

# PRZYDATNOŚĆ OPTYCZNEGO MIERNIKA DO OCENY NARAŻENIA LUDZI NA DROBNY PYŁ ZAWARTY W POWIETRZU POMIESZCZEŃ

THE USEFULNESS OF AN OPTICAL MONITOR FOR THE ASSESSMENT OF HUMAN EXPOSURE TO FINE DUST IN INDOOR AIR

Małgorzata Kowalska<sup>1,2</sup>, Anna Mainka<sup>2</sup>, Walter Mucha<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach / Medical University of Silesia, Katowice, Poland  
Wydział Lekarski, Katedra i Zakład Epidemiologii / School of Medicine in Katowice, Department of Epidemiology

<sup>2</sup> Politechnika Śląska / Silesian University of Technology, Gliwice, Poland  
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Ochrony Powietrza / Faculty of Energy and Environmental Engineering, Department of Air Protection

## STRESZCZENIE

**Wstęp:** Istotną kwestią w ocenie ryzyka zdrowotnego jest pomiar indywidualnego narażenia, także dla zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego drobnym pyłem. Takie możliwości dają stosunkowo proste w obsłudze mierniki optyczne. Celem pracy była ocena możliwości wykorzystywania optycznego miernika AM520 do pomiaru indywidualnego narażenia ludzi na drobny pył PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub>, zawarty w pomieszczeniach zamkniętych, poprzez ustalenie współczynnika kalibracji i ocenę zgodności pomiaru z metodą referencyjną. **Materiał i metody:** W ramach badań wykonano pomiary stężeń pyłu PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub> w pomieszczeniach (3 lokalizacje w powiecie gliwickim, marzec–maj 2017 r.) z wykorzystaniem aspiratora osobistego SidePak model AM520, a także z użyciem urządzenia referencyjnego LVS3D metodą grawimetryczną. Ustalono wartość współczynnika kalibracji dla optycznego miernika i zgodność pomiarów wykonanych obydwoma metodami. **Wyniki:** Zakres wartości fotometrycznego współczynnika kalibracji kształtował się na poziomie 0,33–0,40 i był zbliżony z wartością 0,38 zalecaną przez producenta. Współczynnik determinacji dla zależności wyników uzyskanych metodą optyczną oraz grawimetryczną był bardzo wysoki i wynosił R<sup>2</sup> = 0,91. **Wnioski:** Prezentowane wyniki są obiecujące i pozwalają stwierdzić, że optyczny miernik AM520 może być wykorzystywany do oceny indywidualnego narażenia na drobne pyły PM<sub>2,5</sub> i PM<sub>10</sub> w pomieszczeniach zamkniętych. Med. Pr. 2019;70(2):213–220

**Słowa kluczowe:** zdrowie publiczne, kalibracja, drobny pył PM<sub>2,5</sub>, powietrze wewnętrzne, narażenie indywidualne, pomiar optyczny

## ABSTRACT

**Background:** An important issue in the assessment of health risks related to air pollution with fine dust is the measurement of individual exposure. Such possibilities are provided by relatively easy to use optical monitors. The aim of the presented work was to assess the possibility of using the AM520 optical monitor to measure individual human exposure to PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub> indoors by determining the calibration factor and assessing the compliance of the measurement with the reference method. **Material and Methods:** As part of the research, indoor concentrations of PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub> and were measured (3 locations in the Gliwice Poviats, March–May 2017) with the use of the SidePak Personal Aerosol Monitor AM520, as well as the reference LVS3D device by means of the gravimetric method. The value of the calibration coefficient for the optical monitor was determined, and the consistency of measurements performed with both methods was assessed. **Results:** The photometric calibration factor ranged 0.33–0.40 and was concurrent with the 0.38 value recommended by the manufacturer. The determination coefficient for the correlation between the measurement results obtained with the optical and gravimetric methods was very high (R<sup>2</sup> = 0.91). **Conclusions:** The presented results are promising and allow for the conclusion that the AM520 optical monitor can be used to assess individual exposure to PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub> indoors. Med Pr. 2019;70(2):213–20

**Key words:** public health, calibration, PM<sub>2,5</sub> fine dust, indoor air, personal exposure, optical measurement

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Małgorzata Kowalska, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Wydział Lekarski, Katedra i Zakład Epidemiologii, ul. Medyków 18, 40-752 Katowice, e-mail: mkowalska@sum.edu.pl  
Nadesłano: 25 maja 2018, zatwierdzono: 29 października 2018

## WSTĘP

Występowanie epizodów smogowych w Polsce, w tym w województwie śląskim, jest zjawiskiem cyklicznym, powtarzającym się w zasadzie co roku w sezonie jesienno-zimowym i głównie związanym z emitowaniem zanieczyszczeń przez indywidualne piece grzewcze. Ocena wpływu pogorszenia jakości powietrza na stan zdrowia populacji w południowej części Polski była przedmiotem systematycznie prowadzonych badań naukowych począwszy od lat 90. XX wieku [1–8], z których wynika, że działania naprawcze okazały się mało skuteczne. Powtarzające się epizody ze złą jakością powietrza niezmiennie wzbudzają niepokój i protesty mieszkańców, którzy zaczęli się organizować w społeczny ruch antysmogowy [9,10].

Istotną kwestią w ocenie ryzyka zdrowotnego są pomiary stężeń zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego, a także występujących w pomieszczeniach mieszkalnych czy przeznaczonych do pracy [11]. Wiele dotychczas publikowanych prac opiera się na pośredniej formie szacowania narażenia (np. poprzez lokalizację miejsca zamieszkania, określenie długości czasu zamieszkania w obecnym miejscu lub stażu pracy w zawodzie, dane z monitoringu jakości powietrza atmosferycznego itp.). Biorąc pod uwagę dużą zmienność międzysoborniczą w zakresie stylu życia, charakteru wykonywanej pracy czy środowiska i miejsca zamieszkania, w epidemiologii środowiskowej preferuje się jednak indywidualną ocenę narażenia [12]. Nie jest to zadanie łatwe, ponieważ wymaga dodatkowych nakładów finansowych na zakup wysokospecjalistycznej aparatury pomiarowej, pomiar w bezpośrednim środowisku narażonego (np. w mieszkaniu) bywa kłopotliwy oraz niezbędne jest wystandaryzowanie i skalibrowanie mobilnych przyrządów pomiarowych. Jednym z przykładów takich rozwiązań w ocenie narażenia na drobny pył jest wykorzystywanie optycznych mierników, szczególnie przydatnych do pomiarów w pomieszczeniach zamkniętych.

Według obowiązujących w Polsce przepisów praca dopuszczalne 24-godzinne stężenie drobnego pyłu o średnicy aerodynamicznej  $\leq 10 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) w powietrzu atmosferycznym wynosi  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [13]. Jednocześnie Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) zaleca taki sam poziom dla powietrza wewnątrz pomieszczeń [14]. W przypadku drobnego pyłu o średnicy aerodynamicznej  $\leq 2,5 \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ) nie ma krajowych wytycznych dotyczących średniodobowych poziomów dopuszczalnych, dysponujemy jedynie wartością dopuszczalnego stężenia dla roku kalendarzowego, która wynosi  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Światowa Organizacja Zdrowia stoi na stanowisku, że

jest to także wartość dopuszczalna dla dobowego stężenia pyłu  $\text{PM}_{2,5}$  w pomieszczeniach zamkniętych.

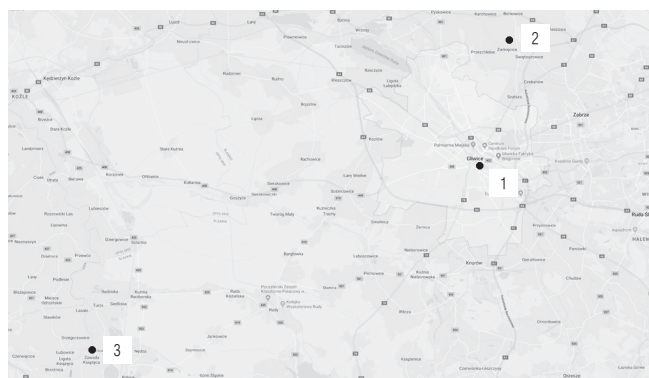
## Cel pracy

Celem pracy była ocena możliwości wykorzystywania optycznego miernika SidePac AM520 do oceny narażenia ludzi na  $\text{PM}_{2,5}$  i  $\text{PM}_{10}$  w pomieszczeniach zamkniętych. Pierwszym i bardzo istotnym zadaniem było przeprowadzenie kalibracji urządzenia w oparciu o jednocześnie wykonywane pomiary grawimetryczne w jednym ze śląskich miast oraz w regionie podmiejskim. Kolejne zadania zmierzały do ustalenia stężeń średniodobowych w poszczególnych mikrośrodkach życia ludzi, zlokalizowanych w regionach miejskim i wiejskim.

## MATERIAŁ I METODY

W ramach zaplanowanych badań dokonano pomiarów stężeń pyłu  $\text{PM}_{10}$  i  $\text{PM}_{2,5}$  w pomieszczeniach w okresie marzec–maj 2017 roku z wykorzystaniem aspiratora osobistego, który jest optycznym miernikiem aerozoli firmy TSI Incorporated (TSI SidePac Aerosol AM520). Rycina 1 prezentuje lokalizację punktów pomiarowych, przy czym lokalizacja 1 identyfikuje obszar miejski [pomieszczenia biurowe i laboratoryjne budynku Centrum Nowych Technologii (CNT) w Gliwicach], a lokalizacje 2 i 3 określają obszar wiejski.

Wybór miejsc pomiarowych nie był przypadkowy, ponieważ uwzględniono dotychczasowe obserwacje: na terenach miejskich w okresie wiosennym wzrasta udział emisji komunikacyjnej przy notowanym spadku udziału tzw. niskiej emisji, podczas gdy w obszarach podmiejskich i wiejskich dominujące znaczenie w emisji pyłu wiosną mają indywidualne piece grzewcze [15].



1 – obszar miejski Gliwice / urban area of Gliwice  
2 – obszar wiejski Ziemiećce i Przechlebie / rural area of Ziemiećce and Przechlebie  
3 – obszar wiejski Zawada Książęca / rural area of Zawada Książęca

**Rycina 1.** Lokalizacja punktów pomiarowych  
**Figure 1.** Location of measuring points

Budynek CNT (lokalizacja 1) jest położony w centrum miasta obok wjazdu do tunelu na trasie drogowej trasy średnicowej, którym przejeżdża 30 tys. samochodów na dobę. Lokalizacja pomiarowa 2 obejmuje wsie Ziemięcice i Przechlebice położone 10 km na północny wschód od Gliwic. Jakość powietrza w obydwu miejscowościach jest uwarunkowana nie tylko lokalną emisją z indywidualnych palenisk, ale dodatkowo ma związek z napływem zanieczyszczonego powietrza z obszaru Gliwic (zgodnie z dominującym kierunkiem wiatru). Pomiar w tej lokalizacji prowadzono w 2 domach jednorodzinnych, w szkole i przedszkolu. Trzecia lokalizacja znajdowała się we wsi Zawada Książęca położonej 40 km na południowy zachód od konurbacji górnośląskiej i 10 km od Raciborza. Pomiar w tej lokalizacji ma związek z lokalną niską emisją i napływem powietrza z Raciborza zgodnie z dominującym kierunkiem wiatru.

W celu wyznaczenia dokładnego fotometrycznego współczynnika kalibracji optycznego miernika SidePak AM520 wykonano jednoczesne pomiary stężenia pyłu  $PM_{10}$  za pomocą urządzenia referencyjnego LVS3D (prod. Atmoservice, Polska), zgodnie z polską normą PN-EN 12341:2014 metodą referencyjną jest metoda grawimetryczna [16]. W badaniu własnym wykorzystano 2 aspiratory. Podczas pomiarów w laboratorium korzystano z aspiratora LVS3D z głowicą  $PM_{10}$ , natomiast w mieszkaniu, z uwagi na małe rozmiary urządzenia, zastosowano aspirator osobisty SKC model 224-PCMTX8 (prod. SKC Inc., Anglia) z głowicą do pobierania całkowitego pyłu zawieszonego [17] i taką samą głowicę IOM wykorzystano przy równoległym pomiarze miernikiem optycznym (głowica IOM została opracowana w Instytucie Medycyny Pracy w Szkocji i służy do skutecznego zatrzymywania cząstek o średnicy do 100  $\mu m$ ).

Przy wyborze metody grawimetrycznej kierowano się wymaganym natężeniem przepływu, które dla aspiratora LVS3D wynosi 2,3  $m^3/godz.$ , a dla optycznego miernika SidePak AM520 – 1,7  $dm^3/min$ . W aspiratorze LVS3D ustawienie przepływu jest nadane przez producenta i potwierdzone stosownym świadectwem, natomiast w aspiratorze SKC model 224-PCMTX8 pompę zastosowanego aspiratora dla metody grawimetrycznej skalibrowano i ustawiono na przepływ 2  $dm^3/min$  (zgodnie z instrukcją).

Z uwagi na niskoprzepływowy charakter stosowanych aspiratorów w celu uzyskania odpowiedniej masy pyłu na filtrze pomiary grawimetryczne wykonywano w sposób ciągły przez 2–4 dni. Korzystano z filtrów kwarcowych QMA (prod. Whatman, USA) o średni-

cach 47 mm i 25 mm, odpowiednio, dla aspiratorów LVS i SKC. Masę pyłu zebranego za pomocą aspiratorów wyznaczono, ważąc filtry przed ekspozycją i po niej na mikrowadze MXA 5/1 o rozdzielczości 1  $\mu g$  (prod. RADWAG, Polska). Następnie masę zebranego pyłu odniesiono do objętości przepuszczonego powietrza, uzyskując w ten sposób stężenie pyłu ( $\mu g/m^3$ ). Przed ekspozycją i po niej filtry kondycjonowano w stałych warunkach przez 48 godz. przy zachowaniu stałej wilgotności względnej ( $45 \pm 5\%$ ) i stałej temperatury powietrza ( $20 \pm 2^\circ C$ ).

Przy opisie uzyskanych wyników wykorzystano podstawowe miary statystyki opisowej, średnią i odchylenie standardowe. W ocenie zgodności pomiarów prowadzonych z wykorzystaniem miernika optycznego i referencyjnego pomiaru grawimetrycznego obliczono fotometryczny współczynnik kalibracji (iloraz stężenia referencyjnego i wskazania miernika optycznego), a także współczynnik determinacji  $R^2$ . Przy ocenie zróżnicowania stężeń drobnego pyłu  $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$  mierzonego w domach jednorodzinnych usytuowanych w odmiennych lokalizacjach wiejskich (lokalizacja 2 i 3) zastosowano test t-Studenta.

## WYNIKI

W tabeli 1 zestawiono wyniki pomiarów stężeń frakcji pyłu  $PM_{10}$  i frakcji wdychalnej, przeprowadzonych metodami grawimetryczną oraz z wykorzystaniem optycznego miernika SidePak AM520. Zakres uzyskanych wartości fotometrycznego współczynnika kalibracji (*calibration factor* – CF) kształtował się na poziomie 0,33–0,40 i był zbliżony z wartością 0,38 obliczoną przez producenta dla powietrza atmosferycznego mierzonego w Krakowie. Dla szacowanej w badaniu własnym zależności współczynnik determinacji  $R^2$  był bardzo wysoki i wynosił 0,91. Dla użytkownika wykorzystującego miernik do oceny indywidualnego narażenia ludzi na drobny pył w powietrzu pomieszczeń zamkniętych oznacza to, że uzyskana wartość wskazania optycznego miernika SidePak AM520 jest automatycznie mnożona przez wartość  $CF = 0,38$  dla uzyskania poprawy dokładności pomiarów w odniesieniu do rzeczywistego stężenia masowego.

W tabeli 2 przedstawiono wartości stężeń drobnego pyłu  $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$  zmierzone wewnątrz pomieszczeń w zależności od lokalizacji stanowiska pomiarowego i charakterystyki pomieszczenia oraz towarzyszący im opis warunków arosanitarnych panujących na zewnątrz pomieszczeń. W każdej z lokalizacji w badanym okresie (marzec–maj 2017 r.) wykonano 3–114 pomiarów

**Tabela 1.** Zestawienie wyników pomiarów stężeń pyłu  $PM_{10}$  i całkowitego pyłu zawieszonego w powietrzu dokonywanych jednocześnie metodą grawimetryczną i z użyciem optycznego miernika SidePak AM520

**Table 1.** Results of the  $PM_{10}$  and total suspended particles measurements, carried out simultaneously with the gravimetric method and with the use of the SidePak AM520 optical monitor

Data Date	Rodzaj pomieszczenia Type of room	Pomiar grawimetryczny referencyjny Gravimetric reference measurement		Pomiar optyczny Optical measurement [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	CF
		głowica sampling head	stężenie concentration [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]		
6–8.03.2017	laboratorium / lab	$PM_{10}$	21	58,90	0,36
8–10.03.2017	laboratorium / lab	$PM_{10}$	29	89,00	0,33
14–17.03.2017	laboratorium / lab	$PM_{10}$	44	112,44	0,39
21–24.03.2017	laboratorium / lab	$PM_{10}$	34	84,79	0,40
28–29.03.2017	laboratorium / lab	$PM_{10}$	41	111,92	0,37
1–2.04.2017	prywatne mieszkanie / private apartment	IOM	40,7	116,81	0,35

CF – współczynnik kalibracji / calibration factor, IOM – głowica IOM / IOM sampler,  $PM_{10}$  – pył o średnicy aerodynamicznej  $\leq 10 \mu\text{m}$  / particulate matter with diameter  $\leq 10 \mu\text{m}$ .

**Tabela 2.** Zestawienie wyników pomiarów stężeń pyłu  $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$  dokonywanych z użyciem optycznego miernika SidePak AM520 oraz metodą automatyczną wraz z parametrami meteorologicznymi panującymi na stacji monitoringowej Wojewódzkiego Inspektoratu Ochrony Środowiska (WIOŚ) w Katowicach

**Table 2.** A list of  $PM_{10}$  and  $PM_{2,5}$  concentrations in optical (performed using the SidePak AM520 measure) and automatic measurements, and the meteorological parameters at the monitoring station of the Provincial Environmental Protection Inspectorate (WIOŚ) in Katowice

Pył/Pomieszczenie Dust/Room	Numer lokalizacji (liczba pomiarów) Location number (number of measurements)	Stężenie pyłu uśrednione do godziny Mean hour value of dust concentration [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ] ( $M \pm SD$ )			Sytuacja meteorologiczna Meteorological situation	
		pomiar optyczny wewnątrz optical measurement indoors	pomiar automatyczny ze stacji WIOŚ automatic measurement from the WIOŚ station	prędkość wiatru wind speed [m/s] ( $M \pm SD$ )	temperatura temperature [ $^{\circ}\text{C}$ ] ( $M \pm SD$ )	wilgotność względna relative humidity [%] ( $M \pm SD$ )
$PM_{10}$						
dom / house	2, 3 (27)	56,3 $\pm$ 53,8	24,4 $\pm$ 16,0	1,4 $\pm$ 0,9	10,1 $\pm$ 4,5	67,4 $\pm$ 13,8
laboratorium / lab	1 (114)	39,4 $\pm$ 38,5	55,9 $\pm$ 38,0	1,04 $\pm$ 0,7	9,0 $\pm$ 4,6	69,4 $\pm$ 21,0
biuro / office	1 (3)	19,7 $\pm$ 13,3	46,3 $\pm$ 29,5	1,7 $\pm$ 0,6	11, $\pm$ 3,5	66,7 $\pm$ 11,5
szkoła / school	2 (5)	31,2 $\pm$ 14,5	17,0 $\pm$ 1,0	1,0 $\pm$ 0,5	8,4 $\pm$ 0,5	53,8 $\pm$ 2,0
przedszkole / kindergarten	2 (14)	14,4 $\pm$ 1,3	27,0 $\pm$ 3,9	0,4 $\pm$ 0,5	19,9 $\pm$ 1,5	54,3 $\pm$ 5,0
$PM_{2,5}$						
dom / house	2, 3 (6)	79,3 $\pm$ 49,3	13,21 $\pm$ 4,9	0,83 $\pm$ 0,4	5,3 $\pm$ 4,8	78,7 $\pm$ 10,0
biuro / office	1 (3)	16,3 $\pm$ 11,6	22,3 $\pm$ 16,6	1,7 $\pm$ 1,2	13,0 $\pm$ 4,6	60,3 $\pm$ 9,3
szkoła / school	2 (5)	25,2 $\pm$ 4,5	11,6 $\pm$ 0,9	1,0 $\pm$ 0,5	8,4 $\pm$ 0,5	54,4 $\pm$ 2,5
przedszkole / kindergarten	2 (14)	17,8 $\pm$ 1,7	12,6 $\pm$ 2,9	1,3 $\pm$ 0,5	1,9 $\pm$ 1,1	76,1 $\pm$ 20,7

$PM_{2,5}$  – pył o średnicy aerodynamicznej  $\leq 2,5 \mu\text{m}$  / particulate matter with aerodynamic diameters  $\leq 2,5 \mu\text{m}$ .

Lokalizacja 1 – obszar miejski Gliwice / Location 1 – urban area of Gliwice, lokalizacja 2 – obszar wiejski Ziemięcice i Przechlebice / location 2 – rural area of Ziemięcice and Przechlebice, lokalizacja 3 – obszar wiejski Zawada Książęca / location 3 – rural area of Zawada Książęca.

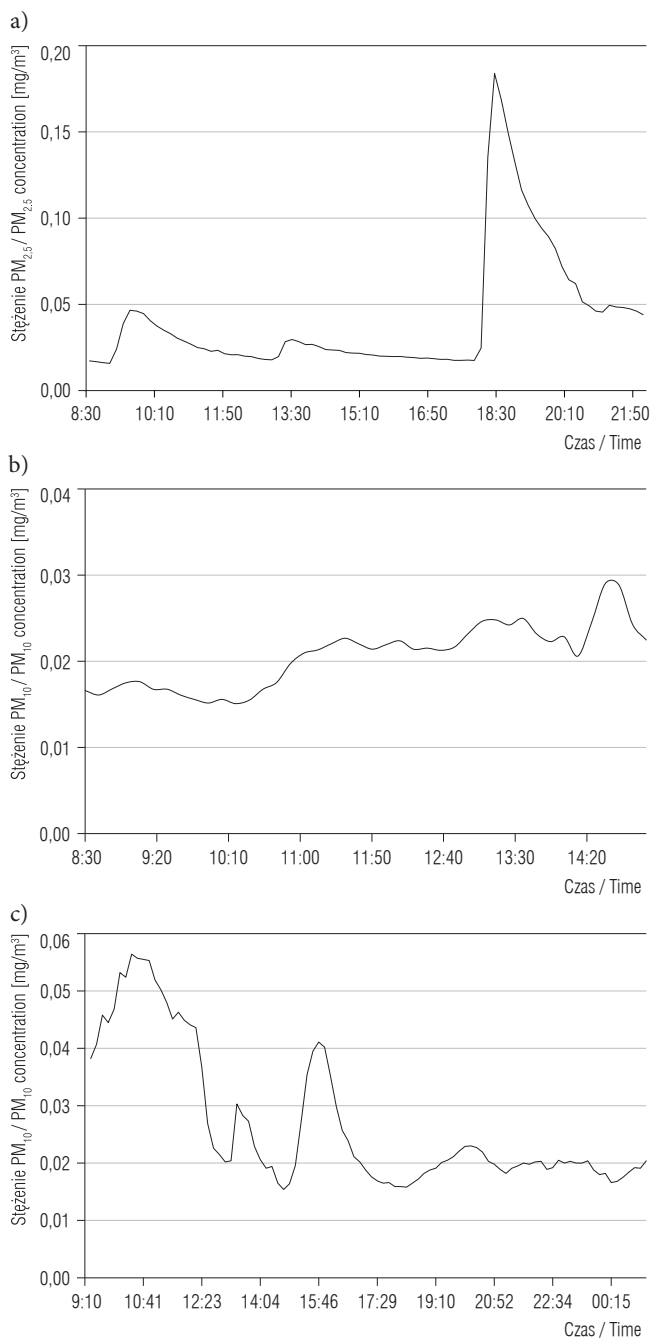
Pozostałe skróty jak w tabeli 1 / Other abbreviations as in Table 1.

1-godzinnych, prezentowane w tabeli wyniki są więc średnimi godzinowymi pomiarów prowadzonych wewnątrz pomieszczeń wraz z odchyleniem standardowym. Dane dotyczące sytuacji meteorologicznej pochodzą ze stacji monitoringu Śląskiego Systemu Monitoringu Jakości Powietrza w Katowicach na ul. Kossutha.

Rycina 2 przedstawia wyniki uzyskane w trakcie przykładowych serii pomiarowych, prowadzonych w opisanych lokalizacjach z użyciem optycznego miernika SidePak AM520. Średnie dobowe stężenie pyłu  $PM_{10}$  zawieszonego w pomieszczeniu mieszkalnym (rycina 2a – lokalizacja 3) wynosiło  $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a więc nie przekraczało wartości zalecanej przez WHO. Wyraźnie widać gwałtowny wzrost stężenia w godzinach wieczornych do wartości przekraczającej  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nieco odmienny był obraz pomiarów stężenia pyłu  $PM_{2,5}$  w lokalizacji 2 (rycina 2b – sala przedszkolna). Średnie stężenie wynosiło  $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a więc również nie przekraczało wartości zalecanej przez WHO ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Należy zwrócić uwagę na chwilowy wzrost stężenia  $PM_{2,5}$  ok. godz. 15:00, będący następstwem rozpoczęcia popołudniowych porządków w przedszkolu. Wreszcie rycina 2c prezentuje pomiary wykonane w lokalizacji 1 (laboratorium, w którym studenci badali pyły przemysłowe). Zaobserwowano wprawdzie chwilowe wzrosty stężeń pyłu  $PM_{10}$  przekraczające wartość zalecaną ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), jednak zainstalowany w pomieszczeniu sprawny system automatycznej wentylacji zapewniał właściwą jakość powietrza w laboratorium (tabela 2).

## OMÓWIENIE

Warto zauważyć, że największe średnie godzinowe stężenia drobnego pyłu  $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$  mierzonego z użyciem urządzenia optycznego SidePak AM520 dotyczyły powietrza w pomieszczeniach mieszkalnych, a więc w domu. Jednocześnie wykazano odmienną relację między stężeniami pyłu wewnątrz i na zewnątrz pomieszczeń (I/O): stężenia mierzone w pomieszczeniach mieszkalnych i w budynku szkolnym były większe niż na zewnątrz (I/O > 1), natomiast te mierzone w pomieszczeniu laboratoryjnym i biurowym były mniejsze niż notowane przez automatyczną stację monitoringową (I/O < 1). Obserwacja ta potwierdza skuteczność mechanicznego systemu wentylacji stosowanego w budynku, w którym mieści się pomieszczenie laboratoryjne i biurowe (lokalizacja 1). Zaniechano pomiaru stężenia pyłu  $PM_{2,5}$  w laboratorium, biorąc pod uwagę wyniki wcześniejszych badań własnych, potwierdzające wysoki udział frakcji  $PM_{2,5}$  w pyłe  $PM_{10}$  sięgający nawet 88% [18].



**Rycina 2.** Przykładowe serie pomiarowe z udziałem optycznego miernika SidePak AM520: a) pomiary z dnia 26 maja 2017 r. w lokalizacji 3 – dom jednorodzinny w miejscowości Zawada Książęca, b) pomiary z dnia 19 kwietnia 2017 r. w lokalizacji 2 – sala dzieci starszych w przedszkolu w miejscowości Przechlebie, c) pomiary z dnia 29 marca 2017 r. w lokalizacji 1 – laboratorium studenckie w Centrum Nowych Technologii Politechniki Śląskiej w Gliwicach

**Figure 2.** Examples of measurement series with the use of the SidePak AM520 optical monitor: a) measurement of May 26, 2017 in location No. 3 – a single-family house in Zawada Książęca, b) measurement of April 19, 2017 in location No. 2 – a classroom for older children in a kindergarten located in Przechlebie, c) measurement of March 29, 2017 in location No. 1 – the student's laboratory in the New Technologies Centre of Silesian University of Technology in Gliwice

Zaobserwowane dość znaczne zróżnicowanie stężeń pyłów obydwu frakcji między poszczególnymi pomieszczeniami jest przede wszystkim efektem odmienności źródeł wewnętrznej emisji, w tym wtórnego pylenia będącego wynikiem zróżnicowanej liczby użytkowników oraz ich różnej aktywności fizycznej. Poza tym nie można wykluczyć wpływu odmiennych lokalizacji punktów pomiarowych (np. usytuowanie miejskie lub wiejskie).

W trakcie badania zauważono, że okresowo zdarzają się przekroczenia wartości zalecanych przez WHO stężeń pyłu  $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$  w pomieszczeniach, odpowiednio,  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Największe stężenia chwilowe pyłu  $PM_{10}$  wewnątrz pomieszczenia laboratoryjnego odnotowano w godzinach wieczornych przy wyłączonym systemie filtracji powietrza. Pomiar prowadzone w budynku szkolnym ujawniły także epizody przekroczeń zalecanych wartości stężeń godzinowych, co należy wiązać głównie z wtórnym pyleniem na skutek wzrostu aktywności ruchowej uczniów. Wyniki wcześniejszych badań własnych potwierdzają właśnie tę zależność, przy czym największe stężenia pyłu rejestrowano w klasach przeznaczonych dla starszych uczniów [19,20].

Najmniejsze stężenia pyłu obydwu frakcji ( $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$ ) zanotowano w budynku przedszkolnym, warto jednak zwrócić uwagę na stosunkowo korzystne warunki meteorologiczne towarzyszące pomiarom w tej lokalizacji. Średnia temperatura powietrza atmosferycznego była wówczas wysoka ( $19,9 \pm 1,5^\circ\text{C}$ ), co znacznie redukowało emisję pyłu z indywidualnych pieców grzewczych oraz było związane z intensywnym wietrzeniem pomieszczeń przedszkolnych. Warto dodać, że największe stężenia pyłów obydwu frakcji ( $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$ ) w pomieszczeniach mieszkalnych rejestrowano zazwyczaj w godzinach porannych, co prawdopodobnie miało związek z lokalnymi źródłami tzw. niskiej emisji.

Wyniki przedstawione na rycinie 2 wskazują, że średnie dobowe stężenie pyłu  $PM_{10}$  zawieszono w pomieszczeniu mieszkalnym nie przekraczało wartości zalecanej przez WHO. Wyraźnie widać jednak gwałtowny wzrost stężeń w godzinach wieczornych, co najprawdopodobniej miało związek z rozpoczęciem procesu ogrzewania wody użytkowej w piecu na paliwo stałe, zainstalowanym w budynku sąsiadującym od strony nawietrznej z pomieszczeniem mieszkalnym (rycina 2a). Nie można zatem wykluczyć chwilowego ostrego wpływu tego narażenia na stan zdrowia domowników. Występowanie potencjalnych negatywnych efektów zdrowotnych należałoby więc wiązać nie tylko z dłuższym czasem trwania narażenia, ale także z uwidocznionym wzrostem chwilowego (nawet godzinowego) stężenia

pyłu w pomieszczeniu mieszkalnym. Za taką argumentacją przemawiają wyniki badań autorów, którzy zajmowali się oceną wpływu krótkoterminowego narażenia na stan układu oddechowego i układu krążenia ludzi eksponowanych na zwiększone stężenia drobnego pyłu [21–25].

Nieco odmienny był obraz pomiarów stężenia pyłu  $PM_{2,5}$  w sali przedszkolnej (rycina 2b). Średnie stężenie także nie przekraczało wartości zalecanej przez WHO, jednak ok. godz. 15:00 ujawnił się chwilowy wzrost stężenia  $PM_{2,5}$ , będący następstwem rozpoczęcia popołudniowych porządków w przedszkolu. Warto postulować, żeby sprzątanie pomieszczeń było prowadzone podczas nieobecności dzieci.

Wreszcie rycina 2c prezentuje pomiary wykonane w laboratorium studenckim. Chwilowe wzrosty stężeń pyłu  $PM_{10}$  przekraczające wartość zalecaną były szybko niwelowane przez zainstalowany w pomieszczeniu sprawny system automatycznej wentylacji.

Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki, można sądzić, że największe narażenie na pył  $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$  dotyczy pomieszczeń domowych, a głównym źródłem ich emisji pozostają indywidualne piece grzewcze. Tym bardziej, że czas spędzany w pomieszczeniach mieszkalnych w sezonie wiosennym ulega znacznemu wydłużeniu w stosunku do pory letniej – w domu ludzie przebywają ponad połowę doby. Jednocześnie nie wykazano istotnych statystycznie różnic między stężeniami drobnego pyłu  $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$  mierzonymi w domach jednorodzinnych usytuowanych w obszarze wiejskim w lokalizacji 2 oraz 3 (odpowiednio,  $p = 0,73$  oraz  $p = 0,55$  dla  $PM_{10}$  i  $PM_{2,5}$ ).

Warto nadmienić, że w obydwu lokalizacjach wiejskich nie ma sieci ciepłowniczej, stąd istotny udział w emisji pyłu stanowią właśnie paleniska indywidualne używane zarówno do celów grzewczych, jak i do uzyskiwania ciepłej wody. Wprawdzie kontrolowane pomieszczenia w lokalizacji 2 mają podłączenia do sieci gazowej, jednak stężenia pyłu mierzonego w mieszkaniach pozostawały wysokie. Wcześniejsze prace potwierdziły, że najważniejszym źródłem zanieczyszczenia powietrza w pomieszczeniach bez dodatkowych źródeł wewnętrznych emisji pozostaje powietrze atmosferyczne – odpowiednio, 75% dla pyłu  $PM_{2,5}$  i 66% dla pyłu  $PM_{10}$  [26,27].

Reasumując, pomiar narażenia uwzględniający udział poszczególnych mikrośrodków życia i aktywności ludzi w zdrowiu publicznym jest zadaniem ważnym [12]. Biorąc pod uwagę długość czasu spędzanego w pomieszczeniach mieszkalnych, dominującą rolę w narażeniu na zanieczyszczenia powietrza drobnym pyłem odgrywa środowisko domowe. W związku z tym dąże-

nie do możliwości sprawowania kontroli nad jakością powietrza wewnątrz pomieszczeń w aspekcie potencjalnych skutków zdrowotnych jest działaniem oczekiwanym nie tylko przez epidemiologów, ale także przez coraz bardziej świadome zagrożenia społeczeństwo. Umożliwiają to łatwe w obsłudze przyrządy pomiarowe, takie jak optyczne mierniki stężenia drobnego pyłu.

W celu rozpoznania i komunikowania rzeczywistego zagrożenia niezbędne jest jednak wyznaczenie oraz opisanie wiarygodności wskazań stosowanych mierników, choćby poprzez wyznaczenie właściwego współczynnika kalibracji i ocenę zgodności pomiarów z pomiarem referencyjnym. Bez nich informacja o rzeczywistym narażeniu nie jest wiarygodna oraz jest źródłem pogłębiającego się niezadowolenia społecznego, co z kolei utrudnia efektywność działań ukierunkowanych na poprawę zdrowia i jakości życia.

## WNIOSKI

Prezentowane wyniki są obiecujące i pozwalają stwierdzić, że optyczny miernik SidePak AM520 może być wykorzystywany do oceny narażenia ludzi na drobny pył  $PM_{2,5}$  i  $PM_{10}$  w pomieszczeniach zamkniętych. Porównanie wyników jednoczesnych pomiarów grawimetrycznych i optycznych pozwoliło wyznaczyć współczynnik kalibracji dla ocenianego urządzenia, który jest zgodny z wartością podawaną przez producenta dla powietrza atmosferycznego. Należy podkreślić, że przedstawione w pracy wyniki mają charakter doniesienia wstępnego, bez którego ocena użyteczności mierników optycznych w ocenie narażenia na drobny pył nie będzie możliwa.

## PIŚMIENNICTWO

1. Szafraniec K., Tęcza W.: Wpływ krótkotrwałych zmian poziomu zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na umiarkłość z powodu chorób układu krążenia wśród mieszkańców Krakowa. *Przegl. Lek.* 1999;56(11):698–703
2. Jędrzychowski W.: Ambient air pollution and respiratory health in the east Baltic region. *Scand. J. Work Environ. Health* 1999;25, Supl. 3:5–16
3. Jędrzychowski W., Bendkowska I., Flak E., Penar A., Jacek R., Kaim I. i wsp.: Estimated risk for altered fetal resulting from exposure to fine particles during pregnancy: an epidemiologic prospective cohort study in Poland. *Environ. Health Perspect.* 2004;112(14):1398–1402, <https://doi.org/10.1289/ehp.7065>
4. Biesiada M., Zejda J.E., Skiba M.: Air pollution and acute respiratory diseases in children: Regression analysis of mor-

5. Skiba M., Zejda J.E.: Wpływ zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na dobową zachorowalność dzieci na choroby układu oddechowego. *Pediatr. Pol.* 2000;75(8):625–632
6. Kowalska M., Hubicki L., Zejda J.E., Ośródko L., Krajny E., Wojtylak M.: Effect of ambient air pollution on daily mortality in Katowice Conurbation, Poland. *Pol. J. Environ. Stud.* 2007;16(2):227–232
7. Kowalska M., Zejda J.E., Skrzypek M., Ośródko L., Klejnowski K., Krajny E. i wsp.: Air pollution and daily mortality in the Urban Area of Katowice, comparison between two periods 1994/95 and 2001/02. *Pol. J. Environ. Stud.* 2008;17(5):733–738
8. Kowalska M., Zejda J.E., Skrzypek M.: Short-term effects of ambient air pollution on daily mortality. *Pol. J. Environ. Stud.* 2010;19(1):101–105
9. Jędrak J., Konduracka E., Badyda A.J., Dąbrowiecki P. [red.]: Wpływ zanieczyszczeń powietrza na zdrowie. *Krakowski Alarm Smogowy*, Kraków 2017, ss. 5–8
10. Katowicki Alarm Smogowy [Internet]. Katowice 2018 [cytowany 21 kwietnia 2018]. Adres: <https://polskialarmsmogowy.pl/katowicki-alarm-smogowy.html>
11. Ryan P.B.: Exposure assessment, industrial hygiene, and environmental management. W: Frumkin H. [red.]. *Environmental health. From global to local*. John Wiley & Sons, Inc., San Francisco 2005, ss. 72–95
12. Nieuwenhuijsen M.J.: Exposure assessment in occupational and environmental epidemiology. Oxford University Press, New York 2003, ss. 71–82, <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198528616.003.0005>
13. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu. *DzU z 2012 r., poz. 1031*
14. World Health Organization [Internet]. Organization, Geneva 2006 [cytowany 21 maja 2018]. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Adres: <http://www.euro.who.int/Document/E87950.pdf>
15. Zajusz-Zubek E., Mainka A., Korban Z., Pastuszka J.S.: Evaluation of highly mobile fraction of trace elements in  $PM_{10}$  collected in Upper Silesia (Poland): preliminary results. *Atmos. Pollut. Res.* 2015;6:961–968, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2015.05.001>
16. PN-EN12341:2014. Powietrze atmosferyczne standardowa grawimetryczna metoda pomiarowa do określania stężeń masowych frakcji  $PM_{10}$  lub  $PM_{2,5}$  pyłu zawieszonego. *Polski Komitet Normalizacyjny*, Warszawa 2014
17. Hinwood A., Callan A.C., Heyworth J., McCafferty P., Sly P.D.: Children's personal exposure to  $PM_{10}$  and associated met-

- als in urban, rural and mining activity areas. *Chemosphere* 2014;108:125–133, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.02.071>
18. Zajusz-Zubek E., Mainka A.: Analiza występowania pierwiastków śladowych w formie mobilnej frakcji respirabilnej pyłu ( $PM_{2,5}$ ) pobranego w otoczeniu elektrowni węglowej. *Inż. Ochr. Środ.* 2015;18(2):245–258
19. Mainka A., Zajusz-Zubek E., Kaczmarek K.:  $PM_{2,5}$  in urban and rural nursery schools in upper Silesia, Poland: trace elements analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2015;12(7):7990–8008, <https://doi.org/10.3390/ijerph120707990>
20. Mainka A., Zajusz-Zubek E., Kaczmarek K.:  $PM_{10}$  composition in urban and rural nursery schools in Upper Silesia, Poland: a trace elements analysis. *Int. J. Environ. Pollut.* 2017;61(2):98–118, <https://doi.org/10.1504/IJEP.2017.085651>
21. Milojevic A., Wilkinson P., Armstrong B., Bhaskaran K., Smeeth L., Hajat S.: Short-term effects of air pollution on a range of cardiovascular events in England and Wales: case-crossover analysis of the MINAP database, hospital admissions and mortality. *Heart* 2014;100(14):1093–1098, <https://doi.org/10.1136/heartjnl-2013-304963>
22. Kowalska M., Kocot K.: Short-term exposure to ambient fine particulate matter ( $PM_{2,5}$  and  $PM_{10}$ ) and the risk of heart rhythm abnormalities and stroke. *Postępy Hig. Med. Dośw.* 2016;70:1017–1025
23. Sinharay R., Gong J., Barratt B., Ohman-Strickland P., Ernst S., Kelly F.J. i wsp.: Respiratory and cardiovascular responses to walking down a traffic-polluted road compared with walking in a traffic-free area in participants aged 60 years and older with chronic lung or heart disease and age-matched healthy controls: a randomised, crossover study. *Lancet* 2018;391(10118):339–349, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32643-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32643-0)
24. Szyszkowicz M., Kousha T., Castner J., Dales R.: Air pollution and emergency department visits for respiratory diseases: a multi-city case crossover study. *Environ. Res.* 2018;163:263–269, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.043>
25. Hulin M., Simoni M., Viegi G., Annesi-Maesano I.: Respiratory health and indoor air pollutants based on quantitative exposure assessments. *Eur. Respir. J.* 2012;40(4):1033–1045, <https://doi.org/10.1183/09031936.00159011>
26. Özkaynak H., Xue J., Spengler J., Wallace L., Pellizzari E., Jenkins P.: Personal exposure to airborne particles and metals: results from the particle team study in riverside. *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* 1996;6:57–78
27. Rogula-Kopiec P., Pastuszka J.S., Rogula-Kozłowska W., Czechowski P., Majewski G.: Pył zawieszony w biurze i w laboratorium – wpływ wybranych czynników na stężenia i udział frakcji respirabilnej. W: Jan Koniecznyński [red.]. *Ochrona powietrza w teorii i praktyce. Tom 2. Zanieczyszczenia powietrza, przemiany zanieczyszczeń, modelowanie i prognozowanie stanu czystości powietrza oraz monitoring.* Instytut Podstaw Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Zabrze 2014, ss. 231–242