

**Marianna Jacyna, Jolanta Żak, Michał Kłodawski,  
Emilian Szczepański**

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

**Agnieszka Merkisz-Guranowska**

Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu

# **SZACOWANIE DYSPERSJI ZANIECZYSZCZEŃ W PŁASZCZYŹNIE PRZEKROJU POPRZECZNEGO DROGI W ASPEKCIE KSZTAŁTOWANIA PROEKOLOGICZNEGO SYSTEMU TRANSPORTOWEGO**

Rękopis dostarczono, maj 2013

**Streszczenie:** Dyspersja zanieczyszczeń jest bardzo istotnym zagadnieniem związanym z ekologią transportu. Rozprzestrzenianie się związków chemicznych emitowanych przez pojazdy istotnie wpływa na jakość atmosfery, co z kolei oddziałuje na gospodarkę oraz społeczeństwo. W artykule przedstawiono potrzebę badania dyspersji zanieczyszczeń w skali kraju oraz zaprezentowano przegląd dostępnych metod oraz modeli jej szacowania. W ramach badań przedstawionych w artykule dokonano symulacji rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w przekroju drogi w oparciu o model gaussowski. Opracowany model symulacyjny został zaimplementowany w środowisku *SciLab*. Badania przedstawione w artykule zrealizowano w ramach projektu *EMITRANSYS*.

**Słowa kluczowe:** EMITRANSYS, dyspersja zanieczyszczeń, model dyspersji zanieczyszczeń

## **1. WPROWADZENIE**

Obecnie odnotowuje się stale rosnące zainteresowanie tematem ekologii i jest to zjawiskiem bardzo pożądanym. Istotnym bowiem problemem zarówno gospodarczym jak i społecznym jest zanieczyszczenie środowiska związane z emitowaniem związków szkodliwych przez środki transportu. Wobec tego za zasadne i bardzo ważne uważa się prowadzenie badań dotyczących ograniczania emisji wspomnianych zanieczyszczeń.

Sam problem emisji związków szkodliwych przez transport jest zagadnieniem bardzo obszernym. W obszarze zainteresowań tego tematu znajduje się problem dyspersji

zanieczyszczeń w określonych ośrodkach. Może być to dyspersja zanieczyszczeń w powietrzu, glebie czy wodzie.

W artykule zajęto się dyspersją związków szkodliwych w powietrzu. Przez taki rodzaj dyspersji rozumie się rozprzestrzenianie w atmosferze różnych typów substancji takich jak cząstki stałe czy gazy. Zależna jest ona od szerokiego spektrum czynników - począwszy od warunków meteorologicznych, przez ukształtowanie terenu, a na typie obserwowanych cząstek skończywszy [15].

Wszelkie prace badawcze dotyczące emisji oraz dyspersji związków szkodliwych pozytywnie wpływają na opracowywanie metod przyczyniających się do ich redukcji. Wpływają również na wprowadzanie odpowiednich regulacji prawnych przez władze.

Zanieczyszczenie powietrza negatywnie wpływa na społeczeństwo i jakość życia. Szereg publikacji (np. [11], [16]) zwraca uwagę na fakt, iż w miejscach o dużym stężeniu związków szkodliwych znacznie wzrasta ryzyko raka płuc, chorób serca oraz układu krążenia. Zanieczyszczone powietrze negatywnie wpływa także na rolnictwo, powoduje wyniszczenie obszarów leśnych, generuje wzrost kosztów ochrony środowiska oraz leczenia, itp.. Taka sytuacja spowodowana jest rozwojem cywilizacyjnym i jest niestety nieunikniona. Dlatego również konieczne jest ciągłe podejmowanie działań wpływających na zrozumienie oraz skuteczne przeciwdziałanie i ograniczanie poziomu emisji zanieczyszczeń do atmosfery i ich dyspersji.

Dlatego również tematykę tę poruszono w niniejszym artykule. Na jego potrzeby opracowano model i przeprowadzono badania dotyczące szacowania dyspersji w płaszczyźnie przekroju poprzecznego drogi, zanieczyszczeń generowanych przez transport samochodowy. Uzyskane w ten sposób wyniki pozwolą na przeprowadzenie kolejnych badań w skali makro dla modelu krajowego systemu transportowego Polski

## 2. MODELOWANIE DYSPERSJI ZANIECZYSZCZEŃ

Modelowanie dyspersji zanieczyszczeń w atmosferze polega na budowie modeli oraz analizie symulacyjnej rozprzestrzeniania się związków szkodliwych w otoczeniu źródła emisji. Do symulacji stosuje się narzędzia komputerowe oparte na algorytmach pomagających w rozwiązywaniu równań matematycznych [4], [13]. Tego typu modele stosowane są do szacowania bądź przewidywania stężenia w atmosferze zanieczyszczeń emitowanych przez źródła takie jak: zakłady przemysłowe, środki transportu czy przypadkowe uwolnienia chemiczne (np. erupcje wulkanów). Szczególnie istotne są one dla agencji rządowych, w których gestii i interesie jest ochrona oraz zarządzanie jakością powietrza [10].

Modele rozprzestrzeniania się cząstek można sklasyfikować ze względu na różne kryteria, np.: skalę przestrzenną (lokalna, regionalna, globalna), skalę czasową (krótkookresowe, długookresowe), równania transportu (Gaussowskie, Eulerowskie, Lagrangowskie), uwzględnianie różnych procesów chemicznych czy złożoność podejścia. Poszczególne modele spośród wyżej wymienionych scharakteryzowano w [21], [25], [27], [32]. W praktyce bardzo często stosowanych jest wiele różnych modeli złożonych, powstałych w oparciu o modele ogólne, takie jak np. model Gaussa oraz zastosowaniu

preprocesorów meteorologicznych. Modele zaawansowane nie ograniczają się jedynie do standardowych rozkładów i np. wpływu wiatru, lecz bazują na np. teorii podobieństwa Monin'a-Obukhov'a [14], [31].

ETC/ACC (The European Topic Centre on Air and Climate Change) będąca częścią EEA (the European Environment Agency) prowadzi internetowy system dokumentacji modeli (MDS), który zawiera najistotniejsze informacje dotyczących modeli opracowanych przez różne kraje. Na liście tej znajdują się zazwyczaj modele opracowane w Europie oraz USA, a także pojedyncze modele opracowywane na potrzeby innych państw. Obecnie na liście znajdują się 142 modele dyspersji zanieczyszczeń dla różnych zastosowań. Znalazł się tam również model opracowany w Polsce EK100W – oparty na modelu Gaussa, wykorzystywany do oceny jakości powietrza, na które oddziałują źródła punktowe (głównie przemysłowe), a także struktury obszarów miejskich (w skali lokalnej).

Modele dyspersji wymagają uwzględnienia szerokiego spektrum danych, takich jak: warunki meteorologiczne (np. prędkość i kierunek wiatru, temperatura powietrza itp.), parametry źródła emisji (np. rodzaj źródła, temperatura emitowanych zanieczyszczeń czy rodzaj emitowanych związków), ukształtowanie terenu lub przeszkody w ścieżce emitowanych zanieczyszczeń (w tym np.: zabudowa przestrzenna, wysokość przeszkód) [4], [10].

W niniejszym artykule skupiono się na dyspersji zanieczyszczeń emitowanych przez silniki pojazdów drogowych. Badania prowadzone przez różne ośrodki naukowe wskazują podwyższone stężenie zanieczyszczeń w pobliżu dróg w odniesieniu do stężenia związków szkodliwych w dalszej od nich odległości. Silniki pojazdów drogowych emitują głównie takie związki jak tlenek węgla (CO), tlenki azotu ( $\text{NO}_x$ ), cząstki stałe (o różnej masie np.  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{PM}_{0.1}$ ), węglowodory aromatyczne (PAH) czy benzen [17], [29], [30], [32].

Badania wpływu drogowych źródeł emisji zanieczyszczeń na jakość powietrza mogą być przeprowadzane z wykorzystaniem różnych modeli. Jednak to modele Gaussowskie uważane są za najskuteczniejsze w tego typu zastosowaniach. Zapewniają dobrą dokładność i jednocześnie rozsądny czas obliczeń. Na potrzeby wykorzystania takiego modelu aproksymuje się źródło liniowe jako ciąg źródeł punktowych. Badania oparte na tego typu modelach mają zastosowanie np. przy ocenie narażenia ludności na stężenia zanieczyszczeń w powietrzu i wyborze odpowiedniej lokalizacji nowej drogi [6].

Na potrzeby modelowania dyspersji zanieczyszczeń w otoczeniu drogi przygotowane zostały różne metody symulacji. Modele opracowane w USA (seria modeli CALINE), a także europejski model (ADMS Urban) [3], [8], [20] oparte są na głównym założeniu ogólnego modelu Gaussa, dotyczącego badania dyspersji w sytuacji gdy wiatr jest skierowany prostopadle do liniowego źródła emisji (podzielonego na elementarne źródła punktowe). Inaczej sytuacja wygląda w przypadku modeli zakładających nieprostopadły kierunek wiatru. Opierają się one na koncepcji nieskończonego źródła liniowego. Za ich reprezentanta można przyjąć model CAR FMI lub model HV [5], [7], [9].

Poza wymienionymi powyżej w literaturze problemu można odnaleźć również takie modele jak np.: HIWAY, GM, ROADWAY, GRAL, OML-Highway, WORM. Ich szczegółowe opisy, a także odpowiednie zestawienia i porównania przedstawiono w pracach [18], [23], [26]. Wykorzystanie i zastosowanie tych modeli uzależnione jest od typu prowadzonych badań. lokalizacji i rodzaju dróg (zamiejskie, autostrady, drogi ekspresowe, drogi miejskie) dla których prowadzone są badania, ukształtowania

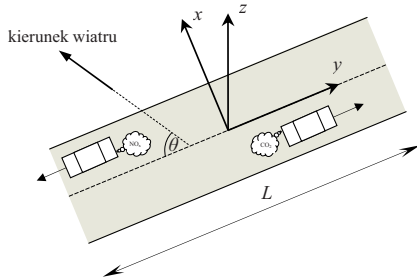
przestrzennego ich bliskiego otoczenia (np. brak budynków, ekrany dźwiękochłonne, budynki o różnej wysokości), itp.

Podczas symulacji dyspersji zanieczyszczeń wynikającej z ruchu pojazdów drogowych należy uwzględnić m.in. dane o natężeniu i intensywności ruchu, prędkości i strukturze rodzajowej pojazdów, warunkach ruchu (klasy swobody ruchu), warunkach atmosferycznych, lokalizacji drogi [22]. W niniejszej pracy do realizacji badań posłużono się modelem CAR FMI.

### 3. MODEL GAUSSA W DYSPERSJI ZANIECZYSZCZEŃ W ASPEKcie KSZTAŁTOWANIA PROEKOLOGICZNEGO SYSTEMU TRANSPORTOWEGO

Prezentowany w artykule model dyspersji zanieczyszczeń emitowanych przez środki transportu drogowego oparty jest na gaussowskim modelu obłoku (równaniu dyfuzji). W modelu założono, iż droga, traktowana w tym przypadku jako liniowe źródło zanieczyszczeń, może zostać podzielona na szereg elementów (krótkich odcinków), które emitują związki szkodliwe dla środowiska. Poziomy zanieczyszczeń emitowanych przez te elementy ściśle związane są z liczbą oraz rodzajem pojazdów, które pojawiły się w nich w analizowanym przedziale czasu. Narastające w czasie stężenia substancji szkodliwych w poszczególnych odcinkach drogi są sumowane, co w efekcie umożliwia estymację poziomu całkowitej emisji zanieczyszczeń przez badany odcinek drogi.

Omawiany model może być z powodzeniem wykorzystywany do analizy liniowych źródeł emisji substancji szkodliwych dla środowiska o różnej długości oraz dla różnych kierunków wektora wiatru. Na Rys. 1 przedstawiono liniowe źródło zanieczyszczeń (odcinek drogi) o długości  $L$  wraz z zaznaczonym kierunkiem wiatru występującego w obszarze i otoczeniu źródła oraz naniesionymi koordynatami. Kąt między wektorem kierunku wiatru i osią źródła oznaczono jako  $\theta$ . Natomiast centralny punkt źródła wykorzystany został jako początek obu układów współrzędnych.



Rys. 1. Liniowe źródło emisji zanieczyszczeń wraz ze zorientowanymi koordynatami i kierunkiem wiatru

W celu oszacowania wpływu związków szkodliwych, emitowanych przez środki transportowe, na otoczenie bliższe i dalsze drogi należy dokonać estymacji poziomu i zasięgu powstałych zanieczyszczeń. Wymaga to pomiaru natężenia środków szkodliwych dla środowiska w różnych punktach otoczenia drogi, określanych za pomocą współrzędnych  $x, y, z$ . Do kalkulacji natężenia zanieczyszczeń w każdym z tych punktów ( $C(x,y,z)$ ) wykorzystano zależność przedstawioną przez Luhar'a i Patil'a w [1]:

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\sqrt{2\pi}\sigma_z(u \sin \theta + u_o)} \left\{ e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2} + e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2} \right\} \cdot \left[ erf \left( \left| \frac{\sin \theta \left( \frac{L}{2} - y \right) - x \cos \theta}{\sqrt{2}\sigma_y} \right| \right) + erf \left( \left| \frac{\sin \theta \left( \frac{L}{2} + y \right) + x \cos \theta}{\sqrt{2}\sigma_y} \right| \right) \right] \quad (1)$$

gdzie:

- $C(x,y,z)$  - natężenie zanieczyszczeń w punkcie  $(x,y,z)$  w  $g/m^3$ ,
- $Q$  - poziom emisji zanieczyszczeń przez jednostkę długości źródła liniowego (g/s),
- $H$  - wysokość na której źródło emituje zanieczyszczenia (m),
- $u$  - średnia prędkość wiatru w obszarze i otoczeniu źródła (m/s),
- $u_o$  - parametr korygujący średnią prędkość wiatru (m/s),
- $erf$  - funkcja błędu,
- $\sigma_y$  - współczynnik poziomej dyfuzji atmosferycznej (m),
- $\sigma_z$  - współczynnik pionowej dyfuzji atmosferycznej (m).

Poziom emisji związków szkodliwych ( $Q$ ) przez analizowany w badaniach odcinek drogi (a dokładnie jego jednostkę długości) uzależniony jest od natężenia ruchu poszczególnych typów pojazdów na tym odcinku ( $D_i$ ), a także ich jednostkowych wskaźników emisji zanieczyszczeń ( $E_i$ ) [12]:

$$Q = \sum_{i=1}^I E_i \cdot D_i \quad (2)$$

przy czym  $I$  jest liczbą typów pojazdów uwzględnionych w badaniach.

Natężenie ruchu pojazdów  $i$ -tego typu można oszacować na podstawie zależności:

$$D_i = N_i \cdot V_i \quad (3)$$

gdzie:

- $N_i$  - liczba pojazdów  $i$ -tego typu,
- $V_i$  - średnia prędkość pojazdu  $i$ -tego typu,

Parametr korygujący średnią prędkość wiatru w obszarze i otoczeniu źródła emisji środków szkodliwych wynika głównie z stanu wzbudzenia ruchu na drodze i może przyjmować różne wartości w zależności od klasy stabilności ruchu. Stosuje się go

zazwyczaj do wyeliminowania pewnej osobliwości występującej w przypadku, gdy kierunek wiatru jest równoległy do osi drogi, a kąt  $\theta$  równy 0°.

Wartości współczynników poziomej i pionowej dyfuzji atmosferycznej ( $\sigma_y$  i  $\sigma_z$ ) zależne są od odległości punktu pomiarowego od źródła emisji, a także klasy równowagi atmosfery i rodzaju obszaru analizy (obszar wiejski lub miejski). W przypadku obszarów miejskich wykorzystywane są współczynniki dyfuzji McElroy-Pooler'a, które wyznacza się za pomocą wzorów zestawionych w tabelicy 1. Dla obszarów wiejskich wykorzystywane są współczynniki dyfuzji Pasquill'a Gifford'a, których wartości określa się na podstawie zależności (4-6) w funkcji odległości  $dist$  od źródła emisji [28]:

$$\sigma_y = 465,11628(dist) \tan(\theta) \quad (4)$$

$$\sigma_z = a \cdot dist^b \quad (5)$$

$$\alpha = 0,017453293(c - dist \cdot \ln(\alpha)) \quad (6)$$

Tabela 1

**Wzory na wyznaczenie współczynników dyfuzji w obszarach miejskich [19]**

Klasa równowagi atmosfery	$\sigma_y$	$\sigma_z$
A	$0,32dist(1,0+0,0004dist)^{-0,5}$	$0,24dist(1,0+0,001dist)^{0,5}$
B	$0,32dist(1,0+0,0004dist)^{-0,5}$	$0,24dist(1,0+0,001dist)^{0,5}$
C	$0,22dist(1,0+0,0004dist)^{-0,5}$	$0,20dist$
D	$0,16dist(1,0+0,0004dist)^{-0,5}$	$0,14dist(1,0+0,0003dist)^{-0,5}$
E	$0,11dist(1,0+0,0004dist)^{-0,5}$	$0,08dist(1,0+0,0015dist)^{-0,5}$
F	$0,11dist(1,0+0,0004dist)^{-0,5}$	$0,08dist(1,0+0,0015dist)^{-0,5}$

Parametry niezbędne do wyznaczenia współczynników dyfuzji obszarów wiejskich Pasquill'a Gifford'a przyjmuje się w zależności od odległości punktu pomiarowego od źródła emisji ( $dist$ ) oraz klasy równowagi atmosfery. Wartości parametrów  $a$ ,  $b$ ,  $c$  i  $d$  można odnaleźć w [28].

Do określenia wartości obu typów współczynników niezbędna jest także znajomość kategorii stabilności atmosfery (klas równowagi atmosfery). Poszczególne kategorie Pasquilla, od A (najbardziej niestabilna) do F (najbardziej stabilna), warunkują intensywność turbulencji w pobliżu gruntu i zależą od prędkości wiatru na wysokości 10m, promieniowania słonecznego, pokrywy chmur oraz pory dnia. Kategorie Pasquilla zostały zestawiono w tabelicy 2.

Tabela 2

**Kategorie stabilności Pasquilla [24]**

Przygruntowa prędkość wiatru na wysokości 10m (m/s)	Dzień			Noc	
	Nasłonecznienie			Zachmurzenie	
	silne	umiarkowane	słabe	$\geq 4/8$	$\leq 3/8$
<2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

## 4. SYMULACJA DYSPERSJI ZANIECZYSZCZEŃ W PŁASZCZYŹNIE PRZEKROJU POPRZECZNEGO DROGI

Model CAR FMI omówiony w rozdziale 3, zaimplementowano w środowisku *SciLab*. Na potrzeby przeprowadzenia symulacji niezbędne było przygotowanie szeregu danych wejściowych. Dotyczyły one odcinka drogi, dla którego wykonywana była symulacja, założeń związanych z prędkością i kierunkiem wiatru, a także założeń dotyczących poziomu emisji zanieczyszczeń przez ten odcinek drogi (źródło liniowe). Dane wejściowe do symulacji przedstawiono w tabelicy 3.

Dodatkowo założono, iż symulacja będzie przeprowadzana dla odcinka drogi zamiejskiej (autostrady), bez ekranów dźwiękochłonnych. Przyjęto również, iż wielkość potoku ruchu w jednostce czasu pojawiająca się na analizowanym odcinku przedstawiona zostanie jako liczba pojazdów na godzinę. Do badań założono także średnią prędkość oraz strukturę pojazdów.

Tabela 3

Dane wejściowe do symulacji dyspersji zanieczyszczeń

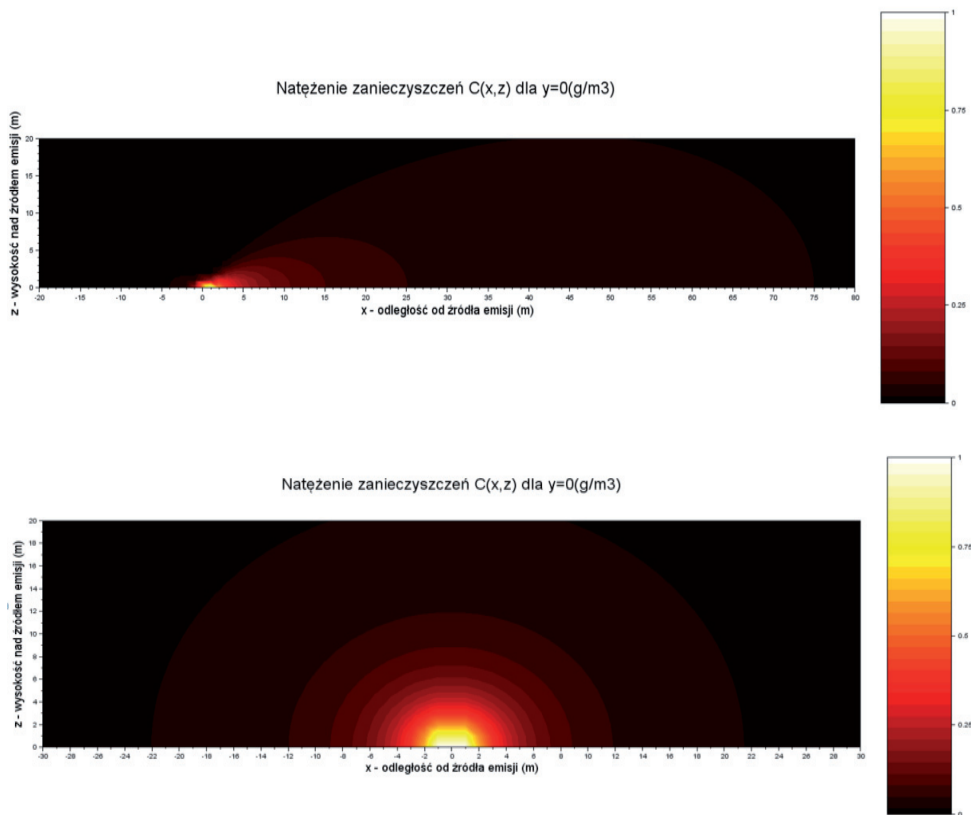
Typ drogi	Droga zamiejska, autostrada			
Wielkość potoku ruchu (poj/h)	1200			
Struktura pojazdów (%)				
osobowe (ZI)	30			
osobowe (ZS)	25			
dostawcze DMC<3,5t (ZI)	1			
dostawcze DMC<3,5t (ZS)	16			
ciężarowe DMC>3,5 t	7			
ciągniki siodłowe z naczepą	3			
autobusy	4			
motocykle	14			
Średnia prędkość pojazdów (km/h)	100			
Czas emisji (h)	1			
Wysokość źródła emisji (m)	0,4			
Długość odcinka (m)	1000			
Kategoria stabilności atmosfery	A oraz C			
Prędkość wiatru (m/s)	0,1 oraz 5			
Kierunek wiatru do osi drogi (w stopniach)	0 oraz 90			
Typ związku	NO <sub>x</sub>		CO <sub>2</sub>	
Jednostka czasu (na sekundę   na czas emisji 1h)	g/m/s	g/m	g/m/s	g/m
Emisja (typ pojazdu)				
wszystkie pojazdy	0,000271	0,977005	0,081691	294,088250
osobowe i dostawcze	0,000124	0,447370	0,047486	170,950266
ciężarowe i autobusy	0,000147	0,529635	0,034205	123,137984

Podczas symulacji uwagę zwrócono na poziom emisji takich związków jak NO<sub>x</sub> oraz CO<sub>2</sub>. W celu porównania wpływu warunków atmosferycznych przyjęto dwa warianty

wykonywanych obliczeń. Pierwszy z nich dotyczy sytuacji dla klasy A stabilności atmosfery oraz braku wiatru, drugi natomiast zakłada umiarkowane warunki atmosferyczne, czyli klasę stabilności C oraz prędkość wiatru 5 m/s. Kierunek wiatru dla drugiego wariantu przyjęto jako prostopadły do osi drogi.

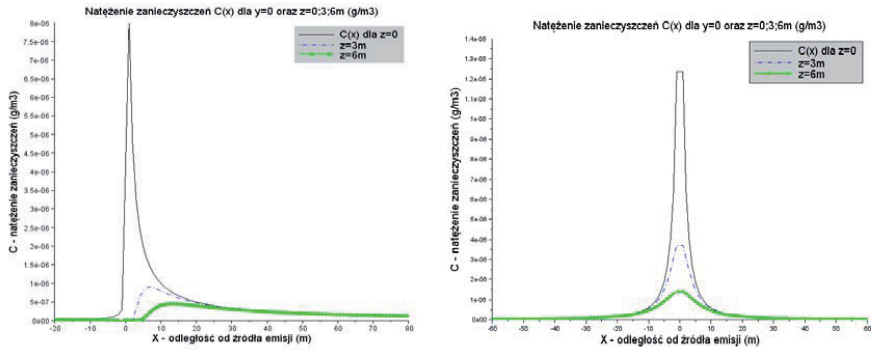
Należy zaznaczyć, iż dane wejściowe są jedynie przykładowym zestawem parametrów przyjętych w celu weryfikacji poprawności modelu. W rzeczywistości poszczególne z nich mogą się różnić. Dane dotyczące emisji zostały pozyskane z wykorzystaniem narzędzia „*Emission Factors Toolkit for Vehicle Emission*”, udostępnianego przez Department for Environment Food & Rural Affairs w Wielkiej Brytanii.

W efekcie przeprowadzonych symulacji otrzymano wyniki stężenia zanieczyszczeń w siatce receptorów. Wyniki zaprezentowano w formie wykresów dla stężenia emisji w funkcji odległości od źródła emisji w płaszczyźnie  $x$  oraz  $z$  (tzn. w płaszczyźnie przekroju poprzecznego drogi) oraz w funkcji odległości od źródła emisji w osi  $x$  dla różnych wysokości rozmieszczenia receptorów (dla  $z=0$ ,  $z=3$ ,  $z=6$ ). Wyniki przeprowadzonych badań dla związków  $\text{NO}_x$  przedstawiono na rys. 2,3, a dla związku  $\text{CO}_2$  na rys 4.5.

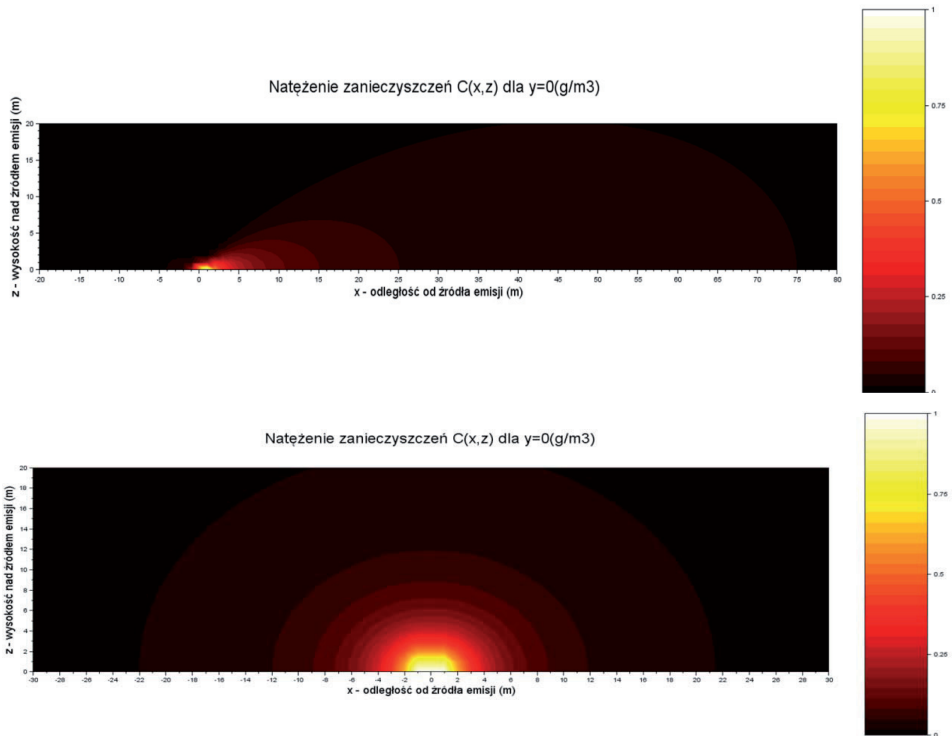


Rys. 2. Stężenie zanieczyszczeń  $\text{NO}_x$  w płaszczyźnie przekroju poprzecznego drogi w wariantcie z wiatrem prostopadłym do drogi oraz w wariantcie bezwietrznym

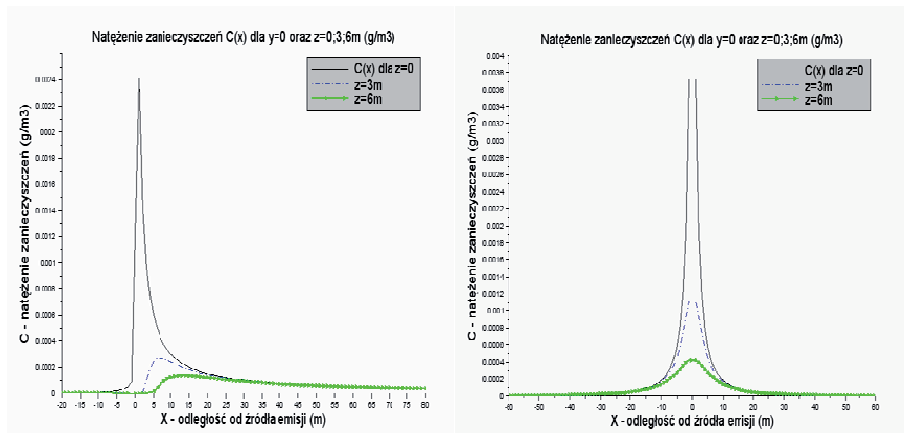




Rys. 3. Stężenie zanieczyszczeń NO<sub>x</sub> w płaszczyźnie przekroju poprzecznego drogi dla receptorów rozmieszczonych na różnych wysokościach nad drogą w wariacie z wiatrem prostopadłym do drogi oraz w wariacie bezwietrznym



Rys. 4. Stężenie zanieczyszczeń CO<sub>2</sub> w płaszczyźnie przekroju poprzecznego drogi w wariacie z wiatrem prostopadłym do drogi oraz w wariacie bezwietrznym



Rys. 5. Stężenie zanieczyszczeń  $\text{CO}_2$  w płaszczyźnie przekroju poprzecznego drogi dla receptorów rozmieszczonych na różnych wysokościach nad drogą w wariancie z wiatrem prostopadłym do drogi oraz w wariancie bezwietrznym

## 6. WNIOSKI

W artykule zajęto się problemem dyspersji zanieczyszczeń w atmosferze. Wstępne badania i symulacje wskazują na poprawność funkcjonowania wybranego modelu. Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, iż na stężenie zanieczyszczeń w powietrzu istotny wpływ mają warunki meteorologiczne. Zauważyć można, że kształt wykresu dla różnych związków emitowanych przez źródło jest identyczny, zmienia się jedynie wartość stężenia w danym receptorze. Wykresy zamieszczone na rys. 3 oraz 5 przedstawiają stężenie związków w zależności od położenia receptorów nad drogą. Poprawnie wskazują, iż najwyższe zanieczyszczenie jest poniżej źródła emisji (na poziomie gruntu) i wraz ze wzrostem wysokości natężenie to jest coraz mniejsze. Wartości stężenia w wariancie z uwzględnieniem wiatru i w wariancie bezwietrznym są podobne w pobliżu źródła emisji, natomiast wraz z oddalaniem od źródła przyjmują zdecydowanie inne wartości co jest uzasadnione znacznym wpływem wiatru.

Badania przedstawione w artykule prezentują jedynie wstępny model dyspersji zanieczyszczeń. W kolejnych etapach model zostanie rozbudowany o dodatkowe parametry oraz funkcje korygujące błędy przybliżeń w celu jak najlepszego odwzorowania rozprzestrzeniania zanieczyszczeń.

Zaprezentowany model posłuży do szacowania dyspersji wzdłuż ciągów komunikacyjnych w skali systemu transportowego Polski. Dlatego też w kolejnych etapach jego rozbudowy należy uwzględnić wymagania i możliwość oszacowania dyspersji w skali kraju.

Praca naukowa zrealizowana w ramach projektu badawczego pt. "Kształtowanie proekologicznego systemu transportowego" (EMITRANSYS), nr PBS1/A6/2/2012 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

### Bibliografia

1. Ashok K. L., Patil R. S.: *Atmospheric environment*, vol. 23, No. 3, pp. 555-562, 1989.
2. Barrat R.: *Atmospheric Dispersion Modelling* (1st Edition ed.), Earthscan Publications 2001.
3. Benson P. E.: *A review of the development and application of the CALINE3 and 4 models*, Atmos. Environ., vol. 26, pp. 379-390, 1992.
4. Beychok M. R.: *Fundamentals Of Stack Gas Dispersion* (4th Edition ed.), Author-published 2005.
5. Briant R., Korsakissok I., Seigneur C.: *An improved line source model for air pollutant dispersion from roadway traffic*, Atmos. Environ., vol. 45, pp. 4099-4107, 2011.
6. Briant R., Seigneur C., Gadrat M., Bugajny C.: *Evaluation of roadway Gaussian plume models with large-scale measurement campaigns*, Geoscientific Model Development, vol. 6, No.2, pp. 445-456, 2013.
7. Calder L. K.: *On estimating air pollution concentrations from a highway in an oblique wind*, Atmos. Environ., vol. 7, pp. 863-868, 1973.
8. Csanady G. T.: *Turbulent Diffusion in the Environment*, D. Reidel Publishing Company, The Netherlands, Dordrecht 1973.
9. Esplin J. G.: *Approximating explicit solution to the general line source problem*, Atmos. Environ., vol. 29, pp. 1459-1463, 1995.
10. Forago I., Georgiev K., Havasi A.: *Advances in Air Pollution Modeling for Environmental Security (NATO Workshop)*, Springer 2005.
11. Gładysz J., Grzesiak A., Nieradko-Iwanicka B., Borzęcki A.: *Wpływ zanieczyszczenia powietrza na stan zdrowia i spodziewaną długość życia ludzi*, Probl. Hig. Epidemiol, vol. 91, pp. 178-180, 2010.
12. Goyal P., Rama Krishna, T. V. B. P. S.: *A Line source model for Delhi*, Transportation Research Part D, vol. 4, pp. 241-249, 1999.
13. Hanna S. R., Briggs G. A., Hosker R. P.: *Handbook on Atmospheric Diffusion*, U.S. Department of Energy, Technical Information Center 1982.
14. Hill R. J.: *Implications of Monin-Obukhov similarity theory for scalar quantities*, Journal of the Atmospheric Sciences vol. 46, No. 14, pp. 2236-2244, 1989.
15. Juda-Rezler K., Manczarski P.: *Zagrożenia związane z zanieczyszczeniem powietrza atmosferycznego i gospodarką odpadami komunalnymi*, Wydawnictwo PAN, Nauka 4/2010, pp. 97-106, 2010.
16. Kim J.J., Smorodinsky S., Ostro B., Lipsett M., Singer B.C., Hogsdon A.T.: *Traffic-related air pollution and respiratory health: the East Bay Children's Respiratory Health Study*, Epidemiology, vol. 13, No. 4, 2002.
17. Kittelson D.B., Watts W.F., Johnson J.P.: *Nanoparticle emissions on Minnesota highways*, Atmospheric Environment, vol. 38, pp. 9-19, 2004.
18. Levitin J., Härkönen J., Kukkonen J., Nikmo J.: *Evaluation of the CALINE4 and CAR-FMI models against measurements near a major road*, Atmospheric Environment, vol. 39, pp. 4439-4452, 2005.
19. McElroy J. L., Pooler Jr.: *The St. Louis Dispersion Study: Volume I—Instrumentation, procedures and data tabulations*, APTD Document vol. 12, 1968.
20. McHugh C. A., Carruthers D. J., Higson H., Dyster S. J.: *Comparison of model evaluation methodologies with application to ADMS3 and U.S. Models*, Int. J. Envir. Pollut., vol. 16, 2001.
21. Moussiopoulos N., Berge E., Bohler T., de Leeuw F., Gronskai K-E., Mylona S., Tombrou M.: *Ambient air quality, pollutant dispersion and transport models*, European Topic Centre on Air Quality, Copenhagen 1996.
22. National Institute of Water and Atmospheric Research, Aurora Pacific Limited and Earth Tech Incorporated for the Ministry for the Environment: *Good Practice Guide for Atmospheric Dispersion Modelling*, Ministry for the Environment June 2004, Wellington, New Zealand.

23. Oettl D., Kukkonen J., Almbauer R. A., Sturm P. J., Pohjola M., Härkönen J.: *Evaluation of a Gaussian and a Lagrangian model against a roadside data set, with emphasis on low wind speed conditions*, Atmospheric Environment, vol. 35 No.12, pp. 2123-2132, 2001.
24. Pasquill F.: *The estimation of the dispersion of windburn material*, Meteorol. Magazine, vol. 90, pp. 33-49, 1961.
25. Schnelle K. B., Dey P. R.: *Atmospheric Dispersion Modeling Compliance Guide* (1st Edition ed.), McGraw-Hill Professional 1999.
26. Sharma N., Chaudhry K. K., Chalapati R. C.V.: *Vehicular pollution prediction modelling: a review of highway dispersion models*, Transport Reviews vol. 24.4 pp. 409-435, 2004.
27. Turner D.B.: *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates: An Introduction to Dispersion Modeling* (2nd Edition ed.). CRC Press 1994.
28. U.S. EPA.: *User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models. Volume II – Description of Model Algorithms*, Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring and Analysis Division, Research Triangle Park, 1995.
29. Vaitiekūnas P., Banaitytė R.: *Modeling of motor transport exhaust pollutant dispersion*, Journal of Environmental Engineering and Landscape Management vol. 14(1), pp. 39-46, 2007.
30. Venkatram A., Isakov V., Thoma E., Baldauf R. 2007. *Analysis of air quality data near roadways using a dispersion model*, Atmospheric Environment, vol. 41, pp. 9481-9497.
31. Venkatram A.: *Estimating the Monin-Obukhov length in the stable boundary layer for dispersion calculations*, Boundary-Layer Meteorology vol. 19.4 pp. 481-485, 1980.
32. Zannetti P.: *Numerical simulation modelling of air pollution: an overview*, in *Air Pollution* (P. Zannetti et al., eds.), Computational Mechanics Publications, Southampton, pp. 3-14, 1993.
33. Zhu Y., Hinds W.C., Kim S., Shen S., Sioutas C.: *Study of ultrafine particles near a major highway with heavyduty diesel traffic*, Atmospheric Environment vol. 36, pp. 4323-4335, 2002.

## ESTIMATION OF POLLUTANT DISPERSION IN THE PLANE OF CROSS ROADS IN THE CONTEXT OF ECOLOGICAL TRANSPORT SYSTEM DEVELOPMENT

**Summary:** The dispersion of pollutants is a very important issue related to environmental transport. The spread of chemical compounds emitted by vehicles significantly affect the quality of the atmosphere, which in turn affects the economy and society. The article presents the need to study the dispersion of pollutants in the country. A review of available methods and models for estimating the dispersion. The research presented in the paper is a simulation of the spread of pollutants in the road section based on the Gaussian model. The simulation model has been implemented in a *SciLab*. The research presented in this paper are carried out within the project EMITRANSYS.

**Keywords:** EMITRANSYS, dispersion of pollutants, pollutant dispersion model