

Anetta DRZENIECKA-OSIADACZ<sup>1</sup> i Paweł NETZEL<sup>1</sup>

## WPŁYW WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH ORAZ CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ NA STĘŻENIE PM<sub>10</sub> WE WROCŁAWIU

### INFLUENCE OF METEOROLOGICAL CONDITIONS AND ATMOSPHERIC CIRCULATION ON PM<sub>10</sub> MASS CONCENTRATION IN WROCLAW

**Abstrakt:** W ramach Badań Klimatu Miasta w Zakładzie Klimatologii i Ochrony Atmosfery prowadzone są pomiary pyłu zawieszonego, czynników meteorologicznych oraz stanu warstwy granicznej. Do monitoringu pyłu PM<sub>10</sub> wykorzystywany był analizator TEOM-1400a. W artykule przedstawiono analizę wpływu warunków meteorologicznych na koncentrację pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub> ze szczególnym uwzględnieniem struktury warstwy granicznej i jej dynamiki w okresie od grudnia 2008 do maja 2009 r. Dobowa zmienność stężenia PM<sub>10</sub> wynikała przede wszystkim z warunków mezoskalowych oraz stanu termodynamicznego najniższej części atmosfery, co w konsekwencji prowadziło do tworzenia się kilkudniowych epizodów. Szczegółowej analizie poddano sytuacje podwyższonych stężeń zanieczyszczeń. W chłodnej porze roku dni z bardzo wysokimi stężeniami pyłu związane były z pogodą antycyklonalną oraz równowagą stałą w dolnej części warstwy granicznej atmosfery. Maksymalne średnie dobowe stężenie, jakie zanotowano w tym czasie, wynosiło około 100 µg·m<sup>-3</sup>, a 1-godzinne przekroczyło 230 µg·m<sup>-3</sup>.

**Słowa kluczowe:** PM<sub>10</sub>, warunki meteorologiczne, atmosferyczna warstwa graniczna, sodar, Wrocław

W ciągu ostatnich lat coraz większy nacisk kładzie się na monitoring pyłu zawieszonego o średnicy mniejszej niż 10 µm ze względu na wpływ zarówno na zdrowie ludzi, jak również na klimat i środowisko naturalne [1-4]. Wiele badań potwierdza związek pomiędzy koncentracją PM<sub>10</sub> a zachorowalnością i umieralnością. Dyrektywy Unii Europejskiej w sposób szczegółowy regulują dopuszczalny poziom PM<sub>10</sub> (Dyrektywa 1999/30/EC) oraz zachęcają kraje członkowskie do promowania badań i rozwoju systemu monitoringu pyłu zawieszonego, a także do przygotowania programów naprawczych. Pierwszym etapem takich działań powinno być szczegółowe określenie i poznanie mechanizmów prowadzących do akumulacji i dyspersji zanieczyszczeń w skali regionalnej [5-7].

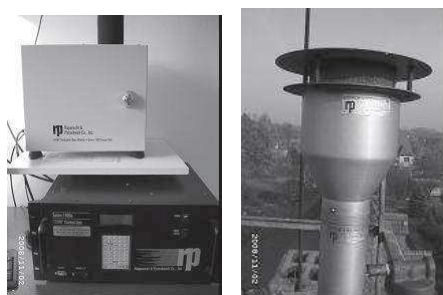
Głównym celem opracowania było określenie wpływu parametrów meteorologicznych na koncentrację PM<sub>10</sub> we Wrocławiu. W pracy przedstawiono zarówno wpływ warunków meteorologicznych na średnie dobowe stężenia PM<sub>10</sub>, jak również na wartości chwilowe.

#### Dane źródłowe

Dane wykorzystane w opracowaniu zostały zgromadzone w okresie od VI 2008 do V 2009 r. Analizator TEOM 1400a, wyprodukowany przez firmę Rupprecht&Pataschnick, był wykorzystywany do pomiarów stężenia pyłu zawieszonego PM<sub>10</sub> (rys. 1). Dane były zapisywane z rozdzielczością 1 min, co pozwoliło w sposób szczegółowy prześledzić wpływ wybranych parametrów meteorologicznych na zmiany koncentracji tej frakcji pyłu.

<sup>1</sup> Zakład Klimatologii i Ochrony Atmosfery, Instytut Geografii i Rozwoju Regionalnego, Uniwersytet Wrocławski, ul. Kosiby 6-8, 51-670 Wrocław, tel. 71 372 94 97, fax 71 372 94 98, email: drzanett@meteo.uni.wroc.pl

W analizie wykorzystano dane meteorologiczne mierzone w sposób automatyczny, zawierające informację o temperaturze  $T$  [ $^{\circ}\text{C}$ ], prędkości  $V$  [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ] i kierunku wiatru DIR [0-32], natężeniu promieniowania słonecznego  $K^{\downarrow}$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ], wilgotności powietrza  $U$  [%] oraz opadu atmosferycznego  $R$  [mm] (w okresie VI-V 2009 r.). Podstawowe dane meteorologiczne zostały uzupełnione o informację o strukturze warstwy granicznej uzyskanej za pomocą sondażu akustycznych minisodarem dopplerowskim (od lutego 2009 r.) oraz sondażu balonem swobodnym wykonywanych w stacji aerologicznej IMGW we Wrocławiu (źródło: [www.weather.uwoyo.edu](http://www.weather.uwoyo.edu)). Warunki synoptyczne określane były na podstawie map rozkładu ciśnienia na poziomie morza (źródło: [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de)).



Rys. 1. Analizator pyłu TEOM 1400a

Fig. 1. TEOM 1400a analyzer

### Cykl dobowy i roczny stężenia $\text{PM}_{10}$ we Wrocławiu

Koncentracja  $\text{PM}_{10}$  charakteryzuje się dobrze wyrażoną cyklicznością dobową i roczną. Średnie roczne stężenie pyłu zawieszonego we wschodniej części Wrocławia w analizowanym okresie wynosiło  $27 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Chwilowe stężenie pyłu  $\text{PM}_{10}$  w ciągu całego roku w 90% przypadków nie przekraczało  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a jedynie w 1,5% przypadków było większe niż  $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (tab. 1).

Stężenie pyłu zawieszonego w klasach

Tabela 1

Table 1

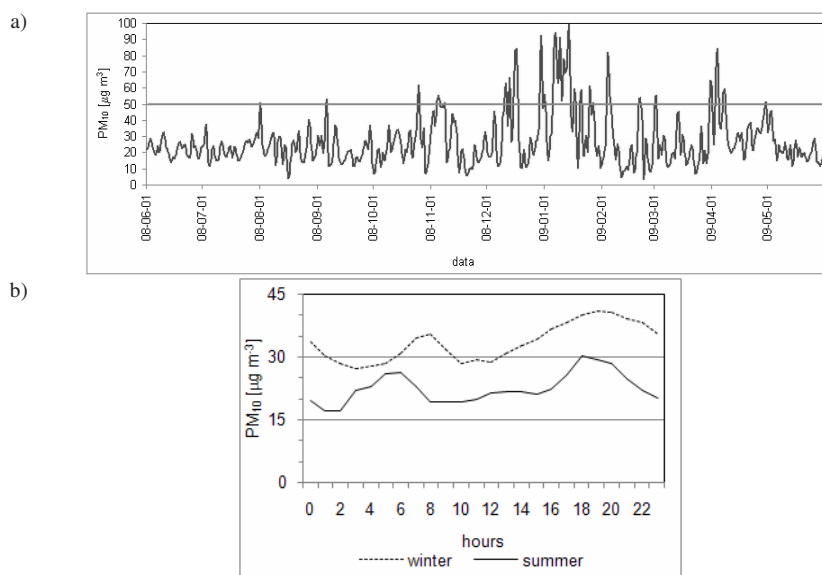
Concentration of  $\text{PM}_{10}$  in classes

| Miesiąc     | Klasy stężeń $\text{PM}_{10}$ [ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ] |       |       |        |        |          |           |       |       |        |        |
|-------------|---|-------|-------|--------|--------|----------|-----------|-------|-------|--------|--------|
|             | 2008  |       |       |        |        | 2009     |           |       |       |        |        |
|             | $\leq 25$   | 25-50 | 50-75 | 75-100 | $>100$ | Miesiąc  | $\leq 25$ | 25-50 | 50-75 | 75-100 | $>100$ |
| Czerwiec    | 62,8  | 32,7  | 3,9   | 0,4    | 0,2    | Styczeń  | 34,6      | 29,7  | 17,4  | 8,2    | 10,2   |
| Lipiec      | 63,2  | 29,0  | 5,7   | 1,3    | 0,8    | Luty     | 68,9      | 16,4  | 9,8   | 3,7    | 1,1    |
| Sierpień    | 62,6  | 25,3  | 8,3   | 2,6    | 1,2    | Marzec   | 64,4      | 25,2  | 7,0   | 2,3    | 1,1    |
| Wrzesień    | 65,6  | 26,7  | 4,7   | 1,7    | 1,2    | Kwiecień | 36,1      | 45,4  | 12,1  | 3,6    | 2,9    |
| Październik | 58,2  | 31,8  | 7,5   | 1,5    | 1,1    | Maj      | 65,1      | 27,1  | 5,8   | 1,3    | 0,7    |
| Listopad    | 56,1  | 30,1  | 11,5  | 1,9    | 0,4    |          |           |       |       |        |        |
| Grudzień    | 49,4  | 27,8  | 13,4  | 6,2    | 3,3    |          |           |       |       |        |        |

W okresie zimowym wystąpiły sytuacje, kiedy średnie dobowe stężenie  $\text{PM}_{10}$  przekraczało wartości dopuszczalne. W sprzyjających warunkach, charakteryzujących się cyrkulacją antycyklonalną, niewielkimi prędkościami wiatru oraz niewielkim zasięgiem

warstwy mieszania ograniczonej warstwą inwersyjną, dochodziło do systematycznego wzrostu stężenia pyłu. Maksymalne średnie dobowe stężenie, jakie zanotowano w tym czasie, wynosiło około  $100 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , a 1-godzinne przekroczyło  $230 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  (rys. 2a). W cieplej porze roku duże stężenia pyłu zawieszonego rejestrowane były rzadko, a zanieczyszczenia szybko ulegały rozcieńczeniu.

W przebiegu dobowym koncentracji PM<sub>10</sub>, zarówno w cieplej, jak i w chłodnej porze roku, zaznaczały się dwa maksima. Pierwsze maksimum występujące we wczesnych godzinach rannych związane było ze wzrostem aktywności mieszkańców, ale również rozwojem turbulencji i porywaniem zanieczyszczeń zdeponowanych na powierzchni ziemi; drugie w godzinach popołudniowych - wraz z ograniczeniem dopływu promieniowania i stopniowym tworzeniem się inwersji przygruntowej dochodziło do kumulacji pyłu w przygruntowej warstwie powietrza (rys. 2b).

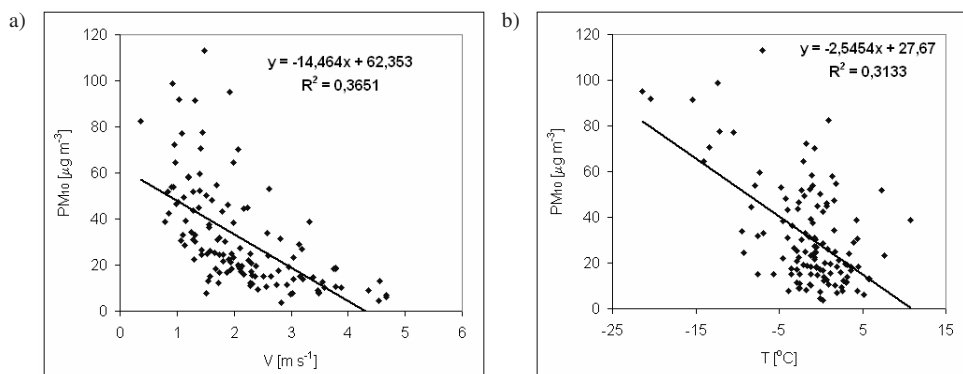


Rys. 2. Przebieg stężenia średniodobowego PM<sub>10</sub> w ciągu roku - a; dobowy przebieg PM<sub>10</sub> zimą i latem - b

Fig. 2. Annual course of daily concentration of PM<sub>10</sub> - a; daily course of PM<sub>10</sub> concentration during winter and summer season - b

### Wpływ warunków meteorologicznych na stężenie PM<sub>10</sub>

Głównym czynnikiem wpływającym na jakość powietrza jest zazwyczaj nie gwałtowny wzrost emisji, ale pogorszenie się warunków sprzyjających rozpraszaniu zanieczyszczeń w przygruntowej warstwie powietrza. Decydujące znaczenie mają tutaj kierunek i prędkość wiatru oraz zasięg i czas trwania inwersji temperatury. W obszarach, gdzie duże znaczenie odgrywa emisja zanieczyszczeń pochodzących z indywidualnych systemów grzewczych, zaznacza się wyraźnie wpływ temperatury powietrza. Analiza regresji wykazała na istotną statystycznie zależność pomiędzy średnią dobową koncentracją PM<sub>10</sub> a prędkością wiatru (zarówno średnią, jak i maksymalną) oraz temperaturą powietrza (rys. 3).



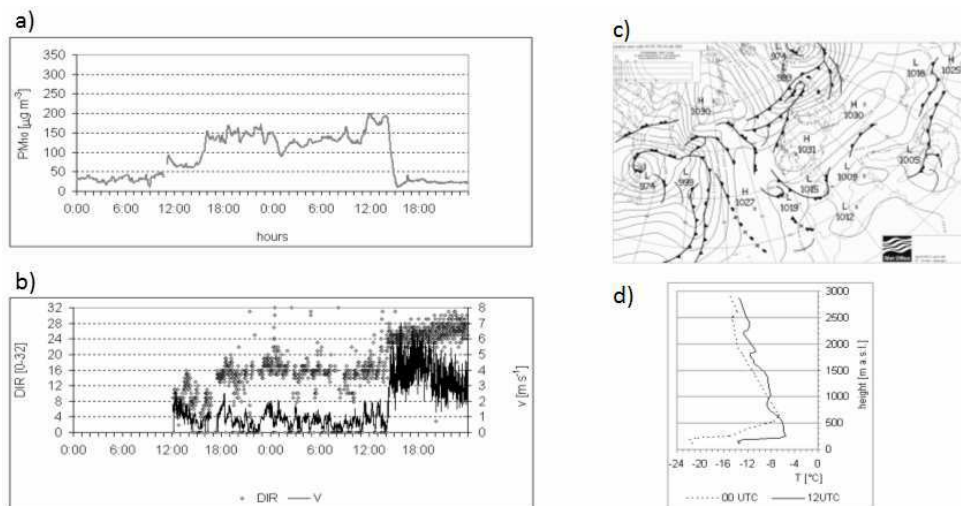
Rys. 3. Zależność pomiędzy stężeniem  $PM_{10}$  a prędkością wiatru (a) i temperaturą powietrza (b) w chłodnej porze roku

Fig. 3. Correlation between  $PM_{10}$  concentration and wind speed (a) and air temperature (b) during winter period

### Wybrane przypadki podwyższonych stężeń $PM_{10}$

W ciągu roku przekroczenia norm na stacji na Biskupinie we Wrocławiu zdarzają się w około 30-40 dni. Do szczegółowej analizy zostały wybrane sytuacje, charakteryzujące się nie tylko bardzo dużymi stężeniami, ale również charakterystycznym przebiegiem związanym z warunkami meteorologicznymi.

6-7 stycznia 2009

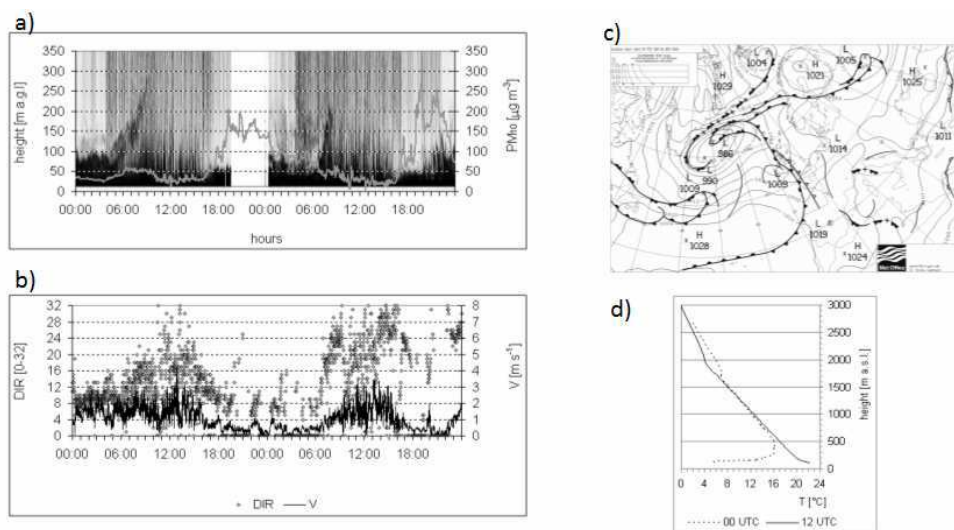


Rys. 4. Charakterystyka epizodu 6-7 stycznia 2009 r.: a) przebieg koncentracji  $PM_{10}$ , b) kierunek i prędkość wiatru, c) sytuacja synoptyczna, d) profil pionowy temperatury

Fig. 4. Characteristic of episode 6-7 January 2009 y.: a) course of  $PM_{10}$  concentration, b) wind speed and direction c) synoptic situation, d) vertical profile of temperature

Zimowe epizody wysokich stężeń PM<sub>10</sub> związane były z sytuacją stabilnego wyżu, przynoszącego pogodę mroźną z niewielką prędkością wiatru oraz zalegającą przez całą dobę inwersją temperatury ograniczającą warstwę mieszania. Poprawa jakości powietrza związana była ze zmianą warunków synoptycznych, przejściem frontu atmosferycznego i opadami śniegu, które spowodowały oczyszczenie atmosfery w ciągu kilku minut (rys. 4).

3-4 kwietnia 2009



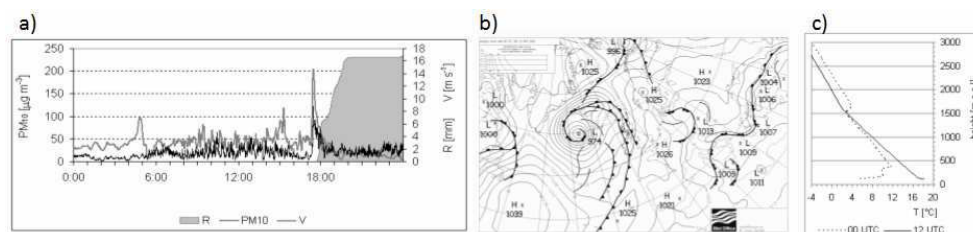
Rys. 5. Charakterystyka epizodu 3-4.04.2009 r.: a) przebieg koncentracji PM<sub>10</sub> oraz zapis echa sodarowego, b) kierunek i prędkość wiatru, c) sytuacja synoptyczna, d) profil pionowy temperatury

Fig. 5. Characteristic of episode 3-4.04.2009 y.: a) course of PM<sub>10</sub> concentration and facsimile chart echo, b) wind speed and direction c) synoptic situation, d) vertical profile of temperature

Początek kwietnia charakteryzował się wysokimi stężeniami podczas nocy i niskimi w dzień. W nocy 3-4 kwietnia 2009 r. prędkość wiatru nie przekraczała 1 m·s<sup>-1</sup>, a inwersja rejestrowana przez sodar sięgała do około 50 m n.p.g. Podczas kolejnej nocy, od okresu przełomu wieczornego, koncentracja PM<sub>10</sub> początkowo wzrastała. Przejście mało aktywnego frontu spowodowało wzrost prędkości wiatru, który w pierwszym etapie przyczynił się do gwałtownego wzrostu stężenia PM<sub>10</sub>, a następnie stopniowej dyspersji zanieczyszczeń (rys. 5).

22 kwietnia 2009

Przypadek ten obrazuje wpływ prędkości wiatru po długotrwałym okresie suszy. Silny i porywisty wiatr związany z przejściem frontu atmosferycznego spowodował unoszenie pyłu zdeponowanego na powierzchni ziemi. Opad deszczu bardzo szybko spowodował oczyszczenie atmosfery (rys. 6).



Rys. 6. Charakterystyka epizodu 22.04.2009 r.: a) przebieg koncentracji  $PM_{10}$ , prędkość wiatru  $V$ , kumulowana suma opadu  $R$ , b) sytuacja synoptyczna, c) profil pionowy temperatury

Fig. 6. Characteristic of episode 22.04.2009 y.: a) course of  $PM_{10}$  concentration, wind speed and cumulative sum of precipitation  $R$ , b) synoptic situation, c) vertical profile of temperature

### Podsumowanie

Zastosowanie ciągłego monitoringu pyłu  $PM_{10}$  pozwala prześledzić dynamikę zmian koncentracji i określić szczegółowo wpływ parametrów meteorologicznych. Ma to znaczenie zwłaszcza w ocenie oczyszczającej roli prędkości wiatru i opadu atmosferycznego.

Wrocław należy do miast, gdzie często dochodzi do przekroczeń dopuszczalnych stężeń  $PM_{10}$  ze względu na znaczący udział lokalnych kotłowni oraz duże natężenie ruchu samochodowego, co w połączeniu z niekorzystnymi warunkami meteorologicznymi prowadzi do kumulacji zanieczyszczeń w powietrzu.

W okresie od VI 2008 do V 2009 r. wystąpiło 35 dni ze stężeniem większym niż  $50 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , 14 takich dni - w styczniu 2009 r. Taka sytuacja spowodowana była bardzo niską temperaturą oraz znaczną frekwencją pogody antycyklonalnej z niewielką prędkością wiatru i warstwą mieszania ograniczoną przez inwersje termiczne. W cieplej porze roku wzrost koncentracji  $PM_{10}$  był krótkotrwały i zazwyczaj związany był z unoszeniem pyłu z powierzchni ziemi.

### Literatura

- [1] Hueglin C., Gerhrig R., Baltensperger U., Gysel M., Monn C. i Vonmont H.: Atmos. Environ., 2005, **39**, 637-651.
- [2] Yuan Z., Lau A.K.H., Zhang H., Yu J.Z., Louie P.K.K. i Fung J.C.H.: Atmos. Environ., 2006, **40**, 1803-1815.
- [3] Kowalska M., Zejda J.E., Skrzypek M., Ośródko L., Klejnowski K., Krajny E., Wojtylak M. i Hubicki L.: Polish J. Environ. Stud., 2008, **17**(5), 733-738.
- [4] Marcazzan G.M., Valli G. i Vecchi R.: Sci. Total Environ., 2002, **298**, 65-79.
- [5] Deacon A.R., Derwent R.G., Harrison R.M., Middleton D.R. i Moorcroft S.: Sci. Total Environ., 1997, **203**, 17-36.
- [6] Vecchi R., Marcazzan G. i Valli G.: Atmos. Environ., 2007, **41**, 2136-2144.
- [7] Holst J., Mayer H. i Holst T.: Meteorol. Z., 2008, **17**, 273-282.

## INFLUENCE OF METEOROLOGICAL CONDITIONS AND ATMOSPHERIC CIRCULATION ON PM<sub>10</sub> MASS CONCENTRATION IN WROCLAW

Department of Climatology and Atmosphere Protection  
Institute of Geography and Regional Development, Wrocław University

**Abstract:** In recent years, airborne particulate matter with diameter less than 10 µm is pollutant of large concern due to its adverse effect on human health. Many studies report association between PM<sub>10</sub> concentration and mortality. The EU Directive regulate particulate matter concentrations (Directive 1999/30/EC) and encouraged the Member State to promote research and measurement of particulate matter, as well as prepare strategies to improve air quality. The first step to solve these tasks is understanding the mechanisms of dispersion and accumulation of pollutant. Within Urban Climate Researches of The Department Climatology and Atmosphere Protection Wrocław University (51°07' N, 17°05' E) the continuous monitoring of PM<sub>10</sub> mass concentration, meteorological variables and structure of atmospheric boundary layer were conducted. PM<sub>10</sub> concentration was measured by TEOM 1400a series. The automatic weather station was used to measure the meteorological variables (air temperature, pressure, wind speed, wind direction, incoming solar radiation). Sodar sounding and vertical profile of temperature obtained from free balloon sounding completed the data. The data were recorded with resolution of 1 min. In this paper temporal variation of PM<sub>10</sub> concentration during the period from December 2008 to May 2009 in relation to meteorological conditions are shown. Daily variations of PM<sub>10</sub> concentrations were driven particularly by meso-scale conditions and thermodynamic state of the lower part of ABL, which resulted in a few days' episodes. Some episodes of high level of particulate matter were analysed in detail. The winter episodes were characterized by systematic increase in mass concentration due to stagnation condition. The maximum values of daily average PM<sub>10</sub> concentration was about 100 µg·m<sup>-3</sup>, but the hourly maximum exceeded 230 µg·m<sup>-3</sup>. The key factor favoured that situations was large high pressure system, with a centre located in eastern Europe, which produced weather of low wind, long-lasting inversion and lack of precipitation. During spring high level of PM<sub>10</sub> mass concentration was recorded rather seldom. These short-time situations were caused by strong wind after dry and calm period.

**Keywords:** PM<sub>10</sub>, meteorological conditions, atmospheric boundary layer, sodar, Wrocław