

MODELOWANIE ROZPRZESTRZENIANIA EMISJI  
Z POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH W TERENIE  
ZABUDOWANYM

MAREK JANUSZ, JAN NADZIAKIEWICZ

Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki,  
Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów,  
ul. Konarskiego 20. 44-100 Gliwice

Keywords: emission.

MODELLING OF THE AIR POLLUTION FROM VEHICLE ENGINES  
IN THE CITY AREA

The simplified model of the gas emission from cars in the city is presented. The model is based on the Pasquille relation with necessary modifications regarding diffusion in the perpendicular direction to the street axis and the emission in the upper limit of the street. The emission cars from going down the street is modelled as the series of sources located close to the street level, with the emission related to the number and size of the car engine. The emission from sources of pollution located outside the street is modelled as the system of sources of pollution located on the height of the buildings along the street. Some examples showing the influence of the wind velocity and air turbulence on the carbon monoxide concentration along the length and the height of the street are presented.

Streszczenie

W artykule przedstawiono uproszczony model rozprzestrzeniania emisji pochodzącej z pojazdów samochodowych wzdłuż zabudowanej ulicy w mieście. Model oparty jest na zależnościach opracowanych przez Pasquille'a, zmodyfikowanym dla uwzględnienia ograniczonego rozprzestrzeniania w poprzek ulicy oraz warunków dyfuzji na wysokości zabudowy ulicy. Emisja silników samochodowych została zamodelowana jako szereg źródeł emisji położonych na niewielkiej wysokości wzdłuż ulicy, których wydajność zależy od rodzaju samochodów i od natężenia ruchu. Emisja źródeł położonych poza ulicą jest uwzględniona jako szereg źródeł emisji położonych na wysokości zabudowań wzdłuż długości ulicy. Podano szereg przykładów obliczeniowych stężenia tlenu węgla wzdłuż długości i wysokości ulicy dla różnych kierunków i siły wiatru oraz stopnia turbulencji powietrza.

WSTĘP

Niska emisja jest jednym z najbardziej uciążliwych dla środowiska czynników w aglomeracjach miejskich szczególnie tam, gdzie występuje utrudnione „przewietrzanie” zabudowanych przestrzeni. Ocenia się, że w warunkach Górnego Śląska powoduje ona

ponad 30% ogólnego zanieczyszczenia powietrza. Dodatkowo, emisja niska ze źródeł indywidualnych jest bardzo trudna do kontroli co sprawia, że w najbliższych latach, w połączeniu z emisją ze środków transportowych, może się stać głównym czynnikiem decydującym o degradacji środowiska naturalnego w naszym regionie. Prezentowany program obliczeniowy modeluje rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń emitowanych ze środków transportowych w środowisku miejskim. Uwzględnia on ukształtowanie i zabudowę terenu, wielkości emisji pochodzącej z pojazdów samochodowych oraz tło zanieczyszczeń spowodowane przez inne emitory.

Wyniki obliczeń programu, wykonane w oparciu o wskaźniki emisji substancji szkodliwych z pojazdów spalających różne paliwa oraz z emitorów niskich, umożliwiają przewidywanie zanieczyszczenia powietrza pochodzącego z komunikacji w obszarach zabudowanych.

### MODELOWANIE ROZPRZESTRZENIANIA ZANIECZYSZCZEŃ W ATMOSFERZE

Życiu człowieka, jego działalności, towarzyszy emisja zanieczyszczeń gazowych i pyłowych do środowiska. Jest to emisja związana ze zjawiskami naturalnymi (emisja niezależna a wynikająca z procesów zachodzących w samej przyrodzie i środowisku nas otaczającym) oraz związana z działalnością przemysłową, gospodarczą czy codziennym życiem (emisja zależna od naszego działania). Od szeregu lat prowadzone są prace mające na celu stworzenie modelu matematycznego rozprzestrzeniania zanieczyszczeń w atmosferze.

Prace nad modelowaniem rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze prowadzone są w licznych placówkach zagranicznych i polskich. W okresie ostatnich dwudziestu lat powstało w kraju ponad trzydzieści takich modeli [1, 2, 4, 8]. Powstałe modele znajdują zastosowanie w badaniach naukowych, zarządzaniu i podejmowaniu decyzji w sprawie ochrony powietrza przed zanieczyszczeniem z uwzględnieniem wpływu istniejących i planowanych źródeł zanieczyszczeń na środowisko, podejmowaniu decyzji w przypadku poważnych awarii przemysłowych oraz są wykorzystywane do szkolenia specjalistów w zakresie określania skutków emisji szkodliwych zanieczyszczeń dla zdrowia ludzi i dla środowiska naturalnego.

### RODZAJE STOSOWANYCH MODELII

Znane z literatury modele opisujące rozprzestrzenianie zanieczyszczeń w atmosferze różnią się sposobem opisu takich parametrów jak:

- a) czas modelowania (zanieczyszczenia chwilowe, stężenia średniodobowe i inne),
- b) obszar modelowania (emisje lokalne, promień kilkudziesięciu wysokości emitorów),
- c) typ modelu rozprzestrzeniania w atmosferze: Gaussowski, Pasquilla, Statystyczny.

Dane wejściowe do obliczeń przy zastosowaniu tych modeli powinny uwzględniać:

- a) charakterystykę obszaru modelowania,

- b) rodzaj źródeł emisji,
- c) procesy fizykochemiczne, którym podlegają zanieczyszczenia w atmosferze,
- d) dane meteorologiczne obszaru,
- e) tło zanieczyszczeń.

#### TEORETYCZNY MODEL PASQUILLE'A

Zjawiska rozprzestrzeniania zanieczyszczeń gazowych i pyłowych w atmosferze są opisane równaniami różniczkowymi dyfuzji turbulentnej, które po przyjęciu szeregu założeń upraszczających i przybliżeń można rozwiązać analitycznie. Przykładem takiego rozwiązania jest model Pasquilla (1961 r.) – gaussowski model smugi zanieczyszczeń. Jest to model przybliżony, jednak ze względu na jego prostotę jest on najczęściej używany do obliczeń modelowych. Po przyjęciu szeregu założeń, stężenie zanieczyszczenia z punktowego źródła o emisji ciągłej  $E$  w receptorze o współrzędnych  $x, y, z$  przyjmuje postać [6]:

$$S_{x,y,z} = \frac{E}{2\pi\sigma_y\sigma_z\bar{u}} \exp\left[-0,5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-0,5\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0,5\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (1)$$

gdzie oznaczają:

- $S_{x,y,z}$  – stężenie zanieczyszczenia gazowego w receptorze ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ),
- $E$  – emisja zanieczyszczenia ( $\text{mg}/\text{s}$ ) z emitora o współrzędnych  $x = 0, y = 0, z = 0$ ,
- $\sigma_y, \sigma_z$  – poziomy i pionowy współczynnik dyfuzji atmosferycznej (m),
- $\bar{u}$  – uśredniona prędkość wiatru po czasie i wysokości – od  $z$  do  $z = H$  (m/s)
- $H$  – wysokość pozornego punktu emisji (m).

Model ten, po wprowadzeniu szeregu założeń wynikających ze specyfiki obszaru miejskiego, może być wykorzystany do obliczeń rozprzestrzeniania w ciągu ulicy ograniczonej z dwóch stron zabudową miejską, tworzącą swego rodzaju kanion.

#### MODEL ROZPRZESTRZENIANIA ZANIECZYSZCZEŃ W TERENIE ZABUDOWANYM

Dla modelowania rozprzestrzeniania zanieczyszczeń w obszarze ograniczonym zabudową miejską, opracowano pakiet programów o nazwie „Kanion”, umożliwiających obliczanie zanieczyszczenia atmosfery ze źródeł komunikacyjnych oraz pochodzącego z innych emitatorów (jako tło zanieczyszczeń). Zadaniem opracowanego modelu jest obliczanie rozkładu stężeń zanieczyszczeń gazowych i pyłowych wzdłuż ulic w mieście. Jest on oparty na modelu Pasquille'a, z uproszczeniami wynikającymi ze szczególnych warunków rozprzestrzeniania, wynikających z zabudowy po obydwóch stronach ulicy.

Przy tworzeniu modelu rozprzestrzeniania zanieczyszczeń pochodzących ze źródeł ruchomych oraz źródeł niskich, konieczne było przyjęcie następujących założeń upraszczających:

- a) model obejmuje sektor miasta,
- b) źródłem zanieczyszczeń emitowanych z poziomu ziemi są przejeżdżające samochody,



- c) źródła zanieczyszczeń pochodzących od emitorów położonych poza ulicą zastąpiono emitorami punktowymi, których położenie uwarunkowane jest istniejącą zabudową mieszkalną,
- d) oddziaływanie wysokich emitorów punktowych jest uwzględnione w postaci tła zanieczyszczeń przyjętego na wysokości zabudowy.

Jak podano powyżej, w programie obliczeniowym „Kanion” wykorzystano zmodyfikowany model Pasquilla dla źródła punktowego. Dla celów obliczeniowych, liniowe źródła zanieczyszczeń jakimi są poruszające się pojazdy, zastąpiono równomiernie rozmieszczonymi wzdłuż długości ulicy źródłami punktowymi. Umożliwia to, wprowadzanie zmiennej emisji zanieczyszczeń wzdłuż długości ulicy (np.: postój pojazdów samochodowych przed światłami przy przejściach dla pieszych, itp.).

#### POSTAĆ ROZWIĄZANIA RÓWNAŃ ROZPRZESTRZENIANIA ZANIECZYSZCZEŃ

Ogólny model Pasquille’a, opisuje rozprzestrzenianie zanieczyszczeń w trójwymiarowym układzie współrzędnych. Są to: odległość od źródła zanieczyszczeń wzdłuż kierunku wiatru, odległość prostopadła od kierunku wiatru oraz wysokość ponad źródło. Przy rozprzestrzenianiu zanieczyszczeń wzdłuż ulicy, ograniczonej z dwóch stron zabudową ciągłą, można wprowadzić następujące uproszczenia:

- uwzględnia się jedynie dwa kierunki wiatru wiejącego wzdłuż ulicy,
- smuga zanieczyszczeń odbija się od ścian domów i ich stężenie jest jednakowe na całej szerokości ulicy – nie trzeba uwzględniać zmiennej poprzecznej do kierunku ulicy,
- bilans ilości zanieczyszczeń w każdym przekroju wzdłuż długości ulicy musi być spełniony.

Tak więc opracowany model zawiera dwie zmienne: odległość wzdłuż długości ulicy oraz wysokość ponad powierzchnią ulicy.

Wymienione wyżej uproszczenia zostały w programie obliczeniowym uwzględnione w następujący sposób:

- stężenie zanieczyszczenia w każdym punkcie szerokości ulicy jest takie samo i wynika z całkowitej ilości zanieczyszczenia w tym przekroju,
- wpływ stężenia zanieczyszczeń powodowanych przez emisję spoza ulicy jest uwzględniony jako emisja z umownych źródeł położonych na wysokości domów; wielkość emisji tych źródeł zależy od lokalnego stężenia zanieczyszczenia na tej wysokości,
- wartości stężeń zanieczyszczeń pochodzących spoza ulicy (tła) nakładają się na wartości stężeń ze źródeł komunikacyjnych.

Przy przyjęciu powyższych założeń, stężenie zanieczyszczenia wzdłuż długości  $l$  i na wysokości  $h$  ulicy, pochodzącego z punktowego źródła o emisji ciągłej  $E$ , położonego w punkcie o współrzędnych  $x = 0$ ,  $y = 0$  przyjmuje postać [7]:

$$S_{x,y,z} = \frac{E}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_z \bar{u}} \left\{ \exp \left[ -0,5 \left( \frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[ -0,5 \left( \frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\} \quad (2)$$

Podobnie jak w regule Pasquille'a, współrzędna  $l$  wzdłuż długości ulicy nie występuje bezpośrednio w równaniu, a jest uwzględniana przy wyznaczaniu wartości współczynnika dyfuzji  $\sigma_z$ .

#### ZAŁOŻENIA DO PROGRAMU OBLICZENIOWEGO

W programie obliczającym rozprzestrzenianie zanieczyszczeń wzdłuż pojedynczej ulicy, przyjęto następujące szczegółowe założenia:

- obliczenia dotyczą stanu ustalonego w czasie, tzn. ciągłego ruchu pojazdów ze stałym natężeniem,
- ulica stanowi kanion (prostopadłościan) otwarty od góry i z obu końców (skrzyżowania), szerokość „kanionu” wynosi  $b$ , a wysokość wynosi  $H$ ; rozpatrywany jest odcinek ulicy między dwoma skrzyżowaniami o długości  $L$ ,
- wiatr w kanionie wieje równoległe do podłoża i ścian bocznych,
- prędkości wiatru przyjęto:
  - dla  $\bar{u} < 0,5$  m/s - prędkość równą 0,5 m/s,
  - dla  $\bar{u} \geq 0,5$  m/s - prędkość  $\bar{u}$ ,
  - dla wysokości  $z \geq 5$  m uwzględniano prędkość średnią  $\bar{u}$ ,
  - dla wiatrów „skośnych” do kanionu, uwzględniano ich prędkość składową równoległą do podłoża i ścian bocznych,
- zanieczyszczenia gazowe podlegają odbiciu od podłoża, natomiast zanieczyszczenia pyłowe osiadają na podłożu (jak w klasycznym modelu Pasquille'a),
- stężenie zanieczyszczeń w przekroju poprzecznym ulicy zależy jedynie od wysokości i odległości od skrzyżowania,
- źródła zanieczyszczeń emitowanych przez przejeżdżające samochody (liniowe), zastąpiono równomiernie rozmieszczonymi źródłami punktowymi, źródła te znajdują się na małej wysokości na poziomie ulicy (w obliczeniach weryfikujących poprawność modelu przyjęto  $h = 0,5$  m); wielkość emisji z tych źródeł zależy od natężenia ruchu pojazdów,
- stężenie zanieczyszczeń pochodzące od innych emitorów położonych poza kanionem, zastąpiono źródłami punktowymi rozmieszczonymi na „górnjej” powierzchni „kanionu”, posiadają one wysokość równą wysokości „kanionu”.
- oddziaływanie skrzyżowania na początku ulicy (od strony wiejącego wiatru) zastąpiono źródłami punktowymi rozmieszczonymi równomiernie na całym przekroju „kanionu”, wielkość emisji z tych źródeł zależy od stężenia zanieczyszczeń na skrzyżowaniu i wzdłużnej prędkości wiatru.

#### STRUKTURA PROGRAMU „KANION”

Program „Kanion”, pozwala na obliczanie stężeń zanieczyszczeń wzdłuż ulicy dla danych wartości geometrycznych ulicy (wysokość, szerokość, długość), zadanej prędkości i kierunku wiatru wiejącego powyżej poziomu zabudowań ulicy oraz klasy równowagi atmosfery. Zanieczyszczenia emitowane są przez przejeżdżające

samochody oraz pochodzą ze skrzyżowań i emitorów zewnętrznych ponad zabudową kanionu.

Dla potrzeb programu, zmodyfikowano 12-to kierunkową różę wiatrów, na różę 2-kierunkową: wzdłuż ulicy o zadanej orientacji w stosunku do kierunku północnego.

Wyniki obliczeń w postaci zbioru wielkości stężeń zadanego składnika są podawane w postaci tablicy w zależności od odległości od skrzyżowania oraz od wysokości ponad poziom jezdni.

### OBLICZENIA SPRAWDZAJĄCE POPRAWNOŚĆ MODELU

Dla oceny poprawności działania programu „Kanion”, przeprowadzono szereg obliczeń sprawdzających. Jako wielkości wejściowe wykorzystano przy tym głównie dane przytoczone w literaturze [3, 9], ponieważ przeprowadzenie indywidualnych, pełno-profilowych pomiarów stężeń zanieczyszczeń spowodowanych ruchem pojazdów jest związane z dużymi kosztami.

#### DANE WYJŚCIOWE DO OBLICZEŃ

Emisję jednostkową zanieczyszczeń wprowadzanych do powietrza atmosferycznego przez samochody osobowe i ciężarowe oszacowano na podstawie danych zawartych w [5], dla przyjętych następujących założeń:

- udział samochodów ciężarowych w ogólnej liczbie pojazdów wynosi 20%,
- udział samochodów z silnikami wysokoprężnymi wynosi 15%,
- średnie zużycie paliwa wynosi 8 kg/100 km dla samochodu osobowego i 15 kg/100 km dla samochodu ciężarowego (przeciętna moc silnika 75 kW),
- średnia prędkość dla samochodów wynosi 36 km/h,
- samochody poruszają się ze stałą prędkością i nie stoją przed światłami na skrzyżowaniu.

Dla powyższych założeń, jednostkowe emisje zanieczyszczeń emitowanych przez poruszające się pojazdy wynoszą:

- tlenek węgla CO - 0,0167 mg/s-pojazd,
- tlenki azotu NO<sub>x</sub> - 0,0049 mg/s-pojazd,
- dwutlenek siarki SO<sub>2</sub> - 0,0009 mg/s-pojazd,
- sadza - 0,0003 mg/s-pojazd,
- węglowodory C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> - 0,0045 mg/s-pojazd.

Przykładowe obliczenia chwilowych stężeń zanieczyszczenia (tlenku węgla) wzdłuż ulicy przeprowadzono dla następujących warunków:

- natężenie ruchu pojazdów - 1200 pojazdów/h,
- wysokość zabudowy ulicy - H = 10 m,
- szerokość ulicy - b = 10 m,
- stężenie zanieczyszczenia na skrzyżowaniu - 5 mg/m<sup>3</sup>,
- stężenie zanieczyszczenia na wysokości H (tło) - 50 μg/m<sup>3</sup>.



Wybór zanieczyszczenia (tlenku węgla) podyktowany został możliwością porównania wykonanych obliczeń rozprzestrzeniania zanieczyszczeń z danymi pomiarowymi przedstawionymi w literaturze [9].

#### WYNIKI OBLICZEŃ

Wyniki obliczeń przeprowadzonych programem „Kanion”, dla wielkości podanych powyżej przedstawiono w postaci wykresów (Rys. 1 ÷ 8). Na rysunkach 1 i 2, przedstawiono rozkład stężenia tlenku węgla CO, po wysokości ulicy dla różnych odległości od skrzyżowania i dla dwóch klas równowagi atmosfery. W obliczeniach tych, przyjęto stałą prędkość wiatru wzdłuż ulicy  $u_a = 1$  m/s.

Rysunki 3 i 4, przedstawiają również rozkład stężenia tlenku węgla CO po wysokości ulicy, w zależności od klasy równowagi atmosfery i dla dwóch odległości od skrzyżowania: 10 i 100 m.

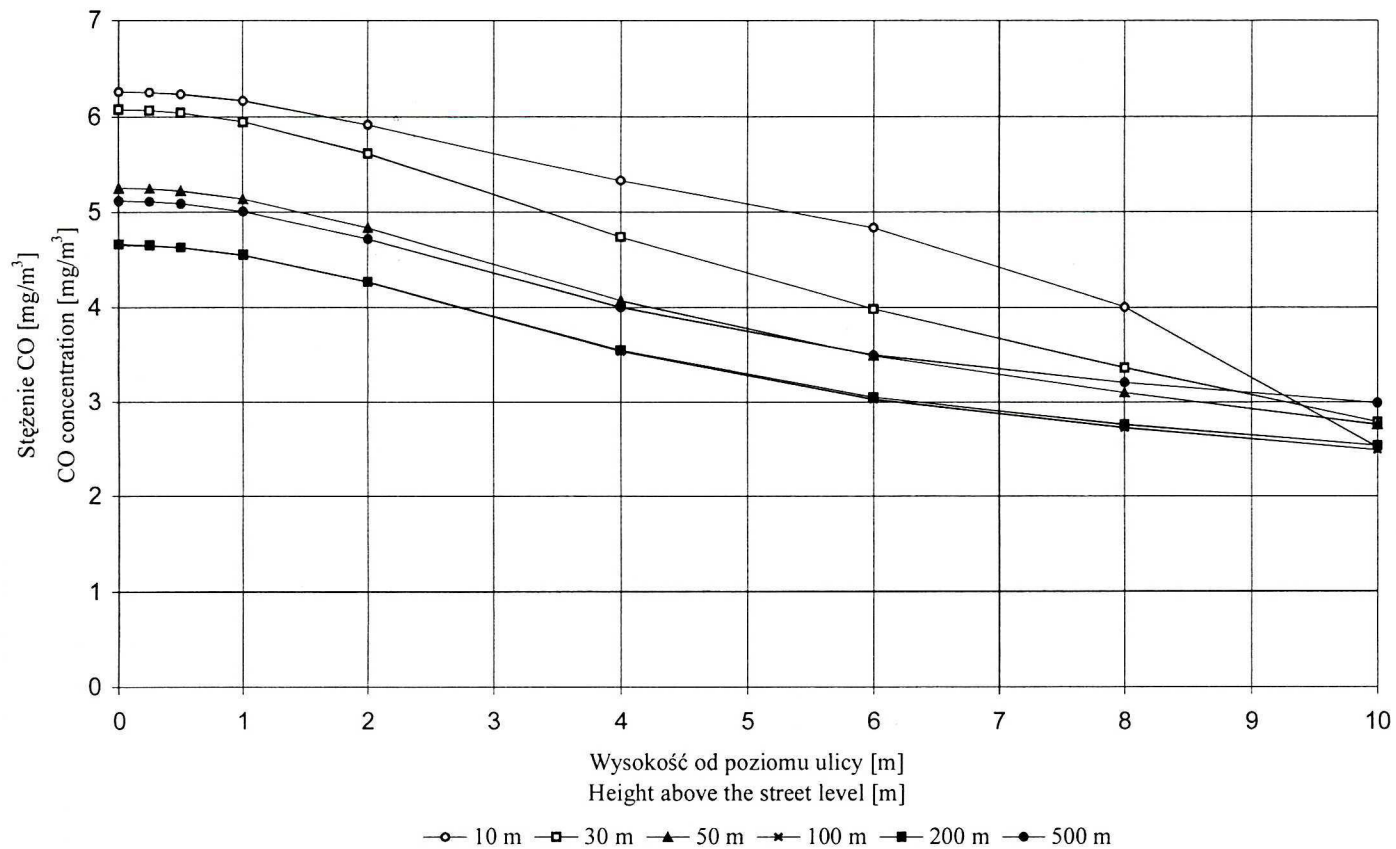
Kolejne rysunki (Rys. 5 i 6), przedstawiają stężenia dla różnych wysokości od poziomu ulicy dla dwóch klas równowagi atmosfery.

Na rysunkach 7 i 8, przedstawiono rozkład stężeń wzdłuż ulicy dla 3-ciej klasy równowagi atmosfery i dwóch różnych prędkości wiatru.

#### OMÓWIENIE WYNIKÓW OBLICZEŃ

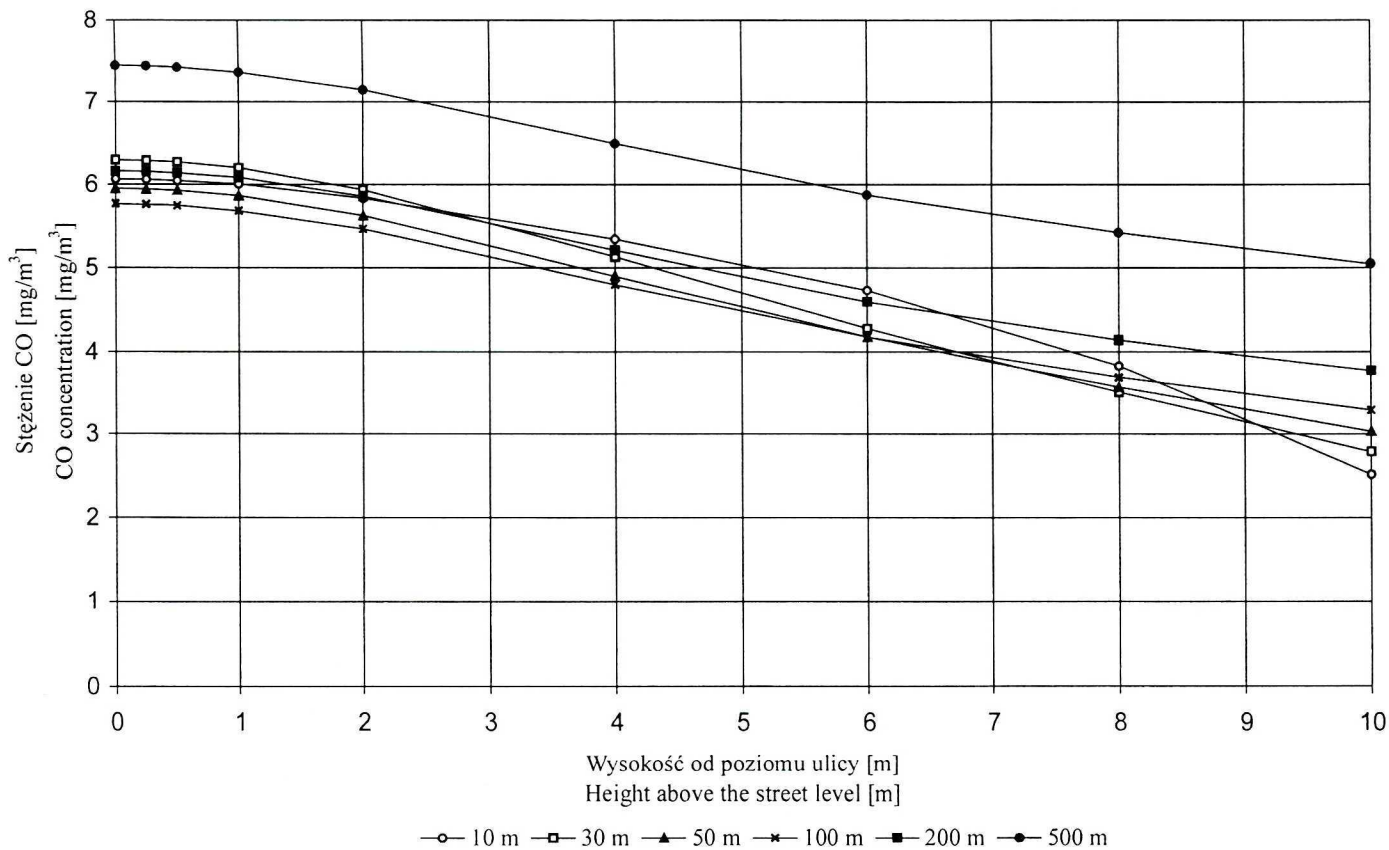
Na podstawie analizy wykresów sporządzonych na podstawie wyników obliczeń stwierdzono, że:

- stężenia zanieczyszczeń maleją wraz z wysokością (licząc od poziomu ulicy),
- dla małych wysokości ponad poziom ulicy (do 2 m) stężenia zanieczyszczeń zmieniają się w niewielkim zakresie, a ich wartość zależy głównie od odległości od skrzyżowania i klasy równowagi atmosfery,
- stężenia zanieczyszczeń pochodzące od pojazdów samochodowych (źródła liniowe) rosną wraz z odległością od skrzyżowania (zgodnie z kierunkiem wiatru),
- wpływ skrzyżowania (jego zasięg oddziaływania) zależy od prędkości wiatru i klasy równowagi atmosfery,
- do odległości około 40 m wpływ skrzyżowania jest dominujący – stężenia nie zależą od klasy równowagi atmosfery,
- wraz ze stabilizacją stanu atmosfery maleje zasięg oddziaływania skrzyżowania na wartość stężenia zanieczyszczeń (największy dla silnie chwiejnego stanu równowagi atmosfery – k.r. = 1, najmniejszy dla stałego stanu równowagi atmosfery – k.r. = 6),
- dla danej prędkości wiatru, wartości stężenia zanieczyszczeń zależą od stanu równowagi atmosfery i są najwyższe dla równowagi stałej,
- wartości stężenia zanieczyszczeń (poza strefą oddziaływania skrzyżowania) maleją dla danej odległości od skrzyżowania wraz ze wzrostem prędkości wiatru,
- emisja pochodząca od innych źródeł punktowych (tło zanieczyszczenia na górnej powierzchni) ma niewielki wpływ na zmiany stężenia zanieczyszczenia do wysokości 2 m nad poziom ulicy.

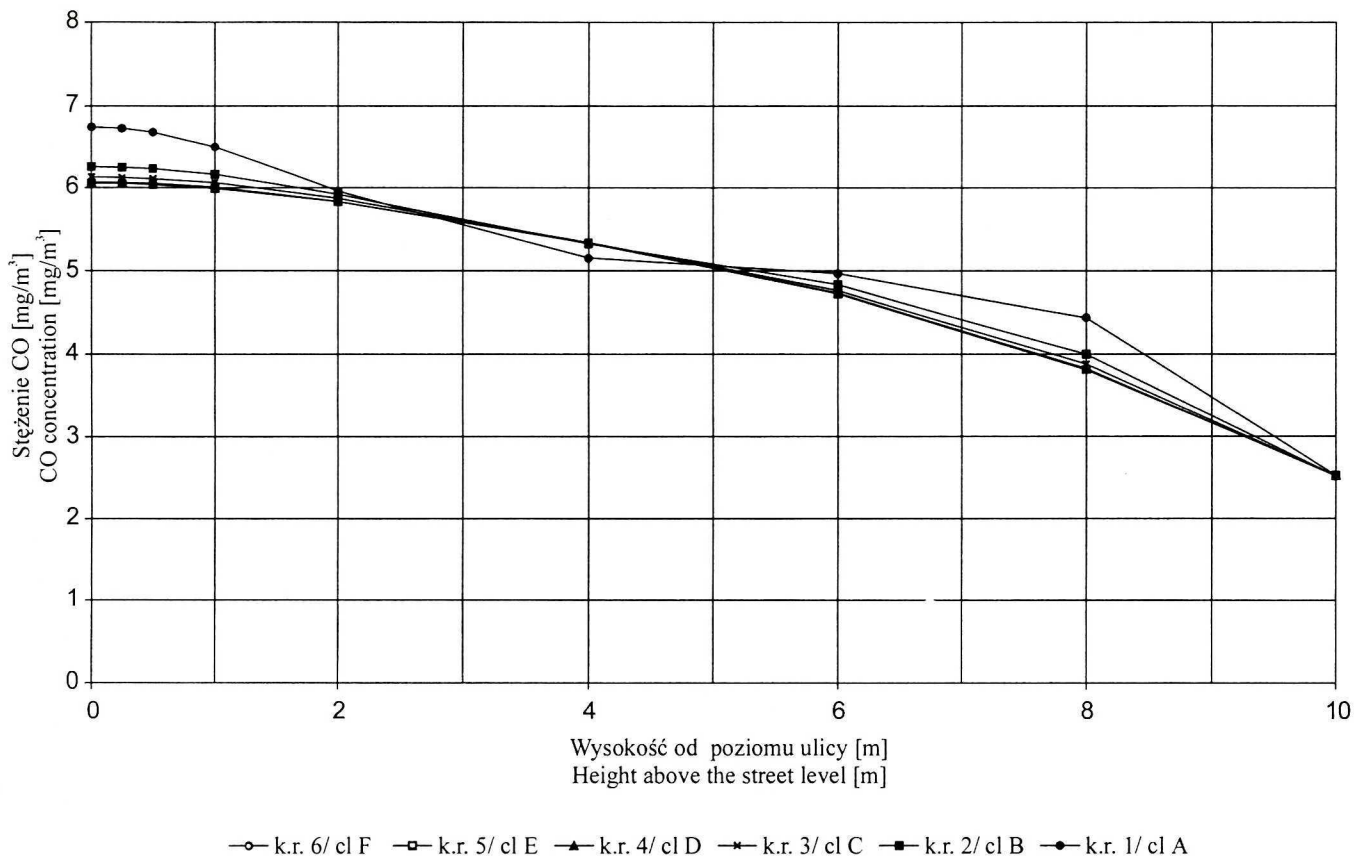


Rys. 1. Stężenie CO po wysokości dla różnych odległości od skrzyżowania i 2 klasy równowagi atmosfery  
CO concentration vs. height for various distances from the streets crossing. Dispersion class B

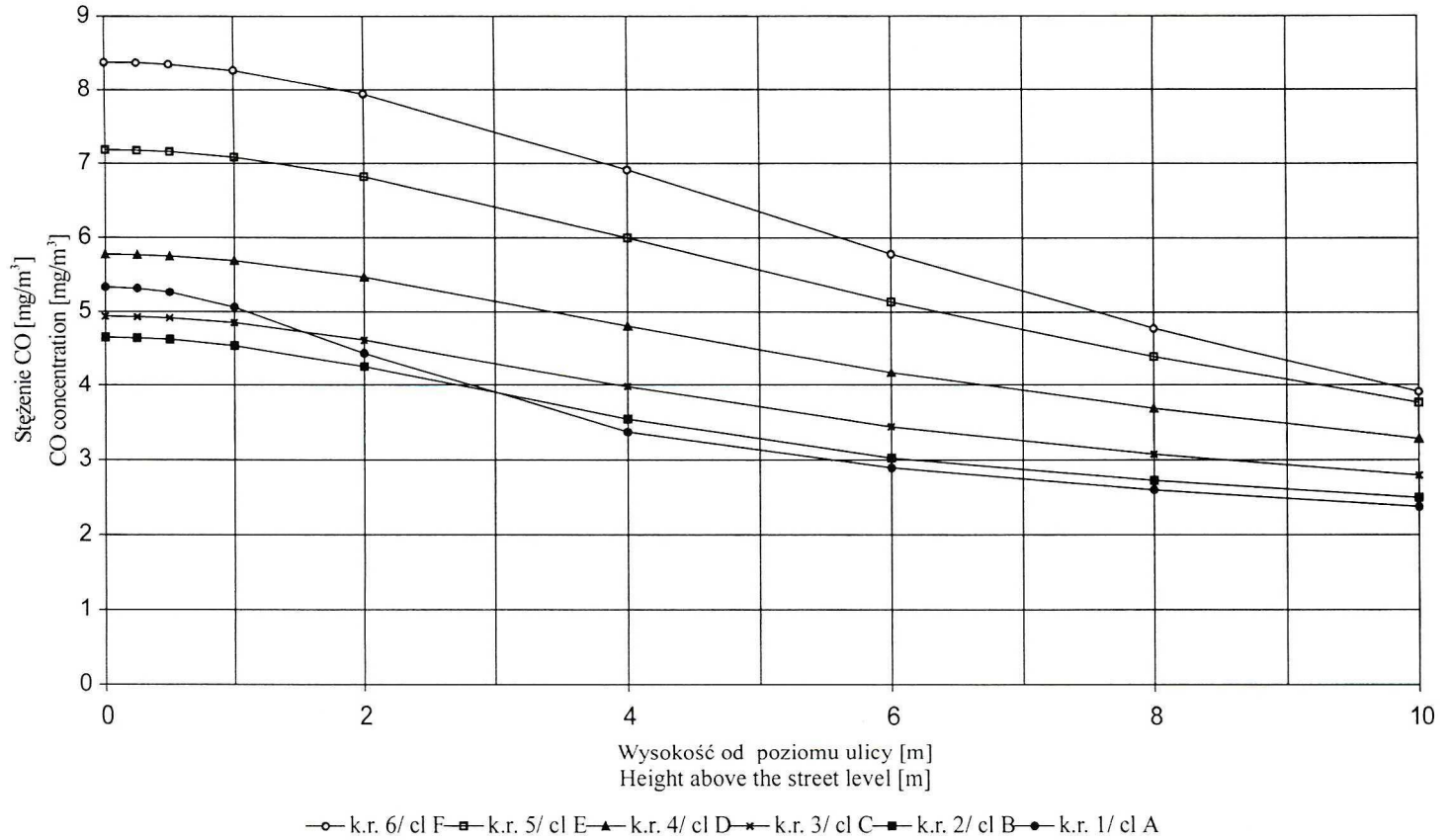




Rys. 2. Stężenie CO po wysokości dla różnych odległości od skrzyżowania i 4 klasy równowagi atmosfery  
 CO concentration vs. height for various distances from the streets crossing. Dispersion class D

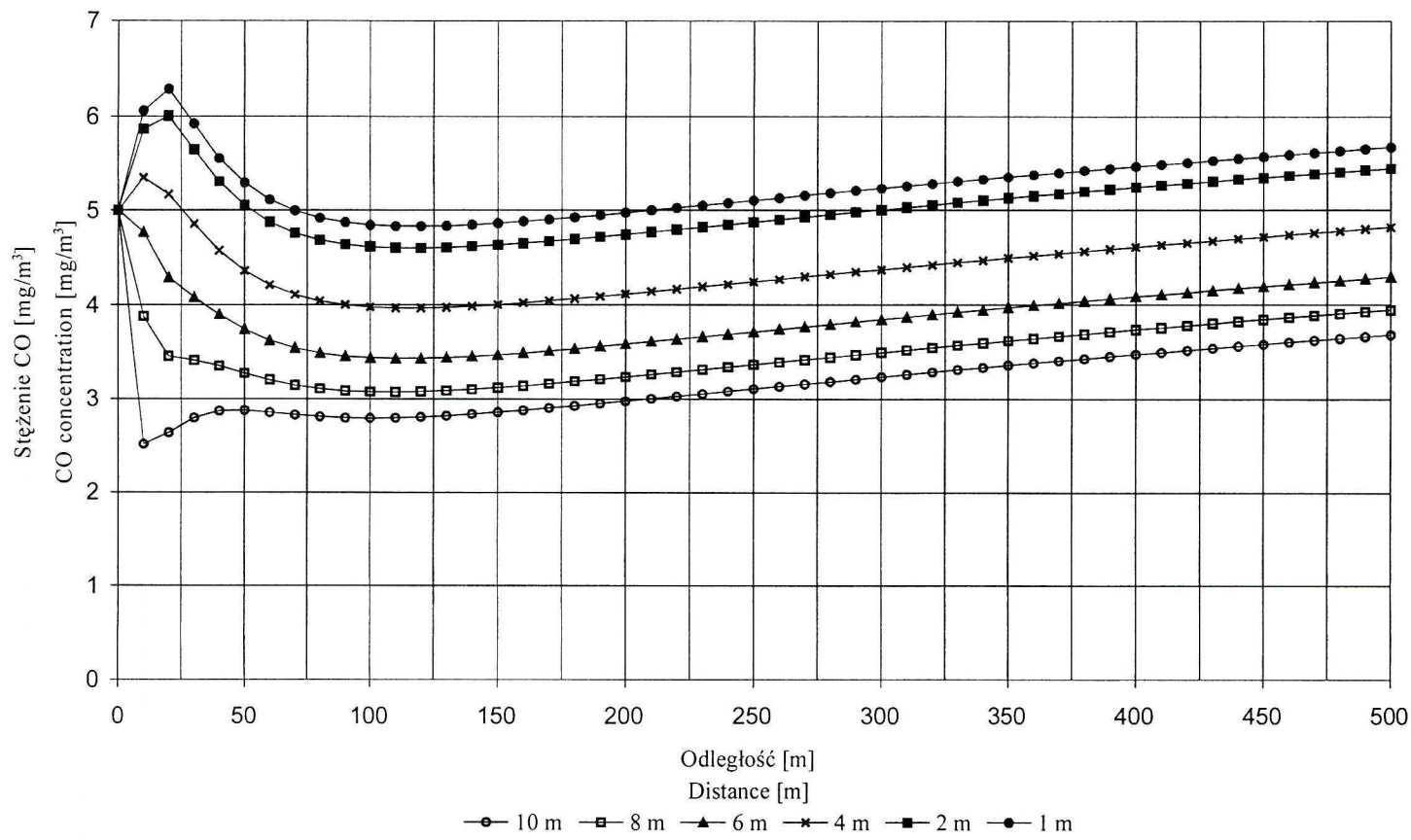


Rys. 3. Stężenie CO po wysokości ulicy dla różnych klas równowagi atmosfery w odległości 10 m od skrzyżowania  
CO concentration at the distance of 10 m from the streets crossing vs. height for various dispersion classes (dc)

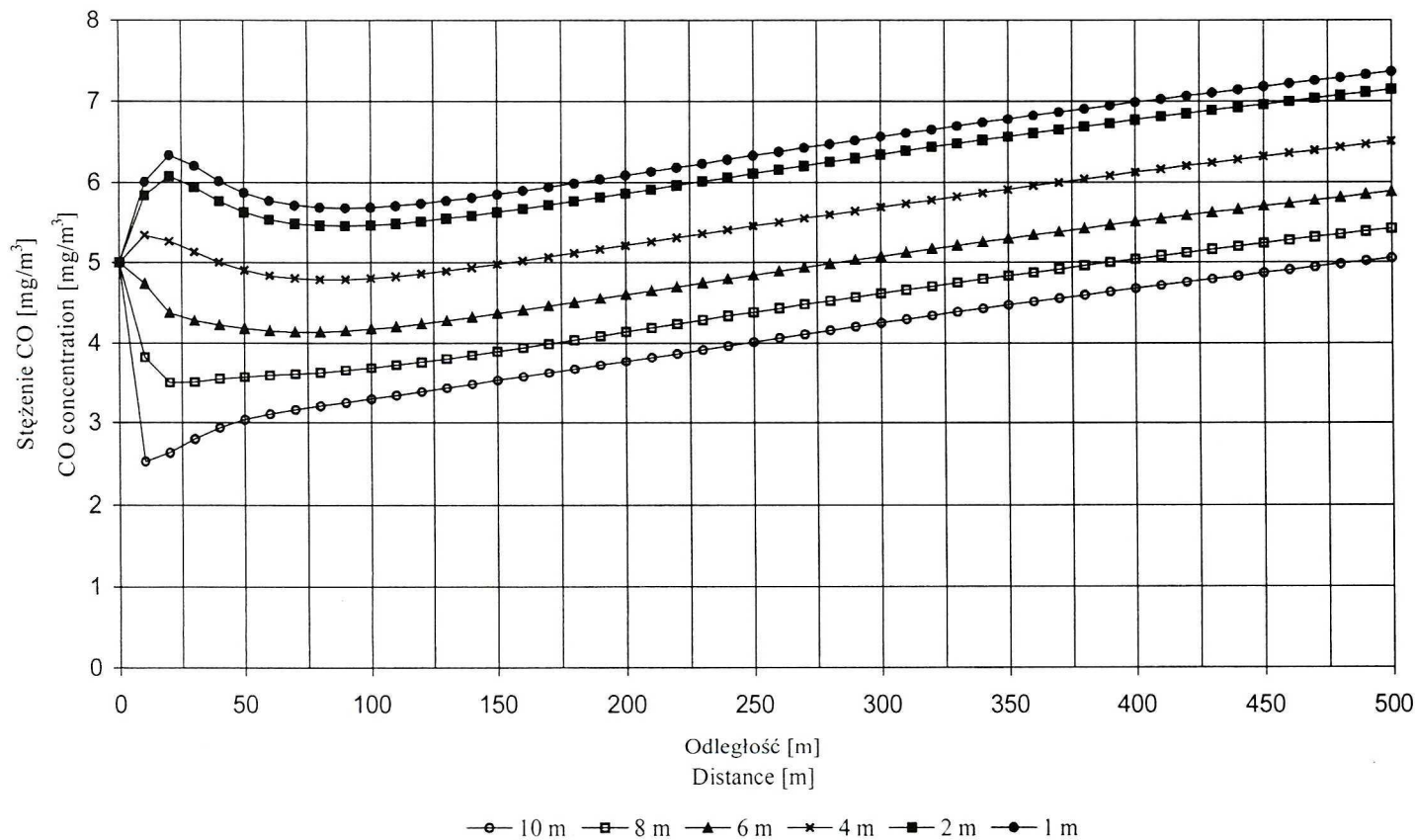


Rys. 4. Stężenie CO po wysokości ulicy dla różnych klas równowagi atmosfery w odległości 100 m od skrzyżowania  
 CO concentration at the distance of 100 m from the streets crossing vs. height for various dispersion classes (dc)

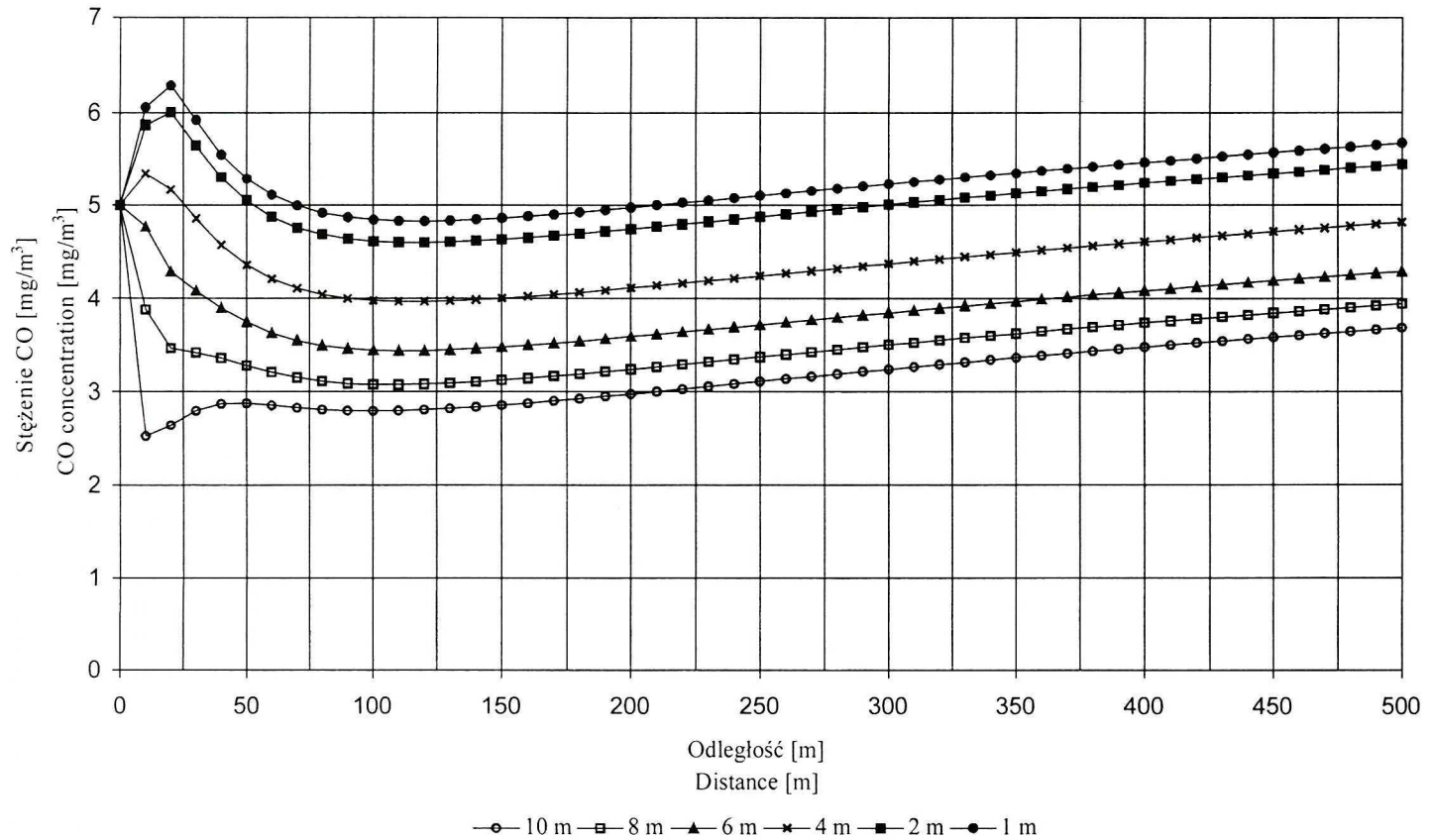




Rys. 5. Stężenie CO na różnych wysokościach wzdłuż długości ulicy dla 2 klasy równowagi atmosfery  
 CO concentration vs. distance from the streets crossing for various heights. Dispersion class B

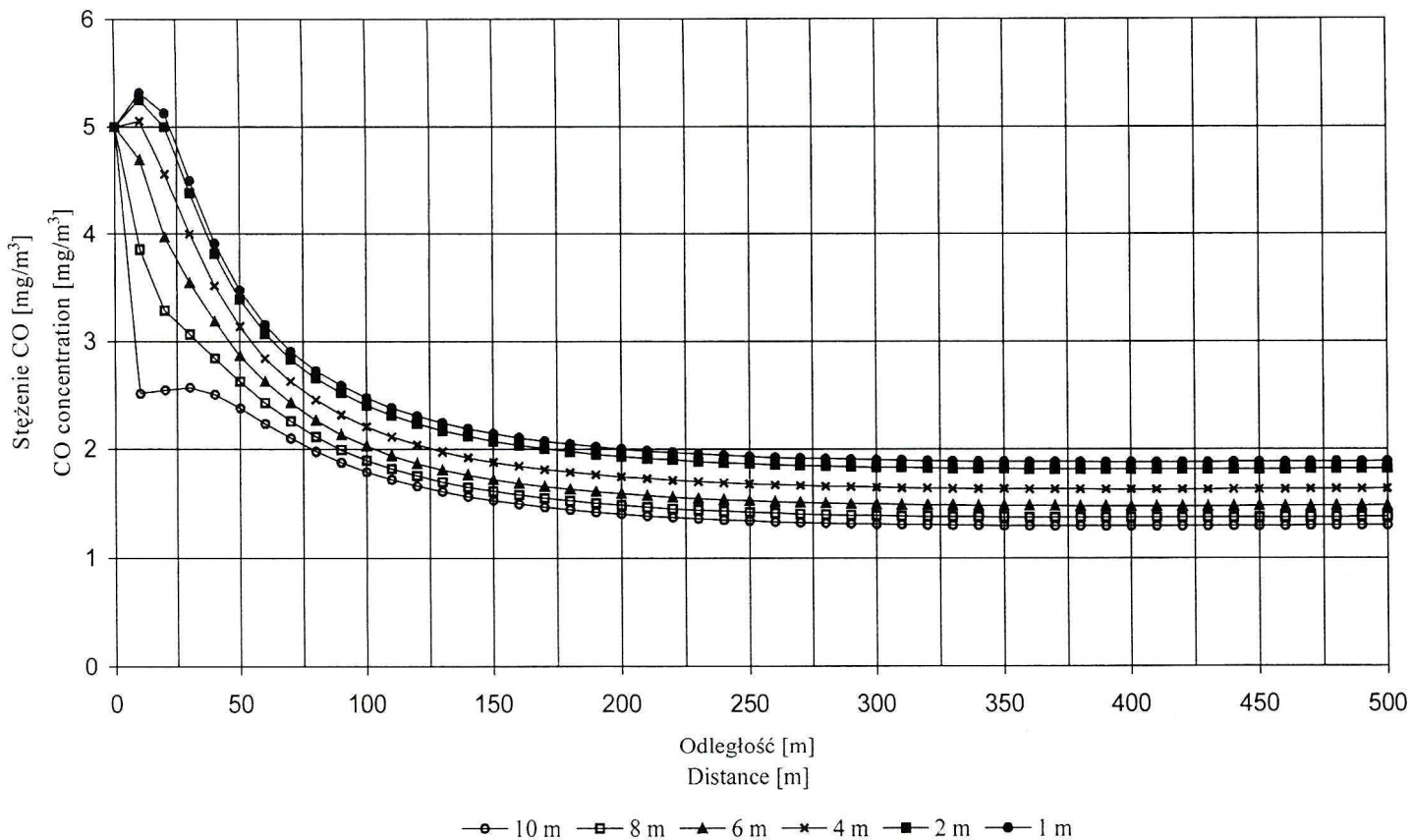


Rys. 6. Stężenie CO na różnych wysokościach wzdłuż długości ulicy dla 4 klasy równowagi atmosfery  
 CO concentration vs. distance from the streets crossing for various heights. Dispersion class D



Rys. 7. Stężenia CO na różnych wysokościach wzdłuż długości ulicy dla 3 klasy równowagi atmosfery. Prędkość wiatru 1 m/s  
 CO concentration vs. distance from the streets crossing for various heights. Dispersion class C. Wind velocity 1 m/s





Rys. 8. Stężenia CO na różnych wysokościach wzdłuż długości ulicy dla 3 klasy równowagi atmosfery. Prędkość wiatru 4 m/s  
 CO concentration vs. distance from the streets crossing for various heights. Dispersion class C. Wind velocity 4 m/s

## PODSUMOWANIE

Przedstawiono model numeryczny, pozwalający na obliczanie rozprzestrzeniania w obszarze zabudowanym zanieczyszczeń pochodzących z procesów spalania paliw przez pojazdy samochodowe i z emisji niskiej. Umożliwia on, obliczanie rozkładu stężeń zanieczyszczeń gazowych i pyłowych wzdłuż ulic w mieście i na obszarze zabudowanym z uwzględnieniem warunków rozprzestrzeniania takich jak prędkość wiatru i geometria ulicy, oraz tło zanieczyszczeń powodowanego przez samochody oraz emitory zewnętrzne.

Wykonano obliczenia dla przykładowych danych, obejmujących zbliżone do rzeczywistych warunki meteorologiczne i natężenie ruchu pojazdów. Wyniki przedstawiono w postaci wykresów. Wartości stężeń zanieczyszczeń pokazane na wykresach są zgodne z oczekiwaniami i z danymi literaturowymi, a ich przebieg wzdłuż długości i wysokości ulicy jest logiczny.

## LITERATURA

- [1] Cupiałk., A. Dużyński, M. Gruc a: *Program do obliczeń rozkładu zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego wywołanych ruchem samochodów*, Ekoinżynieria, 3–4 (1995).
- [2] Michalczyk J. K., K. Murawski: *Numeryczne modelowanie emisji ciągłej zanieczyszczeń powietrza*, Ochrona powietrza i problemy odpadów, 6 (1999).
- [3] *Ocena oddziaływania na środowisko zmodernizowanego kotła P-125/12*, Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej, Gliwice 1997.
- [4] Paterkowski W., A. Wolnowska, J. Strascko: *Ocena wybranych modeli rozprzestrzeniania zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym*, Ochrona powietrza i problemy odpadów, 2 (1997).
- [5] *Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 17.04.1987 w sprawie dopuszczalnych do wprowadzania do powietrza atmosferycznego rodzajów i ilości substancji zanieczyszczających, wytwarzanych przez silniki spalinowe* (Dz.U. Nr 14, poz. 87).
- [6] *Rozporządzenie MOŚZNiL z dnia 3.09.1998 w sprawie metod obliczania stanu zanieczyszczenia powietrza dla źródeł istniejących i projektowanych* (Dz.U. Nr 122, poz. 805).
- [7] *Sprawozdanie z realizacji projektu 8 T10B 061 11*, Gliwice 2000.
- [8] Z anetti P.: *Air Pollution Modelling*, Van Nostrand Reinold, New York 1990.
- [9] Ż ak M., J. K onie c z y Ń s k i: *Poziom stężenie monocyklicznych węglowodorów aromatycznych w powietrzu atmosferycznym w sąsiedztwie szlaków komunikacyjnych Gliwic*, Ochrona powietrza i problemy odpadów, 5 (1999).

Wpłynęło: 4 października 2001, zaakceptowano do druku: 10 stycznia 2001.