powietrza w obszarze ich zamieszkania. Substancje szkodliwe takie jak: tlenki azotu (NO_x), tlenek węgla (CO), sadza i węglowodory, emitowane przez silniki samochodowe mogą wywierać negatywny wpływ na ludzkie zdrowie. Oddziałują one samodzielnie lub w połączeniu z innymi gazami, z którymi tworzą wtórne zanieczyszczenia (np. ozon przygruntowy). Na obszarach zurbanizowanych dużemu stężeniu substancji szkodliwych z tras komunikacyjnych często towarzyszy wysoki poziom zanieczyszczeń ze źródeł przemysłowych. Skumulowanie zanieczyszczeń może wpływać na zwiększenie częstotliwości występowania pewnych określonych grup chorób. Prowadzenie badań nad wpływem środowiska na ludzkie zdrowie wymaga obserwacji częstości występowania tych chorób oraz dokonywania pomiarów stężenia zanieczyszczenia powietrza na tym terenie.

Jednym z kluczowych wyzwań stojących przed współczesnym społeczeństwem jest przeciwdziałanie efektom zmian klimatycznych, wywołanych przez gazy cieplarniane, stanowiące zagrożenie globalne. Zadanie to wymaga zaangażowania do współpracy przedstawicieli różnych dziedzin życia społecznego i gospodarczego. Znaczny udział w wytwarzaniu tych gazów mają jednostki z sektora energetycznego i z sektora transportu. Wśród zanieczyszczeń powodujących efekt cieplarniany należy wymienić: dwutlenek węgla (CO₂), metan (CH₄), podtlenek azotu (N₂O), ozon troposferyczny (O₃) i związki fluoru (CFCs), które niszczą warstwę ozonową Ziemi. Substancje te określa się mianem gazów cieplarnianych. Są one bardzo uciążliwe, ponieważ okres ich utrzymywania w atmosferze jest bardzo długi.

Tablica 7. Rodzaje zanieczyszczeń powietrza z transportu samochodowego według zasięgu oddziaływania

| Zasięg oddziaływania | Rodzaj substancji zanieczyszczającej | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------------------------------|----|-----------------|-------|---|-----------------|-----------------|------------------|------|----------------|
| | Sadza | CO | NO _x | NMVOC | PM _{2,5} , PM ₁₀ | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | CFCs | O ₃ |
| Lokalny | x | x | x | x | x | | | | | |
| Regionalny | | | | | | | | | | |
| kwaśne deszcze | | | x | | | | | | | |
| smog fotochemiczny | | x | x | x | | | | | | |
| Globalny | | | | | | | | | | |
| efekt cieplarniany | | | | | | x | x | x | | x |
| dziura ozonowa | | | | | | | | | x | |

Źródło: Opracowanie własne na podstawie referatu W. Suchorzewskiego *Wkład transportu zbiorowego w ochronę środowiska w miastach*. XX Krajowy Zjazd Komunikacji Miejskiej, Łódź 1996

5. *Ibidem* przypis nr 4, str. 44.



2.2.2. Skutki emisji spalin

Wysokie stężenie spalin w powietrzu może prowadzić do powstawania zjawisk i skutków negatywnego oddziaływania na otoczenie, wśród których można wyróżnić:

smog – zjawisko, którego nazwa powstała z połączenia dwóch słów: „smoke” (dym) i „fog” (mgła). Przyczyną jego powstawania jest występowanie jednocześnie takich czynników jak: zanieczyszczenie powietrza, bezwietrzna pogoda i duża wilgotność w atmosferze. W ostatnich latach coraz gorsza jakość powietrza okazuje się istotnym problemem, zwłaszcza w okresie jesienno-zimowym, gdy poprzez skumulowanie emisji zanieczyszczeń powietrza z wielu źródeł, zjawisko staje się coraz bardziej odczuwalne przez mieszkańców. Opracowania naukowe jednoznacznie wskazują, że zjawisko to spowodowane jest wyłącznie działalnością człowieka. Wpływ smogu na zdrowie ludzi ma poważne skutki w postaci chorób - głównie układu oddechowego oraz nowotworów, natomiast ograniczenie zanieczyszczeń powietrza może wpłynąć na spadek liczby zgonów⁶. Problem występuje przede wszystkim na terenach silnie zurbanizowanych, na których jednocześnie oddziałuje emisja spalin z kotłów grzewczych, emisja z procesów przemysłowych, a także emisja z transportu samochodowego. Wśród zanieczyszczeń z transportu drogowego wchodzących w skład smogu należy wymienić przede wszystkim pyły zawieszane oraz różne związki chemiczne (wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, tlenek azotu i tlenek węgla, metale ciężkie, ozon i inne). Związki te mogą powstawać na dwa sposoby. Pierwszy z nich związany ze spalaniem paliwa (emisja spalinowa), polega na uwalnianiu związków szkodliwych przez rurę wydechową pojazdu. Według Europejskiej Agencji Środowiska, z rur wydechowych pojazdów samochodowych uwalniane są głównie tlenki azotu i węgla, a ich udział kształtuje się na poziomie odpowiednio 40% i 30% w ogólnej emisji szkodliwych substancji z pojazdów silnikowych. Kolejnym istotnym zanieczyszczeniem są pyły zawieszane PM_{2,5}, których udział wraz z substancjami pochodzenia organicznego stanowił 11% oraz pyłów PM₁₀ - 4%⁷. Zanieczyszczenia powietrza powstają również podczas ścierania klocków hamulcowych oraz opon pojazdów samochodowych (emisja poza spalinowa), a także w wyniku parowania paliwa (ewaporacja).

W gęsto zabudowanych miastach z dużym natężeniem ruchu samochodowego występuje tzw. smog fotochemiczny. Zjawisko to obserwuje się najczęściej w miesiącach letnich (od czerwca do września), kiedy to panuje wysoka temperatura i duże nasłonecznienie, przy braku wiatru. Podczas takiej pogody spaliny samochodowe w obecności światła wchodzą w reakcję, w wyniku której powstają silne utleniacze. Mogą one wywoływać różne dolegliwości zdrowotne, takie jak: kaszel, bóle głowy, wzrost ciśnienia tętniczego, obrzęk płuc. Ten rodzaj smogu nazywany jest kalifornijskim, gdyż po raz pierwszy odnotowano go w Los Angeles.

efekt cieplarniany – zjawisko spowodowane nadmierną emisją gazów do powietrza atmosferycznego: dwutlenku węgla, metanu, tlenków azotu, ozonu, związków fluoru, powstających w wyniku spalania paliw płynnych. Promieniowanie słoneczne docierające do powierzchni Ziemi jest przez nią pochłaniane (niewielka część zostaje odbita) i zamieniane na ciepło. Ogrzana powierzchnia Ziemi emituje promieniowanie ciepłe, które w dużym stopniu jest pochłaniane przez zawarte w atmosferze gazy cieplarniane. Taka sytuacja powoduje stopniowe ocieplanie klimatu na Ziemi. Naukowcy uznają efekt cieplarniany za przyczynę anomalii pogodowych - huraganów, powodzi i suszy.

Zanieczyszczenie powietrza ma istotny wpływ zarówno na zdrowie ludzi jak i na ekosystemy, m.in. poprzez tworzenie się ozonu troposferycznego niszczącego produkcję rolną i lasy, eutrofizację⁸, a także zakwaszanie wody i gleby. Rozkład przestrzenny źródeł szkodliwych substancji, wielkość emisji oraz warunki rozpraszania zanieczyszczeń mają istotny wpływ na jakość i stan środowiska.

6. *Ibidem* przypis nr 4, str. 44.

7. *Ibidem* przypis nr 3, str. 44.

8. Źródło: PWN – Eutrofizacja – proces wzbogacania się zbiorników wodnych w substancje odżywcze – pierwiastki biogenne, głównie azot i fosfor, także potas i sód, powodujący nadmierną produkcję biomasy glonów (co objawia się tzw. zakwitaniem glonów)

2.3. Metodyka szacowania wielkości emisji zanieczyszczeń

2.3.1. Opis narzędzi stosowanych do szacowania wielkości emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych

Szacowanie wielkości zanieczyszczeń powietrza pochodzących z pojazdów samochodowych wymaga przygotowania odpowiednich narzędzi informatycznych i danych statystycznych. W niniejszym opracowaniu wykorzystano bazy danych oraz oprogramowanie systemu COPERT IV (załącznik nr 3), używane w Europie do obliczania emisji zanieczyszczeń powietrza i gazów cieplarnianych z transportu drogowego. Europejska Agencja Środowiska koordynuje projekt COPERT w ramach działań Europejskiego Centrum Tematycznego ds. Zanieczyszczeń Powietrza i Ograniczania Zmian Klimatycznych. Wspólne Centrum Badawcze Komisji Europejskiej zarządza rozwojem naukowym tego modelu. Projekt COPERT został opracowany w celu przygotowania oficjalnego wykazu emisji zanieczyszczeń powietrza z transportu w krajach członkowskich EEA (European Environment Agency) i jest zgodna z wytycznymi IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu). Od 2006 r. według tej metodologii oblicza się emisję gazów cieplarnianych.

Oprogramowanie COPERT IV uwzględnia rezultaty wieloletnich prac badawczych związanych z emisją zanieczyszczeń powietrza powstających w trakcie eksploatacji pojazdów samochodowych i jest efektem kilku dużych działań oraz projektów, takich jak:

- dedykowane projekty finansowane przez Wspólne Centrum Badawcze/Dział Transportu i Jakości Powietrza,
- roczny program Europejskiego Ośrodka Tematycznego ds. Zanieczyszczeń Powietrza i Zmian Klimatu (ETC/ACM),
- Europejska Grupa Badawcza ds. Mobilnych Źródeł Emisji (ERMES *group*),
- Projekt Komisji Europejskiej MEET (Metody szacowania emisji w transporcie),
- Projekt Komisji Europejskiej PARTICULATES (Charakterystyka spalin cząstek stałych z pojazdów drogowych),
- Projekt Komisji Europejskiej ARTEMIS (Ocena i niezawodność modeli emisji i systemów inwentaryzacji),
- wspólny projekt JRC/CONCAWE/ACEA dotyczący odparowywania paliwa z pojazdów benzynowych.

Oprogramowanie COPERT może być wykorzystane do obliczania różnych wariantów dotyczących sieci dróg w podziale na obszary miejskie, zamiejskie, a także autostrady i drogi szybkiego ruchu.

Emisje pochodzące z ruchu drogowego dzieli się na trzy grupy (według klasyfikacji projektów badawczych Unii Europejskiej). Pierwsza – to emisje zimne (*cold-start emissions*) pojawiające się przy rozruchu silnika. Drugą grupę stanowią emisje gorące (*hot emissions*), pochodzące z pojazdów w ruchu, przy rozgrzanym, pracującym optymalnie silniku. Ostatnią grupę emisji stanowi parowanie pojawiające się w czasie eksploatacji pojazdów. Wielkość emisji zależy od rodzaju pojazdów samochodowych, pojemności i technologii silników oraz od rodzaju stosowanych paliw. Ze względu na brak pełnej informacji dotyczącej emisji z pojazdów autorzy oprogramowania COPERT IV przyjęli wartości niektórych współczynników jako stałe (wartości domyślne), takie jak: współczynniki degradacji dróg, współczynniki dla zimnej i ciepłej emisji, zawartość kadmu, cynku, selenu i pozostałych substancji w poszczególnych rodzajach paliwa na kg. Imputacja została dokonana przez zespół opracowujący program COPERT IV.

W ilościach pyłów $PM_{2.5}$ oraz PM_{10} oprogramowanie COPERT uwzględniło emisję związaną ze ścieraniem klocków hamulcowych oraz opon. Pyły wzburzone nie były uwzględnione (nie jest to emisja tylko wtórny skutek spowodowany poruszaniem się pojazdów).



Prowadzone prace przy tym projekcie skutkowały modyfikacją metody w zakresie rozszerzenia klasyfikacji samochodów (według masy samochodu), parametrów emisji.

W porównaniu z metodą COPERT III w edycji COPERT IV dokonano dodatkowych aktualizacji w zakresie:

- metodologii:
 - uwzględniono zwiększenie zużycia paliwa w związku z użytkowaniem klimatyzacji,
 - wprowadzono nowy współczynnik uwzględniający dodatkową emisję CO₂ ze spalania oleju smarowego,
 - włączono etanol do listy paliw,
 - zmieniono współczynniki emisji N₂O/NH₃ dla samochodów osobowych i lekkich dostawczych,
 - wprowadzono zmiany dotyczące cząsteczek stałych i współczynników emisji cząstek unoszących się w powietrzu,
 - wprowadzono nową metodę obliczania zanieczyszczeń z parowania,
 - dokonano korekty w zakresie degradacji dróg w związku z ich użytkowaniem przez samochody (wielkość przebiegów),
 - przy obliczaniu współczynnika emisji dla samochodów ciężarowych uwzględniono stopień załadowania pojazdu i nachylenie drogi,
 - wprowadzono dodatkowo zużycie paliwa i współczynniki emisji zanieczyszczeń przez samochody hybrydowe.
- programu informatycznego;
 - wprowadzono nową szatę graficzną (formularze emisji, raporty, export plików),
 - zastosowano możliwość naliczania danych z kilku lat w jednym pliku,
 - ulepszono opcję importu/exportu danych z Excela,
 - ulepszono konfigurację floty samochodów,
 - dostosowano oprogramowanie do wprowadzania zmian metodologicznych.

Wykorzystanie narzędzia programowego do obliczania wielkości zanieczyszczeń z transportu drogowego umożliwia wprowadzenie standardowej procedury w zakresie sprawozdawczości, gromadzenia i przetwarzania danych. Gwarantuje to, że otrzymane wyniki są spójne i porównywalne, a także zgodne z wymogami międzynarodowych konwencji i protokołów oraz prawodawstwa UE ⁹.

2.3.2. Opracowanie metodyki estymacji emisji zanieczyszczeń

W COPERT IV zastosowano następującą klasyfikację pojazdów zgodną z przepisami UN-ECE:

- samochody osobowe - M1,
- samochody dostawcze - N1 (lekkie samochody ciężarowe o masie do 3,5 t),
- pojazdy ciężkie - N2, N3 – samochody ciężarowe (powyżej 3,5 t do 12 t; powyżej 12 t), M2, M3 - autobusy miejskie i autokary,
- motocykle i motorowery – L1, L2, L3, L4, L5, L6 i L7.

W programie wprowadzono kategorie pojazdów uwzględniające masę pojazdu, rodzaj silnika, pojemność silnika (dla benzyny i oleju napędowego) oraz rodzaj paliwa. Podział pojazdów według:

- kategorii:
 - samochody osobowe,

9. Źródło: <http://emisia.com/products/copert>.



- lekkie pojazdy dostawcze poniżej 3,5 t dopuszczalnej masy całkowitej (dmc),
- pojazdy ciężarowe (w tym ciągniki siodłowe) o dopuszczalnej masie całkowitej (dmc) 3,5 t i więcej,
- autobusy miejskie i autokary,
- motocykle i motorowery.
- rodzaju paliwa:
 - benzyna,
 - olej napędowy – silniki typu diesel,
 - LPG,
 - technologii zastosowanych w silnikach – normy Euro do 6/VI włącznie oraz starsze.

Pojazdy osobowe zostały podzielone ze względu na pojemność silnika i rodzaju stosowanego paliwa:

- paliwa benzynowe:
 - poniżej 1400 cm³,
 - 1400 – 1999 cm³,
 - 2000 i więcej cm³.
- olej napędowy:
 - poniżej 1400 cm³,
 - 1400 – 2000 cm³,
 - powyżej 2000 cm³.

Pojazdy ciężarowe podzielono ze względu na dmc pojazdu:

- 3,5 – 7,49 t,
- 7,5 – 13,99 t,
- 14,0 – 19,99 t,
- 20,0 – 27,99 t,
- 28,0 – 31,99 t,
- 32,0 i więcej t.

Autobusy miejskie podzielono ze względu na dmc pojazdu:

- poniżej 15,0 t,
- 15,0 – 17,99 t,
- 18,0 t i więcej.

Autobusy z silnikami na sprężony gaz ziemny (CNG) oraz biodiesel traktowane są jako jedna grupa bez względu na dmc.

Autokary podzielono ze względu na dmc pojazdu:

- do 17,99 t,
- 18,0 t i więcej.

Motocykle podzielono ze względu na pojemność silnika:

- 2 suwowe powyżej 50 cm³,
- 4 suwowe poniżej 250 cm³,
- 4 suwowe między 250 – 750 cm³,
- 4 suwowe powyżej 750 cm³.

Tablica 8. Klasyfikacja pojazdów według klas emisji spalin EURO

| Samochody osobowe | | |
|--|---------------|----------------------|
| Klasa | Obowiązuje od | Dyrektywa |
| EURO 1 | 01.07.1992 | 91/441/EEC |
| EURO 2 | 01.01.1996 | 94/12/EC |
| EURO 3 | 01.01.2000 | 98/69/EC Stage 2000 |
| EURO 4 | 01.01.2005 | 98/69/EC Stage 2005 |
| EURO 5 | 01.09.2009 | EC 715/2007 |
| EURO 6 | 01.09.2014 | EC 715/2007 |
| Samochody lekkie ciężarowe | | |
| Klasa | Obowiązuje od | Dyrektywa |
| EURO I | 01.10.1993 | 93/59/EEC |
| EURO II | 01.01.1997 | 96/69/EC |
| EURO III | 01.01.2000 | 98/69/EC Stage 2000 |
| EURO IV | 01.01.2005 | 98/69/EC Stage 2005 |
| EURO V | 01.09.2009 | EC 715/2007 |
| EURO VI | 01.09.2014 | EC 715/2007 |
| Samochody ciężarowe ciężkie i autobusy | | |
| Klasa | Obowiązuje od | Dyrektywa |
| EURO I | 01.07.1992 | 91/542/EEC Stage I |
| EURO II | 01.10.1995 | 91/542/EEC Stage II |
| EURO III | 01.10.2000 | 1999/96/EC Stage I |
| EURO IV | 01.10.2005 | 1999/96/EC Stage II |
| EURO V | 01.10.2008 | 1999/96/EC Stage III |
| EURO VI | 31.12.2013 | EC 595/2009 |
| Motocykle | | |
| Klasa | Obowiązuje od | Dyrektywa |
| EURO 1 | 17.06.1999 | 97/24/EC |
| EURO 2 | 01.04.2003 | 2002/51/EC Stage I |
| EURO 3 | 01.01.2006 | 2002/51/EC Stage II |
| EURO 4 | 01.01.2016 | EC 168/2013 |
| EURO 5 | 01.01.2020 | EC 168/2013 |

Źródło: opracowanie własne, dane z <https://eur-lex.europa.eu/>

Do każdej kategorii pojazdu przypisano:

- liczbę pojazdów,
- przebieg roczny,
- przebieg ogólny,
- prędkość pojazdów w zależności od rodzaju drogi (miejskie, zamiejskie, autostrady),



- udział zanieczyszczeń według kategorii dróg (np. miejskie – 40%, zamiejskie – 40%, autostrady – 20%),
- udział odparowania benzyny (dotyczy samochodów osobowych oraz lekkich dostawczych według kategorii dróg).

Dane wykorzystywane przez system COPERT:

- liczba pojazdów według kategorii – dane z Instytutu Transportu Samochodowego (ITS); na potrzeby tej pracy przyjęto założenie, że pojazdy eksploatowane w Polsce, to:
 - wszystkie pojazdy posiadające w bazie CEP wpis o aktualnej polisie OC,
 - posiadające wpis o nieaktualnej polisie OC (w wieku do 20 lat),
 - nieposiadające w bazie CEP żadnego wpisu odnośnie daty ważności polisy OC (w wieku do 20 lat),
 - dane dotyczące autobusów miejskich pochodzą z Banku Danych Lokalnych Głównego Urzędu Statystycznego,
 - dane o samochodach osobowych z instalacją LPG oraz o motocyklach pochodzą z bazy CEP Ministerstwa Cyfryzacji,
- przebiegi:
 - roczne pojazdów – dane z Ministerstwa Cyfryzacji na potrzeby badania, wybrano informacje o pojazdach o określonym rodzaju stosowanego paliwa i określonej dopuszczalnej masie całkowitej. W związku z tym, że dostępne dane obejmowały 20 ostatnich lat, zdecydowano się uwzględnić jedynie samochody o określonym rodzaju paliwa. Z obserwacji wyłączono samochody hybrydowe, elektryczne oraz napędzane wodorem,
 - ogólne pojazdów – dane z Ministerstwa Cyfryzacji na podstawie Centralnej Ewidencji Pojazdów. Zgromadzono dane pochodzące z odczytów stanów liczników pojazdów. Podobnie jak w przypadku przebiegu rocznego pojazdów, nie brano pod uwagę danych niekompletnych oraz takich, dla których nie było pewności co do ich wiarygodności.
- pogoda – dane z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej: temperatury minimalne i maksymalne oraz wilgotność powietrza, według miesięcy i województw,
- zużycie paliwa – program COPERT IV szacuje zużycie paliwa na podstawie liczby pojazdów oraz innych parametrów, np. minimalnej i maksymalnej temperatury powietrza,
 - średnia prędkość autobusów miejskich została przyjęta dla całego kraju na tym samym poziomie, pochodzi ze strony Urzędu Miasta Stołecznego Warszawa ¹⁰.
- prędkość pojazdów – dane Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego według kategorii pojazdów, oraz w oparciu o wyniki badań GDDKiA uzyskanych w ramach Projektu: RID – I/50 OT2-2B/PK-PW-PG.

Prędkości pojazdów zróżnicowano ze względu na rodzaj drogi, po której się poruszały (obszar zabudowany i niezabudowany):

- autostrady,
- drogi ekspresowe,
- drogi krajowe,
- drogi wojewódzkie,
- drogi miejskie.

W realizowanej pracy badawczej wykorzystano pozastatystyczne dane o średnich prędkościach pojazdów na drogach. Raport Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego wskazuje, że średnie prędkości poruszających się po drogach pojazdów są znacznie wyższe od określonych przepisami. Doświadczenia kierowców oraz policji wykazują również częste przekroczenia dopuszczalnych prędkości. W przypadku komunikacji autobusowej miejskiej

10. <http://transport.um.warszawa.pl/>.



zastosowano średnią prędkość 21 km/h (dane UMS Warszawa). Na drogach wylotowych i dojazdowych do miast przyjęto różne prędkości w zależności od rodzaju drogi (autostrady, szybkiego ruchu, wojewódzkie itd.)

W badaniu przyjęto założenie, że obliczenia zanieczyszczeń dokonywane będą dla każdej kategorii dróg oddzielnie (autostrad, dróg ekspresowych i pozostałych dróg krajowych, a także dróg wojewódzkich i miejskich). Dodatkowo założono, że w przypadku dróg miejskich obserwacją objęte zostaną odcinki wlotowe/wylotowe oraz obwodnice 18 miast Polski.

Na podstawie Generalnego Pomiaru Ruchu (GPR), przeprowadzonego w 2015 r. przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad na sieci dróg krajowych (ekspresowych i autostrad) oraz wojewódzkich, ustalono strukturę pojazdów według kategorii (osobowe, lekkie dostawcze, ciężkie - w tym autokary, motocykle).

2.3.3. Obliczenia wielkości emisji zanieczyszczeń z pojazdów w ruchu drogowym

W celu wykonania obliczeń wielkości emisji zanieczyszczeń wyznaczono 368 odcinków dróg (7,5%) z 4 875 badanych w GPR 2015, uwzględniając natężenie ruchu:

- dla autostrad i dróg ekspresowych:
 - poniżej 15 000 pojazdów/dobę,
 - 15 000 i więcej pojazdów/dobę.
- dla dróg krajowych i wojewódzkich:
 - do 4 999 pojazdów/dobę,
 - 5 000-9 999 pojazdów/dobę,
 - 10 000-14999 pojazdów/dobę,
 - 15 000 i więcej pojazdów/dobę.

Ponadto wybrano odcinki dróg wlotowych do miast wojewódzkich i obwodnic (150), bez względu na wielkość *SDRR*.

Po wyznaczeniu odcinków, w oparciu o dane z ITS i GPR, ustalono strukturę pojazdów według różnych kategorii (pojemności silnika, dmc, klasyfikacji spalin EURO). Następnie, wykorzystując dane z Ministerstwa Cyfryzacji, obliczono średnie przebiegi roczne oraz przebiegi całkowite dla każdego rodzaju pojazdu, uwzględniając rodzaj silnika, dmc oraz normy EURO.

Do obliczeń wykorzystano również informacje dotyczące temperatury i wilgotności powietrza, zestawiając je z danymi o natężeniu ruchu na wybranych odcinkach dróg.

Tak przygotowane dane zostały umieszczone w arkuszu obliczeniowym w celu zaimportowania go do programu COPERT IV. W wyniku wstępnych obliczeń oszacowano wielkość zużycia paliwa. Następnie otrzymane wyniki wprowadzono ponownie do programu w celu dokonania obliczenia emisji zanieczyszczeń na wybranych odcinkach dróg, według rodzajów substancji szkodliwych. Po wygenerowaniu 368 plików z danymi połączono je w jeden dokument, a następnie dokonano wyliczeń tablic końcowych, zawierających informacje o wielkości zanieczyszczeń, liczbie pojazdów, rodzajach dróg itp. Szczegółowe dane znajdują się w załączniku nr 1.

Do obliczenia całkowanej emisji zanieczyszczeń z pojazdów niezbędne było oszacowanie tych wielkości w odniesieniu do autobusów miejskich. W tym celu na podstawie informacji z Banku Danych Lokalnych ustalono liczbę autobusów oraz średnie ich przebiegi roczne według województw. Ponadto w obliczeniach uwzględniono dane Ministerstwa Cyfryzacji dotyczące całkownych przebiegów pojazdów (według norm EURO).

Podobnie jak przy szacowaniu zanieczyszczeń na wybranych odcinkach dróg, również w przypadku zanieczyszczeń z autobusów miejskich, wszystkie dane zostały wygenerowane w pliku Excel i zaimportowane do programu COPERT IV (Załącznik nr 2).

2.3.4. Opracowanie założeń do tablic wynikowych oraz dokonanie wyboru wskaźników syntetycznych

Wynikowe informacje statystyczne stanowią końcowy produkt określonego metodologicznie ciągu operacji w postaci tablic. Przystępując do ich opracowania należy uwzględnić ważność i użyteczność prezentowanego materiału informacyjnego, skierowanego do różnych odbiorców (urzędników państwowych, samorządowych, przedsiębiorców, naukowców, obywateli). Dane zaprezentowane w tablicach zgodne są z zachowaniem zasady poufności i przestrzegania tajemnicy statystycznej. W celu opracowania tablic wynikowych przygotowano makietę zawierającą założenia do ich naliczenia. Uwzględniała ona następujące zmienne: pojazdy samochodowe według rodzaju, dopuszczalną masę całkowitą pojazdu, rodzaj stosowanego paliwa, rodzaje substancji zanieczyszczających powietrze z pojazdów samochodowych, wielkość spalin ustalaną na podstawie norm EURO, infrastrukturę drogową, średniodobowe natężenie ruchu drogowego. Założenia do budowy tablic wynikowych obejmowały dane o dużej przydatności dla odbiorców. Przeprowadzenie tych czynności umożliwiło dokonanie wyboru kluczowych wskaźników, które pozwalają na obserwację zmian poziomu kosztów zewnętrznych oraz agregację danych o zasięgu regionalnym i globalnym. Otrzymane tablice stanowią źródło informacji o wpływie podjętych działań i przedsięwzięć na otoczenie społeczno-gospodarcze oraz o zachodzących zmianach. Zaproponowane wskaźniki są związane z celami krajowych i unijnych strategii rozwoju i spójności. Istotnym elementem do prawidłowej interpretacji wielkości wskaźników jest wyznaczenie roku bazowego, z którego dane stanowią punkt odniesienia i kontekst do prowadzenia analiz i ocen działań prowadzonej polityki transportowej. Wybór wskaźników dotyczy obszarów tematycznych ściśle powiązanych z zanieczyszczeniami powietrza przez pojazdy samochodowe w ruchu drogowym i ich oddziaływaniem na otoczenie.

Zestaw wskaźników dla potrzeb określania poziomu kosztów zewnętrznych zanieczyszczeń powietrza z pojazdów samochodowych, według obszarów tematycznych.

| Obszar tematyczny: Środowisko naturalne | |
|--|---|
| Nazwa wskaźnika | Sposób obliczania |
| Ilość zanieczyszczeń emitowanych do powietrza z pojazdów samochodowych w t/km dróg publicznych o twardej nawierzchni | $Q_R = \frac{\sum_i Q_i}{R}$ <p>gdzie:</p> <p>Q_R – ilość zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych w tonach/km dróg publicznych o twardej nawierzchni</p> <p>Q_i – ilość zanieczyszczeń w tonach</p> <p>i – rodzaj zanieczyszczenia, ($i = 1, \dots, 8$)</p> <p>R – długość dróg publicznych w km</p> |
| Ilość zanieczyszczeń emitowanych do powietrza z pojazdów samochodowych w t/1000 km ² powierzchni kraju | $Q_A = \frac{\sum_i Q_i}{A}$ <p>gdzie:</p> <p>Q_A – ilość zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych w t/1000 km² powierzchni</p> <p>Q_i – ilość zanieczyszczeń w tonach</p> <p>i – rodzaj zanieczyszczenia, ($i = 1, \dots, 8$)</p> <p>A – powierzchnia kraju w tys. km²</p> |



| Obszar tematyczny: Środowisko naturalne | |
|---|---|
| Nazwa wskaźnika | Sposób obliczania |
| Ilość zanieczyszczeń emitowanych do powietrza z pojazdów samochodowych w kg/poj·km | $Q_V = \frac{\sum_r \sum_i Q_i}{\sum_r V_r}$ <p>gdzie:</p> <p>Q_V – ilość zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych w kg/poj·km</p> <p>Q_i – ilość zanieczyszczeń w tonach</p> <p>i – rodzaj zanieczyszczenia, ($i = 1, \dots, 8$)</p> <p>V_r – liczba pojazdokilometrów według rodzajów pojazdów w tys.</p> <p>r – rodzaj pojazdu samochodowego ($r = 1, \dots, 6$)</p> |
| <p>Powyższe wskaźniki obrazują wpływ oddziaływania substancji szkodliwych z pojazdów samochodowych na kondycję ludzi i środowiska naturalnego. Im wyższe są wartości wskaźników, tym stężenie zanieczyszczeń jest większe, a skutki groźniejsze dla życia i zdrowia.</p> | |
| Udział biopaliw w strukturze zużycia paliw ogółem w transporcie drogowym w % | $U_B = \frac{B}{P} \cdot 100$ <p>gdzie:</p> <p>U_B – udział biopaliw w %</p> <p>B – ilość zużytego biopaliwa w transporcie w tonach</p> <p>P – ilość zużytego paliwa ogółem w transporcie w tonach</p> |
| <p>Im większy jest udział biopaliw w strukturze paliw zużytych w transporcie drogowym, tym mniejsze jest stężenie zanieczyszczeń w środowisku naturalnym, a negatywne oddziaływanie na zdrowie ludzkie – mniejsze.</p> | |
| Udział powierzchni terenów przeznaczonych na cele komunikacyjne w powierzchni kraju ogółem w % | $U_{Ak} = \frac{A_K}{A} \cdot 100$ <p>gdzie:</p> <p>U_{Ak} – udział powierzchni komunikacyjnych w powierzchni gruntów ornych w %</p> <p>A_K – powierzchnia komunikacyjna w tys. km²</p> <p>A – powierzchnia kraju w tys. km²</p> |
| <p>Zwiększający się udział terenów przeznaczonych na cele komunikacyjne w powierzchni kraju jest zjawiskiem niekorzystnym. Ograniczanie powierzchni upraw rolnych i leśnych wpływa negatywnie na ekosystemy poprzez zakłócenie równowagi w biocenozie oraz zmianę stosunków w bioróżnorodności.</p> | |

| Obszar tematyczny: Środowisko naturalne | |
|---|---|
| Nazwa wskaźnika | Sposób obliczania |
| Średniodobowy ruch roczny (SDRR) pojazdów/dobę według rodzaju dróg i obszaru | $W_j = \frac{\sum_k SDRR_{jk} \cdot R_{jk}}{\sum_k R_{jk}}$ <p>gdzie:</p> <p>W_j – średniodobowy ruch roczny pojazdów/dobę na j-tym rodzaju drogi</p> <p>$SDRR_{jk}$ – średniodobowy ruch roczny na j-tym rodzaju drogi i k-tym obszarze</p> <p>j – rodzaj drogi ($j = 1, \dots, 4$)</p> <p>k – obszar ($k = 1, 2$)</p> <p>R_{jk} – długość badanego odcinka w km</p> |
| Wskaźnik opisuje skutki wzmożenia ruchu na drogach, któremu często towarzyszy tworzenie się korków zwiększających emisję zanieczyszczeń oraz poziomu hałasu, a także powoduje wzrost zagrożenia bezpieczeństwa ruchu. | |
| Obszar tematyczny: Transport | |
| Nazwa wskaźnika | Sposób obliczania |
| Udział przewozów ładunków transportem intermodalnym kolejowym w transporcie kolejowym ogółem w % | $U_1 = \frac{K_1}{K} \cdot 100$ <p>gdzie:</p> <p>U_1 – udział przewozów intermodalnych transportem kolejowym w przewozach kolejowych ogółem w %</p> <p>K_1 – ilość ładunków przewiezionych intermodalnym transportem kolejowym w tys. ton</p> <p>K – ilość ładunków przewiezionych transportem kolejowym ogółem w tys. ton</p> |
| Udział przewozów ładunków transportem kolejowym i wodnym śródlądowym w przewozach transportu ogółem w % | $U_{KS} = \frac{K + \acute{S}}{T} \cdot 100$ <p>gdzie:</p> <p>U_{KS} – udział przewozów ładunków transportem kolejowym i wodnym śródlądowym w transporcie ogółem w %</p> <p>K – ilość przewiezionych ładunków transportem kolejowym w mln ton</p> <p>\acute{S} – ilość przewiezionych ładunków transportem wodnym śródlądowym w mln ton</p> <p>T – ilość ładunków przewiezionych transportem ogółem w mln ton</p> |

| Obszar tematyczny: Transport | |
|---|--|
| Nazwa wskaźnika | Sposób obliczania |
| <p>Udział długości linii kolejowych dostosowanych do prędkości 160 km/h i więcej w ogólnej długości eksploatowanych linii kolejowych w %</p> | $U_{Rd} = \frac{RK_d}{RK} \cdot 100$ <p>gdzie:</p> <p>U_{Rd} – udział długości linii kolejowych dostosowanych do prędkości 160 km/h i więcej w długości eksploatowanych linii kolejowych ogółem w %</p> <p>RK_d – długość linii kolejowych dostosowanych do prędkości 160 km/h i więcej w km</p> <p>RK – długość eksploatowanych linii kolejowych ogółem w km</p> |
| <p>Wyższe wartości wskaźnika informują o tym, że wzrasta udział rodzajów transportu przyjaznych środowisku. Służyć temu może poprawa atrakcyjności transportu kolejowego poprzez zwiększenie przepustowości infrastruktury i zwiększenie jego prędkości handlowych oraz powszechniejsze wykorzystywanie żeglugi śródlądowej. Takie kierunki zastosowania różnych gałęzi transportu wpisują się w politykę zrównoważonego rozwoju.</p> | |
| <p>Udział przebiegów pojazdów bez ładunków (pustych) w przewozach transportem drogowym ogółem w %</p> | $U_{Pp} = \frac{P_p}{P} \cdot 100$ <p>gdzie:</p> <p>U_{Pp} – Udział przewozów pustych w przewozach ogółem w %</p> <p>P_p – przewozy bez ładunków (puste) transportem drogowym w poj·km</p> <p>P – przewozy ogółem transportem drogowym w poj·km</p> |
| <p>Przewozy puste (bez ładunku) wskazują na wykonywanie nieefektywnych działań transportowych, a także na negatywne oddziaływanie na zdrowie ludzi i środowisko przyrodnicze poprzez wydalenie spalin.</p> | |
| <p>Udział pojazdów samochodowych posiadających normę spalin EURO 6 w liczbie zarejestrowanych pojazdów samochodowych ogółem w %</p> | $U_{S6} = \frac{S_6}{S} \cdot 100$ <p>gdzie:</p> <p>U_{S6} – udział samochodów posiadających normę spalin EURO 6 w %</p> <p>S_6 – liczba samochodów posiadających normę spalin EURO 6 w tys. szt.</p> <p>S – liczba zarejestrowanych samochodów ogółem w tys. szt.</p> |
| <p>Udział nowych pojazdów samochodowych w liczbie zarejestrowanych pojazdów samochodowych ogółem w %</p> | $U_{Sn} = \frac{S_n}{S} \cdot 100$ <p>gdzie:</p> <p>U_{Sn} – udział nowych samochodów zarejestrowanych w badanym roku w liczbie zarejestrowanych samochodów ogółem w %</p> <p>S_n – liczba nowych samochodów zarejestrowanych w danym roku w tys. szt.</p> <p>S – liczba zarejestrowanych samochodów ogółem w tys. szt.</p> |

| Obszar tematyczny: Transport | |
|---|--|
| Nazwa wskaźnika | Sposób obliczania |
| Udział zarejestrowanych pojazdów samochodowych elektrycznych w liczbie zarejestrowanych pojazdów samochodowych ogółem w % | $U_{Se} = \frac{S_e}{S} \cdot 100$ <p>gdzie:</p> <p>U_{Se} – udział zarejestrowanych pojazdów samochodowych elektrycznych w liczbie zarejestrowanych pojazdów samochodowych ogółem w %</p> <p>S_e – liczba zarejestrowanych samochodów elektrycznych w szt.</p> <p>S – liczba zarejestrowanych samochodów ogółem w szt.</p> |
| Wzrost udziału pojazdów samochodowych posiadających EURO 6 lub/i pojazdów elektrycznych, świadczy o pozytywnych trendach w kierunku ograniczanie emisji zanieczyszczeń poprzez zastosowanie nisko i zeroemisyjnych technologii w pojazdach samochodowych. | |
| Liczba zarejestrowanych pojazdów samochodowych na 100 km dróg publicznych o twardej nawierzchni | $L_s = \frac{S}{R} \cdot 100$ <p>gdzie:</p> <p>L_s – liczba zarejestrowanych samochodów na 100 km dróg publicznych</p> <p>S – liczba zarejestrowanych samochodów ogółem w tys. szt.</p> <p>R – długość dróg w tys. km</p> |
| Liczba zarejestrowanych pojazdów samochodowych na 100 km dróg miejskich | $L_{SM} = \frac{S}{R_M} \cdot 100$ <p>gdzie:</p> <p>L_{SM} – liczba zarejestrowanych samochodów na 100 km dróg miejskich</p> <p>S – liczba zarejestrowanych samochodów ogółem w tys. szt.</p> <p>R_M – długość dróg miejskich w tys. km</p> |
| Liczba zarejestrowanych pojazdów samochodowych na 100 km dróg zamiejskich | $L_{SZ} = \frac{S}{R_Z} \cdot 100$ <p>gdzie:</p> <p>L_{SZ} – liczba zarejestrowanych samochodów na 100 km dróg zamiejskich</p> <p>S – liczba zarejestrowanych samochodów ogółem w tys. szt.</p> <p>R_Z – długość dróg zamiejskich w tys. km</p> |
| Liczba zarejestrowanych pojazdów samochodowych na 100 km autostrad i dróg ekspresowych | $L_{SA} = \frac{S}{R_A} \cdot 100$ <p>gdzie:</p> <p>L_{SA} – liczba samochodów na 100 km autostrad i dróg ekspresowych</p> <p>S – liczba zarejestrowanych samochodów ogółem w tys. szt.</p> <p>R_A – długość autostrad i dróg ekspresowych w tys. km</p> |
| Wzrastająca liczba pojazdów samochodowych powoduje większe obciążenie dróg, narażając ich nawierzchnię na uszkodzenia mechaniczne. Duże natężenie ruchu przyczynia się ponadto do powstawania korków, przez co czas postoju samochodów ulega wydłużeniu i gromadzona jest duża ilość zanieczyszczeń, przekraczająca dopuszczalne normy. | |

| Obszar tematyczny: Klimat | |
|--|--|
| Nazwa wskaźnika | Sposób obliczania |
| Udział emisji gazów cieplarnianych z transportu (w ekwiwalencie dwutlenku węgla) w emisji gazów cieplarnianych ogółem w % | $U_{QT} = \frac{Q_T}{Q} \cdot 100$ <p>gdzie:</p> <p>U_{QT} – udział gazów cieplarnianych z transportu w emisji gazów cieplarnianych ogółem w %</p> <p>Q_T – ilość gazów cieplarnianych emitowanych z transportu w tys. ton</p> <p>Q – ilość gazów cieplarnianych ogółem w tys. t</p> |
| Ilość gazów cieplarnianych emitowanych do powietrza (w ekwiwalencie dwutlenku węgla) z pojazdów samochodowych w t/km dróg publicznych o twardej nawierzchni | $Q_R = \frac{\sum_i Q_i}{R}$ <p>gdzie:</p> <p>Q_R – ilość gazów cieplarnianych emitowanych do powietrza z samochodów w t/km drogi publicznej</p> <p>Q_i – ilość zanieczyszczeń w tonach</p> <p>i – rodzaj zanieczyszczenia, ($i = 1, \dots, 8$)</p> <p>R – długość dróg publicznych w tys. km</p> |
| Ilość gazów cieplarnianych emitowanych do powietrza (w ekwiwalencie dwutlenku węgla) z pojazdów samochodowych w t/km ² powierzchni kraju | $Q_A = \frac{\sum_i Q_i}{A}$ <p>gdzie:</p> <p>Q_A – ilość gazów cieplarnianych emitowanych do powietrza z samochodów w t/km² powierzchni kraju</p> <p>Q_i – ilość zanieczyszczeń w tonach</p> <p>i – rodzaj zanieczyszczenia, ($i = 1, \dots, 8$)</p> <p>A – powierzchnia kraju w tys. km²</p> |
| Ilość gazów cieplarnianych emitowanych do powietrza (w ekwiwalencie dwutlenku węgla) z pojazdów samochodowych w t/ pojazd-km | $Q_{Vi} = \frac{\sum_r \sum_j Q_{ijr}}{\sum_r V_r}$ <p>gdzie:</p> <p>Q_{Vi} – ilość gazów cieplarnianych emitowanych do powietrza z samochodów w t/ pojazd-km</p> <p>Q_{ijr} – ilość zanieczyszczeń w tonach</p> <p>i – rodzaj zanieczyszczenia, ($i = 1, \dots, 8$)</p> <p>j – rodzaj drogi ($j = 1, \dots, 4$)</p> <p>V_r – liczba pojazdokilometrów w tys.</p> <p>r – rodzaj pojazdu samochodowego ($r = 1, \dots, 6$)</p> |
| Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych ma znaczenie o zasięgu globalnym z uwagi na nasilający się efekt cieplarniany, którego konsekwencją są anomalie pogodowe o niespotykanej sile i ogólne ocieplenie klimatu na Ziemi. | |

2.4. Metodyka szacowania kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych

2.4.1. Metody wyceny szacowania kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń z transportu drogowego

Transport obok przemysłu, rolnictwa i energetyki jest głównym sprawcą degradacji środowiska naturalnego i pogarszania warunków życia społeczeństwa. Działalność usługowa przedsiębiorstw transportu drogowego generuje koszty, nie tylko związane bezpośrednio z tą działalnością, ale również koszty użytkowników innych pojazdów poruszających się po drogach. Konsekwencją oddziaływania na środowisko jest:

- negatywny wpływ na zdrowie ludzkie,
- straty materialne i środowiskowe (uszkodzenia budynków i budowli, degradacja ekosystemów, straty w bioróżnorodności),
- emisje gazów cieplarnianych.

Transport drogowy nie uwzględnia pełnych kosztów społecznych. Część kosztów nie jest pokrywana przez producentów i użytkowników usług transportowych. Dotyczy to głównie kosztów zewnętrznych, które z reguły są ponoszone przez ogół społeczeństwa, a nie tylko przez sprawców. Istotne jest wypracowanie metod monitoringu i oceny negatywnych efektów transportu, które są zjawiskami nierynkowymi, nieposiadającymi swojej ceny. Poprzez oszacowanie kosztów zewnętrznych transportu i ich internalizację (upodmiotowienie), możliwe będzie wprowadzenie w życie, uregulowanej przepisami prawnymi zasady - „zanieczyszczający płaci”¹¹. Zagwarantuje to możliwość stworzenia odpowiednich narzędzi do poboru tych należności i spełnienia warunków konkurencji międzygałęziowej bez naruszania zasad gospodarki rynkowej.

Tablica 9. Struktura społecznych kosztów transportu

| Kategorie kosztów | Koszt społeczny | |
|-----------------------|---|---|
| | Prywatny/wewnętrzny koszt | Zewnętrzny koszt |
| Wydatki transportowe | koszty paliwa, środków transportu, biletów/przewoźnego | koszty płacone przez inne podmioty (np. wydatki na budowę miejsc parkingowych), |
| Koszty infrastruktury | opłaty użytkowników, podatki od środka transportu, podatki paliwowe | niepokryte koszty infrastruktury, |
| Koszty wypadków | koszty pokrywane z ubezpieczenia, własne koszty wypadku | niepokryte koszty wypadków (ból, cierpienie spowodowane u innych podmiotów), |
| Koszty środowiskowe | straty ponoszone przez użytkowników | niepokryte koszty środowiska naturalnego (utrudnienia spowodowane np. przez smog) |
| Koszty kongestii | koszty straty czasu ponoszone przez użytkowników | opóźnienia, straty czasu innych członków społeczeństwa |

Źródło: Bąk M., Pawłowska B., 2008, Koszty zewnętrzne transportu w Unii Europejskiej – od wizji politycznej do jednolitych metod kalkulacji. „Przegląd Komunikacyjny”, nr 7-8, s. 22-41

W celu oszacowania wysokości kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń powietrza, skutki wyrażone w jednostkach fizycznych należy zamienić na wymiar finansowy. W większości przypadków analiza dotyczy nie-

11. Dyrektywa 2004/35/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 21 kwietnia 2004 r. w sprawie odpowiedzialności za środowisko w odniesieniu do zapobiegania i zaradzania szkodom wyrządzonym środowisku naturalnemu.



materiałnych dóbr publicznych, które nie mają wartości rynkowej, np. czyste powietrze, ludzkie zdrowie, równowaga w ekosystemie.

Podstawą oceny w kategoriach ekonomicznych jest analiza wysokości opłat, możliwych do zaakceptowania przez respondentów, które mogą zostać naliczone w celu poprawienia jakości środowiska. Na tej podstawie szacuje się gotowość do zapłaty za otrzymanie dodatkowej korzyści jednostkowej WTP¹² (np. za zmniejszenie stężenia zanieczyszczenia lub za uniknięcie jego wzrostu) lub gotowość do przyjęcia rekompensaty finansowej WTA¹³, np. za wzrost stężenia danego zanieczyszczenia.

2.4.1.1. Metody wyceny zanieczyszczenia powietrza

Zanieczyszczenia powietrza emitowane przez środki transportu mogą oddziaływać na środowisko naturalne. Substancje zanieczyszczające mają wpływ na zdrowie ludzi i zwierząt. Emisje z silników spalinowych mogą wpływać nie tylko bezpośrednio, ale również po połączeniu z innymi gazami i wytworzeniu wtórnych zanieczyszczeń. Wyodrębnienie chorób spowodowanych przez emisje z transportu drogowego w ogólnej liczbie schorzeń spowodowanych przez skażenie środowiska w postaci emisji zanieczyszczeń atmosferycznych jest niezwykle trudne. Na terenach zurbanizowanych wysokim poziomom emisji zanieczyszczeń z tras komunikacyjnych towarzyszą również wysokie emisje szkodliwych substancji ze źródeł przemysłowych. Prowadzenie badań dotyczących tych zjawisk jest bardzo kosztowne i polega na wyselekcjonowaniu reprezentatywnej grupy mieszkańców danego obszaru oraz śledzeniu ich kondycji zdrowotnej, np. przez okres 30 lat. Podczas takich badań należy równolegle rejestrować i poddawać analizie wszystkie parametry zanieczyszczenia środowiska substancjami toksycznymi oraz warunki meteorologiczne. Substancje zanieczyszczające oddziałują negatywnie również na stan budynków i budowli oraz wpływają na plony i jakość roślin uprawnych. Należy przy tym zwrócić uwagę na problem wpływu „tła”- zanieczyszczenia środowiska, pochodzącego z przemysłu, trybu życia, warunków socjalno-bytowych, rodzaju wykonywanej pracy, uwarunkowań genetycznych, jakości żywności, itp.

Do wyceny skutków w skali lokalnej i regionalnej najczęściej używa się jednej z metod pośrednich – metody dawka – skutek. W pierwszym etapie tej wyceny określa się związki przyczynowo-skutkowe pomiędzy emisją danego związku, a występowaniem konkretnego efektu, w tym przypadku zdrowotnego. Zadanie to nie jest proste ponieważ wiele zanieczyszczeń może wywoływać więcej niż jedną chorobę i istnieje ryzyko dwukrotnego ujęcia tego samego kosztu zewnętrznego. W kolejnym etapie wykorzystuje się metody bezpośrednio i ustala dla poszczególnych rodzajów związków ich uciążliwość. Wyliczenia najczęściej przeprowadza się dokonując wyceny statystycznego życia - VSL (Value of Statistical Life) w oparciu o metodę skłonności do zapłaty WTP (Willingness to Pay).

Globalny wpływ emisji zanieczyszczeń do atmosfery znajduje swoje odzwierciedlenie w kumulacji gazów cieplarnianych, prowadzących do postępujących zmian klimatycznych. Zjawisko to przyczynia się do systematycznego wzrostu temperatury oceanów i ocieplania klimatu globu ziemskiego. Przy wycenie w skali globalnej, najpierw ustala się związki przyczynowo-skutkowe emisji gazów cieplarnianych, a następnie – metodą kosztu unikania (Avoidance Cost) - szacuje się koszty zmian klimatu.

Z uwagi na to, że zanieczyszczenie powietrza można uznać za jeden z podstawowych efektów zewnętrznych transportu, problem ten poddano analizie w wielu badaniach, w wyniku których opracowano metodologię szacowania kosztów. Wyszczególniono dwa sposoby prowadzenia tych wyliczeń:

- podejście oddolne - metoda wstępująca (ang. bottom-up) - koszty obliczane są na podstawie metody obejmującej kolejne sekwencje oddziaływania zanieczyszczeń powietrza. W podejściu tym analizie poddawane są następujące etapy emisji zanieczyszczeń:
 - transmisja,
 - koncentracja (dawka),

12. Ang. willingness to pay – maksymalna kwota pieniężna, jaką jednostka jest gotowa zapłacić za otrzymanie konkretnego dobra.

13. Ang. willingness to accept – gotowość (lub możliwość) do przyjęcia rekompensaty za zniesienie, ograniczenie lub przyjęcie konkretnego dobra.



- wpływ zanieczyszczeń na środowisko,
- wycena wartości (koszty) szkodliwego oddziaływania zanieczyszczeń na zdrowie ludzi i zwierząt, ekosystemy oraz infrastrukturę.

W tym podejściu ocenia się konkretny rodzaj zanieczyszczenia z pojazdów w warunkach przestrzennych i czasowych jego oddziaływania, a następnie uogólnia się otrzymane wyniki do wyższych poziomów agregacji (np. na większy obszar, większą i bardziej różnorodną grupę pojazdów). Podejście to umożliwia oszacowanie kosztów krańcowych.

- podejście odgórne - metoda zstępująca (ang. *top-down*) - punktem wyjścia jest łączny szacunek wyrażony w kwotach pieniężnych dla działania całego sektora transportowego lub całego analizowanego obszaru. Otrzymane wyniki przelicza się na mniejsze agregaty (np. mniejsze obszary, rodzaje lub grupy pojazdów). Podejście to zwykle wykorzystuje się do szacowania *średnich kosztów*, stosowanych głównie do oceny efektów zdrowotnych oddziaływania zanieczyszczeń, z uwzględnieniem poszczególnych przypadków chorobowych i śmiertelnych. Istotnym warunkiem do zastosowania tego podejścia jest dostępność szczegółowych, specyficznych dla danego obszaru informacji, dotyczących stopnia narażenia na zanieczyszczenia powietrza.

Krańcowe koszty zewnętrzne zawierają wiele różnorodnych elementów, przez co są dokładniejsze niż koszty średnie i umożliwiają przeprowadzanie przekrojowych analiz. Zastosowanie tej metody preferuje się przy ustalaniu cen za szkodliwe oddziaływanie transportu na zdrowie ludności i środowisko.

Podstawowe czynniki szacowania kosztów zewnętrznych zanieczyszczenia powietrza spowodowanego działalnością transportu drogowego podzielono na następujące grupy:

- zdrowie – zachorowalność i umieralność powodowane wdychaniem zanieczyszczonego powietrza; wzrost ryzyka występowania chorób układu oddechowego, układu krążenia, chorób nowotworowych,
- szkody materialne - degradacja materiałów konstrukcyjnych powodująca niszczenie konstrukcji, budynków i budowli. Szkody wywołane przez działanie kwaśnych deszczy (NO_x i SO_2) oraz kurzu i cząstek stałych,
- straty w plonach upraw rolnych,
- straty w bioróżnorodności (upraw, gleby, lasów, cieków wód podziemnych itd.) z powodu eutrofizacji i zakwaszania naturalnych ekosystemów oraz zmian w zagospodarowaniu terenów i fragmentację siedlisk.

Oceniając skutki zanieczyszczenia powietrza z transportu drogowego należy uwzględnić następujące aspekty:

- gęstość zaludnienia i zasiedlenia, zaludnienie blisko źródła emisji zanieczyszczeń powietrza,
- wrażliwość obszaru wpływająca na rozmiar oddziaływania zanieczyszczeń,
- poziom emisji (różny dla poszczególnych kategorii pojazdów).

W ciągu ostatnich 20 lat prowadzono działania w celu opracowania metod wyceny zewnętrznych kosztów transportu. Część z nich finansowana była ze środków pochodzących z Komisji Europejskiej. Poniższa tablica prezentuje najważniejsze z tych badań, z których większość jest nadal kontynuowana.

Tablica 10. Przegląd badań w zakresie kosztów zewnętrznych zanieczyszczenia powietrza

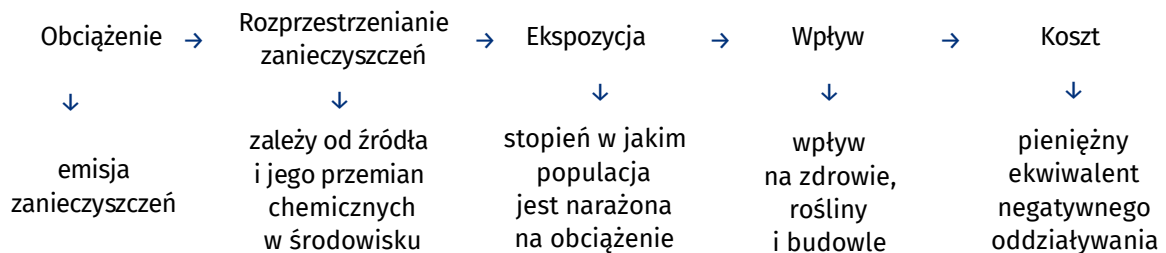
| Nazwa badania | Rok bazowy zasięg geograficzny | Metodologia | Rodzaje transportu | Statystyczna wartość życia ludzkiego (VSL)/Wartość straconego roku życia (VLYL) | Wartości wyjściowe | Podstawowe atuty |
|---------------|-------------------------------------|---|--|--|--|---|
| CAFE CBA | 2005 Unia Europejska | Podejście oddolne, metoda śledzenia drogi oddziaływania (ExternE) | Drogowy, kolejowy | VSL 980 000 euro (mediana) 2 000 000 euro (średnia) VLYL 52 000 euro (mediana) 120 000 euro (średnia) | Koszty krańcowe | Bardzo kompletne badanie; oszacowanie ogólnych wartości liczbowych dla wszystkich państw członkowskich UE. Aktualizacja zakresów wartości dla kosztów szkód. Łatwe zastosowanie i agregacja wyników |
| GRACE | 2005 UE 25 | Oddolne lub odgórne, zależnie od konkretnej analizy przypadku | Wszystkie | VSL Zakres: od 800 000 euro do 1 800 000 euro | Koszty średnie i krańcowe | Szeroki europejski zasięg geograficzny. Uwzględniono wszystkie rodzaje transportu |
| HEATCO | 2002 UE 25 | Oddolne metoda śledzenia drogi oddziaływania (ExternE) | Transport i wytwarzanie energii elektrycznej | VSL zakres: od 800 000 euro do 1 800 000 euro | Koszty krańcowe | Bardzo kompletne badanie. Szeroki europejski zasięg geograficzny. Aktualizacja zakresów wartości dla szkód. Zastosowanie metodologii ExternE. Ocena również lokalnych skutków PM _{2.5} dla zdrowia ludzkiego i obszarów gęsto zaludnionych. Wysoki poziom możliwości przenoszenia wyników w zasięgu UE. Łatwe zastosowanie i agregacja wyników |
| INFRAS/IWW | 2000 UE 15 +Szwajcaria i Norwegia | Odgórne | Wszystkie | VSL 1 400 000 euro | Koszty łączne, średnie i krańcowe | Najważniejsze badanie dla podejścia odgórnego |
| UNITE | 1998 UE 15 +Węgry, Republika Czeska | Oddolne, metoda śledzenia drogi oddziaływania (ExternE) | Wszystkie | VSL 1 000 000 euro VLYL 74 500 euro (efekty przewlekle) VLYL 128 500 euro (efekty dotkliwe) | Koszty łączne i średnie dla wszystkich uwzględnionych krajów, koszty krańcowe dla konkretnych krajów | Zastosowanie funkcji dawka-skutek do ilościowego określenia efektów związanych z zanieczyszczeniem |

Źródło: Handbook on External Costs of Transport (2008), https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/themes/sustainable/doc/2008_costs_handbook.pdf [stan z dnia 01.06.2018r.]

Prace rozwojowe w zakresie metodologii kosztów zewnętrznych, badania naukowe prowadzone w krajach Unii Europejskiej, a także rozpoznawanie nowych źródeł danych przyczyniły się do aktualizacji metodologii zawartej w podręczniku kosztów zewnętrznych transportu (*Update of the Handbook on External Costs of Transport 2014*).

Opracowana standardowa metoda szacowania kosztów zewnętrznych (*Impact Pathway Approach*) w tym podręczniku jest najnowocześniejszym sposobem oceny skutków zanieczyszczeń powietrza i uwzględnia koszty szkód oraz gotowość do zapłaty. Metoda ta polega na śledzeniu emisji zanieczyszczeń oraz określeniu ich skutków, a następnie dokonaniu oceny wpływu emisji na ludzkie zdrowie, środowisko i działalność gospodarczą oraz ustaleniu wysokości wywołanych szkód (w kwotach pieniężnych). Kluczowe etapy tej metody przedstawia poniższy schemat.

Schemat 1. Etapy szacowania kosztów zewnętrznych



Źródło: opracowanie własne na podstawie: RICARDO-AEA, *Update of the Handbook on External Costs of Transport*, Final Report, 8 January 2014

Informacje przedstawione w podręczniku *Handbook on External Costs of Transport* (2008) dotyczące zanieczyszczeń powietrza w znacznym stopniu opierają się na dwóch głównych badaniach europejskich - HEATCO i CAFE CBA, wykorzystujących wyniki projektu ExternE. Dane uzyskane podczas realizacji projektu stanowią przełom w szacowaniu kosztów zewnętrznych w Europie. W projekcie wykorzystano kombinację modeli lokalnego i regionalnego rozpraszania zanieczyszczeń do obliczania wzrostu ich stężenia w powietrzu. Kolejnym etapem jest szacowanie wielkości skutków oddziaływania zanieczyszczeń w oparciu o zastosowanie funkcji dawka - skutek lub stężenie - skutek (E-R). Zależności dawka - skutek określane są w oparciu o wyniki prowadzonych badań epidemiologicznych lub szpitalnych, badań laboratoryjnych i doświadczalnych, które obejmują zazwyczaj krótkookresowe narażenie ludności na zwiększone stężenie zanieczyszczeń. W projekcie ExternE zwiększenie śmiertelności ludzi szacowane jest jako skumulowana redukcja oczekiwanej długości życia (YOLL - liczba utraconych lat życia) dla analizowanej populacji. Liczbę utraconych lat życia rozważa się w aspekcie rozkładu wieku i długości trwania życia. Po dokonaniu oceny skutków oddziaływania zanieczyszczeń szacuje się wartość szkód środowiskowych i zdrowotnych w kwotach pieniężnych. Koszty związane ze zdrowiem ustala się na podstawie gotowości do zapłaty za obniżenie ryzyka zdrowotnego lub gotowości do zaakceptowania zapłaty za zwiększone ryzyko zachorowania. W kalkulacji tej uwzględniane są koszty leczenia oraz utracone zarobki. Najważniejszym parametrem stosowanym przy szacowaniu kosztów związanych ze zwiększoną umieralnością, jest wskaźnik VSL (Value of Statistical Life) określane jako „wartość statystycznego życia”. Stanowi on podstawę do wyznaczenia wartości straconego statystycznego roku życia (Value of Lost Year - VOLY). Na podstawie badań przeprowadzonych w projekcie ExternE w Anglii, Francji i Włoszech określono wartość statystycznego życia VSL - 1 mln euro. Przyjęta kwota posłużyła do ustalenia wartości statystycznego roku życia VOLY, w wysokości 50 000 euro, która została zmieniona w wyniku badania ankietowego w projekcie NEEDS, zrealizowanego w 9 krajach europejskich na 40 000 euro i zalecana do stosowania przez wszystkie kraje członkowskie.



2.4.1.2. Metody wyceny zmiany klimatu

Termin „zmiany klimatu” zwany również globalnym ociepleniem zazwyczaj odnosi się do zmian stężenia gazów cieplarnianych, powodujących stopniowe podwyższanie temperatury przy powierzchni Ziemi, głównie wskutek działalności człowieka. Następstwem globalnego ocieplenia są takie efekty jak: podnoszenie poziomu mórz, straty w produkcji rolniczej, zmiany w dostępności zasobów wodnych, negatywne skutki zdrowotne itp.

Spośród wszystkich rodzajów kosztów zewnętrznych, skutki w postaci zmian klimatu najtrudniej jest ocenić w kategoriach ekonomicznych, ponieważ charakteryzuje je ogólnoświatowy wymiar i długoterminowa perspektywa. Przy szacowaniu kosztów zewnętrznych szkód powodowanych zmianami klimatu stosowane są dwa podstawowe podejścia:

- **kosztów szkód**, którego celem jest oszacowanie zarówno rodzaju jak i ekonomicznych rozmiarów szkód w środowisku klimatycznym, wywołanych oddziaływaniem zanieczyszczeń w perspektywie długoterminowej. Ekonomiczne oszacowanie efektów zmian klimatu jest jednak niejednoznaczne i budzi kontrowersje, pomimo istnienia obszernej literatury na ten temat. Jest to głównie konsekwencją braku dostatecznej wiedzy o fizycznych skutkach globalnego ocieplenia. Niektóre z tych skutków są dość oczywiste i udowodnione przez szczegółowe modelowanie, podczas gdy inne - takie jak rozszerzające się powodzie, huragany o wyższym poziomie intensywności, albo bardziej dramatyczne nieliniarne efekty, takie jak spowolnienie czy zatrzymanie prądów zatokowych, nie są rozpatrywane ze względu na brak informacji na temat wpływu globalnego ocieplenia na te zjawiska,
- **kosztów unikania** (zwanymi także kosztami łagodzenia skutków), zakłada konkretny cel ilościowy ograniczenia emisji oraz określa koszty środków łagodzących, które społeczeństwo jest gotowe ponieść dla zrealizowania takiego celu w perspektywie długoterminowej. Ten cel może być określony na różnych poziomach geograficznych np. krajowym, Unii Europejskiej, ogólnoświatowym. Z punktu widzenia dobrobytu ekonomicznego, podejście kosztów unikania nie jest uznawane za najlepsze rozwiązanie. Może być ono uznane za teoretycznie poprawne pod warunkiem, że wybrany cel dotyczący ograniczenia, adekwatnie reprezentuje preferencje społeczne. W tym przypadku krańcowe koszty unikania powiązane z celem mogą być rozpatrywane jako wartość chęci do zapłaty. To powoduje, że podejście kosztów unikania najlepiej stosować tylko wtedy, gdy cele dotyczące ograniczenia są zawarte w istniejących i powszechnie obowiązujących zasadach lub regulacjach.

2.4.2. Opracowanie metodyki szacowania kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych

Koszty związane z transportem obejmują koszty ponoszone przez osobę lub grupę osób związanych z prowadzoną działalnością transportową oraz użytkowników indywidualnych, a także koszty zewnętrzne będące skutkiem oddziaływania transportu na osoby niezwiązane bezpośrednio z tą działalnością ponoszone przez społeczeństwo.

W emisji zanieczyszczeń z transportu drogowego wyróżnia się następujące rodzaje kosztów (według podręcznika *Internalisation Measures Policies for all external costs of Transport (IMPACT), Handbook on estimation of external costs in the transport sector*):

1. Wydatki operacyjne;
 - wewnętrzne:
 - koszty paliwa,
 - koszty utrzymania taboru,
 - bilety, opłaty za przejazdy.
 - koszty zewnętrzne ponoszone przez innych użytkowników lub społeczeństwo.



2. Koszty wykorzystania infrastruktury;
 - wewnętrzne:
 - koszty pokryte z opłat za korzystanie z infrastruktury,
 - koszty pokryte z biletów.
 - zewnętrzne – częściowo niepokrywane.
3. Koszty zanieczyszczenia powietrza;
 - wewnętrzne – straty własne (w zależności od indywidualnej sytuacji),
 - zewnętrzne – zdrowotne, ponoszone przez ludzi mających styczność z zanieczyszczonym powietrzem.
4. Koszty zmian klimatycznych;
 - wewnętrzne - straty własne (z uwzględnieniem przyszłych pokoleń),
 - zewnętrzne – ponoszone przez społeczeństwo oraz przyszłe pokolenia.

Przy szacowaniu kosztów środowiskowych stosuje się metodę, w której poddawane są ocenie procesy fizyczne (emisja zanieczyszczeń, zmiany w atmosferze, wpływ na zdrowie ludzi i ekosystemy), a następnie przeliczane na kwoty pieniężne.

Koszty zewnętrzne zanieczyszczenia powietrza oszacowano w oparciu o zaktualizowany podręcznik „*Update of the Handbook on External Cost of Transport*”, w którym przedstawione są metody szacowania kosztów zewnętrznych oraz wielkości poszczególnych współczynników wyrażonych w euro.

Do obliczenia kosztów zewnętrznych zanieczyszczenia powietrza może być stosowany poniższy wzór:

$$PCV = \sum_i \sum_j PC_{ij} \cdot Q_{ij}$$

gdzie:

PCV – koszt zanieczyszczenia powietrza [euro/t],

PC_{ij} – koszt jednej tony zanieczyszczeń [euro/t],

Q_{ij} – ilość zanieczyszczenia w tonach,

i – rodzaj zanieczyszczenia ($i = 1, \dots, 8$),

j – typ drogi ($j = 1, \dots, 4$).

Współczynniki emisji, użyte do obliczenia kosztów zewnętrznych zanieczyszczenia powietrza, powinny być zgodne z Dyrektywą 2001/81/EC¹⁴, wykorzystywaną przez państwa członkowskie do monitorowania emisji.

Wielkości zanieczyszczeń przeliczono uwzględniając koszty szkód, w wartości euro w 2010 r. zaprezentowane w podręczniku *Update of the Handbook on External Costs of Transport* (Final Report, Ricardo-AEA/R/ED57769 Issue Number 1, January 2014), a następnie zamieniono na zł, uwzględniając PKB na 1 osobę według parytetu siły nabywczej pieniądza w 2015 r. oraz średni roczny kurs euro podany przez NBP.

14. Dyrektywa 2001/81/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2001 r. w sprawie krajowych poziomów emisji dla niektórych rodzajów zanieczyszczenia powietrza.

Tablica 11. Koszty szkód emisji głównych zanieczyszczeń do powietrza z transportu drogowego

| WYSZCZEGÓLNIENIE | NO _x | NMVOC | PM _{2,5} | | | | PM |
|------------------|-----------------|-------|-------------------|-------------|------------|------------|---------|
| | | | miejskie | podmiejskie | zamiejskie | autostrady | |
| | | | zł/t | | | | |
| 2010 | 53 655 | 6 701 | 884 470 | 296 408 | 189 675 | 189 675 | 209 179 |
| 2015 | 70 097 | 8 754 | 1 155 500 | 387 237 | 247 797 | 247 797 | 273 278 |

Źródło: opracowanie własne na podstawie „Final Report, Ricardo-AEA/R/ED57769 Issue Number 1, January 2014”

Koszty zewnętrzne zmian klimatu

Szacowanie zewnętrznych kosztów zmian klimatu częściowo opiera się na metodyce śladu węglowego¹⁵ i jest spójne z planami Unii Europejskiej, dotyczącymi odchodzenia od paliw kopalnych (Decarbonisation Roadmap 2050); obejmuje następujące etapy:

- ustalenie ogólnej liczby wozokilometrów, tonokilometrów i pasażerokilometrów dla poszczególnych kategorii pojazdów samochodowych,
- obliczenie równowartości ekwiwalentu CO₂ w emisji gazów cieplarnianych przy użyciu wskaźnika Potencjału Globalnego Ocieplenia (GWP). Sposób ten polega na pomnożeniu wielkości emisji gazu cieplarnianego przez współczynnik ocieplenia, wynoszący dla CH₄ – 28, dla N₂O – 265 i wskazujący większy wpływ na zmiany klimatu tych związków odpowiednio 28 i 265 razy niż tej samej ilości CO₂,
- obliczenie całkowitych emisji ekwiwalentu CO₂ polegające na dodaniu wielkości emisji poszczególnych gazów cieplarnianych do całkowitej wielkości emitowanego dwutlenku węgla,
- wycena efektu zewnętrznego polegająca na pomnożeniu całkowitej liczby ton emisji ekwiwalentu CO₂ przez koszt jednostkowy wyrażony w euro/t. W związku z tym, że szkody powodowane przez emisję gazów cieplarnianych mają zasięg ogólnosiwiatowy, we wszystkich krajach w Europie zastosowano jednokowe wskaźniki kosztów jednostkowych. W oparciu o dane zawarte w „Niebieskiej księdze Jaspers” (*Blue Book*, May 2015) przeprowadzono obliczenie kosztów zewnętrznych gazów cieplarnianych. Do ich szacowania zaleca się wykorzystanie wartości przedstawionych poniżej w tablicy 3, przyjmując 25 euro za 1 tonę ekwiwalentu CO₂ w 2010 r. i uwzględniając zależność współczynnika od czasu.

Tablica 12. Koszty jednostkowe emisji gazów cieplarnianych

| Wartość | Wartość w 2010 (euro/tCO ₂) | Roczny współczynnik sumujący od 2011 do 2030 |
|----------|---|--|
| Wysoka | 40 | 2 |
| Środkowa | 25 | 1 |
| Niska | 10 | 0,5 |

Źródło: EIB – European Investment Bank – „EIB Carbon Footprint Methodology 2014”

15. EIB – European Investment Bank – „EIB Carbon Footprint Methodology 2014”. IPCC – „Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2014, Synthesis Report”.



Do obliczenia kosztów zewnętrznych emisji gazów cieplarnianych wpływających na zmiany klimatu należy zastosować następujący wzór:

Koszt emisji gazów cieplarnianych

$$PCV_{GHG} = V_{GHG} \cdot C_{GHG}$$

gdzie:

PCV_{GHG} – koszty zewnętrzne emisji gazów cieplarnianych w zł/t,

V_{GHG} – całkowita emisja ekwiwalentu dwutlenku węgla w tys. ton,

C_{GHG} – jednostkowa cena ukryta CO₂ (koszt szkód), zaktualizowana i wyrażona w cenach obowiązujących w roku przeprowadzenia obliczeń w zł na tonę CO₂.

- obliczanie przeciętnych kosztów zmian klimatu - poprzez podzielenie kosztów całkowitych emisji zanieczyszczeń według typu pojazdu przez liczbę tonokilometrów (tkm)/pasażerokilometrów (pkm).

Szacowanie kosztów zewnętrznych zanieczyszczeń powietrza w uproszczonej wersji, przeprowadzono w oparciu o ustalenie efektów zewnętrznych wyrażonych w postaci ilościowej i przypisaniu im wartości pieniężnych.

Szacowanie emisji gazów cieplarnianych (CH₄, CO₂, N₂O) z pojazdów samochodowych wykonano programem COPERT IV. Wykorzystując wskaźnik Potencjału Globalnego Ocieplenia (GWP) przeliczono ilość CH₄ oraz N₂O na ekwiwalent CO₂, a następnie pomnożono przez wartość 1 tony CO₂ (szkody) wynoszącą 35,17 euro.

W pierwszym etapie przeprowadzono obliczenia wielkości zanieczyszczeń na poziomie kraju z pojazdów samochodowych (wyłączając autobusy miejskie) wykorzystując następujące informacje:

- liczbę eksploatowanych pojazdów,
- przebiegi pojazdów rocznych i całkowitych,
- średnie prędkości według kategorii dróg i rodzaju pojazdów,
- strukturę pojazdów na ciągach komunikacyjnych według kategorii dróg,
- dane meteorologiczne dla województwa mazowieckiego.

Drugim etapem szacowania kosztów było dokonanie obliczeń wielkości zanieczyszczeń z autobusów miejskich, w oparciu o dane dotyczące:

- liczby autobusów według województw (BDL),
- przebiegów ogólnych (BDL),
- przebiegów rocznych (Ministerstwo Cyfryzacji),
- średnich prędkości (Urząd Miejski Miasta Stołecznego Warszawa),
- danych meteorologicznych dla województw.

Do obliczenia zanieczyszczeń NO_x, PM, NMVOC emitowanych przez pojazdy samochodowe na wybranych 368 odcinkach dróg, wykorzystano założenia takie jak w wersji uproszczonej, z wyjątkiem danych meteorologicznych, które pobrano dla poszczególnych województw.

Z uwagi na to, że oprogramowanie COPERT IV jest dostosowane do obliczania zanieczyszczeń dla kraju, otrzymane wyniki przeskalowano z uwzględnieniem poszczególnych odcinków dróg zgodnie z poniższym wzorem:

$$V_{ijr} = W_{ijr} \cdot \frac{S_j}{p_r}$$

gdzie:

- V_{ijr} – przeskalowana wartość,
- i – rodzaj zanieczyszczenia ($i = 1, \dots, 8$),
- j – rodzaj odcinka ($j = 1, \dots, 4$),
- r – rodzaj pojazdów ($r = 1, \dots, 6$),
- W_{ijr} – wyliczona wartość z systemu COPERT IV,
- s_j – długość odcinka,
- p_r – średni przebieg roczny grupy pojazdów

Przeskalowane w powyższy sposób odcinki podzielono na 141 grup. Analogicznego podziału dokonano dla wszystkich 4 875 odcinków, które badano podczas Generalnego Pomiaru Ruchu przeprowadzonego w 2015 r. (załącznik nr 1) z uwzględnieniem:

- rodzaju drogi (autostrady, drogi ekspresowe i pozostałe drogi krajowe oraz drogi wojewódzkie),
- średniego dobowego ruchu rocznego (w przedziałach co 1000 poj./dobę).

Powyzsze dzialanie miało na celu dokładne oszacowanie wielkości emisji zanieczyszczeń.

W wyniku przeskalowania wszystkich odcinków z GPR 2015, opracowano tablice dotyczące wielkości emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych według:

- rodzaju drogi i *SDRR*,
- rodzaju pojazdu i silnika, stosowanego paliwa oraz dopuszczalnej masy całkowitej (dmc),
- rodzaju pojazdu i klasy emisji spalin EURO.

W koncepcji projektu ujęto wiele substancji zanieczyszczających powietrze. W programie COPERT IV, będącym narzędziem do wykonania tych obliczeń, badano emisję z transportu kilkudziesięciu związków. W trakcie realizacji pracy badawczej obliczono wielkość emisji różnych polutantów, w tym tlenku węgla, jednak jego stężenie okazało się niegroźne dla ludzi według monitoringu Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska. Potwierdzają to również wyniki Europejskiej Agencji Środowiska prezentowane w corocznych raportach. Autorzy wykorzystali ponadto informacje zawarte w podręczniku kosztów zewnętrznych transportu (*Update of the Handbook on External Costs of Transport 2014*) i w oparciu o zgromadzoną wiedzę dokonali weryfikacji pierwotnie przyjętych do badania związków szkodliwych. Wybrano tylko kilka najbardziej niebezpiecznych dla zdrowia i życia. W grupie tej nie znalazł się tlenek węgla, który jest bardzo niebezpieczny w pomieszczeniach zamkniętych, natomiast na otwartej przestrzeni nie stwarza zagrożenia.

Tablica 13. Wielkość emisji zanieczyszczeń powietrza z transportu drogowego według rodzajów dróg na badanych odcinkach w 2015 r.

| RODZAJE DRÓG | łączna długość dróg w km | Zanieczyszczenie | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|------------------|-----------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|------------------|---------|
| | | CH ₄ | CO | CO ₂ | N ₂ O | NO _x | PM _{2.5} | PM ₁₀ | NMVOC |
| | | w tonach | | | | | | | |
| OGÓŁEM | 45 310,5 | 1 056,2 | 109 871,4 | 23 016 325,3 | 688,5 | 97 798,2 | 3 511,2 | 4 149,1 | 9 989,8 |
| miejskie | | | | | | | | | |
| w tym | | | | | | | | | |
| autostrady | 114,0 | 17,5 | 3 779,1 | 502 014,4 | 11,6 | 2 193,0 | 79,8 | 89,4 | 187,9 |
| drogi ekspresowe | 244,3 | 27,4 | 4 761,6 | 680 701,4 | 15,1 | 2 747,8 | 105,2 | 117,9 | 280,6 |
| pozostałe krajowe | 477,5 | 25,0 | 2 030,9 | 503 171,1 | 15,8 | 2 075,0 | 75,2 | 89,8 | 225,4 |
| wojewódzkie | 414,3 | 10,5 | 868,2 | 194 823,4 | 5,6 | 697,8 | 27,8 | 34,0 | 105,7 |
| zamiejskie | | | | | | | | | |
| w tym | | | | | | | | | |
| autostrady | | | | | | | | | |
| poniżej 15 000 poj./dobę | 236,5 | 6,4 | 1 334,8 | 199 043,7 | 4,9 | 905,9 | 32,0 | 36,0 | 68,6 |
| 15 000 i więcej poj./dobę | 1 281,3 | 105,4 | 22 020,2 | 3 229 997,1 | 80,6 | 14 518,0 | 504,6 | 570,7 | 1 116,4 |
| drogi ekspresowe | | | | | | | | | |
| poniżej 15 000 poj./dobę | 606,1 | 21,3 | 3 468,6 | 622 591,9 | 16,1 | 2 870,5 | 100,5 | 113,8 | 219,7 |
| 15 000 i więcej poj./dobę | 798,9 | 60,1 | 10 090,1 | 1 609 047,7 | 38,2 | 6 978,9 | 255,2 | 287,1 | 611,6 |
| pozostałe krajowe | | | | | | | | | |
| poniżej 5 000 poj./dobę | 4 412,9 | 53,1 | 4 195,3 | 1 078 838,6 | 35,6 | 4 711,4 | 166,2 | 198,3 | 472,1 |
| 5 000 – 9 999 poj./dobę | 6 156,4 | 179,6 | 12 881,8 | 3 786 276,7 | 133,6 | 17 820,5 | 589,9 | 705,6 | 1 435,4 |
| 10 000 – 14 999 poj./dobę | 2 758,0 | 127,0 | 9 598,8 | 2 652 601,8 | 90,4 | 11 748,7 | 401,1 | 480,9 | 1 057,4 |
| 15 000 i więcej poj./dobę | 1 102,7 | 96,3 | 7 356,8 | 1 992 312,6 | 67,1 | 8 795,0 | 302,9 | 362,5 | 818,6 |
| wojewódzkie | | | | | | | | | |
| poniżej 5 000 poj./dobę | 20 202,9 | 169,4 | 14 302,9 | 3 026 547,8 | 88,4 | 11 390,8 | 455,1 | 552,8 | 1 795,8 |
| 5 000 – 9 999 poj./dobę | 5 434,9 | 112,2 | 9 492,1 | 2 102 369,0 | 60,6 | 7 283,1 | 296,4 | 364,0 | 1 145,7 |
| 10 000 – 14 999 poj./dobę | 925,9 | 35,6 | 2 913,0 | 667 079,3 | 19,9 | 2 445,3 | 94,9 | 116,5 | 353,1 |
| 15 000 i więcej poj./dobę | 144,0 | 9,3 | 777,2 | 168 908,6 | 4,9 | 616,5 | 24,4 | 29,7 | 95,8 |

Źródło: opracowanie własne

Tablica 14. Wielkość emisji zanieczyszczeń powietrza z transportu drogowego według rodzajów pojazdów i silnika, stosowanego paliwa oraz dmc na podstawie GPR w 2015 r.

| RODZAJ POJAZDU | Zanieczyszczenie | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|-----------------|-------------------|------------------|----------------|
| | CH ₄ | CO | CO ₂ | N ₂ O | NO _x | PM _{2,5} | PM ₁₀ | NMVOC |
| | w tonach | | | | | | | |
| OGÓŁEM | 1 056,2 | 109 871,4 | 23 016 325,3 | 688,5 | 97 798,2 | 3 511,2 | 4 149,1 | 9 989,8 |
| Samochody osobowe | 654,6 | 82 018,0 | 12 723 752,4 | 310,5 | 33 091,8 | 1 447,2 | 1 766,0 | 6 512,9 |
| na benzynę | | | | | | | | |
| poniżej 1 400 cm ³ | 150,1 | 20 193,4 | 2 844 195,6 | 32,0 | 2 868,8 | 141,9 | 219,6 | 2 325,1 |
| 1 400-1 999 cm ³ | 205,9 | 18 678,3 | 3 085 990,9 | 42,3 | 4 689,8 | 136,8 | 210,6 | 2 188,8 |
| 2 000 i więcej | 32,5 | 2 603,7 | 482 256,5 | 5,0 | 803,4 | 17,0 | 26,2 | 329,3 |
| na olej napędowy | | | | | | | | |
| poniżej 1 400 cm ³ | 0,3 | 20,8 | 100 695,2 | 6,3 | 480,2 | 22,4 | 25,9 | 3,9 |
| 1 400-1 999 cm ³ | 39,3 | 904,1 | 3 186 656,3 | 142,9 | 13 927,7 | 852,4 | 936,5 | 176,6 |
| 2 000 i więcej | 9,6 | 210,8 | 795 510,9 | 25,3 | 2 614,2 | 173,1 | 188,5 | 68,1 |
| na LPG | 216,9 | 39 406,9 | 2 228 447,0 | 56,7 | 7 707,6 | 103,5 | 158,6 | 1 421,2 |
| Samochody ciężarowe | 317,1 | 20 054,4 | 9 741 142,8 | 364,3 | 60 517,1 | 1 950,1 | 2 256,9 | 2 340,5 |
| poniżej 3,5 t dmc | 26,8 | 6 654,9 | 2 048 069,3 | 31,1 | 8 056,1 | 540,9 | 593,1 | 486,7 |
| na benzynę | 19,9 | 4 040,1 | 440 403,9 | 9,4 | 527,0 | 21,1 | 33,0 | 142,3 |
| na olej napędowy | 6,9 | 2 614,8 | 1 607 665,4 | 21,7 | 7 529,1 | 519,9 | 560,2 | 344,4 |
| 3,5 - 12 t dmc | 28,0 | 1 758,1 | 678 560,5 | 31,8 | 8 138,4 | 245,4 | 269,4 | 502,2 |
| powyżej 12 t dmc | 262,3 | 11 641,4 | 7 014 512,9 | 301,4 | 44 322,6 | 1 163,8 | 1 394,3 | 1 351,6 |
| Autokary | 29,9 | 857,7 | 477 720,6 | 12,3 | 4 062,7 | 93,7 | 104,8 | 144,3 |
| Motocykle | 54,6 | 6 941,3 | 73 709,5 | 1,5 | 126,6 | 20,1 | 21,5 | 992,1 |

Źródło: opracowanie własne

Tablica 15. Wielkość emisji zanieczyszczeń powietrza z transportu drogowego według rodzajów pojazdów i klasy emisji spalin EURO w na podstawie GPR w 2015 r.

| RODZAJ POJAZDU | Zanieczyszczenie | | | | | | | |
|-------------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|-----------------|-------------------|------------------|----------------|
| | CH ₄ | CO | CO ₂ | N ₂ O | NO _x | PM _{2,5} | PM ₁₀ | NMVOC |
| | w tonach | | | | | | | |
| OGÓŁEM | 1 056,2 | 109 871,4 | 23 016 325,3 | 688,5 | 97 798,2 | 3 511,2 | 4 149,1 | 9 989,8 |
| Samochody osobowe | 654,6 | 82 018,0 | 12 723 752,4 | 310,5 | 33 091,8 | 1 447,2 | 1 766,0 | 6 512,9 |
| EURO 0 | 265,7 | 22 511,5 | 604 970,3 | 29,4 | 10 229,3 | 90,7 | 106,0 | 2 194,9 |
| EURO 1 | 138,8 | 16 125,2 | 1 304 132,0 | 52,8 | 3 254,4 | 163,6 | 195,4 | 899,1 |
| EURO 2 | 175,7 | 19 392,7 | 3 404 244,3 | 71,7 | 5 581,4 | 344,4 | 430,6 | 1 543,0 |
| EURO 3 | 36,7 | 16 843,4 | 3 534 216,6 | 70,4 | 7 576,6 | 485,0 | 573,9 | 1 110,7 |

Tablica 15. Wielkość emisji zanieczyszczeń powietrza z transportu drogowego według rodzajów pojazdów i klasy emisji spalin EURO w na podstawie GPR w 2015 r. (dok.)

| RODZAJ POJAZDU | Zanieczyszczenie | | | | | | | |
|------------------------|------------------|----------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|------------------|---------|
| | CH ₄ | CO | CO ₂ | N ₂ O | NO _x | PM _{2,5} | PM ₁₀ | NMVOC |
| | w tonach | | | | | | | |
| EURO 4 | 21,1 | 4 373,0 | 2 360 125,1 | 58,2 | 4 377,5 | 293,8 | 352,6 | 480,2 |
| EURO 5 | 14,1 | 2 388,3 | 1 298 285,4 | 25,2 | 1 848,0 | 60,0 | 92,3 | 246,8 |
| EURO 6 | 2,5 | 383,8 | 217 778,8 | 2,9 | 224,5 | 9,7 | 15,1 | 38,0 |
| Ciężarowe o dmc <3,5t | 26,8 | 6 654,9 | 2 048 069,3 | 31,1 | 8 056,1 | 540,9 | 593,1 | 486,7 |
| EURO 0 | 12,5 | 1 265,7 | 69 691,1 | 1,3 | 539,0 | 58,0 | 59,7 | 71,3 |
| EURO 1 | 3,1 | 386,7 | 115 380,7 | 2,1 | 530,4 | 50,0 | 52,9 | 47,0 |
| EURO 2 | 9,1 | 1 834,5 | 466 278,6 | 12,7 | 1 666,3 | 160,1 | 171,8 | 162,1 |
| EURO 3 | 1,5 | 2 011,5 | 591 835,0 | 6,0 | 1 819,4 | 162,2 | 177,0 | 146,4 |
| EURO 4 | 0,3 | 880,8 | 473 880,5 | 5,2 | 1 392,6 | 94,7 | 106,5 | 50,9 |
| EURO 5 | 0,3 | 250,9 | 304 800,8 | 3,6 | 1 974,1 | 14,7 | 23,3 | 8,2 |
| EURO 6 | 0,0 | 24,8 | 26 202,7 | 0,3 | 134,4 | 1,3 | 2,0 | 0,7 |
| Ciężarowe o dmc =>3,5t | 290,3 | 13 399,5 | 7 693 073,4 | 333,2 | 52 461,0 | 1 409,2 | 1 663,7 | 1 853,8 |
| EURO 0 | 61,6 | 2 516,1 | 742 406,3 | 43,6 | 10 882,5 | 358,2 | 379,8 | 780,0 |
| EURO 1 | 14,0 | 275,6 | 130 638,6 | 1,9 | 1 340,7 | 46,2 | 50,5 | 61,0 |
| EURO 2 | 120,0 | 2 485,9 | 1 183 386,4 | 19,1 | 13 202,8 | 333,3 | 372,6 | 374,3 |
| EURO 3 | 50,4 | 3 190,4 | 1 450 108,5 | 13,4 | 12 199,9 | 313,2 | 359,9 | 474,2 |
| EURO 4 | 14,8 | 1 417,5 | 1 457 541,9 | 38,3 | 8 981,3 | 126,2 | 174,2 | 64,4 |
| EURO 5 | 21,2 | 3 381,2 | 1 950 704,2 | 158,5 | 5 657,3 | 193,7 | 261,5 | 79,6 |
| EURO 6 | 8,4 | 132,8 | 778 287,6 | 58,5 | 196,4 | 38,4 | 65,2 | 20,2 |
| Autokary | 29,9 | 857,7 | 477 720,6 | 12,3 | 4 062,7 | 93,7 | 104,8 | 144,3 |
| EURO 0 | 4,9 | 87,0 | 39 210,4 | 1,9 | 508,8 | 16,7 | 17,6 | 20,7 |
| EURO 1 | 4,3 | 66,6 | 32 030,9 | 0,5 | 338,7 | 11,6 | 12,4 | 18,6 |
| EURO 2 | 11,2 | 250,9 | 129 542,0 | 1,9 | 1 513,2 | 28,8 | 31,9 | 51,8 |
| EURO 3 | 9,0 | 258,7 | 121 791,5 | 0,9 | 1 049,7 | 25,2 | 28,0 | 45,0 |
| EURO 4 | 0,2 | 66,4 | 60 192,2 | 1,3 | 374,1 | 4,5 | 5,8 | 3,5 |
| EURO 5 | 0,3 | 123,2 | 73 263,0 | 4,6 | 273,1 | 6,2 | 7,9 | 3,9 |
| EURO 6 | 0,1 | 4,9 | 21 690,5 | 1,3 | 5,1 | 0,7 | 1,2 | 0,8 |
| Motocykle | 54,6 | 6 941,3 | 73 709,5 | 1,5 | 126,6 | 20,1 | 21,5 | 992,1 |
| EURO 0 | 31,5 | 3 081,3 | 19 222,5 | 0,3 | 58,9 | 9,2 | 9,6 | 366,0 |
| EURO 1 | 12,5 | 1 048,9 | 10 256,6 | 0,2 | 28,7 | 3,9 | 4,1 | 135,8 |
| EURO 2 | 3,8 | 494,5 | 6 276,8 | 0,1 | 10,3 | 1,7 | 1,8 | 71,7 |
| EURO 3 | 6,8 | 2 316,6 | 37 953,7 | 0,8 | 28,6 | 5,3 | 6,1 | 418,6 |

Źródło: opracowanie własne

Tablica 16. Koszty zewnętrzne zanieczyszczeń powietrza emitowanych przez transport drogowy według rodzajów dróg dla badanych odcinków w 2015 r.

| WYSZCZEGÓLNIENIE | Liczba odcinków | Długość dróg | Zanieczyszczenie | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------|
| | | | gazy cieplarniane | NO _x | PM _{2,5} | PM ₁₀ | NMVOc |
| | szt. | km | mln zł | | | | |
| OGÓŁEM | 4 875 | 45 310,5 | 3 418,3 | 6 880,1 | 992,9 | 1 138,0 | 87,8 |
| Drogi miejskie | 225 | 1 250,2 | 279,0 | 542,7 | 191,3 | 90,8 | 7,0 |
| w tym | | | | | | | |
| autostrady | 24 | 114,0 | 74,4 | 154,3 | 31,0 | 24,5 | 1,7 |
| drogi ekspresowe | 52 | 244,3 | 100,9 | 193,3 | 40,9 | 32,3 | 2,5 |
| pozostałe krajowe | 80 | 477,5 | 74,8 | 146,0 | 87,2 | 24,6 | 2,0 |
| wojewódzkie | 69 | 414,3 | 28,9 | 49,1 | 32,2 | 9,3 | 0,9 |
| Drogi zamiejskie | 4 359 | 41 137,7 | 2 300,1 | 4 559,5 | 579,7 | 770,8 | 63,0 |
| w tym | | | | | | | |
| Pozostałe krajowe | | | | | | | |
| poniżej 5000poj./dobę | 567 | 7 242,9 | 160,4 | 331,5 | 41,3 | 54,4 | 4,1 |
| 5 000 – 9 999 poj./dobę | 364 | 3 326,4 | 563,1 | 1 253,7 | 146,7 | 193,5 | 12,6 |
| 10 000 – 14 999poj./dobę | 385 | 2 758,0 | 394,4 | 826,5 | 99,7 | 131,9 | 9,3 |
| 15000 i więcej poj./dobę | 209 | 1 102,7 | 296,2 | 618,7 | 75,3 | 99,4 | 7,2 |
| wojewódzkie | | | | | | | |
| poniżej 5 000 poj./dobę | 1 828 | 20 202,9 | 449,5 | 801,3 | 113,2 | 151,6 | 15,8 |
| 5 000 – 9 999 poj./dobę | 765 | 5 434,9 | 312,2 | 512,4 | 73,7 | 99,8 | 10,1 |
| 10 000 – 14 999 poj./dobę | 194 | 925,9 | 99,1 | 172,0 | 23,6 | 31,9 | 3,1 |
| 15 000 i więcej poj./dobę | 47 | 144,0 | 25,1 | 43,4 | 6,1 | 8,2 | 0,8 |
| Autostrady i drogi ekspresowe ogółem | 291 | 2 922,7 | 839,3 | 1 778,0 | 221,9 | 276,4 | 17,7 |
| w tym | | | | | | | |
| autostrady | | | | | | | |
| poniżej 15 000 poj./dobę | 22 | 222,6 | 29,5 | 63,7 | 7,9 | 9,9 | 0,6 |
| 15 000 i więcej poj./dobę | 100 | 1 295,1 | 478,9 | 1 021,3 | 125,5 | 156,5 | 9,8 |
| drogi ekspresowe | | | | | | | |
| poniżej 15 000 poj./dobę | 62 | 606,1 | 94,8 | 193,5 | 23,5 | 29,0 | 1,8 |
| 15 000 i więcej poj./dobę | 107 | 798,9 | 231,4 | 446,1 | 57,2 | 70,4 | 4,9 |

Źródło: opracowanie własne

Tablica 17. Koszty zewnętrzne zanieczyszczeń powietrza emitowanych przez transport drogowy według rodzajów pojazdów i silnika, stosowanego paliwa oraz dmc dla badanych odcinków w 2015 r.

| WYSZCZEGÓLNIENIE | Zanieczyszczenie | | | | |
|-------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------|
| | Gazy cieplarniane | NO _x | PM _{2,5} | PM ₁₀ | NMVOc |
| | mln zł | | | | |
| OGÓŁEM | 3 439,9 | 6 880,1 | 992,9 | 1 138,0 | 87,8 |
| Samochody osobowe | 1 897,0 | 2 328,0 | 416,9 | 484,3 | 57,2 |
| na benzynę | | | | | |
| poniżej 1 400 cm ³ | 421,4 | 201,8 | 41,0 | 60,2 | 20,4 |
| 1 400-1 999 cm ³ | 458,0 | 329,9 | 39,5 | 57,8 | 19,2 |
| 2000 i więcej | 71,5 | 56,5 | 4,9 | 7,2 | 2,9 |
| na olej napędowy | | | | | |
| poniżej 1 400 cm ³ | 15,3 | 33,8 | 6,5 | 7,1 | 0,0 |
| 1 400-1 999 cm ³ | 479,2 | 979,8 | 245,2 | 256,9 | 1,6 |
| 2 000 i więcej | 118,9 | 183,9 | 49,8 | 51,7 | 0,6 |
| na LPG | 332,8 | 542,2 | 29,9 | 43,5 | 12,5 |
| Samochody ciężarowe | 1 460,5 | 4 257,4 | 542,6 | 619,0 | 20,6 |
| poniżej 3,5 t dmc | 303,7 | 566,8 | 152,9 | 162,7 | 4,3 |
| na benzynę | 65,6 | 37,1 | 6,0 | 9,0 | 1,3 |
| na olej napędowy | 238,1 | 529,7 | 146,9 | 153,6 | 3,0 |
| 3,5 - 12 t | 102,2 | 572,5 | 69,5 | 73,9 | 4,4 |
| powyżej 12 t | 1 054,6 | 3 118,1 | 320,2 | 382,4 | 11,9 |
| Autokary | 71,3 | 285,8 | 27,8 | 28,7 | 1,3 |
| Motocykle | 11,2 | 8,9 | 5,6 | 5,9 | 8,7 |

Źródło: opracowanie własne

Tablica 18. Koszty zewnętrzne zanieczyszczeń powietrza emitowanych przez transport drogowy według rodzajów pojazdów i klasy emisji spalin EURO dla badanych odcinków w 2015 r.

| WYSZCZEGÓLNIENIE | Zanieczyszczenie | | | | |
|------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------------|
| | Gazy cieplarniane | NO _x | PM _{2.5} | PM ₁₀ | NMVOС |
| | mln zł | | | | |
| OGÓŁEM | 3 418,3 | 6 880,1 | 992,9 | 1 138,0 | 87,8 |
| Samochody osobowe | 1 887,3 | 2 328,0 | 416,9 | 484,3 | 57,2 |
| EURO 0 | 91,3 | 719,6 | 26,1 | 29,1 | 19,3 |
| EURO 1 | 194,5 | 228,9 | 47,0 | 53,6 | 7,9 |
| EURO 2 | 504,5 | 392,7 | 99,3 | 118,1 | 13,6 |
| EURO 3 | 523,0 | 533,0 | 139,6 | 157,4 | 9,8 |
| EURO 4 | 349,7 | 308,0 | 84,8 | 96,7 | 4,2 |
| EURO 5 | 192,1 | 130,0 | 17,3 | 25,3 | 2,2 |
| EURO 6 | 32,2 | 15,8 | 2,8 | 4,2 | 0,3 |
| Ciężarowe o dmc <3,5t | 302,7 | 566,8 | 152,9 | 162,7 | 4,3 |
| EURO 0 | 10,4 | 37,9 | 16,5 | 16,4 | 0,6 |
| EURO I | 17,1 | 37,3 | 14,1 | 14,5 | 0,4 |
| EURO II | 69,1 | 117,2 | 45,2 | 47,1 | 1,4 |
| EURO III | 87,3 | 128,0 | 45,8 | 48,5 | 1,3 |
| EURO IV | 69,9 | 98,0 | 26,7 | 29,2 | 0,4 |
| EURO V | 45,0 | 138,9 | 4,2 | 6,4 | 0,1 |
| EURO VI | 3,9 | 9,5 | 0,4 | 0,6 | 0,0 |
| Ciężarowe o dmc =>3,5t | 1 146,3 | 3 690,7 | 389,8 | 456,3 | 16,3 |
| EURO 0 | 111,2 | 765,6 | 101,4 | 104,2 | 6,9 |
| EURO I | 19,4 | 94,3 | 13,0 | 13,8 | 0,5 |
| EURO II | 175,4 | 928,8 | 91,6 | 102,2 | 3,3 |
| EURO III | 214,1 | 858,3 | 85,8 | 98,7 | 4,2 |
| EURO IV | 216,0 | 631,8 | 34,5 | 47,8 | 0,6 |
| EURO V | 293,3 | 398,0 | 52,9 | 71,7 | 0,7 |
| EURO VI | 116,8 | 13,8 | 10,5 | 17,9 | 0,2 |
| Autokary | 70,9 | 285,8 | 27,8 | 28,7 | 1,3 |
| EURO 0 | 5,9 | 35,8 | 5,0 | 4,8 | 0,2 |
| EURO 1 | 4,7 | 23,8 | 3,4 | 3,4 | 0,2 |
| EURO 2 | 19,2 | 106,5 | 8,6 | 8,8 | 0,5 |
| EURO 3 | 18,0 | 73,9 | 7,5 | 7,7 | 0,4 |
| EURO 4 | 8,9 | 26,3 | 1,3 | 1,6 | 0,0 |
| EURO 5 | 11,0 | 19,2 | 1,9 | 2,2 | 0,0 |
| EURO 6 | 3,2 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,0 |

Tablica 18. Koszty zewnętrzne zanieczyszczeń powietrza emitowanych przez transport drogowy według rodzajów pojazdów i klasy emisji spalin EURO dla badanych odcinków w 2015 r. (dok.)

| WYSZCZEGÓLNIENIE | Zanieczyszczenie | | | | |
|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-------|
| | Gazy cieplarniane | NO _x | PM _{2.5} | PM ₁₀ | NMVOc |
| | mln zł | | | | |
| Motocykle | 11,1 | 8,9 | 5,6 | 5,9 | 8,7 |
| EURO 0 | 3,0 | 4,1 | 2,6 | 2,6 | 3,2 |
| EURO 1 | 1,6 | 2,0 | 1,1 | 1,1 | 1,2 |
| EURO 2 | 0,9 | 0,7 | 0,5 | 0,5 | 0,6 |
| EURO 3 | 5,6 | 2,0 | 1,5 | 1,7 | 3,7 |

Źródło: opracowanie własne

Szacowanie wielkości emisji zanieczyszczeń na drogach powiatowych i gminnych przeprowadzono w oparciu o:

- dane dotyczące średniego dobowego ruchu na drogach powiatowych i gminnych,
- liczbę eksploatowanych pojazdów,
- przebiegi roczne i całkowite pojazdów,
- średnie prędkości według kategorii dróg i rodzajów pojazdów,
- strukturę pojazdów na ciągach komunikacyjnych według kategorii dróg,
- dane meteorologiczne dla województw.

Wykorzystując powyższe dane, przeprowadzono w oparciu o COPERT IV, obliczenia emisji substancji szkodliwych na 4 kategoriach dróg (powiatowych miejskich i zamiejskich oraz gminnych miejskich i zamiejskich) dla wszystkich województw. W ten sposób ustalono strukturę zanieczyszczeń, a następnie oszacowano wielkości wydzielanych związków chemicznych przez pojazdy w ruchu.

Tablica 19. Średni dobowy ruch (SDR) pojazdów na drogach powiatowych i gminnych w Polsce w 2015 r.

| WYSZCZEGÓLNIENIE | Długość dróg | Średni dobowy ruch | | | | | | |
|----------------------------|--------------|--------------------|-----------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|---|----------------|
| | | razem | motocykli | samocho- dów osobo- wych | samocho- dów lekkih dosta- wczyc | samocho- dów ciężaro- wych | samocho- dów ciężaro- wych z przyczepą | autobu- sów |
| | km | pojazdy na dobę | | | | | | |
| Drogi powiatowe w obszarze | | | | | | | | |
| miejskim | 13 254 | 2 914 | 69 | 2 622 | 141 | 33 | 24 | 25 |
| zamiejskim | 101 458 | 1 366 | 45 | 1 208 | 69 | 18 | 14 | 12 |
| Drogi gminne w obszarze | | | | | | | | |
| miejskim | 36 030 | 905 | 21 | 815 | 44 | 10 | 7 | 8 |
| zamiejskim | 91 828 | 382 | 14 | 336 | 19 | 5 | 4 | 4 |

Źródło: opracowanie własny na podstawie danych z GDDKiA



2.4.3. Analiza porównawcza metody opracowanej przez Instytut Transportu Samochodowego i oprogramowania COPERT IV

Instytut Transportu Samochodowego (ITS) w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku opracował metodę obliczania zanieczyszczeń emitowanych do powietrza przez transport drogowy w Polsce. W ciągu dwóch ostatnich dekad metoda ta ulegała modyfikacji w miarę rozwoju motoryzacji oraz udoskonalania sposobów pomiaru emisji zanieczyszczeń.

W metodzie wykorzystywanej przez Instytut Transportu Samochodowego uwzględniono następujące główne grupy pojazdów:

- samochody osobowe,
- samochody o masie całkowitej do 3500 kg inne niż samochody osobowe,
- samochody ciężarowe,
- autobusy,
- motocykle i motorowery.

Wśród samochodów osobowych ITS wyróżnił kategorie pojazdów napędzanych benzynami silnikowymi (BS), gazem płynnym propan – butan (LPG) lub olejami napędowymi (ON). Do tej grupy przypisano następujące podgrupy:

- pojazdy napędzane silnikami dwusuwowymi (Syrena, Wartburg, Trabant);
- pojazdy napędzane silnikami czterosuwowymi starszej generacji został podzielony na cztery klasy;
 - A - Polski Fiat 126p,
 - B - Polski Fiat 125p, FSO 1300, 1500 i Polonez,
 - C - wyprodukowane w byłych krajach demokracji ludowej,
 - D - pozostałe.
- pojazdy niskoemisyjne - spełniające wymagania w zakresie emisji ustalone w następujących przepisach (regulaminie 83 EKG ONZ seria 01 poprawek, homologacja B,C i D oraz dyrektywie Unii Europejskiej 91/441/EEC).

Kolejną wydzieloną przez ITS grupą były samochody o masie całkowitej 3500 kg inne niż samochody osobowe (ciężarowe, osobowo-ciężarowe, mikrobusy, samochody specjalne). ITS stosował w tej grupie analogiczny podział na podgrupy, jak w przypadku samochodów osobowych.

Dla grupy samochody ciężarowe oraz autobusy obejmują pojazdy o masie całkowitej powyżej 3500 kg; zaliczono do nich podgrupy:

- samochody starszej generacji,
- samochody niskoemisyjne.

Podstawową informacją wykorzystywaną przez ITS do szacowania wielkości emisji zanieczyszczeń powietrza była wielkość zużycia paliwa według rodzajów środków transportu. W tym celu ITS stosował różne sposoby pozyskania tych danych. Dla benzyn silnikowych pozyskiwano dane z Krajowej Agencji Energii, dla gazu płynnego – z Polskiej Organizacji Gazu Płynnego, dla zużycia oleju napędowego szacowanego jako sumę zużycia paliwa przez poszczególne rodzaje pojazdów samochodowych – z systemu Pojazd (w gestii Ministerstwa Infrastruktury), później CEPiK (Ministerstwo Cyfryzacji).

W celu oszacowania wielkości emisji zanieczyszczeń z transportu drogowego uwzględniano również informacje o przebiegach rocznych oraz o zużyciu jednostkowym. Były one estymowane przez Zakład Badań Ekonomicznych ITS, we współpracy z Biurem Projektowo-Badawczym Dróg i Mostów „Transprojekt-Warszawa”.



Opracowana przez ITS metoda stosowana była przez wiele lat do szacowania wielkości emisji zanieczyszczeń z transportu drogowego w Polsce i znalazła zastosowanie do bilansowania zanieczyszczeń obliczanych przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE).

W krajach Unii Europejskiej do obliczania emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych, motocykli i motorowerów, stosowana jest metoda wykorzystująca oprogramowanie komputerowe COPERT. Zostało ono opracowane pod patronatem Europejskiej Agencji Środowiska i pozwala na uwzględnienie różnych wariantów obliczeniowych, uwzględniających m.in. parametry dotyczące sieci dróg, obszarów zurbanizowanych (miejskich), zamiejskich, a nawet odcinków dróg. Założenia oprogramowania uwzględniają natężenie ruchu drogowego i wielkość potoków ruchu, pochylenie podłużne dróg, liczbę pojazdów, ich masę i wiek, średnie prędkości, przebiegi roczne i całkowite, a także czynniki mające wpływ na końcowy efekt obliczeń, m.in. dane meteorologiczne. Oprogramowanie COPERT podlega ciągłym modyfikacjom, polegającym na wprowadzaniu nowych parametrów lub aktualizacji już istniejących.

Do 2016 r. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami wykorzystywał metodę ITS do obliczania emisji zanieczyszczeń powietrza przez transport drogowy. W 2017 r. KOBiZE dokonał przeliczeń części tych wyników dotyczących gazów cieplarnianych, wykorzystując po raz pierwszy w Polsce metodę stosowaną w oprogramowaniu COPERT. Skorygowane szacunki dla gazów cieplarnianych zostały przygotowane dla danych za lata 1988–2015. Wyniki zostały opublikowane w 2017 r. w raporcie „POLAND'S NATIONAL INVENTORY Report 2017 Greenhouse Gas Inventory for 1988–2015”¹⁶. Stały się one podstawą dla przekazania oficjalnych danych o krajowej emisji w ramach współpracy w Unii Europejskiej. Działania te wskazują na tendencje zmierzające do uzyskiwania spójnych i porównywalnych na płaszczyźnie międzynarodowej danych.

W prezentowanej pracy badawczej wykorzystano najnowszą dostępną wersję oprogramowania - COPERT IV. Metoda ta wyróżnia takie oto kategorie pojazdów samochodowych:

- samochody osobowe,
- samochody lekkie dostawcze (do 3,5 t dmc),
- samochody ciężarowe i autobusy (3,5 t i więcej dmc),
- motocykle i motorowery.

Podział ten uwzględnia następujące parametry: rodzaj stosowanego paliwa, pojemność silnika, klasy norm EURO.

Wykorzystanie oprogramowania COPERT do obliczania emisji zanieczyszczeń powietrza z pojazdów samochodowych wymaga większych zasobów danych, niż wykorzystywane dotychczas bazy danych w metodzie ITS. Pozytkowanie poszerzonych zasobów możliwe jest dzięki wzrostowi dostępności informacji z różnych źródeł, w tym z administracji publicznej i samorządowej. Wdrożenie do stosowania tej metody umożliwić może prowadzenie szerokich obserwacji i analiz porównawczych emisji zanieczyszczeń w Polsce i krajach Unii Europejskiej. Zaletą podejścia wykorzystującego program COPERT jest niewątpliwie możliwość wykorzystania go w budowie systemu prognoz emisji zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych.

Wykorzystanie niestosowanego dotychczas w Polsce na szerszą skalę programu COPERT niesie za sobą wiele korzyści. Pomimo, że przedstawione obie metody szacowania zanieczyszczeń z pojazdów samochodowych uwzględniają takie same główne kryteria badania, to w niniejszym projekcie kierowano się możliwością uzyskania wyników porównywalnych międzynarodowo. Wykorzystana metoda jest zalecana przez Komisję Europejską i Europejską Agencję Ochrony Środowiska. Ważnym argumentem przy wyborze metody w trakcie realizacji pracy badawczej była dostępność odpowiednich danych statystycznych, w tym danych pochodzących ze źródeł administracyjnych. Jednym z głównych osiągnięć projektu było przetestowanie możliwości implementacji metody połączonej z oprogramowaniem COPERT w warunkach polskich, skłoniło autorów do poznania i zastosowania tego modelu oraz zainteresowania odbiorców uzyskanymi wynikami.

16. KRAJOWY RAPORT INWENTARYZACYJNY 2018. *Inwentaryzacja gazów cieplarnianych w Polsce dla lat 1988-2016. Raport syntetyczny*. Raport wykonany na potrzeby Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu oraz Protokołu z Kioto, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami (KOBiZE) w Instytucie Ochrony Środowiska – Państwowym Instytucie Badawczym.

2.4.4. Uwagi końcowe

Utrudnienia i luki informacyjne, które wystąpiły przy realizacji pracy badawczej:

- brak współczynników zanieczyszczeń dla pojazdów specjalnych i ciągników rolniczych w programie COPERT IV stanowi przeszkodę w uzyskaniu pełnej informacji. Pojazdy specjalne mogły zostać zakwalifikowane do kategorii pojazdów ciężarowych ale nie wynikało to z podziału w COPERT IV. Natomiast ciągniki rolnicze z uwagi na korzystanie z dróg głównie gminnych i powiatowych w tym gruntowych zostały świadomie pominięte,
- w programie COPERT IV nie wyszczególnia się pojazdów elektrycznych i ciągników siodłowych (które zostały zakwalifikowane do kategorii pojazdów przegubowych zgodnie z definicją w publikacji Eurostatu „*Glossary of transport statistics*” (<https://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/publications>),
- podział autobusów i autokarów pozostawia wątpliwości z uwagi na niejednoznaczne kryteria klasyfikacyjne (dane z systemu CEPIK uwzględniają takie kategorie autobusów jak: międzymiastowe, miejskie, przegubowe, szkolne, turystyczne i uwzględniające liczbę miejsc siedzących),
- uzyskane informacje są niepełne ze względu na niedostępność danych o ruchu drogowym w miastach wojewódzkich (oraz dodatkowo w Toruniu i Gorzowie). Niezbędne zatem było wykorzystanie danych o ruchu na drogach wylotowych i wlotowych, obwodnicach i ruchu autobusów miejskich,
- ze względu na znikomy udział pojazdów hybrydowych (w roku 2015 udział eksploatowanych wynosił 0,03% w stosunku do ogółu eksploatowanych pojazdów) w ruchu na polskich drogach nie uwzględniono ich w pracy badawczej,
- drogi gruntowe, na których nie prowadzi się badania ruchu, pominięto w niniejszym projekcie,
- dokonano ponownych obliczeń ilości zanieczyszczeń z transportu samochodowego na próbie zwiększonej z 5% do 7,6% w celu uzyskania poprawy jakości wyników.

Uwagi wynikające z metodyki przeprowadzonych szacowań:

- punktem wyjścia do przeprowadzenia szacunków kosztów zewnętrznych zanieczyszczeń jest utworzenie bazy danych (załącznik nr 4) w oparciu o jasno określone kryteria doboru pojazdów uwzględniającej szczegółowy podział pojazdów samochodowych na zarejestrowane i eksploatowane wraz z ich przebiegami rocznymi i całkowitymi,
- kontynuowanie prac związanych z obliczaniem ilości zanieczyszczeń oraz szacowaniem kosztów zewnętrznych tych emisji z transportu drogowego, przy wykorzystaniu programu COPERT IV lub COPERT V. Zastosowanie tej metody w wielu krajach europejskich umożliwia uzyskanie porównywalnych wyników i służy do szacowania kosztów zewnętrznych zanieczyszczeń,
- wykorzystywanie danych z wielu źródeł administracyjnych,
- wypracowanie ujednoliconej metodyki badania ruchu drogowego, w celu otrzymania porównywalnych wyników służących jako podstawa zasobu informacyjnego w tym obszarze,
- zestaw wskaźników dotyczących poziomu kosztów zewnętrznych zanieczyszczeń powietrza z transportu samochodowego, stanowić może użyteczne narzędzie monitorowania zmian dokonywanych w zakresie dbałości o środowisko w kontekście działalności transportowej.

3. Podsumowanie i rekomendacje

Praca badawcza pt. „Opracowanie metodyki i oszacowanie kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego ze środków transportu drogowego na poziomie kraju” została zrealizowana na potrzeby Ministerstwa Rozwoju i Inwestycji, w ramach polityki spójności w obszarze tematycznym:

- ochrona środowiska naturalnego i wspieranie efektywności wykorzystywania zasobów,
- promowanie zrównoważonego transportu,
- wspieranie przechodzenia na gospodarkę niskoemisyjną.

Wyniki pracy badawczej obrazują skalę kosztów zewnętrznych emisji zanieczyszczeń do powietrza z pojazdów samochodowych w 2015 r. W projekcie zastosowano najnowszą metodologię zawartą w wytycznych Europejskiej Agencji Środowiska (EEA) do oceny skutków zanieczyszczenia powietrza, która uwzględnia koszty szkód lub metodę odpowiedzi na dawkę. Ponadto wykorzystuje ona wyniki wieloletnich badań (m.in. HEATCO, CAFE CBA, NE-EDS, HEIMSTA) prowadzonych przez różne kraje UE do obliczania wielkości zanieczyszczeń z transportu drogowego. Umożliwia to wprowadzenie standardowej procedury w zakresie sprawozdawczości, gromadzenia i przetwarzania danych. Gwarantuje, że otrzymane wyniki będą spójne i porównywalne, a także zgodne z wymogami międzynarodowych konwencji i protokołów oraz prawodawstwa UE¹⁷.

Do obliczania emisji zanieczyszczenia powietrza i gazów cieplarnianych z transportu drogowego wykorzystano oprogramowanie i bazę danych COPERT IV, których rozwój wspierany jest od kilku lat przez Europejską Agencję Środowiska (EEA), w ramach działań Europejskiego Centrum Tematycznego ds. Zanieczyszczeń Powietrza i Ograniczania Zmian Klimatycznych.

W oprogramowaniu COPERT IV wykorzystano szczegółowy podział pojazdów samochodowych według:

- rodzajów pojazdów (samochody osobowe, lekkie dostawcze, ciężarowe, autobusy, motocykle),
- rodzaju stosowanego paliwa,
- pojemności silnika,
- dopuszczalnej masy całkowitej (dmc),
- rodzaju technologii zastosowanej w silnikach (normy emisji spalin EURO).

Ponadto uwzględniono liczbę pojazdów, wielkość przebiegów rocznych i całkowitych, średnie prędkości pojazdów, średnie temperatury i wilgotność powietrza.

Opracowanie metodyki obliczania ilości emisji zanieczyszczeń powietrza przez środki transportu drogowego oraz szacowania kosztów zewnętrznych uznać można za jedno z podstawowych osiągnięć projektu badawczego, zgodnego z planem zadań wyznaczonych w działalności Ministra Inwestycji i Rozwoju w 2015 r. Zakładał on realizację programowania i monitorowania polityki rozwoju w zakresie transportu na poziomie kraju oraz w wymiarze regionalnym.

W niniejszej pracy przeprowadzono obliczenia ilości emitowanych zanieczyszczeń do powietrza przez pojazdy samochodowe oraz dokonano estymacji kosztów zewnętrznych spowodowanych tymi zanieczyszczeniami. Na podstawie otrzymanych wyników przeprowadzono analizę według której, największa emisja substancji szkodliwych do powietrza dotyczy dwutlenku węgla, tlenku węgla oraz tlenków azotu. Wielkość zanieczyszczeń zależna jest od liczby poruszających się po drogach pojazdów, rodzajów stosowanego paliwa, wielkości dopuszczalnej masy całkowitej pojazdu oraz średnich prędkości.

Wyniki tego projektu badawczego nie stanowią oficjalnych danych, ale mogą być podstawą do podjęcia dalszych działań zmierzających do opracowania jak najdokładniejszej metody obliczania zanieczyszczeń. Osiągnię-

17. Źródło: <http://emisiam.com/products/copert>



cie tego celu byłyby możliwe przy wykorzystaniu metodyki stosowanej zarówno przez statystykę publiczną, jak i Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami.

Mankamentem zrealizowanej pracy był brak danych dotyczących ruchu miejskiego (indywidualnej motoryzacji oraz pojazdów ciężarowych). Zaistniała więc konieczność wykorzystania danych o natężeniu ruchu pozyskanych z obwodnic miejskich oraz dróg wlotowych/wylotowych z GPR 2015. Uzupelnienie niekompletnych danych stanowi argument uzasadniający przeprowadzenie podobnych pomiarów w miastach.

W zrealizowanej pracy badawczej pominięto drogi powiatowe i gminne gruntowe oraz ciągniki rolnicze, które najczęściej poruszają się po gruntowych drogach lokalnych.

Na podstawie przeprowadzonej pracy badawczej można sformułować następujące rekomendacje:

- opracowaną metodykę obliczania i szacowania kosztów zewnętrznych zanieczyszczenia powietrza można traktować jako pracę eksperymentalną, która wyznacza kierunek prowadzenia dalszych badań w tym zakresie i rozwoju zaprezentowanej metody (dodanie do badania nowych obszarów, np. kongestii, hałasu, wypadków drogowych),
- wartością dodaną uzyskaną w wyniku przeprowadzonej pracy było potwierdzenie zasadności wykorzystania oprogramowania COPERT IV do obliczania ilości zanieczyszczeń do powietrza z pojazdów samochodowych oraz szacowania kosztów zewnętrznych tych zanieczyszczeń zgodnie z zaleceniami Komisji Europejskiej oraz Europejskiej Agencji Środowiska. Zastosowanie tej metody umożliwi dokonywanie porównań wyników ze statystykami innych krajów.

4. Załączniki

4.1. Raport jakości (załącznik nr 1)

4.2. Tablice wynikowe (załącznik nr 2)

4.3. Instrukcja do programu COPERT IV (załącznik nr 3)

4.4. Baza danych (załącznik nr 4)

Bibliografia:

1. CE Delft, Infrac, Fraunhofer ISI, *External Costs of Transport in Europe*, Update Study for 2008, Delft, Ce Delft, November 2011.
2. CE Delft, Infrac, Fraunhofer ISI, University of Gdańsk, *Handbook on estimation of external costs in the transport sector*, Internalisation Measures and Policies for All external Cost of Transport (IMPACT), Version 1.1, Delft, CE, 2008.
3. Centrum Badań i Edukacji Statystycznej GUS, *Badanie pilotażowe zachowań komunikacyjnych ludności w Polsce*, etap III – raport końcowy, Jachranka, październik 2015.
4. Chłopek Z., Radzimirski S., Waśkiewicz J., Taubert S., *Opracowanie metodologii prognozowania zmian aktywności sektora transportu drogowego (w kontekście ustawy o systemie zarządzania emisjami gazów cieplarnianych i innych substancji)*, Praca ITS nr 7101/ITS, Warszawa, listopad 2011 r.
5. European Environment Agency, *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016*, Last update June 2017.
6. European Investment Bank, *Methodologies for the Assessment of Project GHG Emissions and Emission Variations*, Version 10.1, 3 April 2014.
7. *Generalny pomiar ruchu w 2015 roku, średni dobowy ruch roczny (SDRR) w punktach pomiarowych w 2015 roku na drogach krajowych*, Warszawa 2016.
8. *Generalny pomiar ruchu w 2015 roku, średni dobowy ruch roczny (SDRR) w punktach pomiarowych w 2015 roku na drogach wojewódzkich*, Warszawa 2016.
9. Gkatzoflias D., Kioutsioukis I., Kouridis C., Ntziachristos L., *Uncertainty estimates and guidance for road transport emission calculations*, Final report, December 18, 2009.
10. Gkatzoflias D., Kouridis C., Ntziachristos L., Samaras Z., *COPERT 4. Computer programme to calculate emissions from road transport*, User Manual (version 9.0), February 2012.
11. GUS, Departament Badań Regionalnych i Środowiska, *Ochrona Środowiska 2017*, Informacje i opracowania statystyczne, ISSN 0867-3217, Warszawa 2017.
12. Instytut Transportu Samochodowego, Zakład Ochrony Środowiska, *Przygotowanie bazy danych o emisji zanieczyszczeń z transportu w 2001 r.*, Praca ITS Nr 7307/POŚ, Warszawa 2002.
13. Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2014 Synthesis Report*, Geneva 2015
14. Kobize, IOŚ-PIB, *Krajowy bilans emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 2014–2015 w układzie klasyfikacji SNAP*, Raport syntetyczny, Warszawa, luty 2017.
15. KOBIZE, *Poland's Informative Inventory Report 2018*, Warszawa, Ferbruary 2018.
16. Niebieska Księga – *Sektor Transportu Publicznego w miastach, aglomeracjach, regionach*, sierpień 2015 r.
17. Pawłowska B., *Zewnętrzne koszty transportu – problem ekonomicznej wyceny*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2000.
18. Poliński J., *Identyfikacja, estymacja i internalizacja kosztów zewnętrznych transportu*, „Problemy Kolejnictwa – Zeszyt 156”, 2012.
19. *Prędkość pojazdów w Polsce w 2015 r. Sesja I*, Warszawa, lipiec 2015.
20. RICARDO-AEA, *Update of the Handbook on External Costs of Transport*, Final Report, 8 January 2014.
21. *Średnie koszty 1 wozokilometra przebiegu oraz ich struktura rodzajowa w badanych polskich przedsiębiorstwach ciężarowego transportu samochodowego w latach 2009–2011 i w 1 półroczu 2012 r.*, www.its.waw.pl, [dostęp z dnia 23.03.2018 r.].
22. Trela M., *Ekonomiczne instrumenty systemu internalizacji kosztów zewnętrznych wynikających z eksploatacji środków transportu drogowego w Polsce*, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Zarządzania, Katedra Ekonomii, Finansów i Zarządzania Środowiskiem, Kraków 2012
23. Trela M., *Zrównoważony transport. próba zastosowania metody COPERT IV do obliczenia emisji zanieczyszczeń z samochodów osobowych w Polsce*, *Ekonomia i Środowisko*, 3 (58), 2016.
24. Waltz A., *Raport dla GUS, Ruch drogowy – rok 2015*, Warszawa 2018.



Witryny internetowe, serwisy on-line:

- www.cedelft.eu
- www.eea.europa.eu
- www.emisia.com
- www.gddkia.gov.pl
- www.gov.pl/cyfryzacja
- www.imgw.pl
- www.ipcc.ch
- www.its.waw.pl
- www.kobize.pl
- www.krbrd.gov.pl
- www.ricardo.com
- www.stat.gov.pl