

Jan FILIPCZYK, Robert WIESZAŁA

## OKREŚLENIE EMISJI SPALIN NA ODCINKU AUTOSTRADY A4 KATOWICE – RUDA ŚLĄSKA

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych emisji spali na autostradzie. Obliczenia przeprowadzono używając programu COPERT III. Wykorzystano pomiary natężenia ruchu z uwzględnieniem podziału pojazdów na grupy w zależności od poziomu emisji spalin. Został zbadany wpływ natężenia ruchu, rodzaju pojazdów oraz ich prędkości na emisję spalin.

## THE DETERMINATION OF EMISSION OF EXHAUST GASES ON THE SECTION OF MOTORWAY A4 KATOWICE – RUDA ŚLĄSKA

**Summary.** Simulation test result of emission of exhaust gases have been presented in the paper. Simulation tests were performed at using of the program COPERT III. Effects of measurements of intensity of the road traffic were used for calculations. The sensitivity of emission levels to changes in traffic growth rate, traffic vehicular classification, vehicle speed, and traffic volume split was explored.

### 1. WPROWADZENIE

Projektowanie lokalizacji autostrad i dróg szybkiego ruchu bardzo często wywołuje kontrowersje zarówno w śród lokalnych społeczności, jak i organizacji ekologicznych. Problem właściwej oceny wpływu ruchu drogowego na środowisko przyrodnicze jest jednym z najistotniejszych zagadnień związanych z ograniczeniem negatywnych skutków związanych z wykorzystywaniem transportu samochodowego.

Tranzytowy ruch drogowy wschód – zachód w aglomeracji Śląskiej wykorzystuje drogi prowadzące przez centrum oraz południowe dzielnice Katowice. Ruch drogowy wykorzystując drogi w centrum Katowic obciąża także centra Chorzowa i Bytomia, które nie posiadają obwodnic. Samochody wykorzystujące południowy szlak komunikacyjny, przed oddaniem do użytku odcinka autostrady A4 Katowice – Gliwice, mogły wykorzystywać drogę Mikołów – Gliwice, przebiegającą w większości poza obszarami zwartej zabudowy, lub drogę Katowice – Ruda Śląska – Gliwice, prowadzącą przez centra południowych dzielnic Rudy Śląskiej.

Lokalizacja autostrady A4 w południowej części Katowic może zwiększyć obciążenie środowiska przyrodniczego w dużych osiedlach mieszkaniowych przylegających bezpośrednio do autostrady poprzez skierowanie większości ruchu tranzytowego przez dzielnice południowe, przy jednoczesnym zmniejszeniu obciążenia centrum Katowic i Bytomia. Dodatkowo może nastąpić zwiększenie ruchu lokalnego w kierunku Katowice – Zabrze – Gliwice przy jednoczesnym znacznym zmniejszeniu obciążenia ruchem tranzytowym Kochłowic i Halemby – dzielnic Rudy Śl.

Celem prowadzonych badań w okresie od stycznia 2004 roku do marca 2005 roku było określenie zagrożeń dla środowiska przyrodniczego związanego z lokalizacją autostrady w

poobliżu osiedli mieszkaniowych w południowych dzielnicach Katowic. W opracowaniu przedstawiono wyniki badań symulacyjnych emisji spalin.

## 2. METODY OBLICZENIOWE EMISJI SPALIN W RUCHU DROGOWYM

Coraz większego znaczenia obok badań homologacyjnych emisji spalin samochodowych nabierają badania zmierzające do szacunkowego określania emisji spalin w ruchu drogowym. Prowadzone są prace nad programami obliczeniowymi, które oparte na wieloletnich badaniach ruchu drogowego umożliwiają tworzenie symulacji komputerowych emisji komunikacyjnej. Pozwalają na prowadzenie obliczeń zarówno dla pojazdu poruszającego się z nagrzanym silnikiem, jak i w fazie jego nagrzewania [1, 2].

W obliczeniach wielkości emisji w warunkach nagrzanego silnika wykorzystywane są charakterystyki statyczne, tj. średnia emisja drogowa, w zależności od średniej prędkości i rodzaju ruchu lub w zależności wyłącznie od średniej prędkości ruchu, oraz charakterystyki dynamiczne, tj. natężenie emisji, w zależności od chwilowej prędkości i przyspieszenia.

Modele emisji tworzy się dla grup pojazdów, a nie dla pojedynczych pojazdów. W skład grupy wchodzi pojazdy, których wielkość emisji spalin jest zbliżona. W modelach stosowanych w Europie podstawą klasyfikacji pojazdów na poszczególne kategorie są: umowna wielkość pojazdu, przeznaczenie pojazdu oraz typ silnika [3]. Do najpopularniejszych modeli określających charakterystyki emisji składników spalin wykorzystywanych w Europie należą HBEFA, COPERT, DGV i DRIVE-MODEM [4].

Zazwyczaj stosowane są programy wykorzystujące charakterystyki statyczne, gdzie dynamika ruchu jest uwzględniana tylko w sposób pośredni [4]. Tego typu metody obliczeniowe emisji mogą być stosowane np. w obliczeniach dla ruchu na autostradach, gdzie występują małe zmiany w prędkości jazdy. Do tego typu programów należą COPERT i HBEFA.

Program HBEFA zbudowano opierając się na modelu uwzględniającym charakterystyki emisyjne składników spalin w funkcji średniej prędkości ruchu, dla określonego rodzaju ruchu, charakteryzującego jego dynamikę. W modelu zdefiniowane są charakterystyki emisyjne dla poszczególnych składników spalin w zależności od kategorii pojazdu i rodzaju ruchu. Model ten został opracowany w ośrodkach naukowych, na zlecenie urzędów ochrony środowiska Szwajcarii i Niemiec. Dane o wielkości emisji dla poszczególnych składników spalin uzyskano w testach jezdnych na hamowniach podwoziowych. Uzyskane wyniki opracowano statystycznie tak, aby otrzymać zależność emisji drogowej od średniej prędkości pojazdu, z uwzględnieniem rodzaju ruchu i kategorii pojazdu [3, 4, 5]. W programie możliwe jest dokonanie obliczeń emisji dla następujących związków: tlenku i dwutlenku węgla, metanu, węglowodorów, podtlenku azotu, amoniaku, niemetalowych związków węglowodorów, tlenków azotu, ołowiu, cząstek stałych, dwutlenku siarki, benzenu i toluenu. Można też uzyskać informacje na temat wielkości zużycia paliwa.

Program COPERT został opracowany przez europejskie laboratoria i ośrodki badawcze działające w ramach CORINAIR. Model ten w postaci programu komputerowego COPERT, jest ustawicznie rozwijany i modyfikowany. W roku 2000 opublikowano wersję COPERT III. Dane wykorzystywane w tym programie uzyskano podczas realizacji testów jezdnych, o różnych prędkościach średnich i różnej dynamice. Metoda wyznaczania średniej emisji drogowej, w zależności od średniej prędkości ruchu, bazuje na określeniu emisji danego składnika spalin w ciągu całego testu, charakteryzowanego jedynie prędkością średnią [3]. Program ten właśnie w tym elemencie różni się od omawianego wcześniej modelu HBEFA, gdzie uwzględniano dodatkowo jeszcze rodzaj ruchu. Model wykorzystywany w programie COPERT umożliwia określenie podobnych składników spalin, jak w przypadku modelu HBEFA. Dodatkowo jednak w modelu COPERT możliwe jest określenie wielkości metali

ciężkich zawartych w paliwie (Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, Se, Zn). W obu modelach zastosowano podział pojazdów na osobowe, dostawcze, ciężarowe, autobusy, motorowery i motocykle. Wyniki obliczeń poziomu emisji dla obu programów są zbliżone.

### 3. CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań było szacunkowe określenie wielkości emisji spalin na odcinku autostrady A4 Katowice – Ruda Śląska. Zakres badań obejmował:

- określenie czasu występowania największego natężenia ruchu,
- określenie wpływu ruchu lokalnego na natężenie ruchu na wybranym odcinku pomiarowym,
- pomiar natężenia ruchu z podziałem na grupy pojazdów zgodnie z modelem przyjętym w programie COPERT,
- określenie struktury wiekowej przejeżdżających pojazdów,
- obliczenie ilości emitowanych niektórych składników spalin na wybranym odcinku pomiarowym.

Badania wstępne pozwoliły na określenie czasu maksymalnego natężenia ruchu. Największe natężeniu ruchu występowało w godz. 6.00-11.00 oraz 14.00 – 19.00. Stwierdzono, że różnice w natężeniu ruchu wynikające z ruchu lokalnego, pomiędzy punktami pomiarowymi zlokalizowanymi w skrajnych punktach pomiarowego odcinka autostrady nie przekraczały 5%. Badania przeprowadzono przed oddaniem do użytku odcinka autostrady Ruda Śl. – Gliwice oraz po uruchomieniu całego odcinka Katowice – Gliwice.

### 4. WYNIKI POMIARÓW I OBLICZEŃ

Każdorazowo przeprowadzono 10 serii pomiarów (10 godzin) natężenia ruchu z uwzględnieniem podziału pojazdów na grupy zgodnie z wymaganiami programu COPERT. Mierzono ilość pojazdów przejeżdżających obok punktu pomiarowego w ciągu 60 min. Pomiaru wykonano dla każdej pełnej godziny w czasie maksymalnego natężenia ruchu. Na podstawie pomiarów określono średnią prędkości pojazdów dla każdej grupy. Pomiaru prowadzono od poniedziałku do piątku w ciągu 5 tygodni. Nie stwierdzono istotnych różnic w natężeniu ruchu w ciągu kolejnych godzin dla poszczególnych dni.

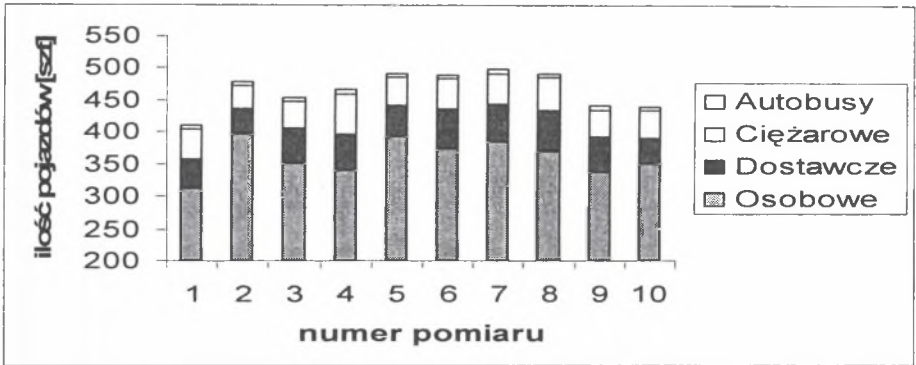
Dla każdej grupy pojazdów określono średnie prędkości jazdy. Przeprowadzono pomiary czasów przejazdu odcinka 1 km dla 20 pojazdów z każdej grupy. Wyniki obliczeń średnich prędkości jazdy przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1  
Średnie prędkości pojazdów na odcinku autostrady

Grupa pojazdów	Osobowe	Dostawcze	Ciężarowe	Autobusy
Srednia prędkość	103,5 km/h	91,5 km/h	86,5 km/h	88,5 km/h

Stwierdzono, że średnie prędkości jazdy w poszczególnych grupach pojazdów, przed i po otwarciu odcinka autostrady Ruda Śl. – Gliwice, na odcinku pomiarowym były jednakowe.

Na rysunku 1 przedstawiono wyniki obliczeń średniej ilości przejeżdżających pojazdów w kolejnych godzinach pomiarów przed otwarciem odcinka autostrady Ruda Śl. – Gliwice.



Rys.1. Średnie ilości pojazdów w kolejnych godzinach pomiarów (przed otwarciem odcinka autostrady)

Fig.1. Average number of car in following hours of measurement (before the section of motorway was opened)

Dla grupy 100 samochodów osobowych przejeżdżających przez punkt pomiarowy określono rodzaj silnika. Na podstawie przeprowadzonej identyfikacji do obliczeń przyjęto, że 90% samochodów posiada silniki z zapłonem iskrowym, a 10% z zapłonem samoczynnym.

Dla każdej grupy samochodów określono szacunkowo strukturę wiekową pojazdów oraz ilość pojazdów spełniających normy emisji spalin EURO. Do obliczeń wykorzystano dane udostępnione przez GUS określające ilość pojazdów w poszczególnych grupach wiekowych. Grupę samochodów ciężarowych podzielono ze względu na dopuszczalną masę całkowitą na samochody do 7 t, 7 – 16 t i powyżej 16 t.

Wykorzystując model stosowany w programie COPERT III [6] dokonano obliczeń ilości zużytego paliwa i emisji spalin dla odcinka pomiarowego autostrady o długości 1 km. Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicach 2 i 3.

Tablica 2

Obliczona ilość paliwa zużyta przez pojazdy na pokonanie odcinka pomiarowego o długości 1 km w ciągu jednej godziny przed otwarciem autostrady

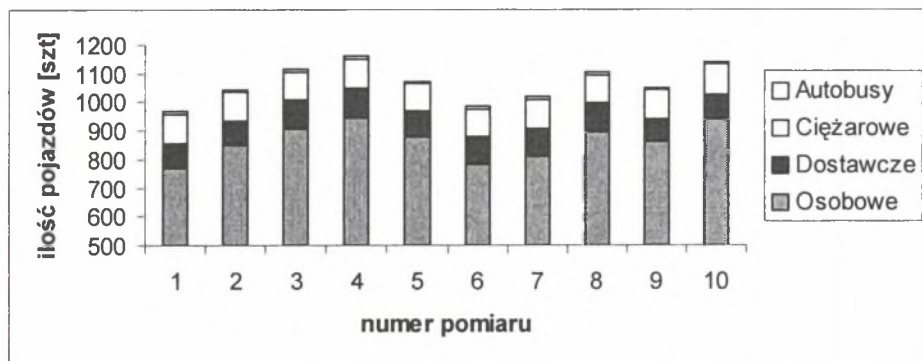
Kolejna godzina pomiaru	Sumaryczna ilość paliwa [g]
1	27137,78
2	29688,97
3	29395,63
4	29802,06
5	31231,96
6	31783,39
7	32093,48
8	32540,27
9	29082,07
10	28456,18
<b>Średnio</b>	<b>30121,18</b>

Tablica 3

Obliczona ilość wybranych toksycznych składników spalin emitowanych przez samochody, przejeżdżające przez odcinek pomiarowy o długości 1 km w ciągu jednej godziny, przed otwarciem odcinka autostrady

Kolejna godzina pomiaru	CO [g]	HC [g]	NOx [g]	PM [g]
1.	1653,87	188,21	797,51	23,59
2.	2055,45	217,52	931,15	21,70
3.	1856,67	201,73	877,25	25,30
4.	1823,48	213,97	911,15	29,29
5.	2058,54	222,87	958,01	24,89
6.	1978,25	217,38	931,75	27,94
7.	2029,04	224,30	949,65	27,97
8.	1967,53	218,47	956,73	29,32
9.	1789,65	196,42	856,44	25,43
10.	1841,82	201,50	861,16	22,36
<b>Średnio</b>	<b>27644,56</b>	<b>210,2357</b>	<b>903,0788</b>	<b>25,77866</b>

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki obliczeń średniej ilości przejeżdżających pojazdów po otwarciu odcinka autostrady Katowice - Ruda Śl. – Gliwice. Pomiaru były prowadzone w analogiczny sposób do pomiarów przed oddaniem do użytku autostrady.



Rys.2. Średnie ilości pojazdów w kolejnych godzinach pomiarów (po otwarciu odcinka autostrady)

Fig.2. Average number of car in following hours of measurement (after the section of motorway was opened)

Odnotowano wyraźny wzrost ilości samochodów osobowych oraz nieznaczne zwiększenie ilości samochodów dostawczych, przy zmiennej ilości samochodów ciężarowych i autobusów. Wyniki obliczeń ilości zużytego paliwa i emisji poszczególnych składników spalin przedstawiono w tablicach 4 i 5.

Tablica 4

Obliczona ilość paliwa zużyta przez pojazdy na pokonanie odcinka pomiarowego o długości 1 km w ciągu jednej godziny po otwarciu odcinka autostrady

Kolejna godzina pomiaru	Sumaryczna ilość paliwa [g]
1	62232,61
2	65611,8
3	69848,38
4	72695,34
5	66732,47
6	63010,37
7	65049,21
8	69565,14
9	65717,8
10	71359,15
<b>Średnio</b>	<b>67182,23</b>

Tablica 5

Obliczona ilość wybranych toksycznych składników spalin emitowanych przez samochody, przejeżdżające przez odcinek pomiarowy o długości 1 km w ciągu jednej godziny, po otwarciu odcinka autostrady

Kolejna godzina pomiaru	CO [g]	HC [g]	NOx [g]	PM [g]
1.	4033,913	447,96	1876,355	49,4675
2.	4434,02	482,185	2013,833	47,655
3.	4721,18	506,8625	2128,198	53,11
4.	4932,443	535,4175	2218,768	54,6575
5.	4569,083	490,41	2058,76	49,005
6.	4098,355	448,8625	1886,778	49,855
7.	4256,34	470,3875	1955,543	50,99
8.	4677,748	505,4775	2132,69	52,385
9.	4491,563	485,115	2019,948	46,895
10.	4881,623	531,08	2188,973	51,5575
<b>Średnio</b>	<b>4509,628</b>	<b>490,3758</b>	<b>2047,984</b>	<b>50,55775</b>

## 5. PODSUMOWANIE

Znaczne zwiększenie ruchu samochodów osobowych na odcinku pomiarowym po oddaniu do użytku autostrady Katowice – Gliwice może świadczyć o zwiększonym wykorzystywaniu południowego szlaku komunikacyjnego Katowic w ruchu tranzytowym oraz wykorzystywaniu autostrady jako południowej obwodnicy Katowic i Chorzowa.

Uzyskane wyniki obliczeń ilości emisji poszczególnych składników spalin należy traktować jako szacunkowe. Obliczeniowa wielkość emisji jest uzależniona zarówno od natężenia ruchu pojazdów w poszczególnych grupach, ale także od prawidłowego oszacowania ilości pojazdów spełniających normy emisji spalin EURO. Obliczeniowa wielkość emisji poszczególnych składników spalin jest uzależniona w głównej mierze od ilości zużytego paliwa. Wielkość zużytego paliwa warunkuje również ilość wydzielanych pierwiastków metalicznych takich jak: kadm, miedź, chrom, nikiel, selen i cynk [6]. Podczas spalania 1 kg paliwa, nie zależnie, czy jest to olej napędowy, czy benzyna, wydzielane jest około 0,01 g kadmu, 1,7 g miedzi, 0,05 g chromu, 0,07 g niklu, 0,01 g selenu oraz 1 g cynku.

Można przypuszczać, że w miarę zwiększania się udziału pojazdów spełniających bardziej rygorystyczne normy emisji spalin, pomimo możliwego wzrostu natężenia ruchu, ilość zużytego paliwa oraz ilość szkodliwych składników spalin będzie malała. Możliwe jest jednak zwiększenie się wydzielania pierwiastków platyny, rodu i palladu pochodzących z katalizatorów samochodów spełniających normy EURO.

Ważnym czynnikiem wpływającym na wielkość emisji spalin na rozpatrywanym odcinku autostrady jest prędkość, z jaką poruszają się pojazdy. Po uruchomieniu ostatniego odcinka autostrady stanowiącego obwodnicę Gliwic można oczekiwać względnego ustabilizowania się ilości pojazdów związanych z ruchem tranzytowym Kraków – Wrocław, ze względu na brak alternatywnego, równie dogodnego szlaku komunikacyjnego. Należy także oczekiwać wzrostu ruchu samochodów ciężarowych i autobusów. Należałoby wówczas powtórzyć przeprowadzone badania, które pozwoliłyby na określenie optymalnych prędkości przejazdu samochodów w pobliżu osiedli mieszkaniowych z uwzględnieniem minimalizacji emisji szkodliwych substancji zawartych w spalinach.

## Literatura

1. Brzozowski K.: Wybrane aspekty modelowania natężenia emisji w warunkach dynamicznych. Czasopismo Techniczne Mechanika z.6-M, 2004, Kraków 2004, s.125.
2. Brzeżański M.: Wpływ fazy nagrzewania silnika na obliczenia emisji komunikacyjnej. Czasopismo Techniczne Mechanika z.6-M, 2004, Kraków 2004, s.117.
3. Brzozowska L. Brzozowski K.: Komputerowe modelowanie emisji i rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń samochodowych. Wydawnictwo Śląsk, Katowice – Warszawa 2003.
4. Joumard R.: Methods of estimation of atmospheric emissions from transport: European scientific state of the art. Action COST 319 final report, LTE 9901 report.
5. Hickman A.: Methodology for calculating transport emissions and energy consumption. Transport Research Laboratory, Project Rep. SE/491/98.
6. Ntziachristos L. Samaras Z.: COPERT III. Computer programme to calculate emission from road transport. Methodology and emission factors (version 2.1). European Environment Agency. November 2000.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Bronisław Sendyka