

## IDENTYFIKACJA ŹRÓDEŁ EMISJI PYŁÓW PM<sub>2,5</sub> W OBSZARZE TŁA MIEJSKIEGO WROCŁAWIA

Izabela SÓWKA\*, Anna ZWOŹDZIAK\*, Krystyna TRZEPLAK–NABAGLO\*\*,  
Maria SKRĘTOWICZ\*, Jerzy ZWOŹDZIAK\*

\*Zakład Ekologii, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska, Politechnika Wrocławska  
pl. Grunwaldzki 9, 50-37 Wrocław  
izabela.sowka@pwr.wroc.pl

\*\* Crocker Nuclear Laboratory, University of California, One Shields Avenue, Davis, CA  
95616

### STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów stężeń pyłu PM<sub>2,5</sub> na wybranym obszarze osiedla Biskupin. Badania przeprowadzono w okresie zimowym oraz wiosennym 2009 r. W pyłe oznaczano stężenia 22 pierwiastków, celem wskazania ich źródeł pochodzenia. Na podstawie zmienności składu pierwiastkowego aerozolu atmosferycznego, przy wykorzystaniu analizy składowych głównych PCA (Principal Component Analysis) oraz wielokrotnej regresji liniowej MLRA (Multiple Linear Regression Analysis) zidentyfikowano cztery główne źródła pochodzenia zanieczyszczeń pyłowych w obszarze tła miejskiego, tj: procesy spalania paliw stałych (54%), procesy spalania paliw płynnych (4%), pył mineralny (17%) oraz procesy przemysłowe (10%).

#### 1. Wprowadzenie

Prowadzone na świecie badania epidemiologiczne wykazały, że zwiększona zachorowalność i umieralność może być efektem występowania w atmosferze stężenia pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub> o koncentracji nawet poniżej 100 µg/m<sup>3</sup> [1-10]. Ostatnie doniesienia wykazały związek ekspozycji na pył zawieszony ze wzrostem częstości zachorowań na choroby układu oddechowego, zwłaszcza zapaleń oskrzeli oraz obniżenie parametrów funkcji płuc. Taki efekt był obserwowany przy średniej rocznej koncentracji pyłu zawieszonego poniżej 20 µg/m<sup>3</sup> (PM<sub>2,5</sub>) lub 30 µg/m<sup>3</sup> PM<sub>10</sub>.

Głównym źródłem emisji pyłów mogą być ruch uliczny, procesy spalania oraz procesy przemysłowe. Ze względu na negatywne oddziaływanie pyłu na zdrowie istotnym jest zatem wskazanie i określenie udziału wskazanych źródeł emisji na wybranym obszarze miasta, co może stać się podstawą do opracowania strategii redukcji emisji pyłu np. poprzez reorganizację ruchu samochodowego.

Celem pracy było określenie udziału lokalnej źródeł emisji liniowej oraz niezorganizowanej w emisji pyłu zawieszonego na przykładzie miasta Wrocławia.

#### 2. Metodyka badań

Poboru dobowych prób pyłu PM<sub>2,5</sub> dokonano w sezonie zimowo-wiosennym 2009 r. w obszarze tła miejskiego. Stanowisko pomiarowe zostało zlokalizowane we Wrocławiu na terenie ogródka meteorologicznego Zakładu i Obserwatorium Meteorologii i Klimatologii Instytutu Geografii i Rozwoju Regionalnego Uniwersytetu Wrocławskiego. Jest to południowo-wschodnia część dzielnicy śródmiejskiej z dużą ilością zieleni. Otoczenie lokalizacji punktu pomiarowego stanowi obszar o zróżnicowanej charakterystyce, obejmuje

tereny ogródków działkowych, parków, zabudowy wysokiej (bloki powojenne) i zabudowy niskiej (wille, budynki o zabudowie szeregowej).

Do poboru frakcji PM<sub>2,5</sub> wykorzystano impaktor, który od kilkunastu lat jest stosowany w Stanach Zjednoczonych w Międzystanowym Programie Monitoringu Widzialności w Atmosferze IMPROVE (*Interagency Monitoring of protected Visual Environment*). Pył zbierano na filtrach teflonowych (Whatman, 2 µm PTFE 46,2 mm, przepływ powietrza 22,8 dm<sup>3</sup>/min). Analiza składu pierwiastkowego została wykonana przy zastosowaniu techniki fluorescencji rentgenowskiej XRF, PIXE (*Proton Induced X-Ray Energy*) oraz PESA (*Proton Elastic Scattering Analysis*). PESA znajduje zastosowanie w badaniach stężeń wodoru w próbce. Analizowano łącznie stężenia 22 pierwiastków (H, S, Cl, K, Ca, Ti, Fe, Mn, Cr, V, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Sr, Br, Rb, Sr, Na, Al, I i Si).

W pierwszej kolejności zidentyfikowano profile źródeł emisji pyłów PM<sub>2,5</sub> stosując analizę składowych głównych PCA, a następnie wykorzystując wielokrotną regresję liniową MLRA określono udziały poszczególnych źródeł emisji w kolejnych dniach pomiarowych. Wszystkie obliczenia przeprowadzono z użyciem pakietu STATISTICA zgodnie z procedurą zaproponowaną przez [11, 12].

### 3. Wyniki badań

W tabeli 1 zestawiono podstawowe statystyki opisowe dla stężeń pyłu PM<sub>2,5</sub> zmierzonych w stacji tła miejskiego.

Tabela 1. Podstawowe statystyki opisowe obliczone dla stężeń pyłu PM<sub>2,5</sub> [µg/m<sup>3</sup>] zmierzonych we Wrocławiu, w stacji tła miejskiego

	PM 2,5 (19.01-6.02)	PM 2,5 (2.03-29.03)	PM 2,5 (6.04-27.04)
Minimum	18,3	12,2	12,2
Maksimum	100,5	85,3	51,8
Średnia	50,3	31,8	23,8
Odchylenie standardowe	23,8	18,2	12,0

Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że zmierzone stężenia pyłu PM<sub>2,5</sub> były wysokie, zwłaszcza w styczniu/lutym. Według stanowiska Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) obecność pyłów w atmosferze jest szkodliwa przy każdym stężeniu, niemniej jednak średnie dobowe stężenia pyłów PM<sub>2,5</sub> powinny być niższe niż 25 µg/m<sup>3</sup>. Jak wynika z danych w tabeli 1, w okresie styczeń-luty kształtowały się one na poziomie 50 µg/m<sup>3</sup>, czyli dwukrotnie przekraczały poziomy zalecane przez WHO. W całym okresie badań stężenia PM<sub>2,5</sub> najczęściej występowały w przedziale od 20 do 40 µg/m<sup>3</sup> (ponad 60% wszystkich obserwacji). Stężenia z przedziału od 100 do 120 µg/m<sup>3</sup> stanowiły około 4,5% zmierzonych koncentracji PM<sub>2,5</sub> (rys. 1).

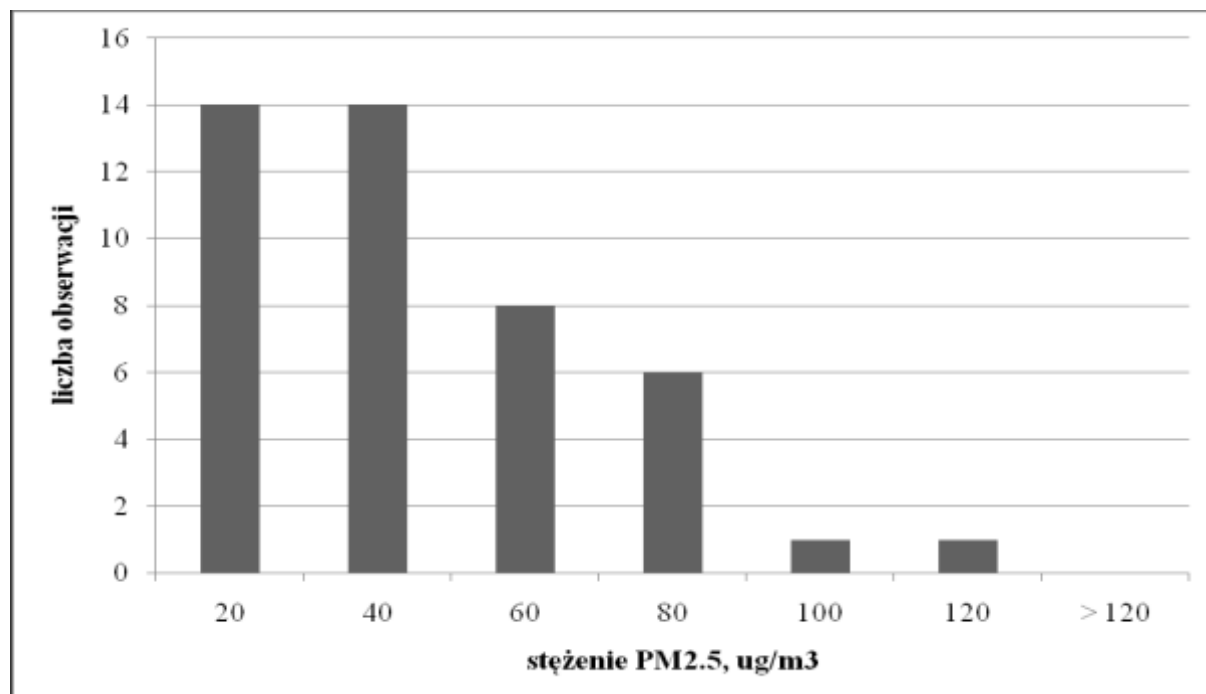
Na podstawie analizy składowych głównych (PCA), zastosowanej do wyników stężeń wszystkich oznaczanych pierwiastków, można było zidentyfikować cztery główne źródła (tabela 2), oddziałujące na poziom stężeń PM<sub>2,5</sub> w atmosferze: procesy spalania paliw stałych, procesy spalania paliw płynnych, gleba/materiał mineralny; As/Pb źródła emisji. Te cztery źródła wyczerpywały 84% całkowitej wariancji w PCA. Pierwszy czynnik skupiał następujące pierwiastki; H, S, Cl, K, Mg, Ca, Cu, Zn, Br, Pb. Wodór pochodził głównie z substancji organicznych oraz ewentualnie siarczanu amonu (woda odparowuje podczas analizy). Pozostałe pierwiastki są związane z procesami spalania, głównie węgla lub drewna

(K, Mg). Wanad i nikiel są pierwiastkami charakterystycznymi dla procesów spalania oleju, natomiast glin i krzem (czynnik 3) są związane z materiałem mineralnym lub pyłem drogowym. Wyraźnie wyodrębnione zostało źródło emitujące arsen i ołów oraz skorelowane z nimi chrom i mangan (czynnik 4). Na obecnym etapie badań nie zidentyfikowano procesu przemysłowego, odpowiedzialnego za pochodzenie tych pierwiastków.

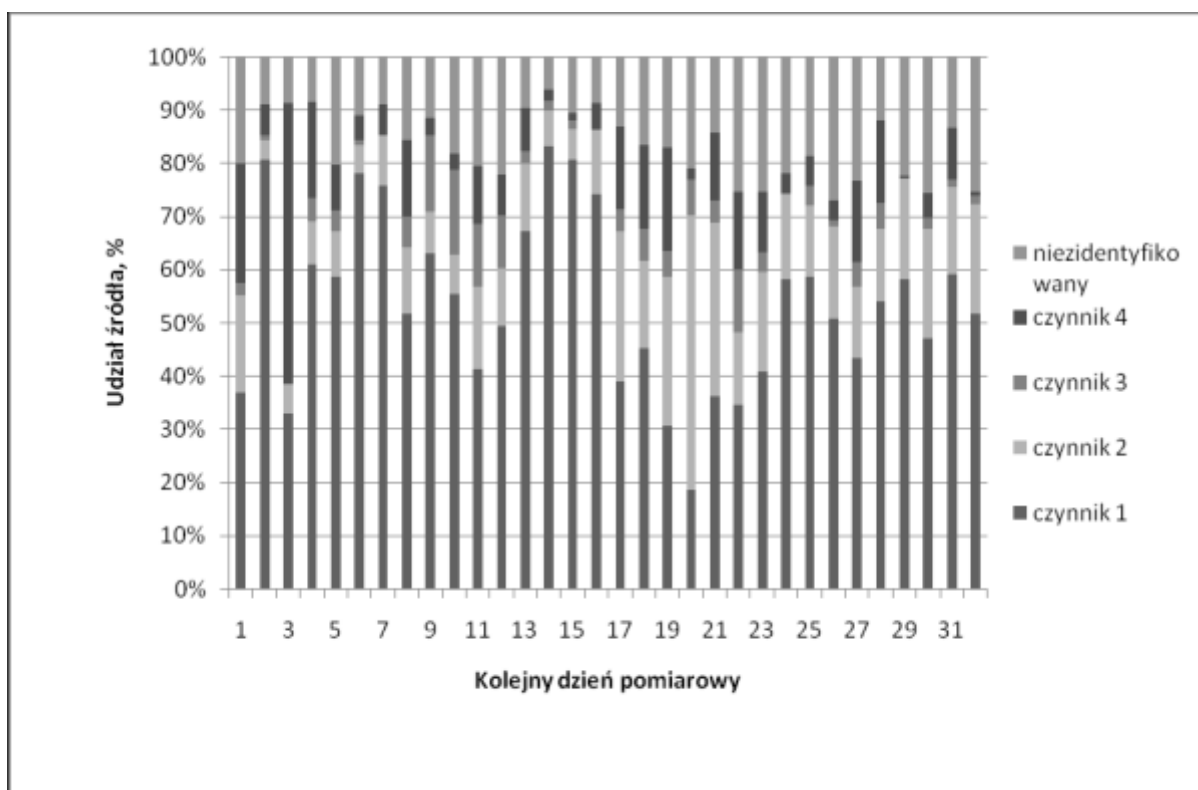
Tabela 2. Dane statystyczne uzyskane z obliczeń analizy składowych głównych

	Beta	Odch.stand. (Beta)	B	Odch.stand. (B)	t(26)	poziom-p
Niezidentyfikowany			5,808	9,377	0,619	0,541
Czynnik 1	0,746	0,118	17,290	2,745	6,299	0,000
Czynnik 2	0,135	0,118	3,189	2,789	1,143	0,263
Czynnik 3	0,067	0,119	1,605	2,838	0,566	0,576
Czynnik 4	0,273	0,118	6,546	2,837	2,307	0,029
Czynnik 5	-0,005	0,118	-0,126	3,098	-0,041	0,968

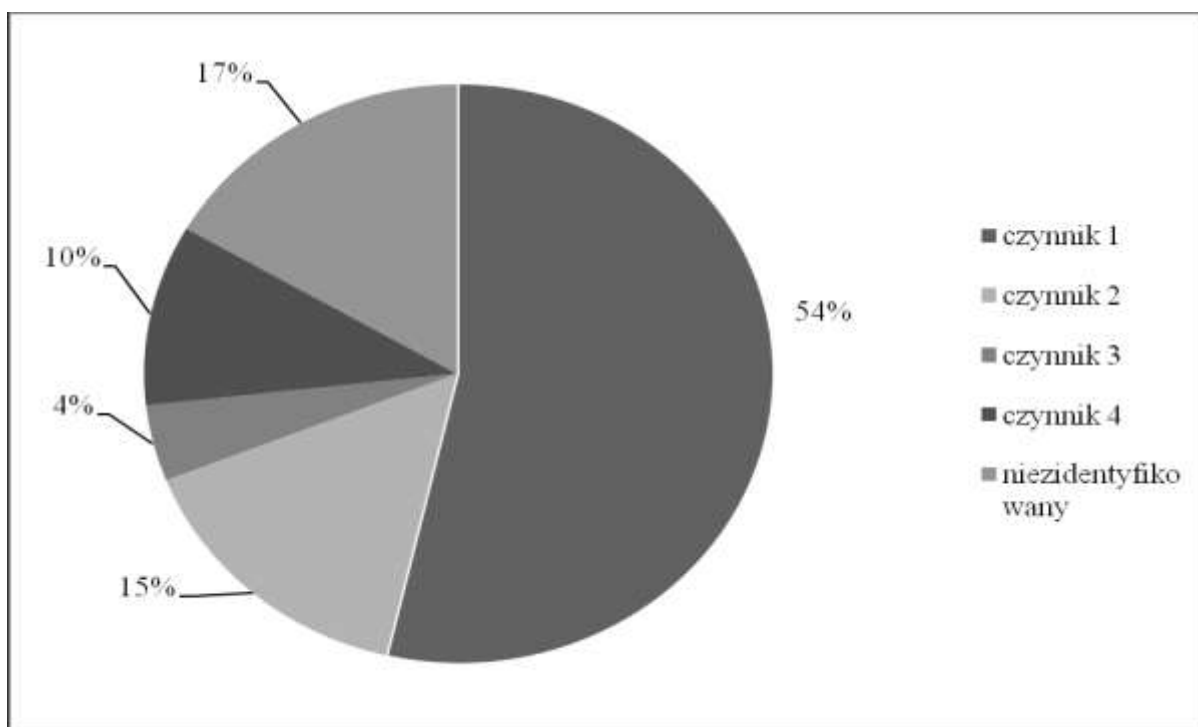
Wyniki analizy MLRA (dla zmodyfikowanych ocen składowych głównych (*PC scores*) dla poszczególnych dni oraz uśrednione dla całego okresu pomiarowego zestawiono na rys. 2 i 3. Największy udział w pyłe PM<sub>2,5</sub> mają procesy spalania z lokalnych źródeł stacjonarnych, średnio w okresie badań ponad 50%. W niektórych dniach udział ten wzrastał do 82%. Drugim istotnym składnikiem jest pył mineralny (17%, ale wzrastał do 50%). Udział procesu przemysłowego kształtował się średnio na poziomie 10%, ale w niektórych dniach wzrastał do 50%.



Rys.1. Histogram 24-godzinnych stężeń pyłu PM<sub>2,5</sub> zmierzonych w okresie od 19.01.2009 do 27.04. 2009 w stacji tła miejskiego

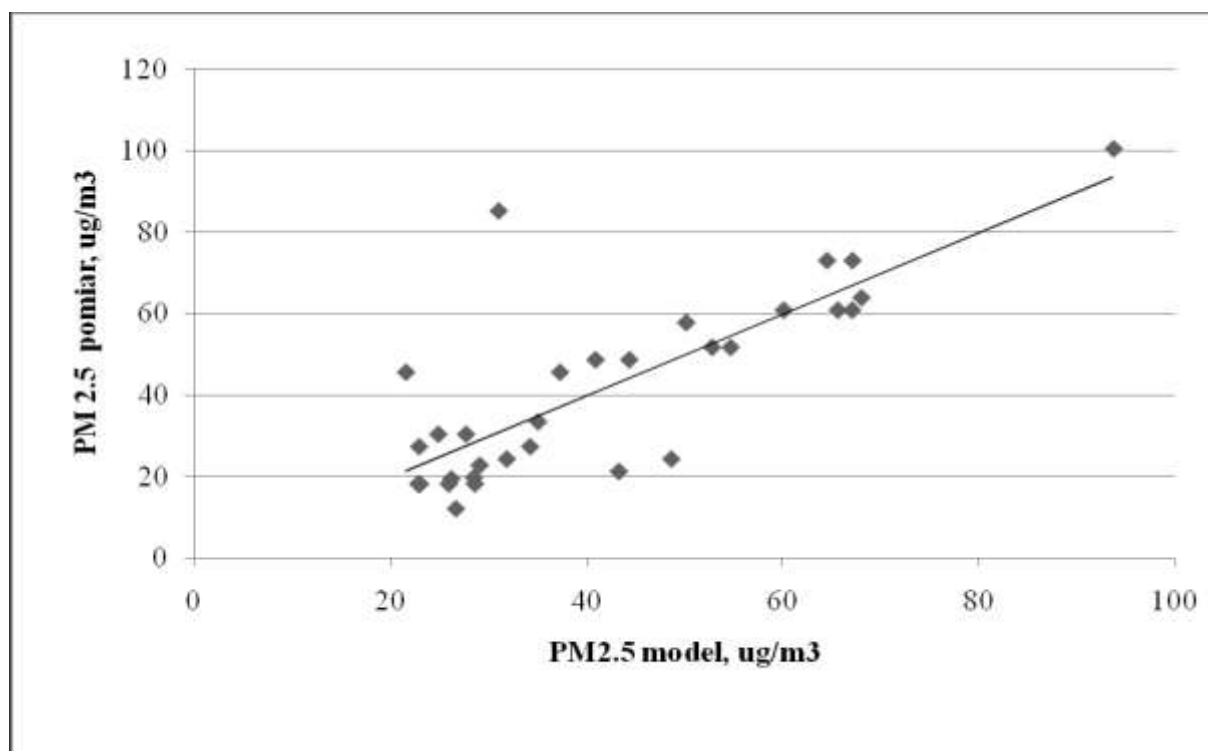


Rys. 2. Udział poszczególnych źródeł PM<sub>2,5</sub> wyznaczony dla poszczególnych dni pomiarowych



Rys. 3. Udział poszczególnych źródeł PM<sub>2,5</sub> wyznaczony dla całego okresu pomiarowego

Na rys. 4 porównano wyniki stężeń pyłu PM<sub>2,5</sub> w kolejnych dniach pomiarowych z obliczonymi, na podstawie wyznaczonych udziałów poszczególnych źródeł emisji metodą MLRA. Uzyskano istotną korelację między tymi danymi ( $R^2 = 0,64$ ).



Rys. 4. Wykres zależności między wartościami stężeń pyłu PM<sub>2,5</sub> a uzyskanymi z obliczeń oraz wynikami pomiarów

#### 4. Wnioski

Zbadano skład pierwiastkowy pyłu PM<sub>2,5</sub> w celu poznania głównych źródeł pochodzenia pyłu drobnego w atmosferze. Analiza z wykorzystaniem techniki PCA i MLRA wykazała, że największy udział w okresie pomiarów, tj. zimowo-wiosennym 2009 roku miała emisja z procesów spalania paliw stałych (53%), pył mineralny (17%), najprawdopodobniej pochodzący z wtórnego pylenia oraz z procesu przemysłowego (10%), odpowiedzialnego za uwalnianie do atmosfery arsenu, ołowiu, manganu i chromu.

Uzyskana zgodność wyników pomiarów z obliczonymi wartościami stężeń poszczególnych pierwiastków świadczy, że zastosowane metody matematyczne wydają się obiecujące w wyznaczaniu źródeł pochodzenia pyłów w aerozolu atmosferycznym.

#### Literatura

1. Laden F, Neas LM, Dockery DW, Schwartz J. Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six U.S. cities. *Environ Health Perspect.* 2000, 108 (10), 941-947
2. Ostro B, Broadwin R, Green S, Feng W-Y, Lipsett M. Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties: results from CALFINE. *Environ Health Perspect.*, 2006, 114, 29-33

3. Janssen NAH, Schwartz J, Zanobetti A, Suh H. Air conditioning and source-specific particles as modifiers of the effect of PM10 on hospital admissions for heart and lung disease. *Environ Health Perspect.*, 2002, 101, 43-49
4. Mar TF, Norris GA, Koenig JQ, Larson TV. Associations between air pollution and mortality in Phoenix, 1995–1997. *Environ Health Perspect.*, 2000, 108, 347–353
5. Monitoring ambient air quality for health impact assessment WHO Regional Publications, European Series, No. 85, 1995
6. Moshhammer H, Hutter HP, Hauck H, Neuberger M. Low levels of air pollution induce changes of lung function in a panel of schoolchildren. *Eur Respir J.*, 2006, 27 (6), 1138-43
7. Council directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulfur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. *Official Journal of the European Communities.*, 1999, L 163 (29/06), 41-60
8. Hauck H., Berner A., Fischer T., Gomiscek B., Kundi M., Neuberger M., Puxbaum H., Preining O., AUPHEP- team. APHEP- Austrian Project on Health Effects of Particulates – general overview., *Atm. Env.*, 2004, 38, 3905-3915
9. Stölzel M, Breitner S, Cyrus J, Pitz M, Wölke G, Kreyling W, Heinrich J, Wichmann HE, Peters A. Daily mortality and particulate matter in different size classes in Erfurt, Germany. *J Expo Sci Environ Epidemiol.*, 2007, 17(5), 458-67
10. Touloumi G, Samoli E, Pipikou M, Le Tertre A, Atkinson R, Katsouyanni K; APHEA-2 Project Group. Seasonal confounding in air pollution and health time-series studies: effect on air pollution effect estimates. *Stat Med.*, 2006, 25, 4164-4178
11. Thurston G.D, Spenger J.D., A multivariate assessment of meteorological influences on inhalable particle source impacts, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 1985, 24, 1245-1256
12. Almeida S.M., Pio C.A., Freitas M.C., Reis M.A., M.A. Trancoso, Source apportionment of fine and coarse particulate matter in a sub-urban area at the western European coast, *Atm. Environ.*, 2005, 39, 3127-3138.