

Instytut Techniki Górniczej



Laboratorium Badań Stosowanych

ul. Pszczyńska 37; 44-101 Gliwice
www.komag.eu/laboratorium

SPRAWOZDANIE

Nr 54/BT/2018

Temat: Badanie oczyszczaczy powietrza w warunkach rzeczywistych, w wybranych Żłobkach Samorządowych miasta Kraków

Zleceniodawca: Gmina Miejska Kraków



Informujemy naszych Klientów, że posiadamy
Certyfikowany przez PCBC S.A.
System Zarządzania – certyfikat nr J - 295/9/20

Gliwice, kwiecień 2018



Nr zlecenia: UP/BT-23418/OR

TEMAT:

**Badanie oczyszczaczy powietrza w warunkach
rzeczywistych, w wybranych Żłobkach
Samorządowych miasta Kraków**
/nazwa tematu/

Termin rozpoczęcia: 16.03.2018

Termin zakończenia: 30.04.2018

Prowadzący zadanie:

mgr inż. Krzysztof Lesiak

/imię i nazwisko/

/podpis/

Zespół współpracujący:

dr inż. Łukasz Orzech

/imię i nazwisko/

mgr inż. Arkadiusz Rybka

/imię i nazwisko/

techn. Grzegorz Modzelewski

/imię i nazwisko/

Autoryzujący:

dr inż. Łukasz Orzech

/imię i nazwisko/

/podpis/

**Zatwierdzam
Kierownik komórki organizacyjnej**

**KIEROWNIK
Laboratorium Badań Stosowanych
dr inż. Łukasz Orzech**

/podpis i pieczęć/

PRACA JEST WŁASNOŚCIĄ LABORATORIUM
BEZ WIEDZY I ZGODY AUTORÓW PRACY, NIE MOŻNA DOKONYWAĆ ŻADNYCH ZMIAN
ANI JEJ POWIELAĆ INACZEJ JAK W CAŁOŚCI.
KOMAG ZOBOWIĄDUJE SIĘ DO ZACHOWANIA POUFNOŚCI WYNIKÓW BADAŃ
I BEZ ZGODY ZLECENIODAWCY NIE BĘDZIE ICH ROZPOWSZECHNIĄĆ.
UWAGA NIE DOTYCZY PRZYPADKÓW GDY
PRZEPISY PRAWA STANOWIĄ INACZEJ

Rozdzielnik – liczba egz.

Gmina Miejska Kraków – 2 egz.
Laboratorium Badań Stosowanych – 1 egz.

Spis treści

1. Przedmiot oraz zakres pracy	4
2. Termin i miejsce przeprowadzenia badań	4
3. Wykaz aparatury zastosowanej do badań	4
4. Przebieg i wyniki badań	5
5. Analiza wyników	5
6. Podsumowanie.....	16

Spis rysunków

Rysunek 1. Przebieg zapylenia w sypialni Gr. IV Żłobka Samorządowego nr 23 - oczyszczacz wyłączony.....	6
Rysunek 2. Przebieg zapylenia w bawialni Gr. IV Żłobka Samorządowego nr 23 - oczyszczacz wyłączony	7
Rysunek 3. Przebieg zapylenia w sypialni Gr. III Żłobka Samorządowego nr 23 - oczyszczacz włączany wg procedury	8
Rysunek 4. Przebieg zapylenia w bawialni Gr. III Żłobka Samorządowego nr 23 - oczyszczacz włączany wg procedury	9
Rysunek 5. Schemat zdarzeń, w pomieszczeniu z włączonym oczyszczaczem, podczas pomiarów w trakcie użytkowania pomieszczenia	10
Rysunek 6. Schemat zdarzeń, w pomieszczeniu z włączonym oczyszczaczem, podczas pomiarów w pomieszczeniu pustym	11
Rysunek 7. Schemat zdarzeń, w pomieszczeniu odniesienia, podczas pomiarów w trakcie użytkowania pomieszczenia	11
Rysunek 8. Schemat zdarzeń, w pomieszczeniu odniesienia, podczas pomiarów w pomieszczeniu pustym	11

Spis tabel

Tabela 1. Zestawienie współczynników oceny dla PM _{2,5}	13
Tabela 2. Zestawienie współczynników oceny dla PM ₁₀	14

Spis załączników

Załącznik 1.	Zestawienie wyników pomiarów ze Żłobka Samorządowego nr 5.
Załącznik 2.	Zestawienie wyników pomiarów ze Żłobka Samorządowego nr 6.
Załącznik 3.	Zestawienie wyników pomiarów ze Żłobka Samorządowego nr 33.
Załącznik 4.	Zestawienie wyników pomiarów ze Żłobka Samorządowego nr 31.
Załącznik 5.	Zestawienie wyników pomiarów ze Żłobka Samorządowego nr 23.
Załącznik 6.	Zestawienie wyników pomiarów ze Żłobka Samorządowego nr 18.

1. Przedmiot oraz zakres pracy

Przedmiotem badań była ocena skuteczności działania oczyszczaczy powietrza w warunkach rzeczywistego użytkowania, zainstalowanych w wybranych placówkach edukacyjnych miasta Krakowa. Badania zostały przeprowadzone zgodnie z procedurą badawczą PB-BT/62 „Badania oczyszczaczy powietrza w warunkach rzeczywistych”.

2. Termin i miejsce przeprowadzenia badań

Badania zostały przeprowadzone w dniach 19.03.2018 ÷ 27.03.2018 r. w następujących placówkach edukacyjnych w Krakowie:

Nazwa placówki	Data wykonania pomiarów
Żłobek Samorządowy nr 5	19 ÷ 20 marca 2018
Żłobek Samorządowy nr 6	20 ÷ 21 marca 2018
Żłobek Samorządowy nr 33	21 ÷ 22 marca 2018
Żłobek Samorządowy nr 31	22 ÷ 23 marca 2018
Żłobek Samorządowy nr 23	23 ÷ 24 marca 2018
Żłobek Samorządowy nr 18	26 ÷ 27 marca 2018

3. Wykaz aparatury zastosowanej do badań

Do badań użyto następującej aparatury pomiarowej:

<i>Nazwa aparatury</i>	<i>Nr wg rejestru RBT-1</i>
Pyłomierz wewnętrzny	R35 ÷ R39
Pyłomierz zewnętrzny	R40
Termohigrometr	KiŚ11 ÷ KiŚ15
Dalmierz laserowy	GiP7

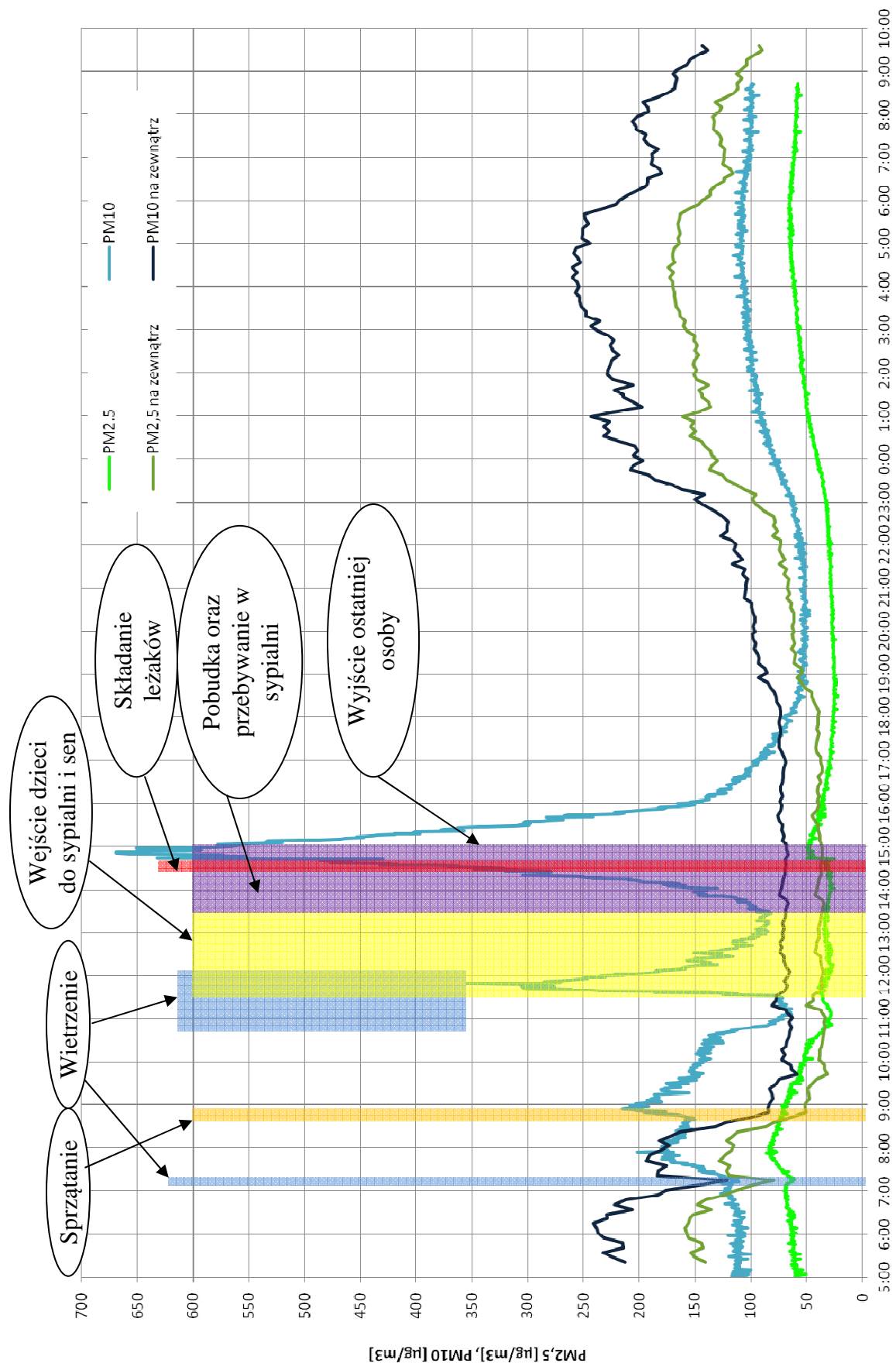
4. Przebieg i wyniki badań

Badania w każdej z placówek były prowadzone w pięciu pomieszczeniach równocześnie. Badania prowadzono zarówno w czasie normalnego użytkowania obiektu (w godzinach dziennych), jak również po zamknięciu placówki (w godzinach nocnych). Ponadto, pomiary były realizowane przy niepracującym oczyszczacz w jednym lub dwóch pomieszczeniach. W pozostałych pomieszczeniach oczyszczacz pracował zgodnie z ustawieniami dostawcy urządzeń i założeniami procedury badawczej. Podczas pomiarów prowadzono także monitoring powietrza na zewnątrz obiektów.

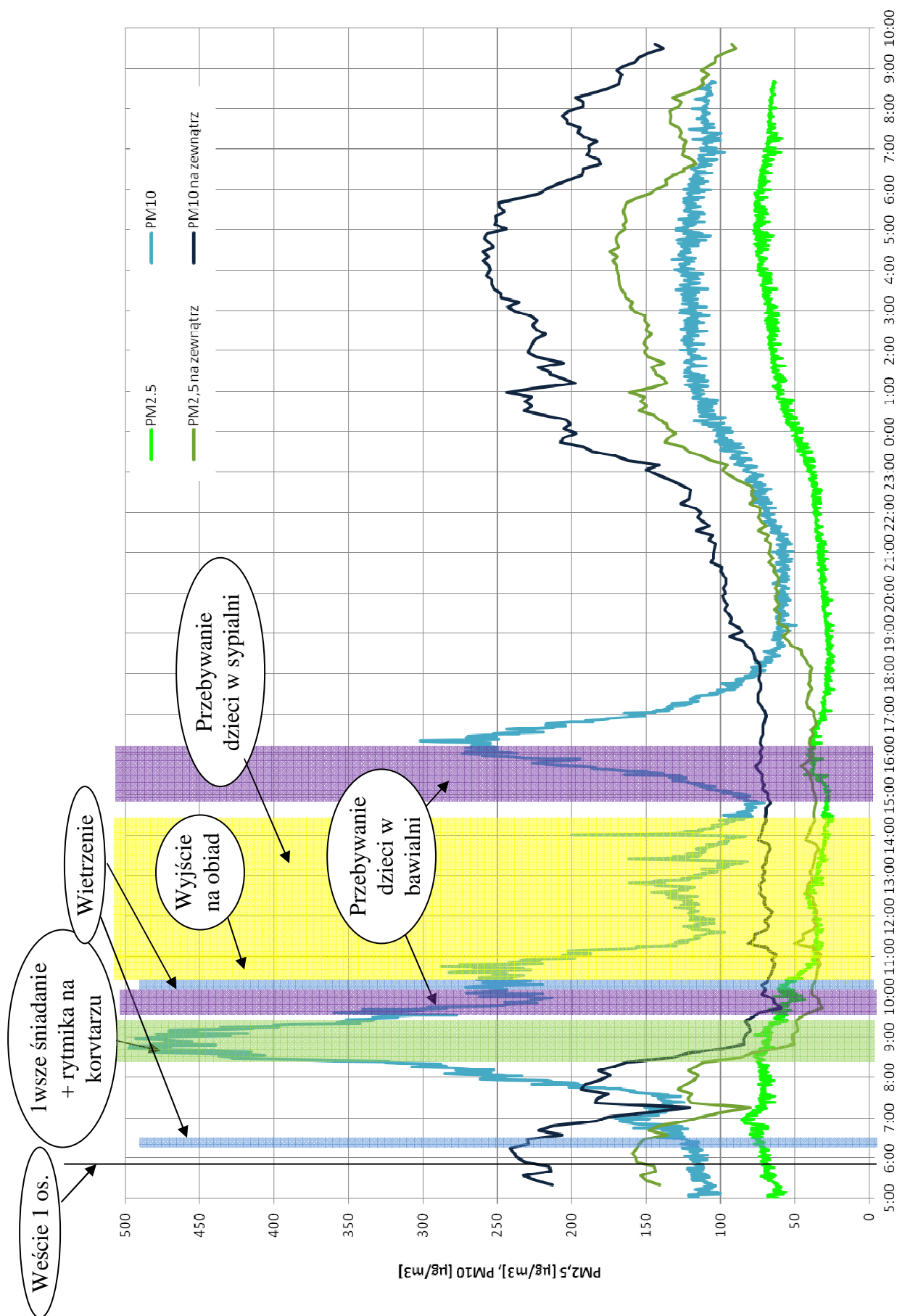
Szczegółowe wyniki badań z poszczególnych placówek przedstawiono w Załącznikach 1 do 6.

5. Analiza wyników

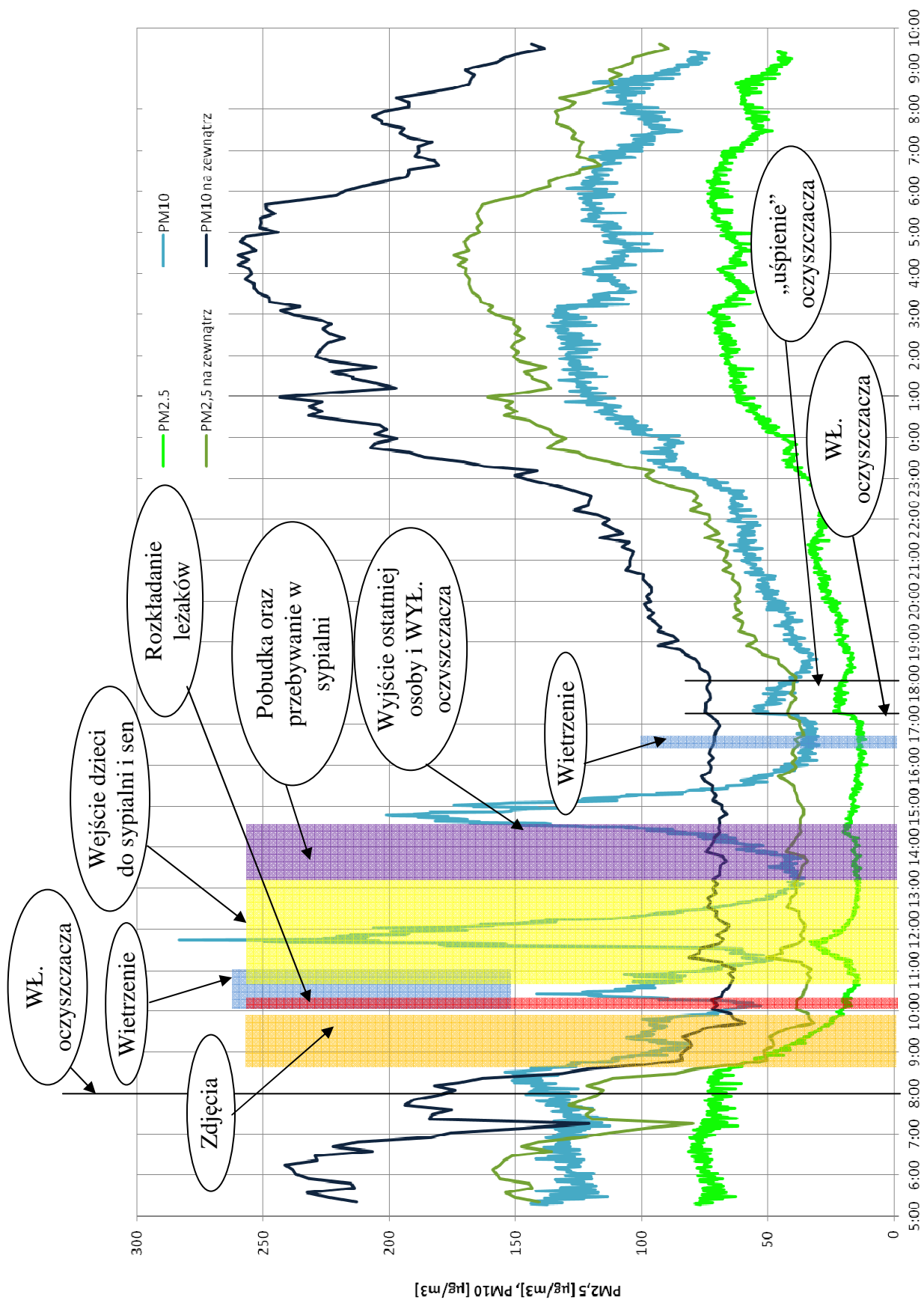
Dla przykładu na rysunkach od 1 do 5 przedstawiono wykresy ze Żłobka Samorządowego nr 23, wraz z wyjaśnieniem poszczególnych fragmentów wykresów. Dla pozostałych placówek zmiany widoczne na wykresach powstają na skutek analogicznych zdarzeń jak poniżej.



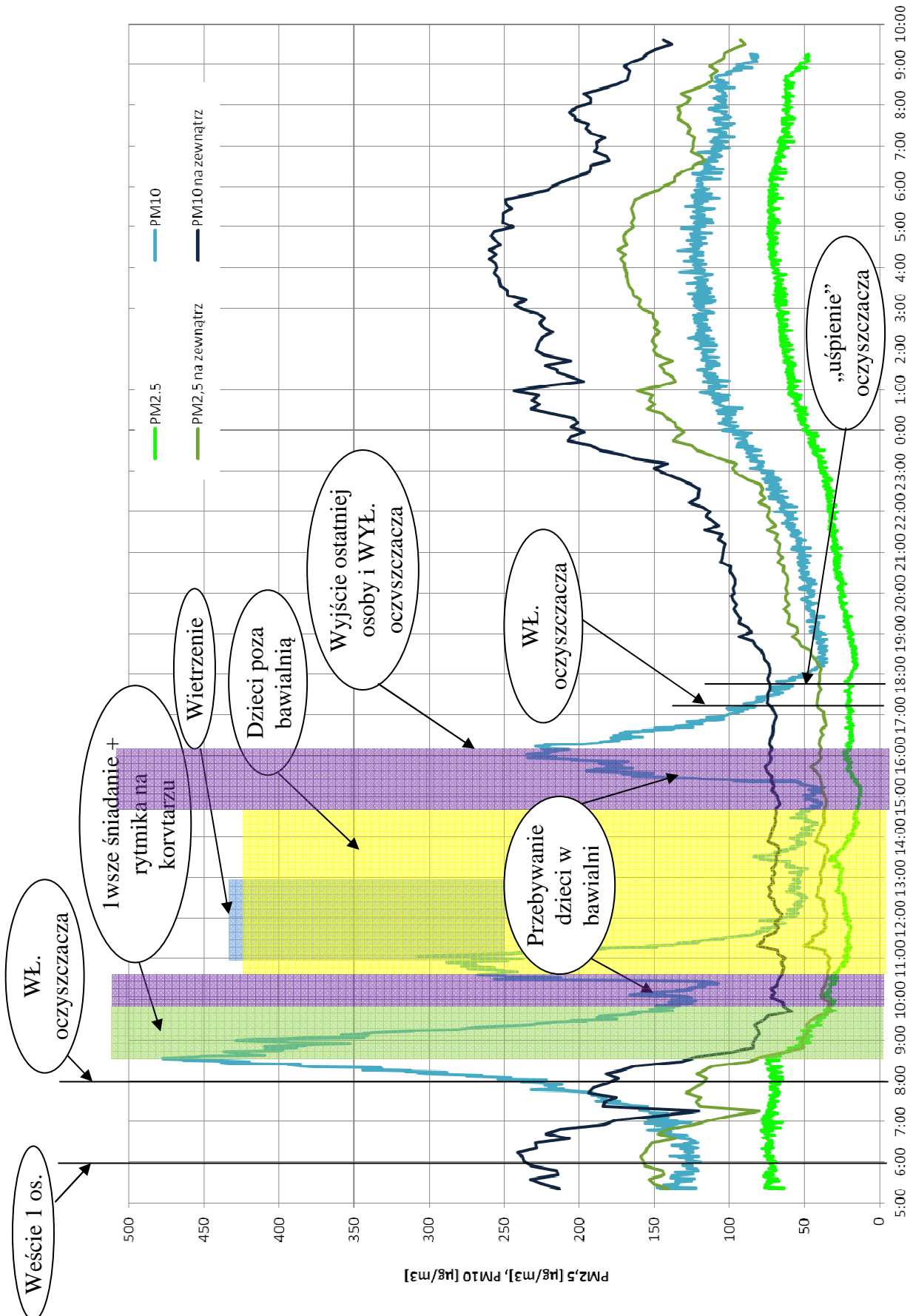
Rysunek 1. Przebieg zapylenia w sypialni Gr. IV Żłobka Samorządowego nr 23 - oczyszczacz wyłączony



Rysunek 2. Przebieg zapylenia w bawialni Gr. IV Żłobka Samorządowego nr 23 - oczyszczacz wyłączony



Rysunek 3. Przebieg zapylenia w sypialni Gr. III Żłobka Samorządowego nr 23 - oczyszczacz włączany wg procedury



Rysunek 4. Przebieg zapylenia w bawialni Gr. III Żłobka Samorządowego nr 23 - oczyszczacz włączany wg procedury

W dalszej części opracowania przez określenie „pomieszczenie z włączonym oczyszczaczem” rozumie się pomieszczenie, w którym oczyszczacz był włączony i wyłączony w sposób opisany w procedurze badań.

Przez pojęcie „pomieszczenie odniesienia” należy rozumieć pomieszczenie, w którym przez cały okres badania oczyszczacz był wyłączony.

W tabelach 1 i 2 zestawiono współczynniki pozwalające ocenić skuteczność oczyszczaczy dla poszczególnych obiektów oraz pomieszczeń. Współczynniki zostały obliczone wg poniższych zależności:

$$A1/A1' = \frac{\text{Średnia z pomieszczenia z wł. oczyszczaczem okres A1}}{\text{Średnia z pomieszczenia odniesienia okres A1'}} \quad (1)$$

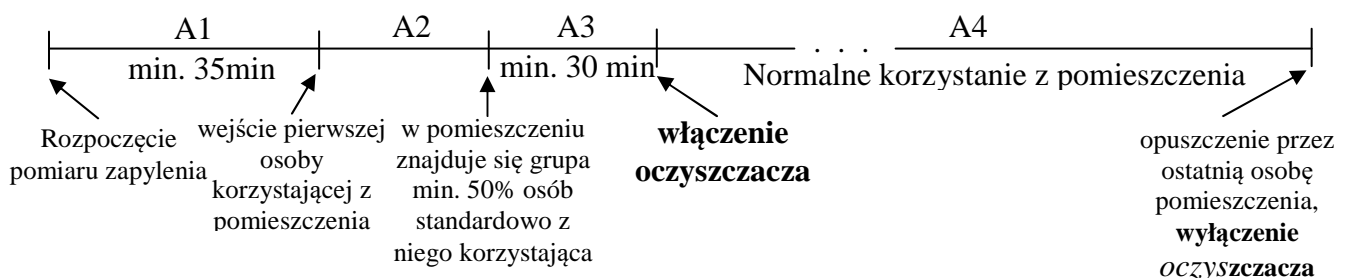
$$\alpha = \frac{\text{Średnia z pomieszczenia z wł. oczyszczaczem okres A4}}{\text{Średnia z pomieszczenia odniesienia okres A4'}} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\text{Średnia z pomieszczenia z wł. oczyszczaczem okres B3}}{\text{Średnia z pomieszczenia odniesienia okres B3'}} \quad (3)$$

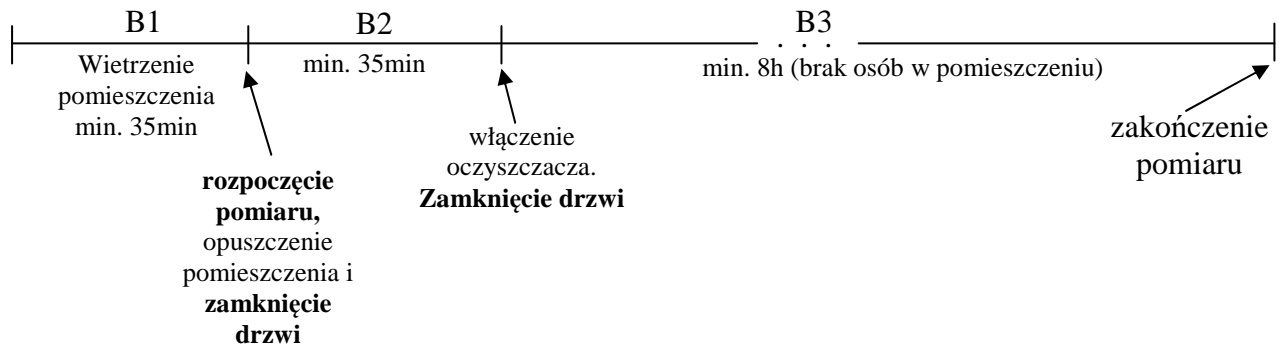
$$\gamma = \frac{\text{Średnia z pomieszczenia z wł. oczyszczaczem okres B3 ostatnie 30 min.}}{\text{Średnia z pomieszczenia z wł. oczyszczaczem okres B2}} \quad (4)$$

$$B3_{20}/B3'_{20} = \frac{\text{Średnia z pomieszczenia z wł. oczyszczaczem okres B3 do godziny 20:00}}{\text{Średnia z pomieszczenia odniesienia okres B3' do godziny 20:00}} \quad (5)$$

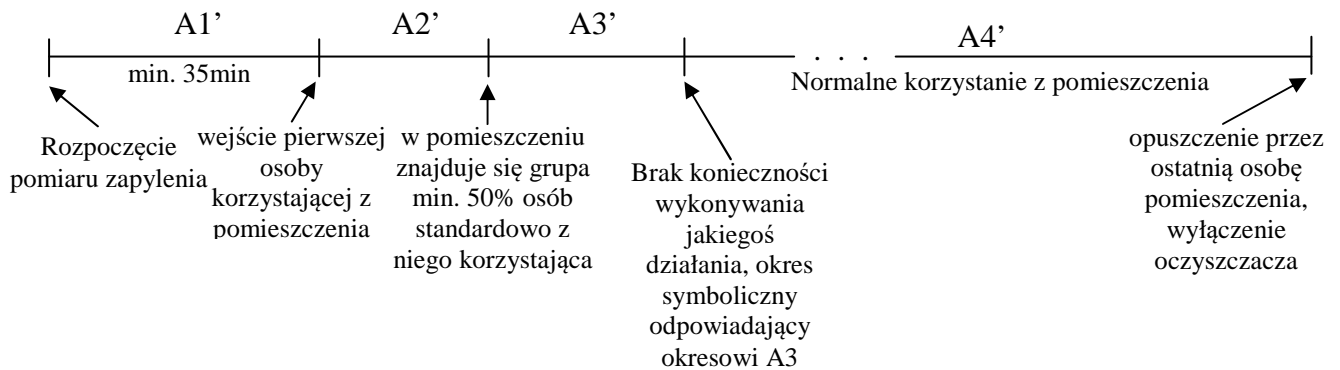
Oznaczenia w powyższych zależnościach bez znaku ' dotyczą pomieszczeń z pracującym oczyszczaczem, a ze znakiem ' pomieszczenia odniesienia (z oczyszczaczem wyłączonym). Symboliczne wyjaśnienie powyższych oznaczeń zostało przedstawione na rysunkach 5 do 8.



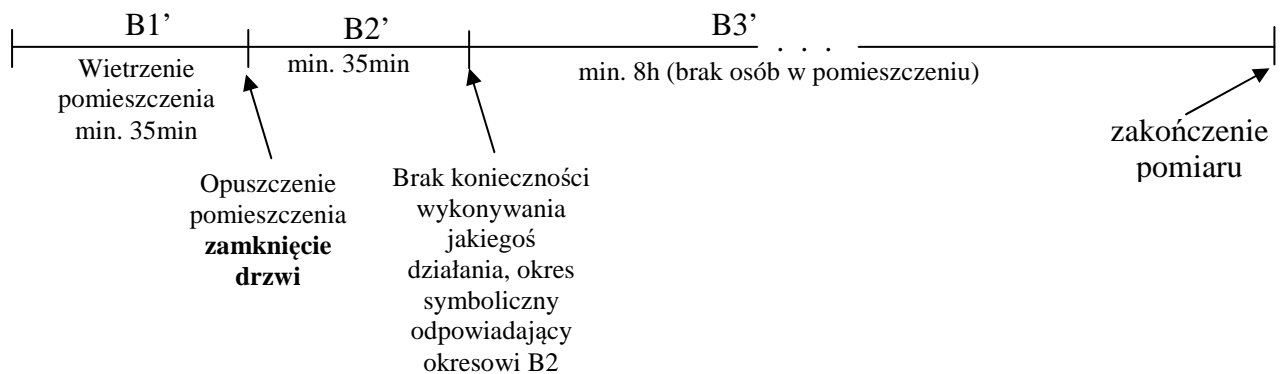
Rysunek 5. Schemat zdarzeń, w pomieszczeniu z włączonym oczyszczaczem, podczas pomiarów w trakcie użytkowania pomieszczenia



Rysunek 6. Schemat zdarzeń, w pomieszczeniu z włączonym oczyszczaczem, podczas pomiarów w pomieszczeniu pustym



Rysunek 7. Schemat zdarzeń, w pomieszczeniu odniesienia, podczas pomiarów w trakcie użytkowania pomieszczenia



Rysunek 8. Schemat zdarzeń, w pomieszczeniu odniesienia, podczas pomiarów w pomieszczeniu pustym

- a) Zależność (1) wyznaczana jest na podstawie okresów czasu, gdzie w żadnym z pomieszczeń oczyszczacz nie był włączony. Zależność ta pozwala ocenić równowagę pomieszczeń, w których oczyszczacz pracował w stosunku do pomieszczeń odniesienia, pod kątem zapylenia wynikającego z charakteru pomieszczenia – przede wszystkim wyposażenia i wentylacji. Wartość współczynnika $A1/A1' > 1$ świadczy o tym, że w „pomieszczeniu z włączonym oczyszczaczem” zapylenie danej frakcji jest większe w porównaniu do „pomieszczenia odniesienia”.
- b) Zależność (2) pozwala ocenić skuteczność pracy oczyszczaczy podczas przebywania osób w pomieszczeniu. Średnia $A4$ wyznaczana jest za okres od momentu włączenia oczyszczacza w pomieszczeniu do momentu jego wyłączenia (wyjście ostatniej osoby z pomieszczenia). Średnia $A4'$ jest wyznaczana za ten sam okres czasu co średnia $A4$. Wartość współczynnika $\alpha < 1$ świadczy o skuteczności oczyszczania powietrza w użytkowanym pomieszczeniu (zapylenie danej frakcji w „pomieszczeniu z włączonym oczyszczaczem” jest mniejsze w porównaniu do „pomieszczenia odniesienia”).
- c) Zależność (3) pozwala ocenić skuteczność pracy oczyszczaczy, gdy w pomieszczeniach nikt nie przebywa. Średnia $B3$ wyznaczana jest za okres od momentu włączenia oczyszczacza w pomieszczeniu, do momentu jego wyłączenia (zakończenie pomiarów). Średnia $B3'$ jest wyznaczana za ten sam okres czasu co średnia $B3$. Wartość współczynnika $\beta < 1$ świadczy o skuteczności oczyszczania powietrza w użytkowanym pomieszczeniu (zapylenie danej frakcji w „pomieszczeniu z włączonym oczyszczaczem” jest mniejsze w porównaniu do „pomieszczenia odniesienia”).
- d) W odróżnieniu od powyższych parametrów, zależność (4) pozwala ocenić skuteczność oczyszczacza, na podstawie danych zebranych w danym pomieszczeniu ale w różnych okresach czasu (obie wartości występujące we wzorze pochodzą z tego samego pomieszczenia). Przedział $B2$ jest to okres, w którym w oczyszczacz nie był włączony w czasie, gdy pomieszczenie było puste.
- e) Ze względu na fakt, iż przy braku obecności osób w pomieszczeniu badane oczyszczacze przechodziły w tryb uśpienia (wyjątek stanowi pomieszczenie nr 4 dla Żłobka Samorządowego nr 5), zależność (5) jest liczona analogicznie jak zależność (3) z tą różnicą, że koniec okresu za który jest liczona średnia przypada na godzinę 20:00. Godzina ta została wybrana na podstawie domniemanego przejścia oczyszczacza w tryb uśpienia (na podstawie analizy wykresu).

Tabela 1. Zestawienie współczynników oceny dla PM_{2,5}

Parametr:	Żłobek Samorządowy nr / nr pomieszczenia																			Wartość średnia
	5				6			33			31			23			18			
	1	2	3	4	3	4	5	1	2	5	3	4	5	3	4	5	1	2	5	
A1/A1'	1,12	1,12	1,07	1,01	0,90	1,08	1,03	0,94	0,90	1,31	0,94	1,07	0,94	1,15	1,22	1,19	0,96	0,99	1,01	1,05
$\alpha=A4/A4'$	0,65	0,65	0,48	0,47	0,53	0,64	0,54	0,38	0,42	0,69	0,81	0,47	0,47	0,63	0,44	0,75	0,45	0,59	0,44	0,55
$\beta=B3/B3'$	0,79	0,79	0,71	0,23	0,78	1,14	0,52	0,82	0,91	0,93	0,96	1,12	0,85	0,94	1,06	1,06	0,96	0,89	1,22	0,88
$\gamma=B3_{30}/B2$	0,98	0,98	0,68	0,23	2,23	2,52	1,13	3,14	4,20	2,65	2,78	3,20	2,87	2,67	2,22	1,78	1,13	1,32	1,35	2,00
B3 ₂₀ /B3' ₂₀	0,72	0,72	0,67	0,36	0,70	0,87	0,75	0,42	0,47	0,83	0,60	0,91	0,75	0,72	0,80	0,99	0,81	0,60	0,86	0,71

Tabela 2. Zestawienie współczynników oceny dla PM10

Parametr:	Żłobek Samorządowy nr / nr pomieszczenia																			Wartość średnia
	5				6			33			31			23			18			
	1	2	3	4	3	4	5	1	2	5	3	4	5	3	4	5	1	2	5	
A1/A1'	1,12	1,12	1,29	1,36	0,92	0,92	1,01	1,00	0,84	2,63	0,82	0,96	0,81	1,18	1,15	1,27	1,07	1,02	0,99	1,13
$\alpha=A4/A4'$	1,30	1,30	0,81	1,07	0,47	0,49	0,82	0,46	0,50	0,79	0,80	0,58	0,52	0,71	0,48	0,65	0,64	0,67	0,64	0,72
$\beta=B3/B3'$	0,72	0,72	0,69	0,23	0,80	1,14	0,51	0,80	0,82	1,10	0,98	1,13	0,81	0,94	1,09	1,02	0,96	0,85	1,16	0,87
$\gamma=B3_{30}/B2$	0,72	0,72	0,34	0,17	2,10	2,37	0,94	0,98	1,55	0,86	1,61	1,97	1,81	1,38	1,78	1,33	0,94	1,10	1,13	1,25
B3 ₂₀ /B3' ₂₀	0,66	0,66	0,77	0,37	0,73	0,87	0,78	0,43	0,40	1,46	0,63	0,94	0,73	0,68	0,71	0,82	0,81	0,59	0,81	0,73



Ze względu na fakt, iż przy braku obecności ludzi w pomieszczeniu, oczyszczacze dość szybko przechodziły w tryb uśpienia (pomiędzy godziną 19 a 20), ocena skuteczności oczyszczacza na podstawie parametrów β , γ a nawet $B_{3'20}/B_{3'20}$ nie daje pełnego obrazu w tym zakresie. Fakt iż zapylenie na zewnątrz budynku wzrastało w porze nocnej, przekłada się również na wzrost zapylenia w pomieszczeniach, stąd obliczenie parametru γ zgodnie z zależnością nr 4 daje wynik większy od jeden. Skuteczność oczyszczania powietrza w pomieszczeniach bez ludzi można również zaobserwować na podstawie analizy wykresów z Żłobków Samorządowych nr 31 oraz 23. W ostatnich 20 do 30 min przed zakończeniem pomiarów, oczyszczacz był wzbudzany poprzez gest ręką przed jego czujnikiem ruchu. Na wykresach z pomieszczeń 3 i 4 Żłobka nr 31 oraz pomieszczenia 3 Żłobka nr 23 wyraźnie widoczny jest spadek wartości zapylenia od momentu „wybudzenia” oczyszczacza do czasu zakończenia pomiarów. Pomimo, iż w podobnym okresie czasu zapylenie powietrza na zewnątrz budynku również spada, wyżej opisywany spadek zapylenia należy wiązać bezpośrednio z pracą oczyszczacza - zapylenie w pomieszczeniach odniesienia (nr 1 i nr 2) nie spada tak gwałtownie jak w pomieszczeniach z „wybudzonym” oczyszczaczem. W związku powyższym efektywność oczyszczania w tych pomieszczeniach wynosi średnio 25% za czas 30 min.

Pomimo, iż pomiary były prowadzone w okresie grzewczym, w czasie gdy średnia temperatura powietrza w ciągu dnia wynosiła ok. 0°C a w nocy ok. -6 °C, średnie zapylenie powietrza na zewnątrz w trakcie obecności dzieci w żłobkach, zawierało się w przedziale 10÷50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla cząsteczek PM_{2,5} oraz 20÷90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dla cząsteczek PM₁₀. Z niskiego stężenia zapylenia na zewnątrz budynku, wynika fakt, że główny udział cząsteczek PM₁₀, stanowią zanieczyszczenia (kurz, roztocza), wzburzone głównie przez zabawę dzieci oraz rozkładanie/składanie leżaków.. Zmiana poziomu stężenia cząsteczek PM_{2,5} jest mniej wrażliwa na ruch powietrza wywołany funkcjonowaniem obiektu. Wyższe stężenia zanieczyszczeń powietrza na zewnątrz obiektów, występowały podczas rozpoczynania pomiarów w Żłobku Samorządowym nr 23. Na przebiegach frakcji PM_{2,5} z pomieszczeń nr 3, 4 i 5 dobrze widoczny jest moment włączenia oczyszczacza (wyraźny spadek zanieczyszczenia cząsteczkami PM_{2,5} odpowiednio w godzinach 8:30, 8:30 oraz 9:10). Mimo, iż spadek ten pokrywa się ze spadkiem zanieczyszczenia na zewnątrz obiektu, analiza w porównywalnym okresie przebiegów z pomieszczeń odniesienia (pomieszczenie 1 i 2) wskazuje, że w pomieszczeniach odniesienia spadek frakcji PM_{2,5} nie jest tak wyraźny i gwałtowny.

6. Podsumowanie

Celem prowadzonych badań była ocena skuteczności działania oczyszczaczy powietrza w warunkach rzeczywistego użytkowania, zainstalowanych w wybranych placówkach edukacyjnych miasta Krakowa. Badania zostały przeprowadzone zgodnie z procedurą badawczą PB-BT/62 „Badania oczyszczaczy powietrza w warunkach rzeczywistych”.

Badania przeprowadzono w sześciu placówkach edukacyjnych. Badania wykonano w dziewiętnastu pomieszczeniach z pracującym oczyszczaczem oraz w jedenastu pomieszczeniach stanowiących pomieszczenia odniesienia (bez oczyszczacza).

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz można wnioskować:

- Średnia wartość parametru $A1/A1'$ (wg pkt. 5a) potwierdza równoważność pomieszczeń odniesienia w stosunku do pomieszczeń z włączonym oczyszczaczem,
- Średnia wartość współczynnika $\alpha_{PM2,5}$ wynosi 0,55. Oznacza to, że frakcja $PM_{2,5}$, podczas użytkowania pomieszczeń, była średnio o 45% mniejsza w pomieszczeniach z pracującym oczyszczaczem w stosunku do pomieszczeń odniesienia (bez oczyszczacza),
- Średnia wartość współczynnika α_{PM10} wynosi 0,72. Oznacza to, że frakcja PM_{10} , podczas użytkowania pomieszczeń, była średnio 28% mniejsza w pomieszczeniach z pracującym oczyszczaczem w stosunku do pomieszczeń odniesienia (bez oczyszczacza),
- Przechodzenie oczyszczacza w tryb uśpienia w czasie nieobecności ludzi w pomieszczeniach i brak jego samoczynnego „wybudzania” pod wpływem wzrostu zapylenia (dla poziomów zapylenia występujących podczas badań nie odnotowano faktu „wybudzenia” się oczyszczacza), powoduje, że zapylenie w pomieszczeniach pod koniec pomiarów (około godziny 3 w nocy) było w zdecydowanej większości przypadków większe niż w momencie rozpoczynania pomiarów w trybie „bez ludzi” (fakt wzrostu zapylenia w pomieszczeniu wynikał ze wzrostu zapylenia na zewnątrz),
- Podczas obecności dzieci, oczyszczacze wykazywały większą skuteczność dla $PM_{2,5}$ niż dla PM_{10} . Wynika to z faktu, że wykonywanie codziennych czynności, takich jak zabawa czy rozkładanie/składanie leżaków, powodował wyraźny wzrost frakcji $10\mu m$, natomiast nie powodował tak wyraźnych zmian dla frakcji $2,5\mu m$,
- Przeprowadzone badania pokazały, iż czynności związane z normalną pracą żłobków, powodują znaczący wzrost stężenia frakcji PM_{10} . Powodem tego, jest przede wszystkim

użytkowanie m.in. materacy, pościeli, koców i wykładzin dywanowych, które są głównym miejscem zbierania się zanieczyszczeń w postaci np. kurzu.

- Analiza wykresów ze Źłobka Samorządowego nr 23 pozwala sądzić, że w przypadku występowania większych stężeń zanieczyszczenia na zewnątrz, oczyszczacz może wykazywać większe współczynniki efektywności. Na wykresach z pomieszczeń, gdzie oczyszczacz był włączony (pomieszczenia 3, 4 i 5) na podstawie przebiegu PM_{2,5} wewnątrz danego pomieszczenia, wyraźnie widać moment włączenia oczyszczacza i efekt jego pracy (wyraźny spadek zanieczyszczenia cząsteczkami PM_{2,5} odpowiednio w godzinach 8:30, 8:30 oraz 9:10).

Metoda badania oczyszczaczy w warunkach rzeczywistych bazuje na określeniu ich względnej skuteczności oczyszczania powietrza w pomieszczeniach, w których je zainstalowano w stosunku do stężenia zapylenia w pomieszczeniach, gdzie te oczyszczacze były wyłączone. Pomiar zapylenia na zewnątrz budynków był monitorowany w celu określenia zmian poziomu stężenia pyłów i ewentualnego ich wpływu na poziom zapylenia wewnątrz pomieszczeń badanych. Dane o zapyleniu na zewnątrz stanowią informacje poglądowe i nie mogą stanowić źródła informacji o zapyleniu odniesienia. Wynika to z faktu, iż skuteczność oczyszczaczy nie może być odniesiona do zapylenia na zewnątrz budynku, a jedynie do warunków panujących w pomieszczeniu w którym oczyszczacz nie jest zainstalowany.

Zastrzeżenie

Sprawozdanie z badań zawiera wyniki odnoszące się wyłącznie do badanego obiektu.

- K O N I E C -