ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2007
Seria: TRANSPORT z. 61 Nr kol. 1704

Aleksandra KUTRZYK, Jan FILIPCZYK

METODY OKREŚLANIA EMISJI SPALIN SILNIKÓW TRAKCYJNYCH – PORÓWNANIE METOD OBLICZEŃ

Streszczenie. W artykule przedstawiono porównanie metod szacowania emisji spalin przez samochody w ruchu drogowym. Zaprezentowano najbardziej popularne w krajach Unii Europejskiej metody, tj. Copert (Computer programme to calculate emissions from road transport) i HBEFA (Handbook of emission factors for road traffic). Programy umożliwiają obliczenie poziomu emisji zanieczyszczeń pochodzących z transportu drogowego, w zależności od liczby pojazdów, ich rodzaju, konstrukcji silnika, jego pojemności itp.

THE METHODS FOR ESTIMATING TRAFFIC EMISSION IN TRACTION ENGINES – COMPARISON OF DIFFERENT METHODS

Summary. This paper presents the comparison of methodology of the traffic emission calculation. The paper presents the most popular in the European Union methods of the traffic emission calculation i.e.Copert (Computer programme to calculate emissions from road transport) and HBEFA (Handbook of emission factors for road traffic). Copert and HBEFA methodology can be applied for the calculation of traffic emission from road transport depending on the number of vehicles, the type of vehicles, the engine construction, the capacity etc.

1. WPROWADZENIE

Stale wzrastająca liczba pojazdów powoduje rosnącą emisję zanieczyszczeń. Spaliny i pyły emitowane przez pojazdy wpływają na zanieczyszczenie powietrza, wód oraz gleb [1]. Bardzo istotne jest określenie poziomu emisji zanieczyszczeń z pojazdów, aby można było skutecznie ją redukować. Jednym ze sposobu określania emisji spalin jest jej szacowanie na podstawie obliczeń uwzględniających natężenie ruchu, rodzaj i strukturę wiekową pojazdów. Obliczenia tego typu są możliwe do wykonania m.in. przy zastosowaniu programów serii Copert (Computer programme to calculate emissions from road transport)[2]. Program Copert został utworzony przez europejską grupę CORINAIR (Coordination d'Information Environmental). Był kluczowym europejskim projektem prowadzonym przez Europejską Agencję Środowiska. Jego kontynuacją był program COST 319, wynikiem była lista 39 modeli, które zostały sklasyfikowane wraz z opisem własności i charakterystyk oraz powstał projekt MEET (Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport). Założeniami projektu MEET były 3 główne cele:

- dostarczenie danych oraz modeli pozwalających różnym użytkownikom obliczyć emisję zanieczyszczeń oraz zużycie paliwa;
- dostarczenie końcowej metody obliczeniowej na podstawie dostarczonych danych oraz modeli;

- upewnienie się, że dostarczona końcowa metoda odpowiada wymaganiom potencjalnych użytkowników pod względem dokładności, dostępności danych wejściowych itd. [3,4].

Innym modelem wykorzystywanym do określania poziomu emisji zanieczyszczeń jest model HBEFA (Handbook of emission factors for road traffic). Umożliwia on zdefiniowanie charakterystyk emisyjnych poszczególnych składników spalin, w zależności od kategorii pojazdu i rodzaju ruchu. W początkowej fazie tworzenia projektu zgromadzono dane o rzeczywistych przebiegach prędkości pojazdów, które uczestniczą w ruchu, w zależności od warunków drogowych. Następnie, na podstawie zgromadzonych informacji, opracowano przebiegi reprezentatywne statystycznie, charakteryzujące pewne rodzaje ruchu. Dane o emisji poszczególnych składników spalin uzyskano przez realizację testów jezdnych z wykorzystaniem hamowni podwoziowej. Wszystkie dane zostały opracowane w taki sposób, aby uzyskać zależność emisji drogowej od średniej prędkości ruchu, uwzględniając rodzaj ruchu oraz pojazdu [5].

Szacowanie poziomu emisji z wykorzystaniem programów jest wykonywane dla różnych typów układów komunikacyjnych. Prowadzone są badania w zakresie emisji i rozchodzenia się spalin w kanionach ulicznych [6], w obszarze ciągów komunikacyjnych [7] czy na terenach miejskich [8].

W ostatnim czasie aktualnym problemem staje się proekologiczne zarządzanie ruchem na drogach. W tym celu wykorzystywana jest, powstała przy współpracy z europejską grupą CORINAIR, metoda TEDMAN (Traffic Environmental Design and Management). Umożliwia ona estymację emisji i koncentracji zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego pochodzących z ruchu drogowego na ulicach, drogach pozamiejskich i autostradach [4].

2. PORÓWNANIE METOD OBLICZEŃ EMISJI SPALIN

Do określenia poziomu emisji zanieczyszczeń wykorzystywane są modele emisji, które różnią się przede wszystkim parametrami wejściowymi i ich hierarchią. Uzależnienie emisji drogowej od średniej prędkości pojazdów prowadzi do sformułowania statycznych charakterystyk emisji. Natomiast uzależnienie natężenia emisji od dynamiki i chwilowej prędkości pojazdu prowadzi do sformułowania dynamicznych charakterystyk emisji [5].

W krajach Unii Europejskiej najbardziej popularnymi modelami, określającymi charakterystyki emisji, są HBEFA, COPERT. Modele te umożliwiają formułowanie charakterystyk statycznych [5].

Za pomocą modelu HBEFA możliwe jest określenie średniej emisji drogowej, w zależności od średniej prędkości oraz od rodzaju ruchu. Wykorzystując model Copert można wyznaczyć średnią emisję drogową, w zależności od średniej prędkości ruchu pojazdów.

Do obliczeń poziomu emisji spalin, metodą stosowaną w programie Copert 3 oraz HBEFA, potrzebne są następujące dane wejściowe:

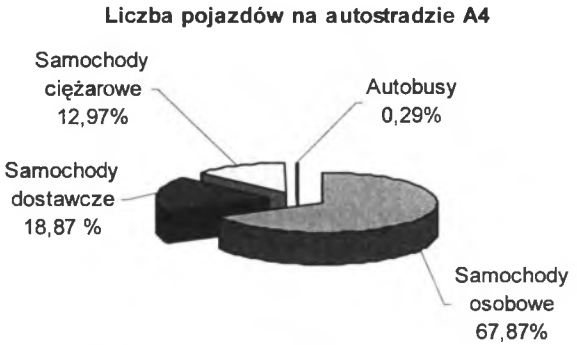
- struktura pojazdów (osobowe, ciężarowe, dostawcze, autobusy, motocykle i motorowery);
- rodzaj silnika (o zapłonie iskrowym, o zapłonie samoczynnym);
- objętość skokowa silnika Vss (o zapłonie iskrowym $Vss<1.4$, $1.4<Vss<2.0$, $Vss>2.0$, o zapłonie samoczynnym $Vss<2.0$ i $Vss>2.0$).

3. OBLICZANIE POZIOMU ZANIECZYSZCZEŃ

Obliczenia emisji spalin wykonano za pomocą dwóch metod stosowanych w programach Copert 3 oraz HBEFA. Uwzględniają one wartości poszczególnych składników spalin dla

określonych norm emisji. Do obliczeń zastosowano dane statystyczne pochodzące z Głównego Urzędu Statystycznego oraz wyniki badań własnych przeprowadzonych na autostradzie A-4.

Badania zostały przeprowadzone na autostradzie A4 w półgodzinnym przedziale czasowym, po porannym szczycie. W trakcie pomiarów rejestrowano kamerą cyfrową pojazdy poruszające się na autostradzie. Następnie przeanalizowano zapis kamery, określając liczbę pojazdów, a także ich podział ze względu na rodzaj oraz wiek. Na podstawie danych statystycznych określono udziały procentowe samochodów osobowych z silnikiem o zapłonie iskrowym i o zapłonie samoczynnym. Do obliczeń przyjęto 10 000 pojazdów. Następnie dla tych pojazdów obliczono poziom emisji zanieczyszczeń.



Rys. 1. Wyniki pomiarów na autostradzie A4
Fig. 1. Results of measurements on motorway

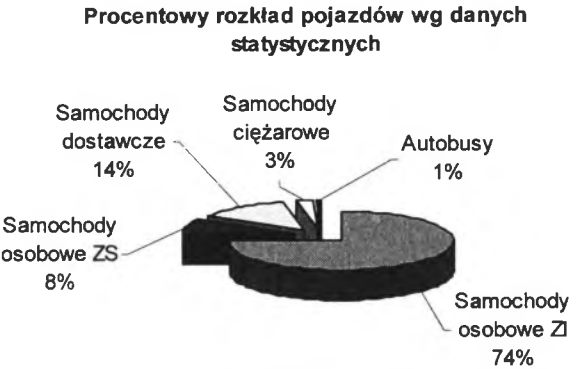
W tablicy 1 zestawiono wyniki uzyskane podczas pomiarów na autostradzie A4 oraz procentowy udział poszczególnych grup pojazdów, określony na podstawie wyników.

Tablica 1

Rozdział samochodów według grup wieku

Lp.	Wiek pojazdów	Norma	Liczba samochodów osobowych		Liczba samochodów dostawczych		Liczba samochodów ciężarowych		Liczba autobusów	
				[%]		[%]		[%]		[%]
1	od 2005	Euro IV	130	8	62	13,5	34	10,8	0	0
2	2005-2000	Euro III	560	33,8	146	32,4	101	31,9	4	57,1
3	2000-1996	Euro II	585	35,4	130	28,2	104	33	1	14,3
4	1996-1993	Euro I	269	16,2	86	18,7	58	18,3	1	14,3
5	1992-1985	Ece 1504	103	6,2	31	6,7	15	4,7	1	14,3
6	1985-1981	Ece 1503	7	0,4	2	0,5	4	1,3	0	0
7	Suma		1654	100	460	100	316	100	7	100

Źródło: Badania własne.



Rys. 2. Rozkład poszczególnych rodzajów pojazdów według danych statystycznych
Fig. 2. Statistical division into different types of vehicles

Rys. 3. Rozkład procentowy poszczególnych rodzajów pojazdów wg badań własnych
Fig. 3. Division into different types of vehicles based on own measurements

Tablica 2

Statystyczny rozkład poszczególnych rodzajów pojazdów na 10000

Pojazdy	Liczba pojazdów	Udział procentowy	Na 10 000 pojazdów
Samochody osobowe ZI	10119444	74,9	7490
Samochody osobowe ZS	1124383	8,3	830
Samochody dostawcze	1856980	13,7	1374
Samochody ciężarowe	334782	2,5	248
Autobusy	82769	0,6	61
Suma	13 518 358	100	10 000

Tablica 3

Określenie liczby i udziału procentowego poszczególnych rodzajów pojazdów (10000 pojazdów)

Pojazdy	Liczba pojazdów	Udział procentowy	Na 10000 pojazdów
SO ZI	1239	55	5500
SO ZS	137	13	1300
SD	460	18,6	1860
S.C.	316	13,1	1310
A	7	0,3	30
Suma	2437	100	10 000

Źródło: Badania własne.

Korzystając z wyników badań własnych oraz z danych statystycznych obliczono liczbę poszczególnych pojazdów, w zależności od wieku i pojemności silnika, i przedstawiono ją w tablicach 4 i 5.

Tablica 4

Liczba pojazdów osobowych ZI

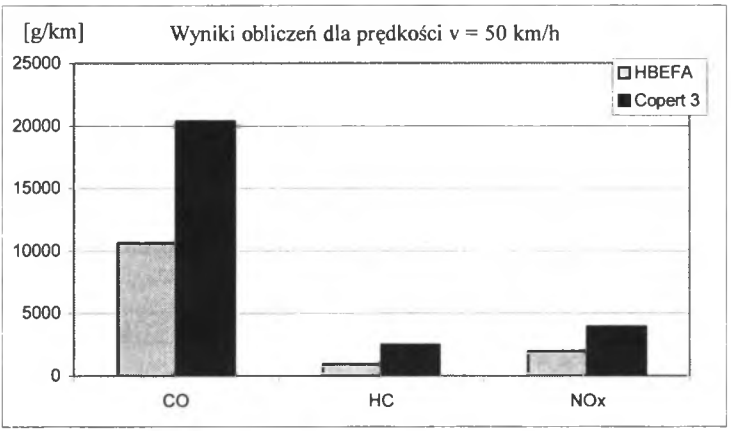
SO ZI	do 1399	1400 - 1999	od 2000	Suma
Euro IV	327	190	28	4545
Euro III	1118	652	94	1864
Euro II	1115	650	94	1859
Euro I	528	308	44	880
Ece 1504	198	115	17	330
Ece 1503	13	8	51	22
Suma ZI	3299	1923	278	5500

Tablica 5

Liczba pojazdów osobowych ZS

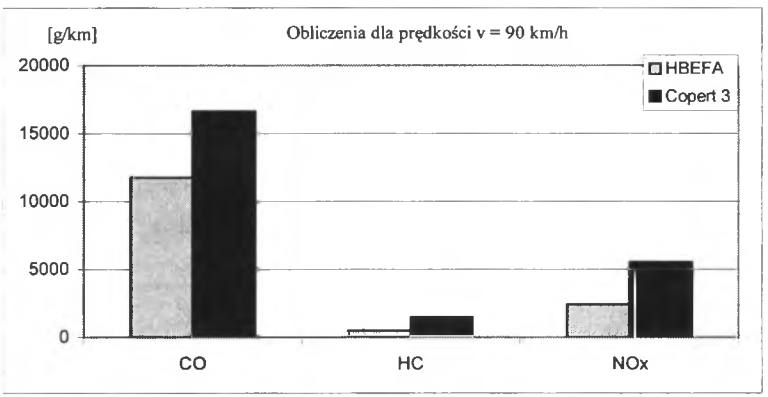
SO ZS	do 1999	od 2000	Suma
Euro IV	123	7	130
Euro III	418	22	440
Euro II	417	22	439
Euro I	197	11	208
Ece 1504	74	4	78
Ece 1503	4	1	5
Suma	1233	67	1300

Opierając się zarówno na uzyskanych wynikach badań, jak i danych statystycznych wykonano obliczenia poziomu emisji zanieczyszczeń metodą wykorzystywaną w programie Copert oraz w programie HBEFA. Wyniki obliczeń przedstawiono na rys. 4 i 5.



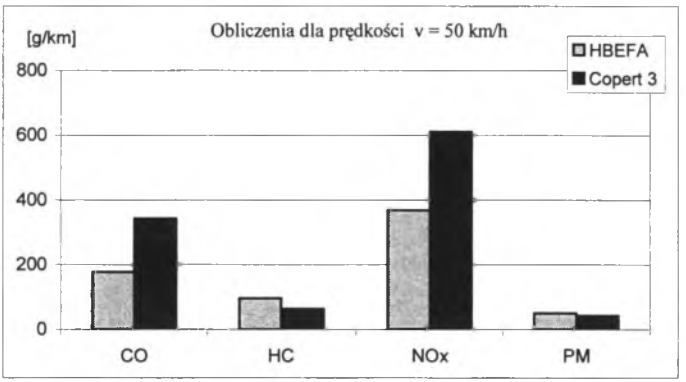
Rys. 4. Obliczona emisja spalin dla samochodów osobowych z silnikami o zapłonie iskrowym dla prędkości v = 50 km/h
Fig. 4. The traffic emission calculated for passenger cars with gasoline engine at a speed of 50 km/h

Z obliczeń wynika, iż dla samochodów osobowych ZI emisja tlenku węgla, węglowodorów oraz tlenków azotu przy prędkości 50 km/h jest mniejsza przy użyciu metody HBEFA w odróżnieniu do metody Copert 3.



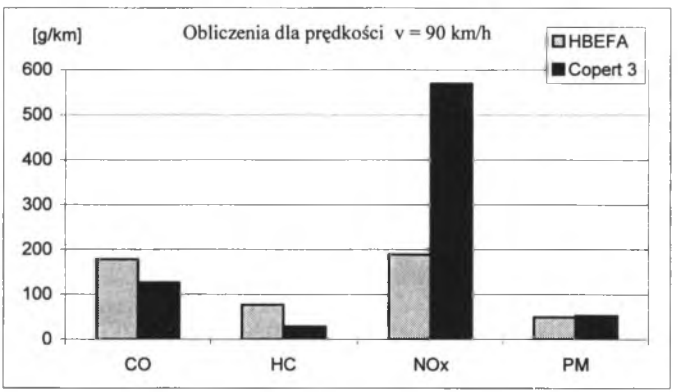
Rys. 5. Obliczona emisja spalin dla samochodów osobowych z silnikami o zapłonie iskrowym dla prędkości v = 90 km/h
Fig. 5. The traffic emission calculated for passenger cars with gasoline engine at a speed of 90 km/h

Podobnie sytuacja przedstawia się dla samochodów osobowych z silnikami ZI, poruszających się z prędkością 90 km/h, emisja tlenku węgla, węglowodorów oraz tlenków azotu jest mniejsza dla modelu HBEFA niż dla modelu Copert 3.



Rys. 6. Obliczona emisja spalin dla samochodów osobowych z silnikami o zapłonie samoczynnym dla prędkości v = 50km/h
Fig. 6. The traffic emission calculated for passenger cars with diesel engine at a speed of 50 km/h

Dla samochodów osobowych z silnikami ZS, poruszających się z prędkością 50 km/h, emisja tlenku węgla i tlenków azotu jest mniejsza dla modelu HBEFA niż dla modelu Copert 3. Emisja węglowodorów i cząstek stałych w metodzie HBEFA jest większa niż przy użyciu modelu Copert 3.



Rys. 7. Obliczona emisja spalin dla samochodów osobowych z silnikami o zapłonie samoczynnym dla prędkości v = 90 km/h
Fig. 7. The traffic emission calculated for passenger cars with diesel engine at a speed of 90 km/h

Dla samochodów osobowych z silnikami ZS, poruszających się z prędkością 90 km/h, emisja tlenków azotu oraz cząstek stałych jest mniejsza dla modelu HBEFA niż dla modelu Copert 3. Emisja węglowodorów i tlenku węgla w metodzie HBEFA jest większa niż przy użyciu modelu Copert 3.

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono sposoby obliczania poziomu emisji zanieczyszczeń, których źródłem jest transport drogowy. Przedstawiono obliczenia wykonane za pomocą dwóch, najbardziej popularnych w Unii Europejskiej, metod obliczeniowych, tj. Copert oraz HBEFA. Modele te umożliwiają formułowanie charakterystyk statycznych. Metoda Copert umożliwia określenie poziomu emisji zanieczyszczeń w zależności od średniej prędkości ruchu,

natomiast metoda HBEFA – w zależności od średniej prędkości ruchu oraz od rodzaju ruchu. W obu metodach w celu obliczenia poziomu zanieczyszczeń konieczna jest znajomość danych, takich jak: średni przebieg pojazdów, struktura rodzajowa pojazdów, zużycie paliwa, rodzaj stosowanego paliwa oraz obliczenie współczynników emisji. Współczynniki emisji oblicza się na podstawie danych dotyczących warunków klimatycznych, średnich odległości pokonywanych przez pojazdy, rodzaju pojazdów oraz dróg itp.
Pomiędzy wynikami obliczeń wykonanych metodami Copert oraz HBEFA występują różnice, zarówno przy prędkości v = 50 km/h, jak i prędkości v = 90 km/h. W obliczeniach dla silników benzynowych największe różnice występują dla tlenku węgla, natomiast dla silników Diesla największe różnice występują dla tlenków azotu. Przy tworzeniu modelów do obliczania emisji zanieczyszczeń dane o emisji poszczególnych składników spalin uzyskano przez realizację testów jezdnych na hamowniach podwoziowych. Otrzymane wyniki opracowano w celu uzyskania zależności emisji drogowej od średniej prędkości ruchu. Nie uwzględniono natomiast stanu technicznego pojazdów, które były wykorzystywane w badaniach. Różnice poziomu emisji mogą wynikać z tego, że pojazdy wykorzystywane do badań, w początkowej fazie tworzenia metod obliczeniowych, mogły znajdować się w różnym stanie technicznym. Również modele wykorzystywane do obliczeń emisji nie uwzględniają stanu technicznego pojazdów poruszających się po drogach. Część pojazdów może poruszać się z niesprawnymi silnikami, co może powodować wzrost emisji spalin [9]. Dlatego konieczne jest określenie współczynników, które będą uwzględniać stan techniczny pojazdów.

Literatura

1. Pyłka – Gutowska E.: Ekologia z ochroną środowiska. Wydawnictwo Oświata, Warszawa 1997.
2. Nitziachristos L, Samaras Z.: Copert III. Computer programme to calculate emissions from road transport. Methodology and emission factors. Copenhagen 2000.
3. Adamski A.: Metoda TEDMAN. Proekologiczne zarządzanie ruchem na autostradach. Magazyn Autostrady 3/2007, s. 48-56.
4. Joumard R.: Methods of estimation of atmospheric emissions from transport: European scientist network and scientific state-of-the-art action COST 319 final report. March 1999.
5. Brzozowska L., Brzozowski K.: Komputerowe modelowanie emisji i rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń samochodowych. Wydawnictwo Naukowe Śląsk, Katowice - Warszawa 2003.
6. Brzozowska L., Brzozowski K.: Analysis car exhaust pollutants concentration in street canyons. Journal of Kones Powertrain and Transport, Vol.14, No.3, pp.117 - 124, 2007.
7. Brzozowska L., Brzozowski K.: An influence of traffic produced turbulence on car exhaust pollutant concentration. Journal of Kones Powertrain and Transport,Vol.14, No.2, pp. 67-74, 2007.
8. Saija S., Romano D.: A methodology for the estimation of road transport air emissions in urban areas of Italy. Atmospheric Environment, November 2002.
9. Filipczyk J., Kutrzyk A.: Wpływ rozwiązań konstrukcyjnych i stanu technicznego silnika na poziom emisji zanieczyszczeń. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria Transport nr 63, Gliwice 2006, s. 15-20.

Recenzent: Dr hab. inż. Andrzej Wyciślik
Prof. w Politechnice Śląskiej

Praca wykonana w ramach BW – 488/RT1/2007