

Marzena JAROSZEK, Robert WIESZAŁA

WPLYW PRĘDKOŚCI POJAZDÓW NA WIELKOŚĆ EMISJI SPALIN NA MIEJSKIM ODCINKU DROGOWYM

Streszczenie. W artykule określono wpływ średniej prędkości pojazdów samochodowych na wielkość emisji wybranych toksycznych składników spalin. Do realizacji tego celu niezbędne było wykonanie pomiarów prędkości na odcinku drogi na ul. Ofiar Katynia w Zabrze. Zakres artykułu obejmował pomiary w trzech różnych porach dnia oraz różnych dniach tygodnia. Wielkość emisji wybranych toksycznych składników spalin została określona za pomocą programu komputerowego COPERT IV.

EFFECT OF SPEED OF VEHICLES ON THE SIZE OF URBAN EXHAUST ON THE SECTION ROAD

Summary. In this paper the influence of the average speed of vehicles on emissions of some toxic components of exhaust was showed. To achieve this goal it was necessary to perform measurements of speed on a road section on the street Victims of Katyn in Zabrze. The scope of work included measurements at three different times of day and different days of the week. The emissions of selected toxic components of exhaust gases was determined with a computer program COPERT IV.

1. WPROWADZENIE

Silniki spalinowe, montowane w pojazdach samochodowych, emitują do atmosfery wiele szkodliwych i toksycznych substancji głównie w gazach spalinowych, które powstają bezpośrednio w trakcie przebiegu procesów spalania paliwa w komorach silników, a także w wyniku innych procesów fizykochemicznych towarzyszących spalaniu. Równocześnie substancje te przedostają się na zewnątrz silnika do otoczenia przez nieszczelności instalacji oraz zespołów układów paliwowych i zbiorników m.in. na skutek zwiększonego odparowania paliwa, wynikającego ze zmiennych stanów pracy tych silników oraz odmiennych warunków atmosferycznych. Substancje takie, jak: tlenek węgla (CO), węglowodory (HC), tlenki azotu (NO_x) oraz cząstki stałe (PM), występujące w gazach spalinowych silników w stosunkowo dużych ilościach, są od wielu lat ściśle limitowane. Ze względu na zwiększającą się liczbę pojazdów oraz kilometrów dróg stężenia ich są w ostatnim okresie drastycznie ograniczane [1].

Pierwsze normy emisji spalin zostały wprowadzone w 1970 roku w USA. Z biegiem lat kolejne państwa wprowadzały własne normy, które stopniowo modyfikowano, np. normy od ECE-15.01 do ECE-15.04. W Europie przełomem okazały się normy Euro, które w znaczący

sposób wymusiły na producentach zmniejszenie emisji [2]:

- EURO I (1992) – to konieczność stosowania paliwa bezołowiowego. Jako pierwsi zastosowali się do tego Niemcy;
- EURO II (1996) – to redukcja o 30 % CO i 55 % HC i 55 % NO_x odpowiednio w stosunku do Euro I;
- EURO III (2000) – wprowadziła nowy test homologacji, zmniejszenie poziomów emisji toksycznych substancji w porównaniu z Euro II (odpowiednio 30 %, 40 % i 40 % CO, HC i NO_x) i konieczność diagnostyki pokładowej (OBD). Na podstawie Euro III pojazdy zostały wyposażone w podwójne czujniki lambda zgodne z limitami emisji;
- EURO IV (2005) – wymaga dodatkowej redukcji o 57 % CO i o 47 % HC i NO_x w porównaniu z Euro III;
- EURO V (2009) i VI (2014) – to kontynuacja zmniejszenia emisji NO_x o 25% w porównaniu z Euro IV.

Wśród wielu czynników, wpływających bezpośrednio na wielkość emisji drogowej dla pojazdów samochodowych, coraz częściej wymienia się średnią prędkość pojazdów. Dzieje się tak za sprawą programów komputerowych, które do obliczenia emisji drogowej wymagają podania dokładnej prędkości. Problemem jest jednak mała liczba opracowań z tego zakresu dla poszczególnych odcinków drogowych. Często podawane wartości są ogólne, bez danych statystycznych głównie w odniesieniu do bezpieczeństwa ruchu drogowego. W artykule przedstawiono wyniki pomiarów prędkości na wybranym odcinku drogowym, a następnie obliczono wielkość emisji drogowej z wykorzystaniem programu COPERT IV.

2. CHARAKTERYSTYKA MIEJSCA POMIAROWEGO

Pomiar prędkości pojazdów został przeprowadzony na drodze łączącej dwie dzielnice Zabrze – Rokitnicę i Mikulczyce – ul. Ofiar Katynia. Droga ta ma 3,1 km długości między skrzyżowaniami odpowiednio w Rokitnicy i w Mikulzycach. Wydaje się, że na tej drodze kierowcy dość często przekraczają dozwoloną prędkość ponieważ skłania ich do tego długa prosta. Droga ta jest jednojezdniowa, a szerokość pasa ruchu wynosi 3,5 m. Z jednej i drugiej strony drogi są pola i las, najbliższe zabudowania znajdują się w odległości 0,9 km – od strony Rokitnicy i 1,2 km – od strony Mikulzyc. Miejsce pomiarowe znajdowało się 1,7 km od skrzyżowania w Rokitnicy. Wybrany odcinek drogi znajduje się na obrzeżu dwóch dzielnic i – zgodnie z kodeksem o ruchu drogowym – ograniczenie wynosi tam 50 km/h dla wszystkich rodzajów pojazdów. Należy zwrócić uwagę, iż natężenie ruchu na tej drodze jest bardzo duże i kształtuje się na poziomie 300÷400 pojazdów na godzinę. Tak duże natężenie wynika z tego iż jest to najkrótsza trasa łącząca dzielnice Zabrze z centrum miasta oraz Tarnowskie Góry z Zabrzem.



Rys. 1. Zdjęcie badanego odcinka

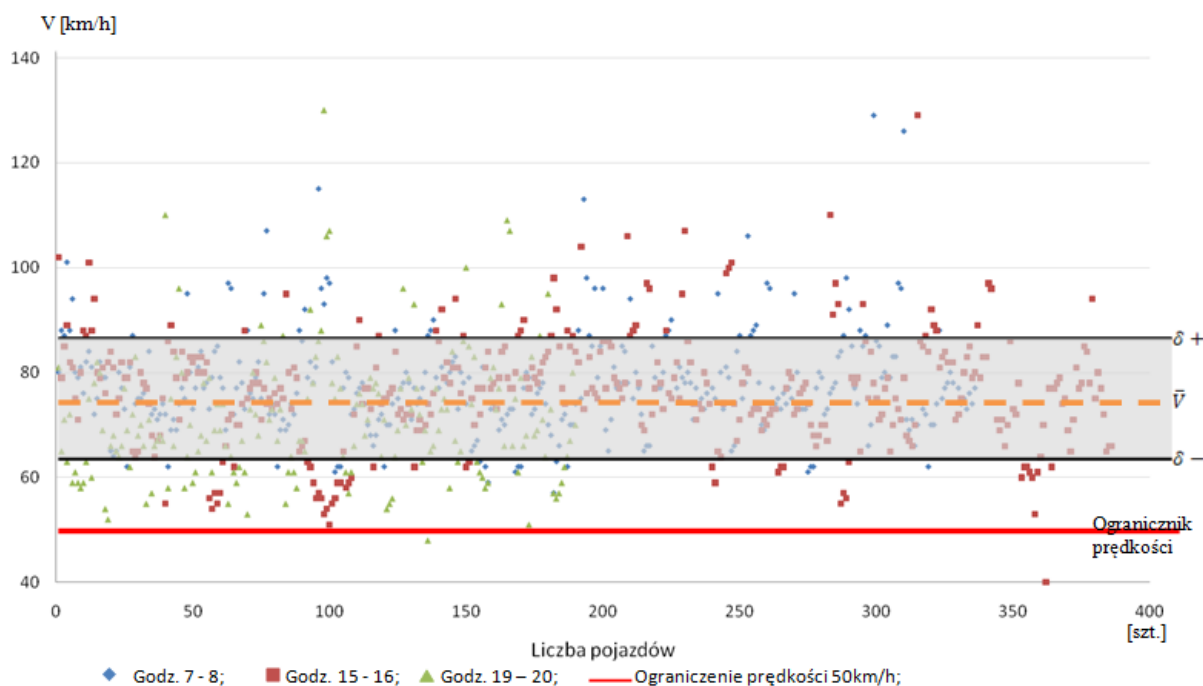
Fig. 1. Picture of the test section

3. DANE TECHNICZNE ORAZ OPIS URZĄDZENIA DO POMIARÓW PRĘDKOŚCI

Do badań wykorzystano ręczny, zasilany bateriami prędkościomierz, dzięki któremu można zmierzyć prędkość samochodu na jezdni w zakresie od 16 do 322 km/godz. Błąd pomiarowy wynosi około 2km/h. Problemem w trakcie badań jest ustawienie prędkościomierza, ponieważ musi być on skierowany jak najbardziej „na wprost” nadjeżdżającego lub oddalającego się pojazdu. Powoduje to konieczność ustawienia się blisko krawędzi jezdni. Wpływa to jednak na reakcje kierowców, którzy widząc pomiar gwałtownie hamują przez co zaburzają jego wynik. Konieczne więc stało się umiejscowienie radaru w pojeździe blisko zaparkowanym przy krawędzi jezdni, jednak w zgodzie z obowiązującymi przepisami. Pomiaru dokonywano przy otwartym oknie, tak aby kierowcy nie widzieli jego momentu.

4. ŚREDNIA PRĘDKOŚCI POJAZDÓW

Pomiary były wykonywane przez 5 kolejnych dni tygodnia w trzech różnych przedziałach czasowych: w godzinach 8÷9, 15÷16 oraz 19÷20. Na rysunku 2 przedstawiono przykładowy wykres, obrazujący prędkości pojazdów samochodowych na badanym odcinku drogi. Zaznaczono ograniczenie prędkości na odcinku pomiarowym do 50 km/h, zgodnie z obowiązującym oznakowaniem oraz przepisami ruchu drogowego [Kodeks Drogowy art. 20]. Ponadto, na wykresie została zaznaczona średnia prędkość dla całego dnia pomiarowego wraz z obszarem odchylenia standardowego. W tabelicy 1 zestawiono zmierzone prędkości dla badanego odcinka wraz z prędkością maksymalną i minimalną oraz odchyleniem standardowym.



Rys. 2. Prędkości poszczególnych pojazdów w zależności od godziny
Fig. 2. The speeds of individual vehicles depending on the time

Tablica 1

Zestawienie prędkości średniej, maksymalnej, minimalnej oraz odchylenia standardowego

| | | V_{sr} [km/h] | V_{max} [km/h] | V_{min} [km/h] | Odchylenie standardowe |
|----------|------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Wtorek | Rano | 78 | 129 | 57 | 10 |
| | Popołudnie | 76 | 146 | 40 | 11 |
| | Wieczór | 71 | 130 | 48 | 12 |
| Środa | Rano | 71 | 108 | 41 | 11 |
| | Popołudnie | 64 | 110 | 28 | 11 |
| | Wieczór | 71 | 118 | 43 | 11 |
| Czwartek | Rano | 74 | 116 | 48 | 10 |
| | Popołudnie | 72 | 123 | 48 | 11 |
| | Wieczór | 73 | 129 | 42 | 13 |
| Piątek | Rano | 71 | 129 | 33 | 16 |
| | Popołudnie | 72 | 117 | 40 | 12 |
| | Wieczór | 74 | 115 | 50 | 11 |
| Sobota | Rano | 74 | 134 | 46 | 12 |
| | Popołudnie | 75 | 147 | 40 | 11 |
| | Wieczór | 71 | 108 | 44 | 10 |

Z prezentowanych danych można wnioskować, iż większość kierowców nie porusza się z dozwoloną prędkością, która na tym odcinku wynosi 50 km/h. Maksymalne prędkości osiągnięte w poszczególnych dniach kształtują się na poziomie 110 km/h, co oznacza przekroczenie prędkości o 60 km/h. Także średnie prędkości są na poziomie wyższym niż dopuszczalna prędkość i kształtują się na poziomie 71 km/h. Ważnym elementem jest również wielkość odchylenia standardowego, kształtująca się na poziomie 11 km/h co oznacza że kierowcy średnio na badanym odcinku poruszają się ze średnią prędkością w przedziale 60÷82 km/h.

5. COPERT IV

Różnorodność pojazdów, stosowanych technologii napędu i paliwa oraz zmienność sytuacji w zakresie eksploatacji pojazdów i warunków atmosferycznych powoduje, że prognoza zanieczyszczeń powietrza jest zadaniem skomplikowanym i wymagającym odpowiednio przygotowanych danych i narzędzi do obliczeń. Jednym z takich narzędzi jest stworzony pod patronatem Europejskiej Agencji Ochrony Środowiska model obliczeniowy i wykonany na jego podstawie program komputerowy COPERT IV. Został on opracowany na potrzeby obliczania emisji zanieczyszczeń powietrza przez pojazdy w warunkach ruchu drogowego, jakie występują w większości krajów UE, w tym także w Polsce. COPERT IV stanowi już czwartą aktualizację początkowej wersji przygotowanej w 1989 roku dla spisu emisji CORINAIR 1985 (Coordination d'Information Environmental) [2, 3].

W procedurze obliczania emisji zanieczyszczeń powietrza uwzględniono następujące czynniki:

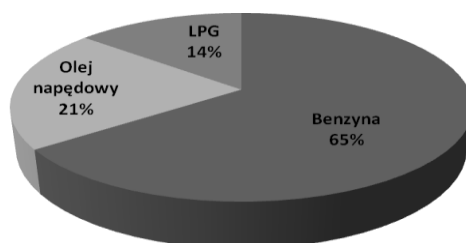
- a) Liczbę pojazdów danej kategorii (rodzaju). W przeprowadzonych badaniach zmierzono prędkość dla ponad 5000 samochodów.
- b) Wiek pojazdów.

Według danych pobranych z Głównego Urzędu Statystycznego, w 2009 roku na Polskich drogach poruszało się 16 494 650 pojazdów samochodowych. Rozkład wiekowy tych pojazdów prezentuje się następująco [4]:

- 824 733 pojazdy w wieku do 2 lat (stanowią one 5 % ogółu pojazdów),
- 1 105 142 pojazdów w wieku od 3 do 5 lat (stanowią one 7 % ogółu pojazdów),
- 3 051 510 pojazdów w wieku od 6 do 10 lat (stanowią one 18 % ogółu pojazdów),
- 11 513 266 pojazdów w wieku powyżej 10 lat (stanowią one 70 % ogółu pojazdów).

c) Rodzaj paliwa.

Rodzaj stosowanego paliwa w pojazdach samochodowych również ma wpływ na emisję toksycznych składników spalin. Pojazdy stosujące jako paliwo benzynę emitują takie toksyczne związki, jak: CO, HC i NO_x, z kolei pojazdy stosujące olej napędowy emitują: CO, HC, NO_x i dodatkowo cząstki stałe PM. Na polskich drogach dominują jednak pojazdy samochodowe z silnikami benzynowymi. Na rysunku 3 zaprezentowano podział pojazdów ze względu na rodzaj zapłonu na podstawie danych pobranych z Głównego Urzędu Statystycznego.



Rys. 3. Rozkład pojazdów ze względu stosowania paliwa

Fig. 3. The distribution of vehicles according to fuel used

Pojazdy stosujące paliwa gazu płynnego LPG zostały pominięte ze względu na podobieństwo emisji do silników benzynowych. W związku z rodzajem stosowanego paliwa przyjęto następujący podział:

- 76 % benzyna,
- 24 % olej napędowy.

d) Styl jazdy kierujących.

Zgodnie z metodyką programu COPERT IV, styl jazdy kierujących oraz rodzaj drogi zostały uwzględnione we wzorach emisji poszczególnych składników spalin [2].

e) Warunki klimatyczne.

W tygodniu w którym odbywały się pomiary, nie występowały opady atmosferyczne, temperatura otoczenia wahała się w granicach 5÷13 °C, dzięki czemu nawierzchnia była sucha, a warunki temperaturowe nie miały większego wpływu na tzw. „zimną emisję”.

6. WIELKOŚĆ EMISJI SPALIN DLA BADANEGO ODCINKA DROGI

Na podstawie zebranych podczas pomiarów danych oraz wzorów zaczerpniętych z *EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook - 2009* dokonano obliczeń emisji toksycznych składników spalin, dla badanego odcinka drogi. W obliczeniach uwzględniono: tlenek węgla (CO), węglowodory (HC), tlenki azotu (NO_x) oraz cząstki stałe (PM).

Do obliczeń emisji toksycznych składników spalin wykorzystano następujące wzory:

- silnik ZI

$$EF = \frac{(a+c \cdot V + e \cdot V^2)}{(1+b \cdot V + d \cdot V^2)} \quad (1)$$

- silnik ZS

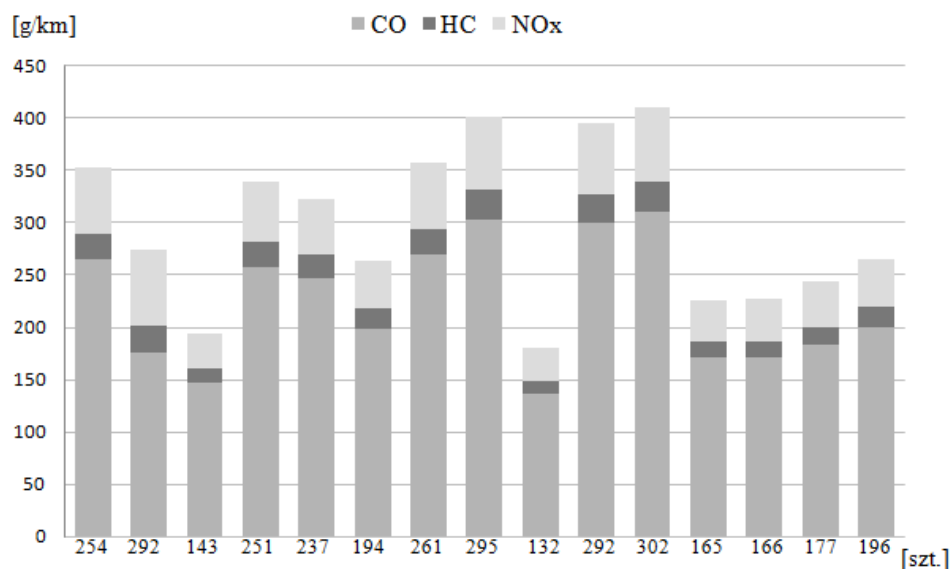
$$EF = \frac{(a+c \cdot V + e \cdot V^2)}{(1+b \cdot V + d \cdot V^2)} + \frac{f}{V} \quad (2)$$

gdzie:

- V – prędkość pojazdu samochodowego;
- a, b, c, d, e, f – parametry zależne od klasy normy Euro.

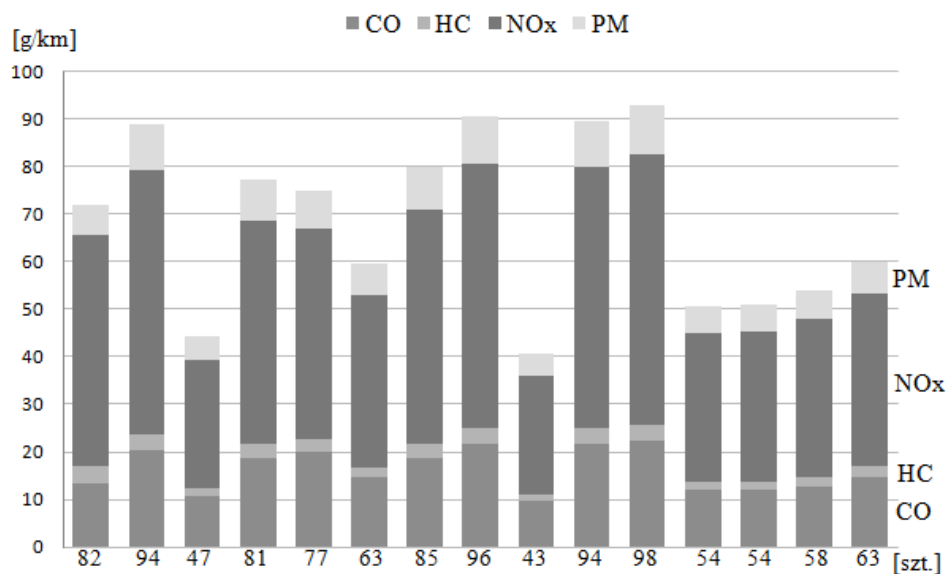
Emisję toksycznych składników spalin obliczono dla każdej klasy normy Euro. Z obliczeń wyłączono pojazdy niespełniające normy Euro, ponieważ nie zaobserwowano takich na badanym odcinku. Należy zaznaczyć, iż pojazdy niespełniające normy Euro pochodzą sprzed 1992 roku i obecnie mają blisko 20 lat, stąd też ich bardzo mała liczba w ruchu drogowym.

Następnie, uwzględniając rozkład wiekowy pojazdów samochodowych oraz liczbę pojazdów, obliczono średnią wielkość zanieczyszczeń w każdym okresie pomiarowym. Sumaryczne wartości poszczególnych składników spalin przedstawiono na rysunkach 4 i 5. Na osi X pokazano liczbę pojazdów w danych dniach pomiarowych, natomiast na osi Y – wielkość emisji w g/km.



Rys. 4. Wielkość emisji wybranych toksycznych składników spalin dla pojazdów z silnikiem o zapłonie iskrowym

Fig. 4. The emissions of selected toxic components of exhaust gas for vehicles with spark-ignition engine



Rys. 5. Wielkość emisji wybranych toksycznych składników spalin dla pojazdów z silnikiem o zapłonie samoczynnym

Fig. 5. The emissions of selected toxic exhaust components for vehicles with an engine ignition

Porównując powyższe wykresy (przedstawione na rysunkach 4 i 5) dokonano ich analizy i uzyskano następujące wnioski:

- największy udział w spalinach emitowanych przez pojazdy z silnikiem benzynowym ma tlenek węgla (CO),
- największy udział w spalinach emitowanych przez pojazdy z silnikiem mają tlenki azotu (NO_x),
- pojazdy z silnikiem diesla dodatkowo emitują cząstki stałe (PM),
- w okresie pomiarowym we wtorek i czwartek, w godzinach wieczornych nastąpił wyraźny spadek natężenia ruchu, przez co w tym czasie wystąpiła mniejsza emisja spalin,
- porównując zbliżoną liczbę pojazdów z silnikiem benzynowym i z silnikiem diesla można zauważyć, że te drugie emitują około 50 % mniej zanieczyszczeń.

Po przeanalizowaniu średniej prędkości pojazdów zauważono jej znaczny wpływ na wielkość emisji spalin. Wraz ze wzrostem prędkości maleje wielkość emisji spalin oraz zmienia się jakość spalin. Zmiana jakościowa polega na zmniejszeniu się ilości tlenku węgla (CO) oraz węglowodorów (HC) na rzecz tlenków azotu (NO_x), co podyktowane jest charakterystyką silników spalinowych [5].

Dla całego okresu pomiarowego V_{sr} było równe 73 km/h. Jednak uwzględniając odchylenie standardowe, średnia prędkość pojazdów zawierała się w zakresie 64÷78 km/h. Na odcinku pomiarowym średnia emisja dla 350 poj./godz. wynosiła:

- dla pojazdów z silnikiem ZI:
 - CO - 230,52 g/km,
 - HC - 20,81 g/km,
 - NO_x - 53,55 g/km;
- dla pojazdów z silnikiem ZS:
 - CO - 12,67 g/km,
 - HC - 3,70 g/km,
 - NO_x - 42,19 g/km,
 - PM - 5,12 g/km.

7. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz zaobserwowano, że pojazdy samochodowe z silnikiem diesla emitują o około 40 % mniej toksycznych składników spalin niż pojazdy z silnikiem benzynowym. Jest to spowodowane cechami charakterystycznymi silników diesla. Jednak należy zwrócić uwagę na to, że spaliny emitowane przez silniki ZS zawierają 4 toksyczne składniki, natomiast pojazdy z silnikami benzynowymi emitują tylko 3 główne szkodliwe substancje.

Na odcinku pomiarowym obecne ograniczenie prędkości jest niekorzystne ze względu na ilość emitowanych zanieczyszczeń przez pojazdy samochodowe. W związku z brakiem zabudowań, szkół, przedszkoli czy innych miejsc użyteczności publicznej wydaje się uzasadnione podwyższenie maksymalnej prędkości do 70 km/h.

BIBLIOGRAFIA

1. Filipczyk J. Wieszała R.: Wpływ czynników eksploatacyjnych na poziom zanieczyszczeń w trakcie użytkowania pojazdów. „Problemy Transportu”, t. 1, z. 1, 2006, s. 7-12.
2. Ntziachristos L., Samaras Z.: EMEP/EEA emission inventory guidebook, Athens, 2009.
3. Bohatkiewicz J.: Metoda prognozowania emisji zanieczyszczeń powietrza od pojazdów – model i program komputerowy COPERT III. GDDKiA / EKKOM, Kraków 2008.
4. Stankiewicz E.: Transport – wyniki działalności w 2009 r. GUS, Warszawa 2010.
5. Wieszała R., Hadryś D.: Prędkość pojazdów na śląskim odcinku autostrady. „Magazyn Autostrady” nr 12, Katowice 2007.

Recenzent: Dr hab. inż. Janusz Mirosławski, prof. nzw. Wyższej Szkoły
Zarządzania Ochroną Pracy