

Maciej Gliniak<sup>1</sup>, Zbigniew Zuśka<sup>2</sup>, Janusz Miczyński<sup>3</sup>  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

## Ocena poziomu pyłowego zanieczyszczenia powietrza w aglomeracji krakowskiej na przykładzie Al. A. Mickiewicza

### Wprowadzenie

Pył jest to mieszanina cząstek stałych oraz ciekłych zawieszonych w powietrzu, składających się z substancji nieorganicznych i organicznych. Ziarna pyłu najczęściej nie przekraczają średnicy 300  $\mu\text{m}$ . Pyły o średnicy cząstek poniżej 50  $\mu\text{m}$  są nazywane cząstkami aerozolowymi, które w polu ciężkości opadają pod wpływem własnego ciężaru i okresowo mogą znajdować się w powietrzu w stanie zawieszenia. W badaniach stopnia zapylenia powietrza najczęściej wyróżnia się dwie grupy cząstek – PM10 i PM2,5. Pył PM10 składa się z cząstek, których średnica jest mniejsza niż 10 mikrometrów, natomiast pył PM2,5 zawiera cząstki o średnicy mniejszej niż 2,5 mikrometra [4, 9].

Obecnie wyróżnia się dwa źródła powstawania pyłów: naturalne oraz antropogeniczne. Do źródeł naturalnych można zaliczyć pożary łąk i lasów, wybuchy wulkanów, erozję gleb i skał oraz trzęsienia ziemi. Pod względem chemicznym ta grupa zanieczyszczeń nie jest znaczącym problemem dla środowiska i ma charakter epizodyczny. Antropogeniczne źródła pochodzenia pyłów to głównie procesy technologiczne przemysłu cementowego, chemicznego, hutniczego i rafineryjnego, spalanie paliw stałych w zakładach energetycznych i paleniskach domowych, wydobywanie i przeróbka kopalin oraz transport. Ze względu na małe wymiary cząstek i ich niewielką masę, pyły pochodzenia antropogenicznego zajmują drugie miejsce wśród kluczowych trucizn w środowisku [4, 6, 8].

### Źródła zapylenia powietrza w aglomeracjach

Jedną z głównych przyczyn zagrożeń środowiska w aglomeracjach jest zanieczyszczenie powietrza pyłami zawieszonymi. Według Badyda [2] w Unii europejskiej, aż 17% pyłu PM10 i 15% pyłu PM2,5 pochodzi z transportu. W Polsce pierwsze badania dotyczące wpływu transportu na zdrowie człowieka przeprowadzono w latach 2005–06 w Warszawie. Wykazały one negatywny wpływ na osoby zamieszkałe w sąsiedztwie ruchliwych ulic. Zamieszkiwanie wzdłuż ciągu komunikacyjnego powodowało trzykrotny wzrost ryzyka wystąpienia zaburzeń przepływu powietrza przez oskrzela, co stanowi jeden z kluczowych symptomów przewlekłej obturacyjnej choroby płuc. Kontynuacja wspomnianych badań na obszarze aglomeracji Śląskiej, potwierdziła negatywny wpływ zapylenia powietrza na zdrowie człowieka [1, 2, 7].

Czynnikiem wpływającym na ilość i rodzaj zanieczyszczeń pyłowych powietrza w terenach zabudowanych, jest rodzaj opon stosowanych w pojazdach oraz stan nawierzchni dróg. Opony podczas toczenia ścierają się wraz z warstwą asfaltową, tworząc pył PM10 [5]. Emisja pyłu ze startych opon samochodowych w Wielkiej Brytanii w 1996 roku wyniosła  $5,3 \cdot 10^4$  Mg, natomiast w Japonii w 2001 roku  $2,1 \cdot 10^5$  Mg. W Niemczech szacuje się, iż jest to emisja wielkości  $55 \div 657 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  w zależności od typu drogi [11]. Według badań przeprowadzonych przez norweskich naukowców w 2003 roku, wzrost zanieczyszczenia powietrza pyłem PM10 najczęściej występuje w porze zimowej. Jest to efektem stosowania różnych substancji antypoślizgowych na drogach, opon zimowych konstruowanych z substancji bardziej podatnych na

<sup>1</sup> Maciej Gliniak, mgr inż., Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza, Polska, m.gliniak@ur.krakow.pl

<sup>2</sup> Zbigniew Zuśka, mgr inż., Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza, Polska, rmzуска@cyf-kr.edu.pl

<sup>3</sup> Janusz Miczyński, prof. dr hab. inż., Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza, Polska, rmmiczyn@cyf-kr.edu.pl

ścieranie w stosunku do opon letnich, oraz licznych konstrukcji zakładanych na opony (kołki, łańcuchy). Stosowane przyrządy antypoślizgowe na koła połączone wraz z nieodpowiednim rodzajem nawierzchni wpływa na bardzo dużą ścieralność warstwy asfaltowej [5].

W warunkach zwartej zabudowy mieszkaniowo-usługowej, największa ilość pyłów jest emitowana do środowiska w trakcie spalania węgla w przestarzałych kotłach oraz piecach domowych. Ważnym elementem jest także rodzaj oraz jakość spalanej paliwa, o niskiej wartości opałowej. Wysokie ceny rynkowe paliw stałych o wysokiej wartości opałowej powodują częste spalanie różnego rodzaju odpadów suchych (butelek, papierów, tetrapaków itp.). Spalanie paliw o złej jakości w paleniskach do tego nieprzystosowanych, powoduje emisję pyłów zawierających wiele szkodliwych substancji takich jak metale ciężkie, tlenki węgla i siarki oraz dioksyny [12].

Kraków należy do grupy miast europejskich, które charakteryzują się bardzo wysokimi stężeniami zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego. Jest to wynikiem niekorzystnego usytuowania Miasta w dolinie rzeki oraz miejscowych emisji zanieczyszczeń. Gęsta zabudowa oraz wysokie natężenie ruchu kołowego połączone z ograniczonym przewietrzaniem obszaru dodatkowo potęguje koncentrację pyłowych zanieczyszczeń powietrza. Główne zakłady emitujące zanieczyszczenia w Krakowie to Huta im. T. Sendzimira, Elektrociepłownia EDF „Łęg” i Krakowskie Zakłady Farmaceutyczne. Ze względu na dominujący napływ powietrza do Miasta od strony zachodniej, znaczne ilości zanieczyszczeń przenoszone są z terenów Górnego Śląska. Wspomniane niekorzystne warunki przyrodnicze powodują, że zanieczyszczenia powietrza są w dużym stopniu zatrzymywane i akumulowane na terenie Miasta [3].

### Metodyka badań

Do oceny poziomu zanieczyszczenia powietrza pyłem PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub> wybrano kanion uliczny w obrębie Alei Adama Mickiewicza w Krakowie, wchodzącej w skład drugiej obwodnicy Miasta. Obserwacje i pomiary natężenia ruchu samochodowego prowadzono w pobliżu budynku Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja przy Al. Mickiewicza 24/28. We wskazanym punkcie pomiarowym prowadzono obserwacje mające na celu zliczenie przejeżdżających przez Al. Mickiewicza pojazdów samochodowych. Dane zbierano w okresie marzec-lipiec 2013 roku, w różnych dniach tygodnia oraz porach roku, w godzinach południowych 12:00÷15:00 oraz nocnych 22:00÷1:00.

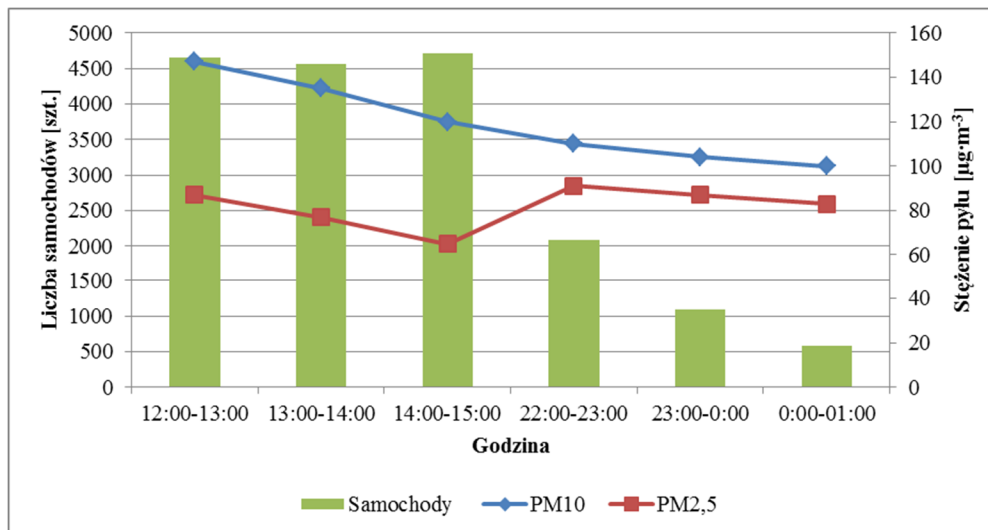
Dni do pomiarów natężenia ruchu wybierano na podstawie prognozy pogody sprzyjającej koncentracji pyłu w powietrzu atmosferycznym. Zebrane wyniki miały na celu wykazanie związku pomiędzy liczbą samochodów przejeżdżających w badanych godzinach a stężeniem pyłu PM<sub>10</sub> oraz PM<sub>2,5</sub>. Stężenia pyłu PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub> zostały pozyskane ze stacji tła komunikacyjnego WIOŚ w Krakowie, zlokalizowanej w pasie zieleni w ciągu Alei Krasińskiego.

Do oceny wpływu ilości przejeżdżających pojazdów na stopień zapylenia powietrza wykorzystano korelacje liniową Pearsona.

### Wyniki badań i dyskusja

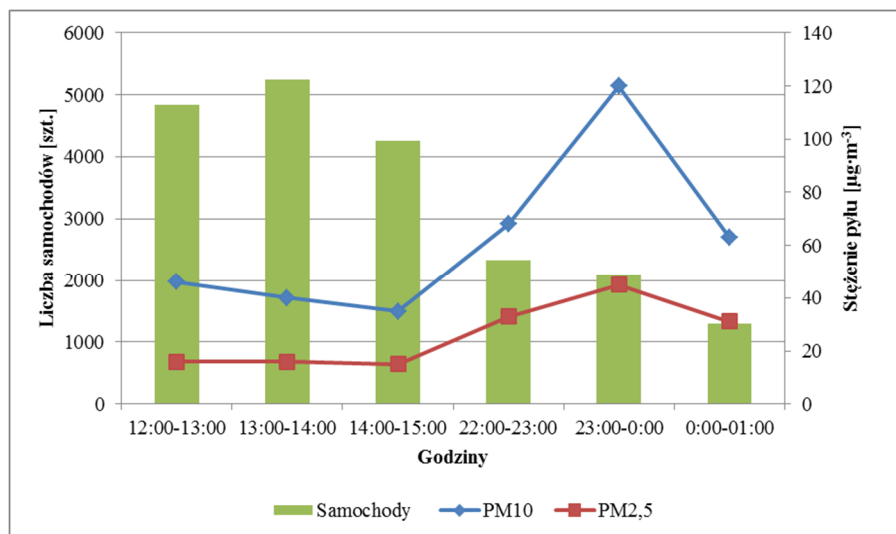
Ze względu na dużą liczbę wykonanych pomiarów i obliczeń, w niniejszym artykule przedstawiono cztery charakterystyczne dni pomiarowe. Dni te zostały wybrane z całego ciągu pomiarowego na podstawie analizy danych meteorologicznych, które przez kilka kolejnych dni wykazywały stałość odnotowanych obserwacji (głównie temperatury, wilgotności i wysokości opadów atmosferycznych), jednocześnie eliminując zmienność stężenia pyłu wywołaną lokalnymi ruchami mas powietrza.

W dniu 21.03.2013 roku wyniki badań wykazały współczynnik korelacji między stężeniem PM<sub>10</sub> a ilością przejeżdżających samochodów na poziomie 0,91, a w przypadku PM<sub>2,5</sub> -0,28. W godzinach 14:00÷15:00 zanotowano najwyższą ilość pojazdów – 4709, najmniejszą natomiast w godzinach 0:00÷1:00 – 581 [rys. 1]. Był to dzień odznaczający się największym zanieczyszczeniem powietrza w trakcie całej serii pomiarowej. W nocy średnie zanieczyszczenie powietrza pyłem PM<sub>10</sub> przekraczało 109  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a pyłem PM<sub>2,5</sub> 86  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Natomiast w dzień średnie wyniki dla stężeń pyłu PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub> kształtowały się na poziomie odpowiednio 149 i 91  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .



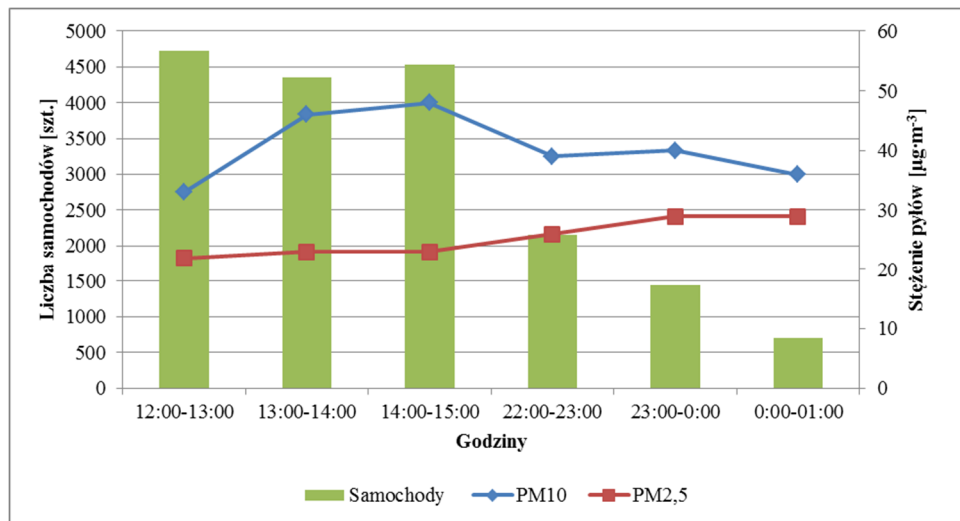
**Rys. 1.** Liczba przejeżdżających samochodów na tle stężenia pyłów PM10 i PM2,5 w dniu 21.03.2013r.  
*Źródło: opracowanie własne.*

Badania przeprowadzone 26.04.2013 roku wykazały wysoką, ujemną korelację między stężeniem pyłu PM10 a ilością przejeżdżających pojazdów (-0,67). W przypadku pyłu PM2,5 współczynnik korelacji dla liczby przejeżdżających samochodów wyniósł -0,84 (korelacja bardzo wysoka ujemna). W tym dniu ilość samochodów w porze nocnej była 2,5-rza mniejsza niż w dzień (rys. 2). Podczas nocnego pomiaru zanotowano najwyższe zanieczyszczenie pyłem PM10 wynoszące  $120 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ .



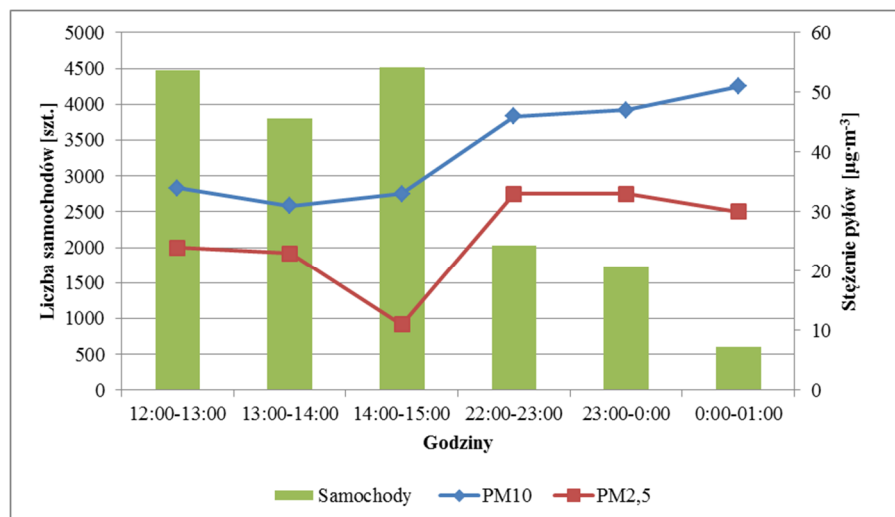
**Rys. 2.** Liczba przejeżdżających samochodów na tle stężenia pyłów PM10 i PM2,5 w dniu 26.04.2013r.  
*Źródło: opracowanie własne.*

W dniu 22.05.2013r. na podstawie przeprowadzonych obliczeń współczynnika korelacji pomiędzy zawartością pyłu PM10 a liczbą przejeżdżających samochodów odnotowano niską korelację (0,36). Współczynnik korelacji między stężeniem pyłu PM2,5 a liczbą przejeżdżających pojazdów był zupełny ujemny (-0,91). Średnia liczba przejeżdżających aut w ciągu jednej godziny w dzień wynosiła około 4,5 tysiąca, natomiast w nocy około 2 tysięcy (rys. 3).



**Rys. 3.** Liczba przejeżdżających samochodów na tle stężenia pyłów PM10 i PM2,5 w dniu 22.05.2013r.  
Źródło: opracowanie własne.

Badania przeprowadzone 20.07.2013 roku wykazały korelację zupełną ujemną między stężeniem pyłu PM<sub>10</sub> a ilością przejeżdżających samochodów (-0,91). W przypadku pyłu PM<sub>2,5</sub> współczynnik korelacji dla liczby odnotowanych pojazdów wynosił -0,79 (korelacja wysoka ujemna). Średnia liczba przejeżdżających pojazdów w godzinach 12:00÷15:00 wynosiła 4266, natomiast w godzinach 22:00÷1:00 tylko 1452 (rys. 4).



**Rys. 4.** Liczba przejeżdżających samochodów na tle stężenia pyłów PM10 i PM2,5 w dniu 20.07.2013r.  
Źródło: opracowanie własne.

Analiza powyższych wyników wykazała brak występowania zależności pomiędzy ilością pyłowych zanieczyszczeń powietrza w stosunku do ilości przejeżdżających samochodów. W 80% badanych przypadków korelacja była zupełna ujemna w stosunku do pyłu PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub>, natomiast pozostałe 20% wyników wykazywało korelację niską bądź wysoką. Współczynnik korelacji obliczony dla całego ciągu pomiarowego dla ilości przejeżdżających samochodów i stężenia PM<sub>10</sub> wynosił -0,05, natomiast dla pyłu PM<sub>2,5</sub> - 0,09. W obu przypadkach jest to korelacja słaba i bez związku. Badania wykazały również, że w ponad 83% badanych dni stężenie pyłu PM<sub>10</sub> oraz PM<sub>2,5</sub> współzależny od siebie, wykazując silnie dodatnie współczynniki korelacji.

### Podsumowanie

Przeprowadzona analiza wpływu natężenia ruchu w kanionie ulicznym na stężenie pyłowych zanieczyszczeń powietrza nie wykazała istotnych zależności, jednocześnie potwierdzając silną zależność pomiędzy zawartością pyłu PM<sub>10</sub> i PM<sub>2,5</sub> w powietrzu atmosferycznym. Wykonane badania wykazały także wzrost zapylenia powietrza w porze nocnej niezależnie od dnia tygodnia i pory roku. Podobne tendencje wykazały

pomiary stężenia pyłu w pozostałych stacjach pomiarowych WIOŚ zlokalizowanych na osiedlu Kurdwanów i w Nowej Hucie. W przypadku tych punktów referencyjnych, w analogicznych okresach, stwierdzono niższe koncentracje pyłu PM10 i PM2,5 w powietrzu atmosferycznym.

Uzyskane wyniki badań wskazują, na niski udział transportu w emisji pyłowych zanieczyszczeń powietrza. W związku z tym, prowadząc dalsze badania nad jakością powietrza w obrębie aglomeracji krakowskiej, należy uwzględnić wszystkie źródła emisji na jej obszarze, a także rozpatrzyć wpływ poszczególnych czynników meteorologicznych na stan zanieczyszczenia powietrza.

## Streszczenie

W związku z występowaniem zanieczyszczeń powietrza na terenie Krakowa podjęto próbę znalezienia związku pomiędzy ilością przejeżdżających samochodów a stężeniem w powietrzu pyłu PM10 i PM2,5. Pył jest to mieszanina cząstek stałych oraz ciekłych zawieszonych w powietrzu, będących mieszaniną substancji nieorganicznych oraz organicznych. Pył PM10 składa się z cząstek, których średnica jest mniejsza niż 10 mikrometrów, natomiast PM2,5 zawiera cząstki o średnicy mniejszej niż 2,5 mikrometra. Siłę związków analizowano na podstawie współczynników korelacji Pearsona. Badania wykazały, że nasilenie ruchu samochodowego w 80% badanych dni nie miało wpływu na wielkość stężenia pyłów PM10 oraz PM2,5. Badania wykazały większe stężenia zanieczyszczeń pyłów: latem – nocą, natomiast zimą – w dzień. Na wielkość stężenia pyłów nie miał wpływu dzień tygodnia prowadzonych badań. Badania wykazały, że w ponad 83% badanych dni pył PM10 oraz PM2,5 współzależny od siebie.

**Słowa kluczowe:** Emisja, PM10, PM2,5, liczba pojazdów, Kraków

## EVALUATION OF DUST POLLUTION LEVEL IN KRAKÓW AGGLOMERATION ON THE EXAMPLE OF AL. A. MICKIEWICZA

### Abstract

In connection with the occurrence of air pollution in Krakow attempt to find a relationship between the number of cars passing of the concentration in the air of PM10 and PM2,5. The dust is a mixture of solids and liquids suspended in the air of a mixture of inorganic and organic substances. PM10 consists of particles whose diameter is less than 10 micrometers and the PM2,5 comprises particles having a diameter less than 2,5 micron. The potency of the compounds was analyzed on the basis of correlation coefficients. Studies have shown that the severity of traffic in 80% of the respondents days did not affect the size of the concentration of PM10 and PM2,5. Studies have shown higher concentrations of dust pollution in summer – at night, while in the winter – in a day. The size dust concentrations were not affected weekday research. Studies have shown that over 83% of the respondents days PM10 and PM2,5 correlates of each other.

**Keywords:** Emission, car traffic, PM10, PM2,5, Krakow

### Literatura

- [1] Badyda A.J.: *Wpływ ruchu drogowego na poziom zanieczyszczeń powietrza oraz ryzyko chorób układu oddechowego. Cz. I – opis zależności poziomów zanieczyszczeń od natężenia ruchu i innych wybranych parametrów z wykorzystaniem modeli statystycznych*. „Modelowanie Inżynierskie”, Vol. 37, Gliwice 2009, s. 11–18.
- [2] Badyda A.J.: *Zagrożenia środowiskowe ze strony transportu*. „Nauka”, 4/2010, s. 115–125

- [3] Fuksa D., Cieszyńska E.: *Analiza i prognoza zanieczyszczeń powietrza na przykładzie aglomeracji miejskiej Krakowa*. Publikacja opracowana na ramach pracy statutowanej AGH nr. 11.11.100.275, Kraków.
- [4] Janka M. J.: *Zanieczyszczenia pyłowe i gazowe*. Wydawnictwo PWN, 2014, s. 378.
- [5] Kupiainen K., Tervahattu H., Raisanen M.: *Experimental studies about the impact of traction sand on urban road dust composition*. "The Science of the Total Environment", 308, s. 175–184.
- [6] Majewski G.: *Zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym PM10 na Ursynowie i jego związek z warunkami meteorologicznymi*. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, 31(1), s. 210–222.
- [7] Pastuszka J. S., Grynkiewicz-Bylina B., Karwicz B.: *Współczynnik absorpcji aerozolu atmosferycznego w pobliżu ruchliwej drogi jako wskaźnik oddziaływania drogi na środowisko*. „Ochrona Powietrza i Problemy Opadów”, 38(5), s.161–166.
- [8] Rocznik statystyczny RP GUS 2012.
- [9] Wiąckowski S.: *Ekologia ogólna*. Oficyna Wydawnicza Banta 2008, Bydgoszcz-Kielce, s. 7.
- [10] Walczak B.: *Pyły drogowe jako potencjalne zagrożenie dla ekosystemów miejskich na przykładzie Zielonej Góry*. Zielona Góra 2008, s. 5–120.
- [11] Yongming H., Peixuan D., Junji C.: *Posmentier E. S. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China*. "The Science of the Total Environment", 355(1–3), s.176–186.
- [12] [www.malopolska.pl/Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza drobnym pyłem zawieszonym i wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi w okresie prenatalnym na zdrowie dziecka](http://www.malopolska.pl/Oddziaływanie_zanieczyszczeń_powietrza_drobnym_pyłem_zawieszonym_i_wielopierścieniowymi_węglowodorami_aromatycznymi_w_okresie_prenatalnym_na_zdrowie_dziecka), data dostępu 12.12.2013.