



Wpływ stężeń pyłów (PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀) w środowisku wewnątrz szkoły na wartości wskaźników spirometrycznych u dzieci

*Anna Zwoździak, Izabela Sówka, Magdalena Fortuna
Politechnika Wrocławska*

*Wanda Balińska-Miśkiewicz, Ewa Willak-Janc
Uniwersytet Medyczny, Wrocław*

*Jerzy Zwoździak
Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa*

1. Wstęp

Na podstawie badań epidemiologicznych prowadzonych w dużej skali na świecie nie jest się w stanie wskazać wartości progowej stężenia pyłów, poniżej której nie obserwowaloby się ich negatywnego wpływu na zdrowie ludzi (EEA, 2011). Wydaje się prawdopodobne, że w ramach światowej populacji ludzkiej istnieje tak szeroki zakres wrażliwości osobniczej, że pojawiają się osoby z dużym ryzykiem zagrożenia zdrowia nawet przy niskich stężeniach pyłów w atmosferze.

Środowiskowe oddziaływanie pyłów zawieszonych w atmosferze, zawierających wiele niebezpiecznych substancji, było przedmiotem badań wielu ośrodków naukowych na świecie [m.in. 1, 6, 7, 10, 11, 15, 18–21, 25, 26]. Wiadomo jest, że obecność zanieczyszczeń powietrza może wywołać u ludzi różne skutki, począwszy od irytacji i rozdrażnienia aż do ostrych oraz przewlekłych schorzeń układu krążenia i układu oddechowego, jak astma, przewlekła obturacyjna choroba płuc. Szczególnie dzieci są narażone na największe ryzyko ze strony zanieczyszczenia środowiska z racji jego wpływu na rozwój i czynność płuc oraz innych bę-

dających w trakcie rozwoju narządów. Udowodniono, że narażenie dzieci na długoterminową ekspozycję na pyły jest związane z redukcją funkcji płuc, wzrostem objawów ze strony układu oddechowego i śmiertelności niemowląt [2, 4, 8, 23].

W niniejszej pracy podjęto się oceny wpływu stężenia pyłów o średnicach poniżej 1 μm (PM1), 2,5 μm (PM2,5) i 10 μm (PM10) w powietrzu wewnątrz szkoły i na zewnątrz, na krótkookresowe zmiany parametrów funkcji płuc w grupie dzieci zdrowych, traktując grupę jako próbę losową.

2. Metodyka badań

Spirometria jest podstawowym badaniem wykorzystywanym w ocenie wpływu zanieczyszczeń powietrza na układ oddechowy człowieka [12, 16]. Badanie spirometryczne pozwala na ocenę objętości wydychanego powietrza oraz natężonego przepływu, zarówno w fazie wdechu jak i wydechu. Na tej podstawie możliwe jest stwierdzenie zaburzeń procesu wentylacji. Zanieczyszczenia powietrza wpływają głównie na ograniczenie przepływu powietrza w oskrzelach.

Ocena przepływów powietrza w drogach oddechowych dokonywana jest w oparciu o krzywą przepływ-objętość. Na jej podstawie mierzony jest: maksymalny przepływ wydechowy dla 50% FVC (Forced Vital Capacity – natężona objętość życiowa) (MEF_{50}), 25% FVC (MEF_{25}) i 75% FVC (MEF_{75}) oraz maksymalny przepływ wdechowy dla 50% FVC (MIF_{50}) (MIF – Maximal Inspiratory Flow). MEF_{75} oznacza szybkość przepływu powietrza podczas natężonego wydechu po wypuszczeniu 25% powietrza. MEF_{50} i MEF_{25} oznaczają odpowiednio szybkości przepływu powietrza w momencie wydychania 50% i 75% FVC. Wartości FEV_1 (natężona objętość wydechowa pierwszosekundowa) i PEF (szczytowy przepływ wydechowy) określają stan drożności dużych oskrzeli, zaś MEF_{25} , MEF_{50} i MEF_{75} – drożność oskrzeli obwodowych, o średnicy poniżej 2–3 mm i z tego powodu nazywane są testami drobnych oskrzeli. Ustalone normy powyższych wartości przedstawiają się następująco: $\text{FEV}_1 / \text{VC} > 0,7$, $\text{FVC} > 80\%$, $\text{FEV}_1 > 80\%$, $\text{MEF}_{50} > 60\%$ tzw. wartości należnej.

W badaniu brały udział dzieci 13–14 letnie z losowo wybranego gimnazjum na terenie miasta Wrocławia. Do losowania wytypowano

szkoły położone w pobliżu ruchliwego skrzyżowania, mające co najmniej 350 uczniów na jednym poziomie. W wybranej szkole rozdano rodzicom informację o badaniu oraz poproszono, aby rodzice którzy wyrazili zgodę na udział dziecka w badaniu, potwierdzili ją pisemnie. Dzieciom, które miały zgodę rodziców rozdano ankietę, składającą się z 20 pytań. Pytania dotyczyły przebytych chorób, warunków mieszkaniowych, otoczenia, trybu życia. Na podstawie udzielonych odpowiedzi z badania zostały wykluczone dzieci, które miały rozpoznaną dychawicę oskrzelową lub inne przewlekłe choroby układu oddechowego, dzieci, które w przeciągu ostatniego półrocza były hospitalizowane z powodu chorób układu oddechowego oraz te z aktualnymi objawami przeziębienia lub kaszlu.

U zakwalifikowanych dzieci ($n = 186$) wykonywano badania spirometryczne za pomocą przenośnego spirometru Blue Spiro. Spirometr ten umożliwia uzyskiwanie pomiarów należących do tzw. złotego standardu wg. ATS (American Thoracic Society) i ERS (European Respiratory Society). Badania były wykonywane w godzinach przedpołudniowych, między godziną 8:30 a 11:30 jeden raz w miesiącu od grudnia 2009 do października 2010 (z wyłączeniem lipca i sierpnia). Uzyskano w ten sposób 10 pomiarów obejmujących cały rok szkolny (dwukrotnie wykonano pomiary w grudniu 2009).

W tygodniu, w którym były prowadzone badania spirometryczne pobierano próbki pyłu zawieszonego. Do poboru próbek pyłu zawieszonego PM₁, PM_{2,5} i PM₁₀ zostały wykorzystane impaktory typu Harvard (MS&T Area Samplers, Air Diagnostics and Engineering). Przepływ powietrza wymuszały ultra-ciche bezolejowe pompy próżniowe (Air Diagnostics and Engineering, model SP-280E). Jako podłoża zastosowano membrany teflonowe (Anderson Teflon Membrane Filters, 37 mm średnica filtru, 2 μm średnica porów). Natężenie przepływu przy poborze cząstek $< 1,0 \mu\text{m}$ wynosiło $23 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$, natomiast w przypadku cząstek $< \text{od } 2,5 \mu\text{m} \text{ i } 10 \mu\text{m} - 10 \text{ dm}^3 \text{ min}^{-1}$. Objętość pompowanego powietrza była kontrolowana przepływomierzem typu Ataris. Czas poboru wynosił 8 h (08:00–16:00), 16 h (16:00–08:00). Stężenia pyłu zawieszonego oraz poszczególnych frakcji były oznaczane grawimetrycznie z użyciem elektronicznej mikrowagi (Sartorius 000 V001) o rozdzielczości 1 μg . Analiza została przeprowadzona zgodnie z europejskim standardem oznaczeń pyłu zawieszonego (NBN-EN-12341). Przed ważeniem filtry były kondycjonowane przez 48 h, w temperaturze 20°C.

Dane z badań spirometrycznych każdego dziecka z każdego miesiąca, dane ankietowe oraz poziomy stężeń pyłów PM1, PM2,5 i PM10 rejestrowane w okresach sesji pomiarowych wprowadzono do arkusza kalkulacyjnego Excel, a następnie analizowano przy użyciu programu komputerowego STATISTICA PL.

3. Wyniki badań

3.1. Badania ankietowe

Ankietowane dzieci chodziły do pierwszej klasy gimnazjum, 75% z nich ma 13 lat, 25% 14 lat. Chętniej w badaniu brały udział dziewczynki – 63%. W przeważającej większości – 86,5% dzieci mieszkało w bezpośredniej bliskości szkoły, pozostałe 13,5% dojeżdżało do szkoły z innych dzielnic. W rodzinie 63,4 % dzieci palono papierosy. 8% dzieci zgłaszało obecność wilgoci w domu, ale tylko 3,7% określało swoje mieszkanie jako zagrzybione. Ponieważ szkoła jest usytuowana w śródmieściu 54% uczniów mieszkało przy ruchliwej ulicy. Pod oknami mieszkań u 59% przejeżdżały ciężarówki bądź autobusy, ale zaledwie 14% dzieci podaje tak uciążliwy hałas, żeby zmuszało to mieszkańców do zamykania okien. 28% dzieci większość swojego czasu spędza w pomieszczeniach zamkniętych, a mniej niż godzinę na świeżym powietrzu.

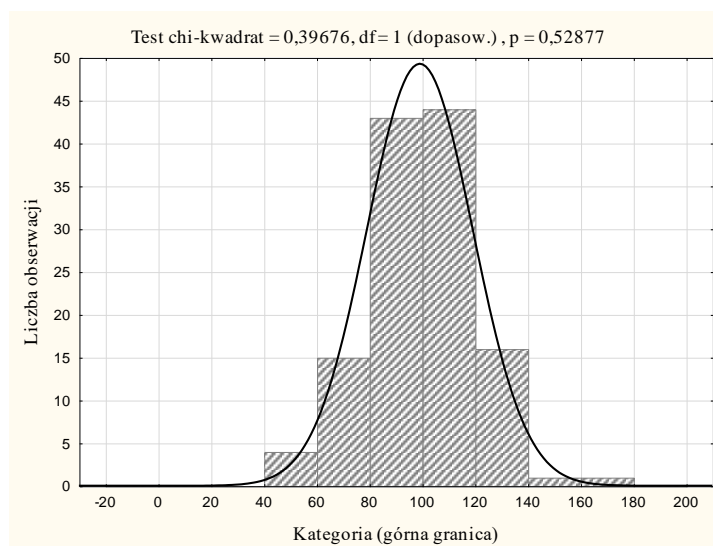
W szpitalu z powodu chorób płuc było leczonych kiedykolwiek w swoim życiu 14,5% dzieci, 65% uczniów podaje częste katar, a 68% ma katar bez innych objawów przeziębienia. Wśród uczniów znajdowało się 5,9% dzieci uczulonych na zarodniki grzybów pleśniowych, 17% na roztocza kurzu domowego, a 15% na pyłki.

3.1. Badania spirometryczne

Dla wszystkich parametrów spirometrycznych sprawdzono zgodność ich rozkładu z rozkładem normalnym. Ocenę zgodności przeprowadzono testem chi-kwadrat lub testem Kołmogorowa-Smirnowa z poprawką Lillieforsa. Jako krytyczny poziom istotności przyjęto $p = 0,05$. Wszystkie badane parametry spirometryczne miały rozkład normalny. Normalność rozkładu testowana została również dla każdej grupy niezależnej (chłopcy, dziewczyny, palący, niepalący, itp.). Dla przykładu – rozkład wartości wskaźnika FEV1 pokazano na rys. 1. Na rys. 2. przedstawiono wyniki badań czynnościowych układu oddechowego dzieci

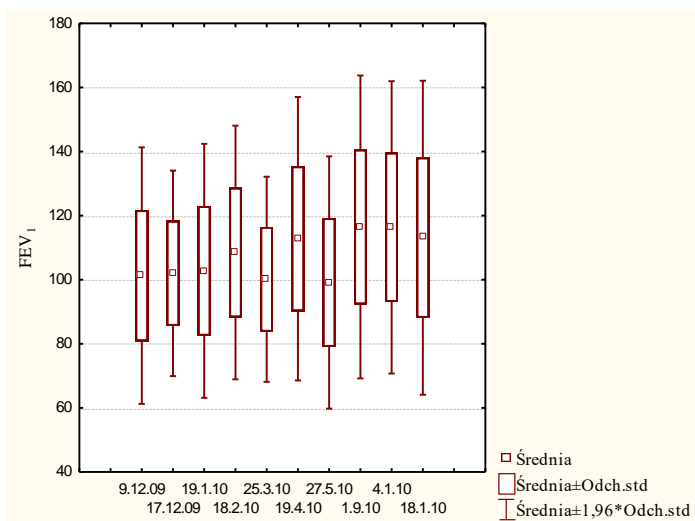
w oparciu o wskaźnik FEV1. Zauważyć można bardzo duży rozrzut wartości wśród dzieci dla każdego dnia pomiarowego. Niemal wszystkie wartości znajdowały się w zakresie wartości prawidłowych. Stosując test istotności różnic dla prób zależnych, bowiem badano tą samą grupę dzieci wielokrotnie w czasie, zweryfikowano hipotezę o średniej wielkości różnic między tymi wynikami. Obliczenia wykonano dla wszystkich serii pomiarowych i okazało się, że wszystkie wskaźniki były istotnie niższe w okresie zimowym niż letnim (hipoteza o równości średnich wartości wskaźników została odrzucona na poziomie istotności $p < 0,05$). Wśród miesięcy letnich wyjątek stanowił maj. Rejestrowano wówczas obniżone wartości w porównaniu do pozostałych serii wiosenno-letnich.

W celu wykazania zmienności wskaźników wśród poszczególnych dzieci obliczono dla każdego dziecka współczynnik zmienności wyrażony stosunkiem zakresu wartości do średniej (w procentach). Ponieważ rozkład obserwowanej zmiennej jest normalny (rys. 3), toteż dobrze całą populację charakteryzuje średnia wartość współczynnika zmienności wynosząca $40\% \pm 18\%$.



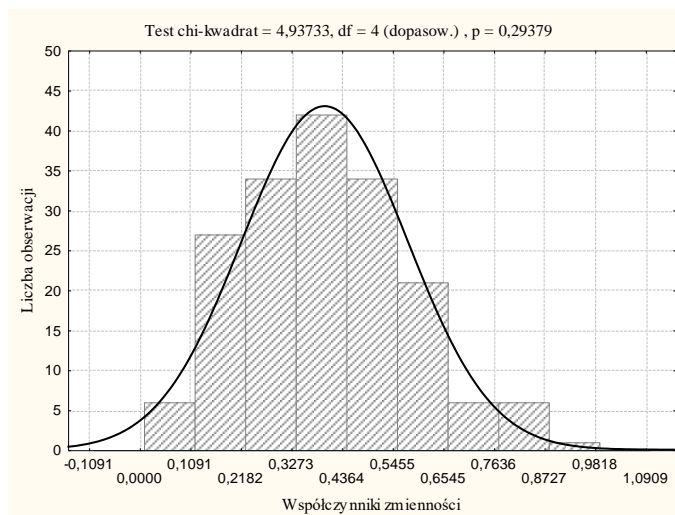
Rys. 1. Wykres rozkładu normalnego dla wyników wskaźnika FEV1 dla wybranego dnia pomiarowego

Fig. 1. Histogram of FEV1 with best-fitting normal distribution (based on the results of one sampling day)



Rys. 2. Statystyki opisowe zmierzonego wskaźnika FEV1 w kolejnych dniach pomiarowych w grupie dzieci szkolnych

Fig. 2. Box and whisker plots of FEV1 data from subsequent measurements in a group of schoolchildren



Rys. 3. Rozkład współczynników zmienności wskaźnika FEV1 wśród dzieci szkolnych

Fig. 3. Histogram of coefficients of variation for the FEV1 parameter in a group of schoolchildren

Szukając przyczyn dużej rozbieżności w wartościach wskaźników spirometrycznych wykorzystano badania ankietowe i oceniono różnice w grupie chłopców i dziewcząt oraz dzieci przebywających wśród osób palących i niepalących. U chłopców stwierdzono obniżone, w stosunku do dziewcząt średnie wartości należne natężonej pierwszosekundowej objętości wydechowej (FEV1). Wykorzystany test różnic między średnimi z dwóch prób zweryfikował hipotezę zerową o równości średnich. Do testowania różnic między średnimi z dwóch prób niepowiązanych zastosowano „Testy t dla prób niezależnych”. Test t-Studenta (po uprzednim sprawdzeniu założenia o jednorodności wariancji) wykazał, że istnieją podstawy do odrzucenia hipotezy o równości wskaźnika FEV1 w grupie dziewcząt i chłopców. Ciekawe jest, że wykazano brak wpływu na wartość FEV1 dzieci, których rodzice są obciążeni nałogiem palenia papierosów. Różnice w wartościach tego wskaźnika w obu grupach dzieci (rodzice palą i nie palą) były statystycznie nieistotne. U dzieci w grupie badanej stwierdzono istotny wpływ miejsca zamieszkania, skłonności do kataru, uczulenia na pyłki i uciążliwości ciężarówek i autobusów tylko na niektóre wskaźniki (FEV lub MEF₂₅, lub PEF).

3.2. Wpływ stężenia pyłów na wartości wskaźników spirometrycznych

Kolejnym rozpatrywanym czynnikiem było zanieczyszczenie powietrza. W analizach statystycznych uwzględniono stężenia 8-godzinne pyłów PM1, PM2,5 i PM10 mierzone wewnątrz szkoły (w) i na zewnątrz (z). Analizę przeprowadzono dla wskaźnika FEV1, dla średniej wartości ze wszystkich obserwacji w danym dniu. Do oceny powiązania między zmiennymi wykorzystano analizę korelacji. Wyniki zamieszczono w tabeli 1. Jak widać, jedynie pomiędzy FEV1 i stężeniem pyłu PM2,5_w zachodziła prawie pełna, wysoce istotna korelacja. Wartość współczynnika korelacji wynosi -0,94. Ujemna jego wartość oznacza, że wzrostowi stężeń pyłu odpowiada spadek średnich wartości FEV1. Ponadto, jak mówi o tym współczynnik determinacji, zmienność FEV1 była prawie w 88% wyjaśniona zmiennością stężeń PM2,5_w. Obliczenia te powtórzono dla mediany i uzyskano jeszcze silniejszą zależność ($R^2 = 0,90$).

Tabela 1. Współczynniki korelacji i determinacji wraz z odpowiednimi poziomami istotności (FEV1 – % wartości należnej; PM – $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Table 1. Correlation and determination coefficients with the significance levels (FEV1 – % of the average value; PM – $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Zmienne	Średnia	Odch.st.	Współ. Korelacji, r	Współ. de- terminacji, R^2	Poziom istotności, p
FEV1 PM1 _w	105,5 23,2	7,8 19,1	-0,47	0,22	0,350
FEV1 PM2,5_w	105,5 46,4	7,8 21,0	-0,94	0,88	0,002
FEV1 PM10 _w	105,5 115,2	7,8 57,9	-0,55	0,30	0,259
FEV1 PM1 _z	105,5 22,2	7,8 22,0	-0,28	0,08	0,643
FEV1 PM2,5 _z	105,5 40,0	7,8 45,1	-0,32	0,10	0,602
FEV1 PM10 _z	105,5 53,8	7,8 42,0	-0,29	0,08	0,635

Przyglądając się danym zamieszczonym w tabeli 1 zauważyć można, że średnie stężenia PM10 były wyraźnie wyższe wewnątrz szkoły niż na zewnątrz. W przypadku stężeń pyłów PM2,5 i PM1 stwierdzono porównywalne poziomy. Przyczyną wyższych stężeń pyłów grubych wewnątrz pomieszczeń jest najprawdopodobniej fakt, że dzieci przebywają w ograniczonej przestrzeni przez kilka godzin dziennie, więc ich aktywność ruchowa może być przyczyną wtórnej emisji pyłu z podłogi i z innych powierzchni (mebli, ławek). Z kolei pyły drobne w dużej mierze infiltrują z powietrza zewnętrznego, więc stężenia ich są porównywalne wewnątrz i na zewnątrz szkoły.

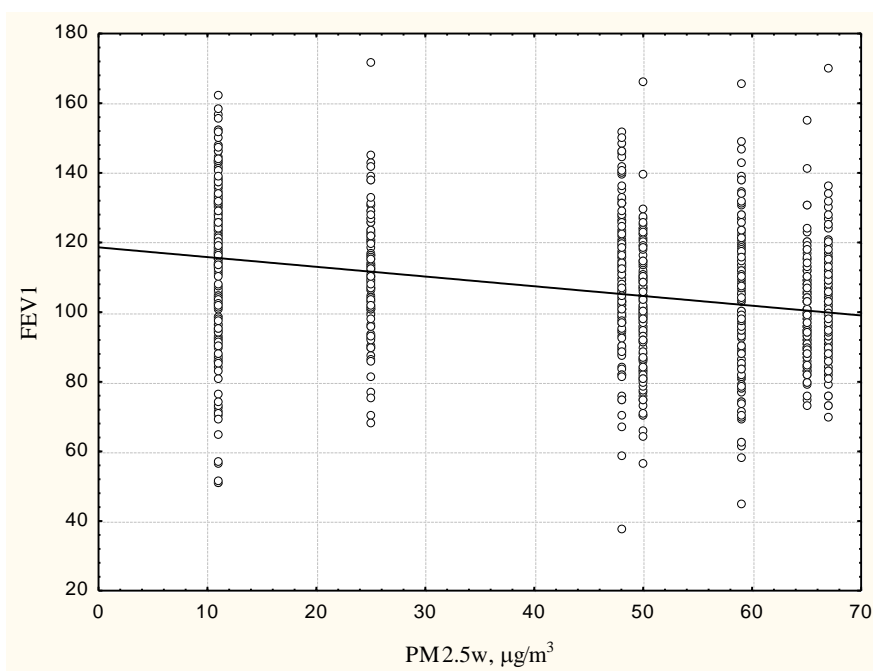
Ze względu na małą liczebność próby zastosowano również statystyki nieparametryczne i wyliczono współczynnik korelacji Spearmana (tabela 2). I w przypadku tej analizy potwierdziła się tylko silna zależność między medianą FEV1 a stężeniem PM2,5_w ($r = -0,95$, $p < 0,05$). W przypadku pozostałych zmiennych współczynniki korelacji były nieistotne.

Tabela 2. Współczynniki korelacji Spearmana między wskaźnikiem FEV1 (mediana) a stężeniami PM1, PM2,5 i PM10 rejestrowanymi wewnątrz szkoły (pogrubiony, istotna zależność $p < 0,05$)

Table 2. Spearman correlation between median FEV1 and 8 h indoor concentrations of PM1, PM2,5 and PM10 (bold, significance level $p < 0.05$)

Zmienne	Mediana	PM1 _w	PM2,5 _w	PM10 _w
Mediana	1,00	-0,54	-0,95	-0,14
PM1 _w	-0,54	1,00	0,43	0,75
PM2,5 _w	-0,95	0,75	1,00	0,75
PM10 _w	-0,14	0,75	0,75	1,00

W dalszej analizie uwzględniono tyle parametrów, ile obserwacji, tj. poddano ocenie wszystkie wyniki badań spirometrycznych i odpowiadające im poziomy rejestrowanych stężeń pyłów PM2,5_w. Wyniki analizy regresji zamieszczono na rys. 4 i w tabeli 3.



Rys. 4. Wykres rozrzutu FEV1 względem stężenia PM2,5_w

Fig. 4. A scatterplot of the FEV1 parameter versus PM2,5_w concentrations

Tabela 3. Wyniki analizy regresji zmiennej zależnej FEV1 i niezależnej PM2,5_w
Table 3. Results of the regression analysis between independent FEV1 and dependent PM2,5_w variables

	Współczynniki regresji, b	Błąd stand. b	t(1083)	Poziom istotności
Wyraz wolny	118,6	1,28	92,7	0,000
PM2,5 _w	-0,28	0,03	-10,8	0,000

Model regresji liniowej opisujący zależność FEV1 od stężenia PM2,5_w ma postać:

$$FEV1 = 118,6 - 0,28(PM2,5_w) \pm 17,8 \quad (1)$$

Współczynnik -0,28 oznacza, że jeśli wartość stężenia wzrośnie np. o 10 µg/m³, to oczekujemy, że wskaźnik FEV1 zmniejszy się o 2,8%. Szacując współczynnik kierunkowy na poziomie -0,28 mylimy się średnio o 0,03. Podobnie szacując wyraz wolny na poziomie 118,6, mylimy się średnio o 1,3. Dla współczynnika kierunkowego błąd szacunku stanowi około 10% (0,03/0,28 = 0,10), natomiast dla wyrazu wolnego – około 1% (1,3/118,6 = 0,01). Najbardziej jednak popularną miarą dopasowania modelu do rzeczywistych obserwacji jest współczynnik determinacji. W naszym przykładzie wartość ta wynosi $R^2 = 0,098$. Można ją wyrazić w procentach, mówiąc, że model wyjaśnia ok. 10% obserwowanej zmienności, a nie wyjaśnia 90% zmienności. Nie jest to najlepszy wynik, ale należy zwrócić uwagę na bardzo duży rozrzut wartości FEV1. Wiele innych czynników, które mogłyby wpłynąć na zmienność wskaźnika, ujętych w ankiecie, nie potwierdziła swojego udziału poza płcią. Potwierdzona normalność rozkładu reszt uwiarygodnia zaobserwowaną tendencję zmian wartości FEV1 ze wzrostem stężeń PM2,5_w. Podobna analiza przeprowadzona dla pozostałych wskaźników potwierdziła obniżenie ich wraz ze wzrostem stężenia pyłu PM2,5_w.

4. Dyskusja wyników

Dyskusję wyników rozpoczniemy od omówienia zmienności poszczególnych wskaźników spirometrycznych, nacisk kładąc na FEV1, PEF i MEF₂₅. Ze wstępnych analiz wynika, że wartości te podlegały dużej zmienności, zarówno pomiędzy poszczególnymi dziećmi, jak i dla każdego dziecka w okresie prowadzenia pomiarów, niemniej jednak

prawie wszystkie wartości mieściły się w zakresie wartości normalnych. Jest to zgodne z założeniem pracy, bowiem do analizy wytypowano dzieci zdrowe, eliminując dzięki badaniom ankietowym dzieci chore. Czym można wyjaśnić tak dużą rozpiętość we wskaźnikach? Przykładowo, w badaniach Brouwera [5] stwierdzono, że wśród zdrowych dzieci szkolnych ($n = 208$) współczynnik zmienności FEV1 kształtował się na poziomie 5,7%, natomiast u nas wynosił 40%. Istniała jednak różnica w sposobie i warunkach prowadzonych badań. W badaniach Brouwera [5] pomiary odbywały się w domach, dwa razy dziennie przez okres dwóch tygodni. W naszych badaniach pomiary przeprowadzono w szkole, raz w miesiącu w ciągu roku, obejmując różne pory roku. Stwierdzono istotną różnicę między średnimi wartościami wskaźników w okresie zimowym i wiosenno-letnim, z wyższymi wartościami wiosną-latem. Szukając przyczyn dużej zmienności parametrów pomiędzy dziećmi, wykorzystano wyniki ankiety i przeprowadzono testy t dla dwóch grup niezależnych, badając różnice między średnimi wartościami wskaźników dla chłopców i dziewcząt, dzieci przebywających wśród rodziców palących i niepalących, mieszkających przy ruchliwej ulicy i nie mieszkających, itd. Faktycznie, dla wszystkich wskaźników, stwierdzono tylko istotne różnice między grupą chłopców i dziewcząt, wyższe wartości rejestrowano w grupie dziewcząt. W literaturze przedmiotu napotkać można inne zależności. W badaniach Brouwera [5] stwierdzono nieistotną różnicę wśród zdrowych dzieci między średnimi wartościami wskaźników FEV1, FVC i MEF₅₀ u dziewcząt i chłopców w wieku 12–16 lat. Z kolei Lee [13] przeprowadzając badania spirometryczne wśród uczniów 7 klasy (12–13 lat) w 14 tajwańskich miejscowościach odnotował wyższe wartości wskaźników FEV1, MEF₅₀ i FVC w grupie chłopców niż dziewcząt.

Ciekawe jest, że nie wykazano istotnych różnic w wartościach wskaźników spirometrycznych w grupie dzieci, których rodzice palą i nie palą. Uważa się, że palenie tytoniu jest ważnym czynnikiem ryzyka rozwoju astmy oskrzelowej u dzieci [9]. Istnieją jednak doniesienia nie potwierdzające tak ścisłych korelacji [3]. W przypadku innych warunków środowiskowych branych pod uwagę stwierdzono, że średnie wartości wskaźników FEV1 i PEF istotnie różniły się dla grupy dzieci, które mieszkają przy ruchliwej ulicy i nie mieszkają, i tylko FEV1 wśród dzieci, które często mają katar i nie miewają oraz które są uczulone na pyłki i nie są uczulone, itd.

W naszych badaniach nacisk położono na krótkookresowy wpływ zanieczyszczenia powietrza pyłem na wartości wskaźników spirometrycznych. Wpływ ten został oszacowany na podstawie związku pomiędzy poziomem stężeń pyłów PM10, PM2,5 i PM1 zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz szkoły (uśrednionymi do 8 godzin) a mierzonymi w tym okresie wartościami wskaźników spirometrycznych. Analiza oparta o prostą regresję wraz z oceną reszt wskazała, że istotny związek istniał tylko między stężeniem PM2,5_w i zmianami wskaźników spirometrycznych, takich jak: FEV1, PEF i MEF₂₅. Należy być ostrożnym przy interpretacji tego typu badań, bowiem stwierdzenie występowania zależności nie zawsze oznacza istnienie związku przyczynowo-skutkowego między badanymi zmiennymi. Zależności te mogą również wynikać z bezpośredniego oddziaływania na nie jeszcze innych zjawisk. Na przykład, wykryto istotny wpływ na wartości wskaźników spirometrycznych pory roku, niższe wartości rejestrowano zimą. Odwrotny, ale logiczny związek istnieje w przypadku poziomów stężeń pyłów, rejestrowano znacznie wyższe stężenia zimą niż latem, czyli wyższymi stężeniami pyłu zimą odpowiadają niższe wartości wskaźników spirometrycznych i odwrotnie niższemu zapyleniu latem odpowiadają wyższe wartości wskaźników badań czynnościowych oddychania u dzieci. W literaturze można znaleźć prace zarówno potwierdzające nasze wyniki, tj., że ekspozycja na wyższe stężenia pyłów związana jest z osłabieniem funkcji oddychania [14, 24], jak i przeciwnie, tj. brak istotnych powiązań [13].

Ciekawe wyniki badań prowadzonych wśród dzieci w wieku od 6 do 13 lat w czterech chińskich miastach przytoczył Roy [22]. Wykazano w nich wpływ zanieczyszczenia powietrza wewnątrz pomieszczeń na osłabiony rozwój układu oddechowego dzieci. W badaniach ankietowych interesowano się, czy mieszkanie jest ogrzewane węglem i istnieje sprawny system wentylacji. Okazało się, że u dzieci mieszkających w domach, gdzie węgiel stosowany jest jako paliwo i nie istnieje system wentylacji, dostosowany do wieku roczny przyrost wskaźnika FEV i FEV1 był o 37% i 61% niższy niż przeciętnie obserwowany. Podobnie, wcześniejsze badania Gaudermana [12] wykazały, że długotrwała ekspozycja dzieci w wieku 10–18 lat na zanieczyszczenia powietrza była przyczyną gorszego rozwoju płuc, wyrażonego jako obniżenie wartości FEV1 w wieku dorosłym. Inne badania, opisane przez Neuberger'a [17], dotyczyły wpływu obniżenia stężeń NO₂, SO₂ i pyłu całkowitego w atmosfere-

rze na zmianę wskaźnika MEF_{25} wśród 1450 dzieci uczęszczających do szkoły podstawowej w jednym z rejonów Austrii. Pomiaru spirometryczne prowadzono od 2 do 8 razy rocznie przez okres 5 lat. Wyodrębniono dwie grupy dzieci, jedną kontrolną – mieszkającą na obszarze, gdzie nie rejestrowano zmian stężeń zanieczyszczeń powietrza i drugą, gdzie stężenia znacznie się obniżyły. Nie zanotowano istotnego związku w przypadku pyłów i SO_2 , a jedynie obniżenie stężeń NO_2 pozytywnie wpłynęło na wartości MEF_{25} .

Podobne do naszych badań zostały wcześniej przeprowadzone przez Moshammera [16] w Austrii, z tą różnicą, że parametry spirometryczne odnoszono do średniego 8-godzinne stężenia PM_{10} , $PM_{2,5}$ i PM_1 oraz NO_2 , rejestrowanego w pobliskiej stacji monitoringu powietrza. Przebadano 163 dzieci, w wieku 7–10 lat, raz w miesiącu w okresie 1 roku. Wykorzystując uogólnione modele liniowe oceniono, o ile zmieniły się wartości wskaźników spirometrycznych przy obniżeniu stężenia zanieczyszczeń o $10 \mu g/m^3$. Najwyższe wartości uzyskano dla NO_2 (do 2%), potem PM_1 , $PM_{2,5}$ i PM_{10} (poniżej 1%). Faktycznie notowano istotną zależność tylko w przypadku NO_2 oraz przy włączeniu do modelu stężenia $PM_{2,5}$. W przypadku stężenia $PM_{2,5}$ wyznaczyć można tylko było trend, bowiem stwierdzono brak istotności dla współczynnika regresji. W naszych badaniach najlepsze dopasowanie modelu regresji uzyskano dla wartości FEV_1 i PEF , które określają stan drożności dużych oskrzeli. Wprawdzie w przypadku FEV_1 współczynnik determinacji był niższy, ale uzyskano mniejszy błąd estymacji i lepiej dopasowane reszty do rozkładu normalnego. Pozostałe wskaźniki MEF_{25} , MEF_{50} i MEF_{75} , nazywane testami drobnych oskrzeli były wprawdzie bardziej „czułe” na zmianę stężenia $PM_{2,5w}$, lecz uzyskano gorsze dopasowanie modelu do rejestrowanych danych.

5. Wnioski

1. Udokumentowano krótkookresowy związek przyczynowo skutkowy między stężeniem pyłu wewnątrz szkoły a zmianą wartości parametrów spirometrycznych.
2. Analiza materiału badawczego przedstawionego w niniejszej pracy dowodzi, że istnieje istotny związek tylko między stężeniem pyłu $PM_{2,5w}$ i zmianami wskaźników spirometrycznych, takich jak: FEV_1 , PEF i MEF_{25} u dzieci w wieku gimnazjalnym.

3. Najlepsze dopasowanie modelu regresji uzyskano dla wartości FEV1 i PEF, które określają stan drożności dużych oskrzeli. Pozostałe wskaźniki MEF₂₅, MEF₅₀ i MEF₇₅, nazywane testami drobnych oskrzeli, były wprawdzie bardziej „czułe” na zmianę stężenia PM_{2,5w}, lecz uzyskano gorsze dopasowanie modelu do rejestrowanych danych.
4. Wyniki pracy dowodzą pilnej konieczności kontynuacji tego typu badań, zarówno pod kątem monitorowania stężeń pyłów drobnych w szkołach, jak i zagrożenia zaburzeń funkcjonowania układu oddechowego dzieci z powodu wysokich stężeń pyłu.

Prace przeprowadzone w ramach projektu badawczego nr N304 067937 pt. "Identyfikacja wpływu zanieczyszczenia powietrza na funkcje układu oddechowego u dzieci w wieku szkolnym" oraz projektu systemowego pt. „GRANT PLUS” (Program Operacyjny Kapitał Ludzki, Priorytet VIII Regionalne Kadry Gospodarki, Działanie 8.2 Transfer Wiedzy, Poddziałania 8.2.2 Regionalne Strategie Innowacji.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Zadanie współfinansowane ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Literatura

1. **Ashmore M.R., Dimitroulopoulou C.:** *Personal exposure of children to air pollution.* Atmos. Environ. 43, 128–141 (2009).
2. **Bateson T, Schwartz J.:** *Children's response to air pollutions.* J Toxic Environ Health. 71, 238–243 (2008).
3. **Becker U., de Pont S.E., Hauser B., Chouraqi J.P., Gottrand F., Vandendplas Y.:** *The role of "occult" gastroesophageal reflux in chronic pulmonary disease in children.* Acta Gastroenterol. Belg., 58, 348–352 (1995).
4. **Brauer M, Hoek G, Van Vliet et al.:** *Air pollution from traffic and the development of respiratory infections and asthmatic and allergic symptoms in children.* Am Respir Crit Care Med 2002; 166, 1092–1098 (2002).
5. **Brouwer A.F.J., Roorda R.J., Duiverman E.J., Brand P.L.P.:** *Reference values for peak flow and FEV1 variation in healthy schoolchildren using home spirometry.* Eur Respir J 32, 1262–1268 (2008).
6. **Chen C., Zhao B.:** *Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor.* Atmos. Environ., 45, 275–288 (2011).

7. **Ebellt S.T., Wilson E.W., Brauer M.:** *Exposure to ambient and nonambient components of particulate matter: a comparison of health effects.* Epidemiology, 16, 396–405 (2005).
8. **Erbas B, Kelly A, Physick B et al.:** *Air pollution and childhood asthma emergency hospital admission: Estimating intracity regional variations.* Int J Environ Health and Research, 15, 11–20 (2005).
9. **Fischer T., Kuhr J., Meinert R., Karmaus W., Urbanek R.:** *Influence of maternal smoking on variability of peak expiratory flow rate in school children,* Chest 104, 1133–1137 (1993).
10. **Geller M., Chang M., Sioutas C., Ostro B., Lipsett M.:** *Indoor/outdoor relationship and chemical composition of fine and coarse particles in the southern California deserts.* Atmos. Environ., 36, 1099–1110 (2002).
11. **Grahame T.J., Schlesinger R.B.:** *Evaluating the health risk from secondary sulfates in Eastern North American regional ambient air particulate matter ,* Inhalation Toxicology, 17, 15–27 (2005).
12. **Gaudermann W, Gilliland G, Vora H et al.:** *Association between air pollution and lung function growth in southern California children.* Am J Respir Crit Care Med ., 162, 1383–1390 (2000).
13. **Lee Y.L., Wang W.-H., Lu Ch-W., Lin Y-H., Hwang B-F.:** *Effects of ambient air pollution on pulmonary function among children.* Int. J. Hygiene and Environ. Health 214, 369–375 (2011).
14. **Lewis T.C., Robins T.G., Dvonch J.T., Keeler G.J., Yip F.Y., Mentz G.B.:** *Air pollution-associated changes in lung function among asthmatic children in Detroit.* Environ. Health Prospect. 113, 1068–1075 (2005).
15. **Liang W.M., Wei H.Y., Kuo H.W.:** *Association between daily mortality from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Taiwan.* Environ. Res., 109, 51–58 (2009).
16. **Moshhammer H., Hutter H.P., Hauck H., Neuberger M.:** *Low levels of air pollution changes of lung function in a panel of schoolchildren.* Eur. Respir.J. 27, 1138–1143 (2006).
17. **Neuberger M., Moshhammer H., Kundi M.:** *Declining ambient air pollution and lung function improvement in Austrian children.* Atmos. Environ. 36, 1733–1736 (2002).
18. **Neuberger M., Rabczenko D., Moshhammer H.:** *Extended effects of air pollution on cardiopulmonary mortality in Vienna.* Atmos. Environ., 41, 8549–8556 (2007).
19. **Pawłowski L.:** *How heavy metals affect sustainable development.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 13, 51–64 (2011).

20. **Pope C, Burnett R, Thun M et al.:** *Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long time exposure to fine particulate air pollution.* JAMA 287,1132–1141 (2002).
21. **Rabczenko D., Wojtyniak B., Wysocki M., Goryński P.:** *Krótkookresowy wpływ zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego dwutlenkiem siarki, pyłami zawieszonymi i dwutlenkiem azotu na umieralność mieszkańców miast w Polsce.* Przegl Epidemiol., 59, 969–979 (2005).
22. **Roy A., Chapman R.S., Hu W., Wei F., Liu X., Zhang J.:** *Indoor air pollution and lung function growth among children in four Chinese cities,* Indoor Air 22, 3–11 (2011).
23. **Thurston G.:** *Particulate Matter and Sulfate: Evaluation of Current California Air Quality Standard with Respect to Protection of Children,* 2000. www.arb.ca.gov/ch/programs/sb25/airstandards.htm
24. **Trenga C.A., Sullivan J.H., Schildcrout J.S., Shepherd K.P., Shapiro G.G., Liu L.J. et al.:** *Effect of particulate air pollution on lung function in adult and pediatric subjects in a Seattle panel study,* Chest 129, 1614–1622 (2006).
25. **Worobiec A., Samek L., Karaszkiewicz P., Kontozova-Deutch V., Stefaniak E., Val Meel K., Krata A., Bencs L., Van Grieken R.:** *A seasonal study of atmospheric conditions influence by the intensive tourist flow in the Royal Museum of Wawel Castel in Cracow.* Poland, Microchem. J., 90, 99–106 (2008).
26. **WHO (World Health Organization)** *Indoor air Pollution and Lower Respiratory Tract Infections in Children,* Geneva, Switzerland, 2007.
27. **WHO (World Health Organization)** *Indoor Air Pollution: National Burden of Disease Estimates,* Geneva, Switzerland 2007.

Influence of PM1, PM2.5, PM10 Concentrations in Indoor School Environment on Spirometric Parameters in Schoolchildren

Abstract

The influence of the aerosols particles on the lung function was investigated by the measurements of lung function parameters in children at secondary school located in the centre of city Wrocław (south – west of Poland). Simultaneous daily indoor and outdoor measurements of PM1, PM2,5, PM10 have been conducted with the use of Harvard cascade impactors (MS&T Area Samplers). In the study 186 children age 13–14 yrs underwent repeated spirometry (Blue Spiro) at the same time of day, 5 times during the winter/spring (heating season) and 5 times in summer/autumn.

Exposure to indoor fine particulate matter PM_{2,5} significantly worsens FEV₁ in the lung function of secondary school children (Pearson correlation: median versus indoor PM_{2,5}, $r = -0,95$; $p < 0.05$). Correlation of the lung function parameters with other particles PM₁, PM₁₀ measured indoor and outdoor were not statistically significant. PM_{2.5} measured outdoor was also not significantly correlated with lung function parameters.

Considerable effort should be made to improve ambient air quality. Especially there is a need to measure and control the fine particulate matter PM_{2,5} in winter as it has the highest impact on lung function in children.