mgr inż. Karolina KUSKOWSKA
dr Dariusz DMOCHOWSKI
mł. kpt. mgr inż. Joanna WOLNA
Zakład Monitorowania Zagrożeń CBRN,
Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego, Szkoła Główna Służby Pożarniczej
dr Anna DMOCHOWSKA
Zakład Bezpieczeństwa i Higieny Pracy,
Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego, Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Analiza możliwości wystąpienia zagrożeń ze strony pyłu zawieszonego podczas treningów sportowych na przykładzie wybranych warszawskich obiektów rekreacyjnych

Analysis of the Potential Risks Posed by Particulate Matter During Sport Trainings Based on Selected Recreational Facilities in Warsaw

Streszczenie

Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego pyłem zawieszonym jest poważnym problemem, występującym od dziesięcioleci. Prowadzone, szerokie badania monitoringowe, nakierowane są na określenie wpływu zanieczyszczeń zawartych w powietrzu atmosferycznym na kondycje budowli, wszystkich elementów środowiska naturalnego oraz zdrowie ludzi. Mało jest jednak dostępnej literatury przedmiotowej, w której znaleźć można badania dotyczące związku pomiędzy narażeniem na pył zawieszony w obiektach sportowych a wydajnością sportowców.

W artykule przedstawiono wyniki badań pyłu zawieszonego w obiektach sportowych dwóch warszawskich uczelni: Szkoły Głównej Służby Pożarniczej oraz Akademii Wychowania Fizycznego. Pomiary przeprowadzone w wymienionych obiektach wykazały wysokie wartości stężeń pyłu zawieszonego różnych frakcji. Takie zjawisko może wpływać na obniżenie bezpieczeństwa zdrowotnego osób czynnie uprawiających sport w tych obiektach sportowo-rekreacyjnych.

Słowa kluczowe: pył zawieszony, obiekty sportowe, zanieczyszczenie powietrza

Summary

Pollution of air by particulate matter is a serious problem occurring for decades. Extensive monitoring studies are conducted to determine the impact of air pollution on the condition of buildings, all the elements of the environment and human health. However, there is little available literature presenting research on the association between exposure to particulate matter in sport facilities and the performance of sportsmen. The paper presents the results of the research into particulate matter in sport facilities in two Warsaw universities: the Main School of Fire Service and the Academy of Physical Education. Measurements carried out in these objects revealed high concentration of different fractions of particulate matter. This situation can affect the reduction of health safety of people actively engaged in performing sports in these sport facilities.

Keywords: particulate matter, sport facilities

Wstęp

W ostatnich latach wiele uwagi poświęca się zanieczyszczeniom powietrza ze szczególnym uwzględnieniem pyłu zawieszonego. Pył zawieszony (ang. *particulate matter* – PM) jest to mieszanina cząstek stałych, ciekłych lub obu jednocześnie, zawieszonych w powietrzu, składająca się z substancji organicznych i nieorganicznych, m.in.: węglowodorów, związków krzemu, glinu, żelaza, metali ciężkich, siarczanów, azotanów oraz soli amonowych. Skład pyłu zmienia się w zależności od jego źródła, pory roku i warunków atmosferycznych [1, 5]. Podobnie czas pozostawania pyłów w powietrzu oraz ich rozprzestrzenianie zależy od warunków atmosferycznych, wysokości na jakiej się unoszą oraz rozmiarów cząstek. Cząstki, będące składnikami pyłu zawieszonego, różnią się między sobą wielkością, składem i pochodzeniem [1]. To właśnie te trzy wymienione właściwości decydują o wpływie pyłu zawieszonego na organizm człowieka.

Wielkość cząstek jest najważniejszym parametrem opisującym pył zawieszony, ponieważ klasyfikuje się go ze względu na średnicę cząstek. Pyły inhalabilne – PM_{10} – mają średnicę aerodynamiczną ziaren mniejszą niż 10 μm. Mogą one osadzać się w górnych drogach oddechowych oraz płucach. Pyły respirabilne – $PM_{2,5}$ i $PM_{1,0}$, – mają ziarna o średnicach aerodynamicznych odpowiednio mniejszych niż 2,5 i 1,0 μm. Pyły te mogą wnikać bezpośrednio do płuc oraz przedostawać się do krwiobiegu [2, 3].

Wiele organizacji zarówno w Europie, jak i na świecie prowadzi szereg badań nad wpływem zanieczyszczeń powietrza na ludzi i środowisko. Szczególną rolę przypisuje się pyłom pochodzącym z transportu oraz przemysłu – głównych źródeł emisji tych zanieczyszczeń powietrza [7]. Problem zanieczyszczenia pyłami w największym stopniu występuje w dużych aglomeracjach miejskich, w rejonach o wysokim stopniu zaludnienia i gęstej sieci komunikacyjnej [15].

W polskim prawodawstwie stężenie pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym jest normowane i w związku z tym systematycznie monitorowane m.in. przez stacje Inspekcji Ochrony Środowiska. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu reguluje m.in. wymagania dotyczące metod oceny jakości powietrza atmosferycznego. Z kolei Rozporządzenie Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu określa poziomy dopuszczalne i docelowe niektórych substancji w powietrzu, w tym pyłów PM_{10} i $PM_{2,5}$. Warto nadmienić, iż poziom dopuszczalny stężenia średniodobowego dla pyłu PM_{10} wynosi 50 $\mu m/m^3$ i może być przekraczany nie więcej niż 35 razy w ciągu roku, zaś poziom dopuszczalny stężenia średniorocznego wynosi 40 $\mu m/m^3$. Poziom informowania dla stężenia 24-godzinnego cząstek pyłu o średnicy mniejszej od 10 μm wynosi 200 $\mu g/m^3$, natomiast poziom alarmowania wynosi 300 $\mu m/m^3$. Dla pyłu zawieszonego $PM_{2,5}$, dopuszczalny poziom dla stężenia średniorocznego wynosi 20 $\mu m/m^3$, który ma zostać osiągnięty do 2020 r. Ustawa Prawo Ochrony Środowiska obliguje do corocznej oceny poziomu niektórych substancji w powietrzu w poszczególnych strefach, których podział uregulowany jest w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 2 sierpnia 2012 r. w sprawie stref, w których dokonuje się oceny jakości powietrza. Problematyczny zatem staje się pył zawieszony występujący wewnątrz pomieszczeń mieszkalnych czy też w obiektach użyteczności publicznej, w tym obiektach sportowych i rekreacyjnych, dla którego nie ma żadnych unormowań czy też zaleceń. Przegląd literatury świadczy, iż zagadnienie stężenia pyłu zawieszonego w pomieszczeniach nie jest podejmowane zbyt często.

Zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego w aglomeracji miejskiej i zanieczyszczenie powietrza wewnętrznego są odrębnymi tematami, aczkolwiek posiadającymi korelację między sobą [16]. O tej korelacji decydują cztery procesy zachodzące wewnątrz budynków, mianowicie: infiltracja, wentylacja, penetracja oraz szybkość depozycji zanieczyszczeń. Infiltracja jest procesem samowolnym, związanym z niekontrolowanym ruchem mas powietrza wynikającym z nieszczelności w obudowie obiektu. Wentylacja jest zamierzonym ruchem powietrza, wywołanym przez zastosowanie rozwiązań budowlanych (wentylacja grawitacyjna) lub instalacyjnych (grawitacja wymuszona). Wymienione zjawiska infiltracji i wentylacji występują w budynkach jednocześnie. Penetracja powietrza to przedostawanie się do pomieszczeń powietrza spod okien i drzwi, co potocznie nazywane jest przeciągiem. Poza wymienionymi powyżej procesami, zanieczyszczenie powietrza w pomieszczeniach zależy od istniejących źródeł emisji pyłów, co wynika przede wszystkim z przeznaczenia budynku. Czynnikami decydującymi o zwiększonym stężeniu pyłów wewnątrz pomieszczeń są przebywający ludzie, sprzęty biurowe, wykładziny, meble, farby, detergenty, materiały budowlane etc. Pył zawieszony w powietrzu atmosferycznym oraz pył zawieszony wewnątrz pomieszczeń ma podobne wymiary cząstek, stąd też wymieniona wyżej

klasyfikacja dotyczy obu rodzajów pyłu. Obserwowane różnice wynikają ze źródeł pochodzenia, a tym samym ze składu [16].

Pył zawieszony może być czynnikiem chorobotwórczym. Jego toksyczne działanie jest spowodowane obecnością zaadsorbowanych substancji niebezpiecznych takich jak: wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, dioksyny i furany oraz metale ciężkie. Zanieczyszczenia pyłowe osiadając na ściankach pęcherzyków płucnych, utrudniają wymianę gazową. Powodują przede wszystkim dolegliwości układu oddechowego, podrażnienia, dolegliwości w obrębie jamy ustnej czy też zapalenie zatok. Mogą także wywołać choroby alergiczne, jak astmę, a także nowotwory płuc, gardła i krtani [16].

Oddziaływanie pyłów na organizm człowieka zależny jest od ich rozpuszczalności w płynach ustrojowych oraz struktury krystalicznej. Ze względu na rodzaj działania na organizm ludzki, przeprowadza się następującą ich klasyfikację: [16]:

- pyły o działaniu drażniącym – zawierające żelazo, węgiel, szkło, aluminium, związki baru;
- pyły o działaniu zwłókniającym – krystaliczne formy krzemionki, kwarc, krystobalit, niektóre krzemiany (azbest, talk, kaolin);
- pyły o działaniu uczulającym – pochodzenia organicznego (sierść, wełna) i pochodzenia chemicznego;
- pyły o właściwościach toksycznych – związki dobrze rozpuszczalne w wodzie (alkalia, związki chromu, ołowiu, manganu, środki owadobójcze);
- pyły radioaktywne – zawierające pierwiastki i izotopy promieniotwórcze.

Warto nadmienić, iż nie został określony próg stężenia pyłów, poniżej którego negatywne skutki oddziaływania na człowieka nie występują.

Szkodliwe działanie pyłów jest szczególnie ważne podczas wysiłku fizycznego. Zapotrzebowanie na tlen u sportowców jest zdecydowanie większe, co wiążę się z absorbowaniem większej ilości pyłu zawieszonego do organizmu. Ilość zanieczyszczeń wprowadzona do organizmu wraz z powietrzem podczas intensywnych ćwiczeń znacząco rośnie, ponieważ u osób regularnie trenujących minutowa objętość oddechowa może wzrastać nawet dwudziestokrotnie [14]. Dla porównania, dorosły człowiek wykonuje 18 oddechów na minutę, trzyletnie dziecko do 30 oddechów, natomiast osoba podczas aktywnego wysiłku fizycznego nawet do 60. W konsekwencji osoby czynnie uprawiające sport są bardziej narażone na choroby układu oddechowego oraz choroby serca [11, 8]. Badania epidemiologiczne przeprowadzone w ciągu ostatnich lat wykazały, że podwyższone stężenia pyłu zawieszonego mogą przyczyniać się do wzrostu śmiertelności czy zachorowalności wśród narażonej populacji. Skutki narażenia na pył zawieszony sportowców zależą od takich czynników, jak indywidualna wrażliwość, do czego zaliczyć można także nabytą odporność, uwarunkowania genetyczne, czas ekspozycji oraz „dawkę" pyłu wprowadzonego do organizmu. Tym, co powoduje, że zanieczyszczenie powietrza jest groźne dla osób uprawiających czynnie

sport jest sposób pobierania powietrza. Podczas intensywnych treningów większość powietrza trafia do organizmu przez usta, czyli pomijając naturalne mechanizmy filtracyjne [14]. Oddychając przez nos, dochodzi do zatrzymania z powietrza wdychanego cząstek o wymiarach $2 \div 10$ μm. Oddychanie przez usta powoduje zwiększenie poziomu depozycji cząstek w położonych głębiej obszarach płuc [13]. Poprzez zwiększoną intensywność oddychania większe cząstki zostają przenoszone do wnętrza dróg oddechowych [14]. Zaobserwowano ponadto, że zanieczyszczenie powietrza zmniejsza wydolność organizmu podczas treningu [9].

Jak powszechnie wiadomo, osoby czynnie uprawiające sport odbywają swoje treningi w obiektach odkrytych, np. boiskach lub stadionach oraz w halach sportowych. Część istniejących obiektów sportowych to nowe budynki, dysponujące instalacjami wentylacyjno-klimatyzacyjnymi, które zapewniają odpowiednią jakość powietrza tym samym stwarzając komfortowe i bezpieczne warunki dla aktywności fizycznej ćwiczących tam osób. Niestety istnieją też pomieszczenia treningowe umiejscowione w obiektach starego typu z zastosowaną w nich wyłącznie wentylacją grawitacyjną lub mechaniczną, gdzie zachowanie odpowiednich standardów powietrza jest zwyczajnie niemożliwe lub utrudnione. Rozwiązania instalacji wentylacyjnych i klimatyzacyjnych w obiektach sportowych różnią się od rozwiązań stosowanych w pomieszczeniach biurowych czy też w budynkach mieszkalnych. Specyfika tych instalacji uzależniona jest od dyscypliny sportu uprawianego w danym obiekcie. Inne wymagania są dla parametrów powietrza wewnętrznego w wielkokubaturowych halach sportowych, inne na kortach tenisowych, inne na stadionach, a jeszcze inne na basenach. Chcąc określić wpływ zanieczyszczenia powietrza wewnętrznego obiektów sportowych na zdrowie ćwiczących, należy uwzględnić czas ekspozycji na zanieczyszczenia, czyli czas trwania treningu oraz liczbę osób jednocześnie ćwiczących. Do parametrów powietrza wewnętrznego, decydujących o jego jakości podczas treningów zalicza się [4, 6, 10]: temperaturę, wilgotność, prędkość oraz stężenie zanieczyszczeń. Temperatura powietrza powinna umożliwiać odprowadzanie do otoczenia ciepła wytworzonego w organizmie podczas wysiłku fizycznego bez generowania negatywnych uczuć, takich jak chłód czy gorąco. Zbyt wysoka temperatura i podwyższona wilgotność powodują, że powietrze odczuwane jest jako duszne oraz nieświeże. Ponadto organizm oddaje wtedy do otoczenia mniej ciepła. Kolejny parametr, wilgotność, powinien zawierać się w granicach $30 \div 70\%$ i w przeciągu godziny nie może ulegać gwałtownym zmianom [12]. Zbyt mała wilgotność powoduje wysuszanie błony śluzowej górnych dróg oddechowych oraz wzrost emisji kurzu, np. z nawierzchni lub sprzętów. Zbyt wysoka wilgotność z kolei może powodować jej wykraplanie się na powierzchniach, co może skutkować rozwojem pleśni i tym samym niszczenie konstrukcji budynku. Niezwykle istotnym parametrem jest prędkość, ponieważ wprowadzanie w ruch powietrza, powoduje usuwanie zanieczyszczeń, zapewniając tym samym lepsze samopoczucie użytkow-

ników. Jeśli prędkość jest zbyt niska, nie zostaje zapewnione skuteczne doprowadzanie świeżego powietrza, usuwanie zanieczyszczeń, odprowadzanie ciepła z organizmu człowieka. Potęguje to uczucie gorąca i duszności. Jednakże zbyt wysoka prędkość, również może powodować odczucie dyskomfortu, spowodowane zbytnim ochłodzeniem ciała. Niezwykle istotnym aspektem, prawidłowo kształtującym mikroklimat obiektów sportowych, jest właściwe dostosowanie strumienia nawiewanego powietrza, który powinien zapewniać doprowadzenie do obiektu odpowiedniej ilości świeżego powietrza, dostosowanej do rodzaju aktywności fizycznej i liczby osób, odprowadzenie zanieczyszczeń zawartych w powietrzu wewnętrznym, wymaganą krotność wymian powietrza oraz utrzymanie odpowiedniej temperatury i wilgotności powietrza [10].

1. Metodyka badań

Przedmiotem badań przeprowadzonych w październiku i listopadzie 2014 r. było oznaczenie stężenia pyłu zawieszonego w wybranych warszawskich obiektach sportowo-rekreacyjnych. Do badań zastosowano pyłomierz DustTrack II (rys. 1). Przyrząd umożliwia zbadanie zawartości pyłu zawieszonego w powietrzu z rozróżnieniem na różne frakcje: m.in. PM_{10}, $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$. Urządzenie pracuje na zasadzie fotometru laserowego – wykonuje pomiar tłumienia światła laserowego rozproszonego na badanej próbce pod kątem 90°. Próba powietrza jest zasysana do aparatu przez wbudowaną pompkę i przechodzi przez komorę pomiarową w taki sposób, że jest oddzielona od ścianek kuwety kurtyną powietrzną. Takie rozwiązanie zabezpiecza układ pomiarowy przed zanieczyszczeniem. Optyczna analiza pobranej próbki powietrza pozwala na wyznaczenie stężenia pyłu poszczególnych frakcji. Następnie, za pomocą oprogramowania TrakPro, dokonano analizy danych zebranych przez pyłomierz DustTrak II. Wyniki pomiarów zestawiono w dane tabelaryczne oraz przedstawiono w postaci graficznej.

Rys. 1. Pyłomierz zastosowany do badań
Źródło:www.wios.warszawa.pl/download/1/106/ 1pylyzaw2008.pdf z dn. 26.03.2014 r.

Pomiary poziomu stężenia pyłu zawieszonego (PM_{10}, $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$) dokonano: w sali gimnastycznej Szkoły Głównej Służby Pożarniczej (SGSP), w siłowni SGSP, na boisku sportowym SGSP, w hali lekkoatletycznej Akademii Wychowania Fizycznego (AWF), w siłowni AWF oraz na stadionie lekkoatletycznym AWF. Wymienione obiekty SGSP i AWF różnią się przede wszystkim wielkością i liczbą trenujących studentów. Sala gimnastyczna SGSP z wentylacją grawitacyjną, zajmuje powierzchnię ok. 600 m^2. Jest to obiekt o nawierzchni drewnianej

– parkiet, wyposażony w antresolę z trybunami liczącymi ok. 150 miejsc. Prowadzone są w niej zajęcia w ramach wychowania fizycznego.

Stadion Szkoły Głównej Służby Pożarniczej to obiekt o nawierzchni żużlowej. Jego długość wynosi 300 m. Otoczony jest z jednej strony zabudową szkolną, a z drugiej blokami mieszkalnymi na całej długości. Na stadionie prowadzone są zajęcia wychowania fizycznego dla studentów SGSP oraz ćwiczenia specjalistyczne dla strażaków.

Rys. 2. Sala gimnastyczna SGSP
Źródło: fot.: Kinga Jaworska

Rys. 3. Stadion SGSP
Źródło: fot.: Kinga Jaworska

Siłownia Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, o nawierzchni syntetycznej, ma powierzchnię ok. 80 m^2 i również zaopatrzona jest wyłącznie w wentylację grawitacyjną. Wyposażona jest w szereg sprzętów treningowych. W obiekcie prowadzone są zajęcia ze studentami w ramach wychowania fizycznego, studenci korzystają z niej również indywidualnie w celu poprawienia kondycji.

Rys. 4. Siłownia SGSP
Źródło: fot.: Kinga Jaworska

Hala lekkoatletyczna AWF zajmuje powierzchnię 3665 m^2. Jest podzielona na cztery sektory o różnej nawierzchni:

– gry zespołowe – nawierzchnia syntetyczna,
– skok wzwyż, skok o tyczce, skok w dal – nawierzchnia tartanowa,

– rzuty – nawierzchnia tartanowa,
– bieżnia – 6-torowa o długości 100 m, zakończona dwiema skoczniami w dal – nawierzchnia tartanowa.

Hala wyposażona jest w trybuny na antresoli mieszczące ok. 300 osób. Treningi lekkoatletyczne oraz zajęcia studentów AWF prowadzone są przez cały rok. W okresie zimowym hala ma znacznie większe obciążenie, ze względu na rozgrywane zawody lekkoatletyczne oraz odbywające się intensywne treningi. Podobnie jak w obiektach SGSP, w hali AWF funkcjonuje wyłącznie wentylacja grawitacyjna.

Rys. 5. Hala AWF – sektor 1
Źródło: fot.: Kinga Jaworska

Rys. 6. Hala AWF – sektor 2
Źródło: fot.: Kinga Jaworska

Rys. 7. Hala AWF – sektor 3
Źródło: fot.: Kinga Jaworska

Rys. 8. Hala AWF – sektor 4
Źródło: fot.: Kinga Jaworska

Na stadionie lekkoatletycznym Akademii Wychowania Fizycznego znajduje się ośmiotorowa bieżnia tartanowa okólna o długości 400 m. Stadion wyposażony jest także w trzy koła do rzutu dyskiem i młotem, koło do pchnięcia kulą, zeskok do skoków wzwyż, zeskok do skoku o tyczce, dwie piaskownice do skoku w dal oraz siatkę ochronną koła do rzutów. Na stadionie odbywają się treningi przez cały rok. Rozgrywane są również zawody lekkoatletyczne w okresie od maja do

października. Powierzchnia stadionu wynosi 18 000 m^2. Wyposażony jest w trybuny na 2800 osób. Stadion lekkoatletyczny otoczony jest z jednej strony lasem bielańskim, a z drugiej strony budynkiem hali lekkoatletycznej.

Siłownia Akademii Wychowania Fizycznego o nawierzchni syntetycznej, zajmuje powierzchnię ok. 100 m^2 i przeznaczona jest do użytku wyłącznie członkom klubu AZS AWF oraz studentom AWF. W odróżnieniu od pozostałych obiektów, w których prowadzono pomiary, posiada klimatyzację. W związku z powyższym częstotliwość korzystania z obiektu nie jest zbyt duża.

Rys. 9. Hala AWF – sektor 4
Źródło: fot.: Kinga Jaworska

Rys. 10. Stadion lekkoatletyczny AWF
Źródło: fot.: Kinga Jaworska

Rys. 11. Siłownia AWF
Źródło: fot.: Kinga Jaworska

Pomiary w SGSP zostały wykonane 28.10.2014 r. w godz. 8.00 – 9.30 przy ul. Słowackiego 52/24 w Warszawie. Poniżej zaprezentowano podstawowe parametry pomiaru:

- temperatura powietrza: 7°C
- wilgotność: 75%
- opad: 0 mm
- ciśnienie: 1014 hPa
- wiatr: 4 km/h (północny)

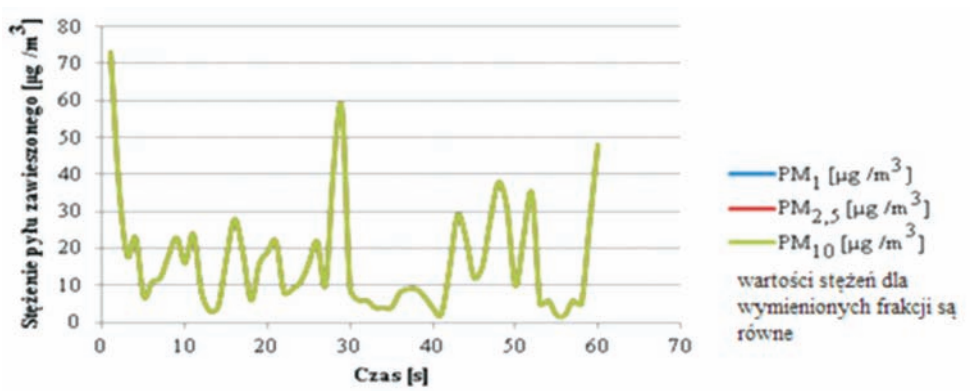
Pomiary w AWF zostały przeprowadzone 13.11.2014 r. w godz. 7.25 – 9.00 przy ul. Marymonckiej 34 w Warszawie. Warunki meteorologiczne w tym dniu:
- temperatura powietrza: 6°C
- wilgotność: 87%
- opad: 0 mm
- ciśnienie: 1004 hPa
- wiatr: 24 km/h (południowo-wschodni).

Każdy pomiar pyłu zawieszonego w omówionych obiektach został wykonany na wysokości 1,5 m od powierzchni ziemi. Próbki powietrza pobierano trzykrotnie, a następnie wynik uśredniono. Badania przeprowadzono przed zajęciami sportowymi oraz w trakcie ich trwania. Czas jednorazowego pomiaru wynosił 60 sekund. W analizie uwzględniono frakcje pyłu zawieszonego PM_{10}, $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$.

2. Omówienie wyników badań

W tej części artykułu zaprezentowano wyniki przeprowadzonych badań zestawione w postaci tabelarycznej i graficznej.

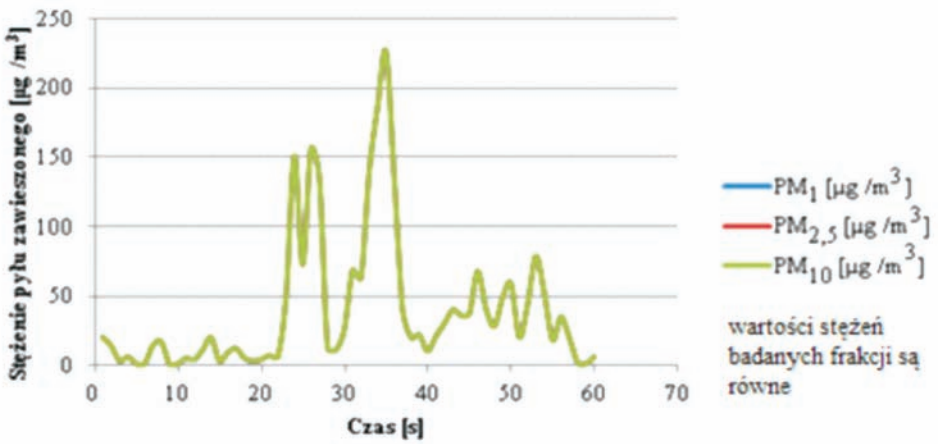
Poniżej zaprezentowano wyniki pomiarów stężenia pyłu zawieszonego [$\mu g/m^3$] z podziałem na frakcje (wartości średnie arytmetyczne) w sali gimnastycznej SGSP przed rozpoczęciem zajęć sportowych. W chwili pomiaru w sali znajdowały się dwie osoby obsługujące pyłomierz.



Rys. 12. Stężenie pyłu zawieszonego w sali gimnastycznej przed zajęciami
Źródło: opracowanie własne

Jak wynika z powyższego wykresu, stężenia wszystkich mierzonych frakcji były jednakowe. Średnie stężenie pyłu zawieszonego w sali przed zajęciami było na odpowiednio niskim poziomie, jednakże podczas pomiaru zanotowano wysokie skoki stężeń chwilowych (73 $\mu m/m^3$). Dla porównania, przeprowadzono również pomiar nam antresoli sali gimnastycznej SGSP przed zajęciami (rys. 13),

który świadczy, że w sali mają miejsce ruchy powietrza unoszące pył ku górze, ponieważ średnie stężenie pyłu na antresoli było wyższe niż na dole i wynosiło 40 μm/m^3. Na podstawie wykresu można zaobserwować duże różnice między stężeniem minimalnym a maksymalnym wynoszące aż 226 μm/m^3.



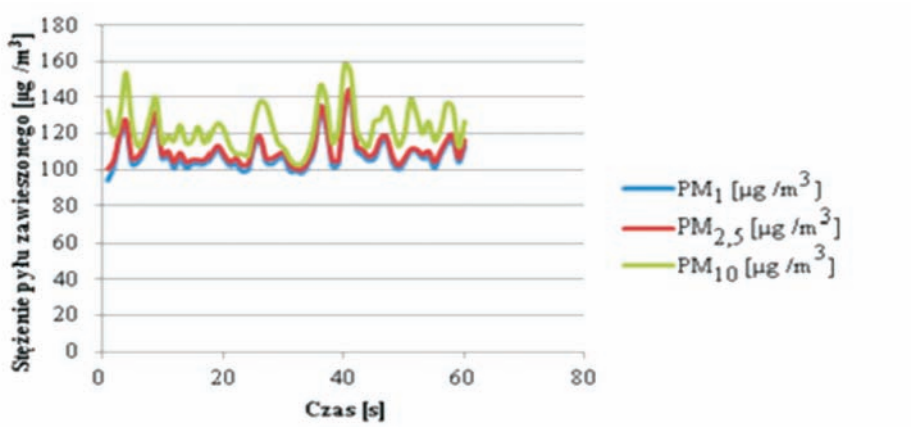
Rys. 13. Stężenie pyłu zawieszonego na antresoli przed zajęciami
Źródło: opracowanie własne

Kolejne pomiary przeprowadzone zostały podczas ćwiczeń grupy studentów liczącej 21 osób. Pierwszą czynnością, którą wykonywali po wejściu na salę był szybki bieg dookoła. Pomiar został wykonany po 15 minutach biegu łączonego z podskokami w odległości 3 m od grupy ćwiczących.

Na rys. 15 widać, że stężenie pyłu zawieszonego w sali wyraźnie wzrosło, osiągając wysoką średnią wartość 118 μm/m^3. Ponadto, podczas wykonywania ćwiczeń przez studentów stężenia poszczególnych frakcji różniły się między sobą. Obserwowane różnice stężeń pyłu zawieszonego mogły być spowodowane dużą różnorodnością wykonywanych ćwiczeń.

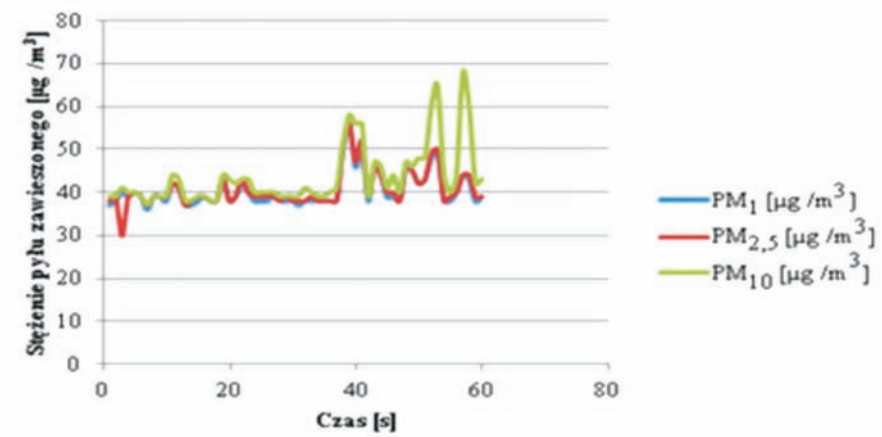
Rys. 15. Stężenie pyłu zawieszonego w sali gimnastycznej podczas biegu studentów
Źródło: opracowanie własne

Podobne wyniki zanotowano podczas meczu siatkówki i ćwiczeń ogólnorozwojowych studentów. 15 minut po zakończeniu zajęć na sali odnotowano średnie wyniki stężeń pyłu dla wszystkich frakcji powyżej 100 μm/m^3.



Rys.16. Stężenie pyłu zawieszonego w sali gimnastycznej po zajęciach
Źródło: opracowanie własne

Poniżej zaprezentowane zostały wyniki pomiarów stężenia pyłu w siłowni przed wejściem studentów. Z wykresu można odczytać stężenia dla poszczególnych frakcji. Średnie stężenie przed ćwiczeniami wynosiło ok. 39 μm/m^3. Również i podczas pomiarów na siłowni zaobserwowano kilkakrotne skoki stężeń chwilowych.

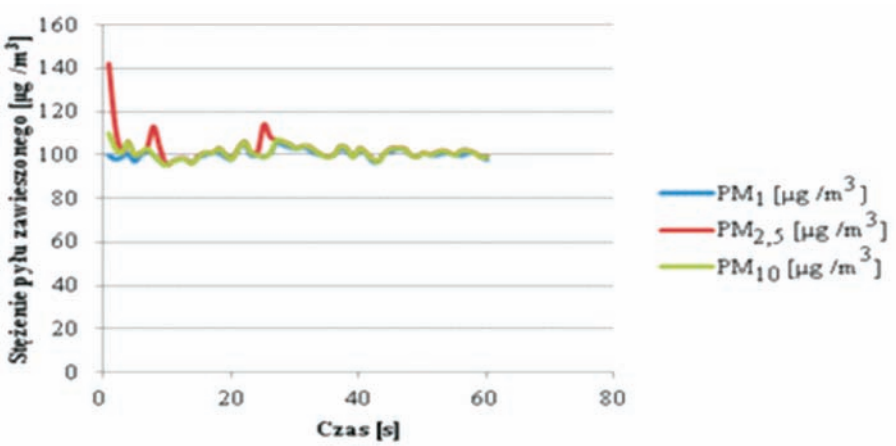


Rys. 17. Stężenie pyłu zawieszonego w siłowni przed zajęciami
Źródło: opracowanie własne

Po 15 minutach od rozpoczęcia zajęć, wykonano pomiar podczas ćwiczeń 5 osób na ergometrze wioślarskim i otrzymano wyniki zbliżone do wyników pomiarów wykonanych przed wejściem studentów do pomieszczenia (rys. 17). Zanotowano również niewielkie wahania między wartością minimalną, a maksymalną.

Rys. 18. Ćwiczenia studentów na ergometrze wioślarskim
Źródło: Kinga Jaworska

Na kolejnym obiekcie SGSP, czyli boisku szkolnym również zostały wykonane pomiary przed zajęciami oraz po zajęciach. Z uwagi iż pomiar wykonywany był na zewnątrz, należy uwzględnić warunki atmosferyczne. W dniu wykonywania badań nie odnotowano opadów atmosferycznych. Wilgotność dochodziła do 75%, ciśnienie było umiarkowane (1014 hPa), słaby wiatr (4 km/h) i temperatura powietrza 7°C. Wyniki badań przeprowadzonych przed biegiem studentów jak i w trakcie pokazują niewielkie różnice między nimi. Średnie stężenie pyłu zawieszonego wszystkich badanych frakcji zarówno przed biegiem, jak i podczas biegu 6 studentów wynosiło ok. 100 $\mu g/m^3$. Zanotowano niewielkie skoki stężeń w poszczególnych sekundach pomiaru (rys. 19) dla frakcji $PM_{1,0}$ i PM_{10}. Dla frakcji $PM_{2,5}$ znaczący skok miał miejsce na początku pomiaru. Odległość pyłomierza od osób ćwiczących wynosiła 2 m. Zadaniem studentów było przebiegnięcie dystansu 100 m w odstępach 1 m od osoby. Pyłomierz został usytuowany w połowie wymierzonego dystansu, czyli na 50 m.

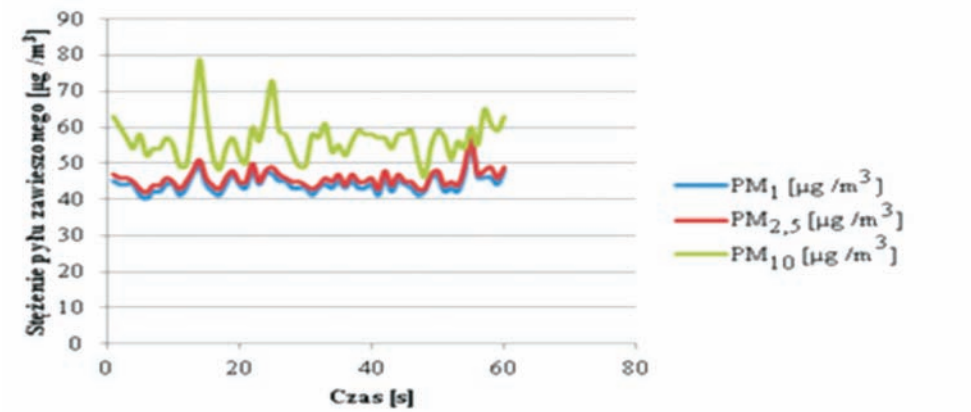


Rys. 19. Stężenie pyłu zawieszonego na boisku podczas biegu studentów
Źródło: opracowanie własne

Z przedstawionych wyników można odczytać, iż największe wartości stężeń pyłu zawieszonego dla wszystkich badanych frakcji odnotowano w sali gimnasty-

cznej. Najmniejsze wartości odnotowano w siłowni SGSP, co może wiązać się z bardziej stacjonarnym wykonywaniem ćwiczeń w porównaniu z salą gimnastyczną oraz mniejszymi ruchami powietrza.

Podobne pomiary zostały wykonane w obiektach Akademii Wychowania Fizycznego. Analogicznie do pomiarów w SGSP, również zmierzono stężenie pyłu zawieszonego przed zajęciami. Pierwszy pomiar został wykonany na bieżni tartanowej w odległości 5 m od skoczni w dal.



Rys. 20. Stężenie pyłu zawieszonego na bieżni przy skoczni (przed zajęciami)
Źródło: opracowanie własne

Z wykresu można odczytać, iż w powietrzu sali AWF wyraźnie dominuje frakcja pyłu PM_{10}. Ponadto dla frakcji pyłu $PM_{2,5}$ i $PM_{1,0}$ zaobserwowano niewielkie różnice między stężeniem minimalnym a maksymalnym. Skoki stężeń chwilowych są wyraźnie zauważalne dla frakcji PM_{10}. Podobne pomiary wykonano w różnych odległościach od skoczni w dal wypełnionej piaskiem. Stężenia malały wraz ze wzrostem odległości od skoczni. Ponadto różnice między stężeniami minimalnymi a maksymalnymi były niewielkie (tabela 1).

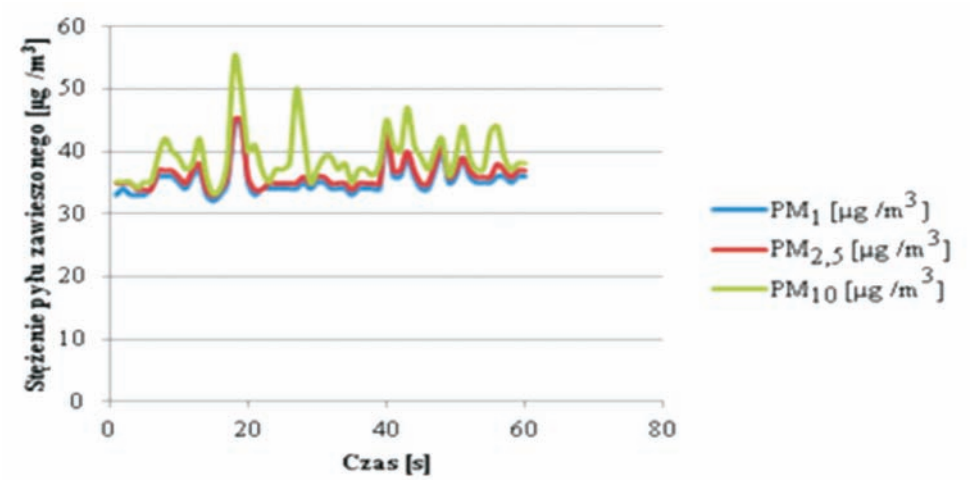
Tabela 1. Stężenie pyłu zawieszonego na bieżni w odległości 80 m od skoczni (przed zajęciami)

	PM_1 [$\mu g/m^3$]	$PM_{2,5}$ [$\mu g/m^3$]	PM_{10} [$\mu g/m^3$]
stężenie śr.	39	40	40
stężenie min.	36	37	38
stężenie max.	41	42	46

Źródło: opracowanie własne

Jeszcze niższe stężenia zanotowano dla boisk sąsiadujących z bieżnią boisk, oddzielonych od bieżni i skoczni siatką. Stężenie pyłu zawieszonego wszystkich frakcji na boiskach oscylowało w granicach $36 \div 38\ \mu m/m^3$.

Badanie przeprowadzono w siłowni przy jednej osobie ćwiczącej. W pomieszczeniu był włączony nawiew. Najwyżej średnie stężenie zanotowano dla pyłów frakcji PM_{10} wynoszące 39 μm/m^3. Dla tej frakcji zaobserwować można także największe wahania stężeń chwilowych. Pozostałe frakcje utrzymywały się na jednakowym poziomie 36 μm/m^3.



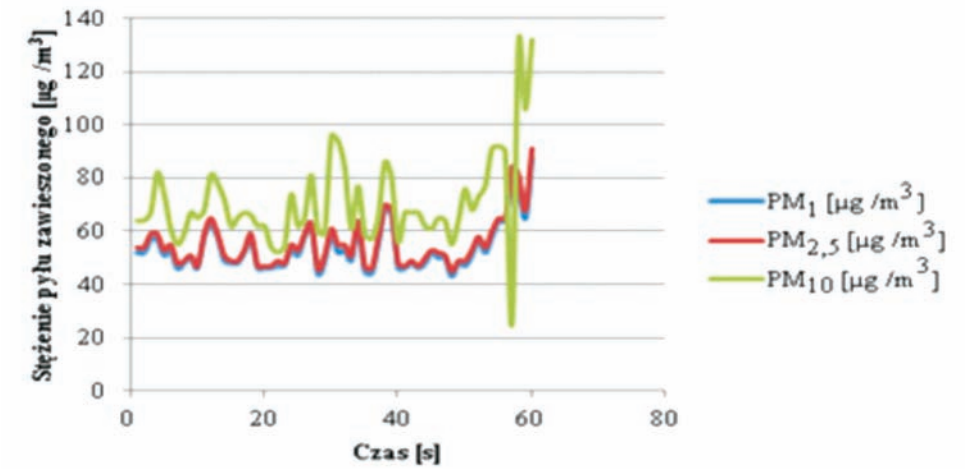
Rys. 21. Stężenie pyłu zawieszonego na siłowni AWF

Źródło: opracowanie własne

Kolejny pomiar przeprowadzono na bieżni w obecności 16 osób ćwiczących w odległości 3 m od nich. Badania przeprowadzono po 45 min od rozpoczęcia zajęć. Studenci wykonywali ćwiczenia ogólnorozwojowe, m.in. podskoki, rzuty 3-kilogramową piłką lekarską, np. podrzucanie w górę, odbicia o powierzchnie tartanu (rys. 22).

Rys. 22. Ćwiczenia studentów AWF na bieżni

Źródło: opracowanie własne



Rys. 23. Stężenie pyłu zawieszonego na bieżni podczas ćwiczeń studentów
Źródło: opracowanie własne

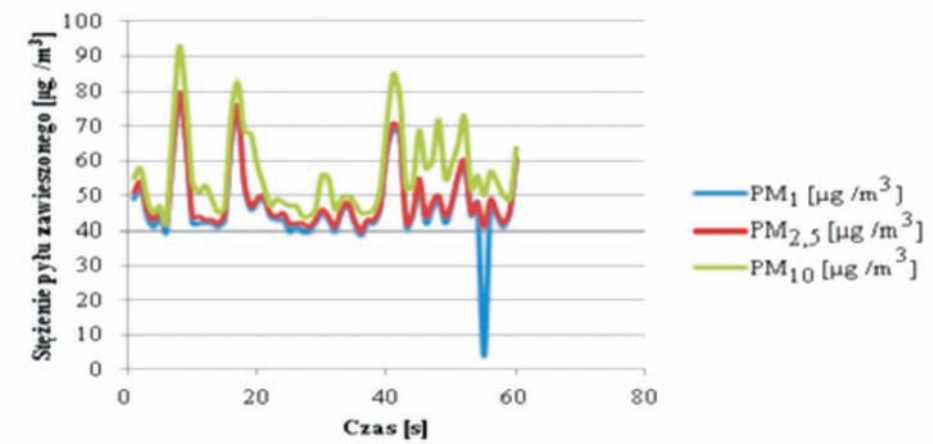
Z wykresu można odczytać, że podczas pomiaru przy osobach ćwiczących na bieżni dominuje frakcja pyłu PM_{10} osiągająca najwyższe stężenia minimalne, maksymalne oraz średnie. Dla tejże frakcji zauważalny jest prawie dwukrotny wzrost stężenia w porównaniu do pomiarów wykonywanych bez udziału osób ćwiczących. Stężenie pozostałych frakcji pyłów również wzrosło. Szczególnie wysokie stężenia były osiągane podczas uderzeń piłki o tartanową nawierzchnię.

Po upływie ok. 60 min. od rozpoczęcia zajęć sportowych wykonano pomiary na boisku do piłki ręcznej. Podczas ćwiczeń grupa licząca około 30 studentów po obu stronach boiska przebiegała slalom i oddawała rzuty piłką do bramki. Pomiary zostały wykonane w odległości około 10 m od grupy ćwiczących studentów. Otrzymane wyniki wskazują zdecydowanie wyższe stężenia pyłu od stężeń otrzymanych w badaniach przeprowadzonych przed zajęciami sportowymi, lecz niższe od pomiarów wykonanych na bieżni podczas zajęć. Ponadto zauważalne są gwałtowne skoki stężeń chwilowych związane z odbijaniem piłki o podłogę i rzutami piłki do bramki.

Tabela 2. Stężenie pyłu zawieszonego w trakcie i po ćwiczeniach na boisku do piłki ręcznej

Stężenia		PM1 [$\mu g/m^3$]	PM2,5 [$\mu g/m^3$]	PM10 [$\mu g/m^3$]
stężenie śr.	w trakcie ćwiczeń	48	49	57
	po ćwiczeniach	48	49	56
stężenie min.	w trakcie ćwiczeń	39	40	42
	po ćwiczeniach	37	38	39
stężenie max.	w trakcie ćwiczeń	79	80	93
	po ćwiczeniach	119	120	122

Źródło: opracowanie własne



Rys. 24. Stężenie pyłu zawieszonego podczas ćwiczeń z piłki ręcznej
Źródło: opracowanie własne

Podobne średnie stężenia zostały zarejestrowane po opuszczeniu boiska piłki ręcznej przez osoby ćwiczące. Różnica pojawiła się między wartościami stężeń maksymalnych, które były zdecydowanie wyższe po opuszczeniu przez studentów boiska. Wiąże się to z ruchem powietrza i opadaniem pyłu po meczu (tabela 2).

Ostatni pomiar w budynku hali AWF został wykonany na antresoli 30 min po zakończeniu zajęć sportowych przeprowadzanych w różnych częściach obiektu dla 50 osób. Antresola umiejscowiona jest na wysokości 2,5 m między boiskiem do siatkówki, a boiskiem do piłki ręcznej. Wyniki przedstawione w tabeli 3 pokazują, iż podobnie jak w pozostałych częściach hali dominuje frakcja pyłu zawieszonego PM_{10}, której stężenia były największe. Poza tym różnice między stężeniami maksymalnymi i minimalnymi wynoszą ok. 20 μm/m^3, czyli stosunkowo niewiele.

Tabela 3. Stężenie pyłu zawieszonego na antresoli 30 min. po zajęciach

	PM1 [μg/m^3]	**PM2,5 [μg/m^3]**	**PM10 [μg/m^3]**
stężenie śr.	45	46	51
stężenie min.	38	40	42
stężenie max.	53	55	66

Źródło: opracowanie własne

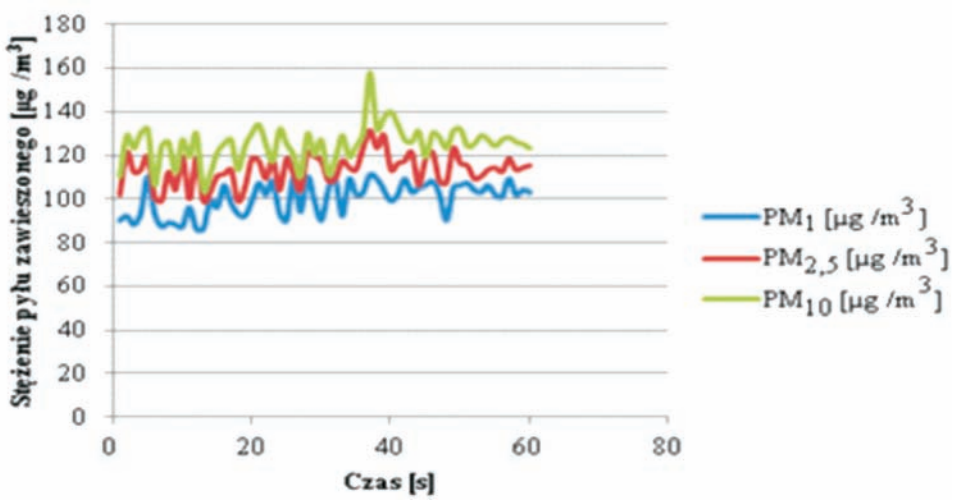
Ostatnie pomiary na terenie AWF wykonano na stadionie lekkoatletycznym zarówno przed, jak i po biegu pięciu studentów dookoła stadionu. W dniu pomiaru, tj. 13 listopada 2014 r., nie odnotowano opadów, wilgotność utrzymywała się na poziomie 87%, ciśnienie atmosferycznie było stosunkowo niskie (1004 hPa) oraz wiał silny wiatr osiągający 24 km/h. Temperatura w momencie pomiaru wynosiła 6°C.

Tabela 4. Stężenie pyłu zawieszonego na stadionie AWF przed biegiem i podczas biegu studentów

Stężenia		PM1 [μg /m^3]	PM2,5 [μg /m^3]	PM10 [μg /m^3]
stężenie śr.	przed biegiem	86	93	103
	w trakcie biegu	100	113	125
stężenie min.	przed biegiem	78	87	87
	w trakcie biegu	86	99	104
stężenie max.	przed biegiem	92	98	128
	w trakcie biegu	111	131	158

Źródło: opracowanie własne

Z pomiarów przedstawionych w tabeli 4 wynika, że średnie stężenie pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym w odległości 2 m od bieżni stadionu po biegu wzrosło o 14 μm/m^3 dla frakcji $PM_{1,0}$, 20 μm/m^3 dla frakcji $PM_{2,5}$ i 22 μm/m^3 dla frakcji PM_{10}. Podobne różnice zanotowano dla stężeń minimalnych i maksymalnych. Na przebieg pomiaru wpływał wiejący wiatr, który wprowadzał w ruch pyły unoszące się w powietrzu. Szczególnie wyraźne skoki stężeń pyłu zawieszonego zarejestrowano w momencie przebiegania studentów obok pyłomierza.



Rys. 25. Stężenie pyłu zawieszonego podczas biegu studentów na stadionie AWF
Źródło: opracowanie własne

Wnioski

1. Przeprowadzone badania wykazały wysokie stężenia pyłu zawieszonego (PM_{10}, $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$) zarówno w sali gimnastycznej SGSP, na boisku SGSP, jak i hali lekkoatletycznej AWF oraz na stadionie AWF w trakcie zajęć sportowych, podczas gdy studenci wykonywali ćwiczenia.

2. Jak wynika z pomiarów, stężenie pyłu zawieszonego przekracza wartość 40 μm/m^3 dla frakcji PM_{10} i 20 μm/m^3 dla frakcji $PM_{2,5}$, czyli jest wyższe od dopuszczalnego stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu atmosferycznym.
3. Poziom stężenia pyłu zawieszonego w obiekcie sportowym zależy m.in. od rodzaju nawierzchni, rodzaju i intensywności wykonywanych ćwiczeń oraz ilości ćwiczących osób. Wyższe stężenia pyłów odnotowane zostały wewnątrz pomieszczeń sportowych w czasie aktywności fizycznej studentów niż przed zajęciami. Intensywny ruch powoduje unoszenie się osadzonego pyłu na powierzchniach wewnątrz obiektów sportowo-rekreacyjnych.
4. Chcąc uniknąć lub ograniczyć narażenie na zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym, należy właściwie zaplanować treningi studentów. W przypadku ćwiczeń wykonywanych na otwartej przestrzeni, czyli na stadionach, właściwą porą są godziny poranne.
5. Chcąc ocenić szkodliwość pyłów na osoby czynnie uprawiające sport w danym obiekcie, należy zidentyfikować źródła oraz czynniki odpowiedzialne za zwiększone stężenia oraz skład pyłu zawieszonego w tymże obiekcie.
6. Stężenia zanieczyszczeń powietrza w obiektach sportowych zależą od obecnych w nich źródłach zanieczyszczeń oraz rodzaju i sprawności zastosowanych systemów wentylacyjnych. Istotne w tym zakresie jest właściwe rozmieszczenie elementów nawiewnych i wyciągowych, które zapewni skuteczny obieg powietrza w pomieszczeniu bez powstawania obszarów, gdzie powietrze jest w bezruchu. Przy lokalizacji elementów nawiewnych/wyciągowych należy wziąć pod uwagę geometrię sali/hali, występowanie trybun czy też specyfikę uprawianego sportu.
7. Zbyt słaba wentylacja pomieszczeń ogranicza transport i usuwanie pyłów z obiektów oraz niedokładne sprzątanie, stąd cząstki pyłu sedymentującego tylko częściowo są usuwane z obiektów, co przy dużej aktywności studentów prowadzi do ciągłej resuspensji pyłu.

Literatura

[1] Badyda A.: Wieloaspektowy wpływ ruchu drogowego i zatorów komunikacyjnych na środowisko społeczne aglomeracji miejskiej na przykładzie Warszawy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.
[2] Bednarek R., Dziadowiec H., Pokojska U., Prusinkiewicz Z.: Badania ekologiczno-gleboznawcze. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2005.
[3] Binggan W, Yang L.: A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China, *Microchemical Journal* 2010, nr 94, s. 99-107.
[4] Fanger P.O., Popiołek Z., Wargocki P.: Środowisko wewnętrzne. Wpływ na zdrowie, komfort i wydajność pracy. Politechnika Śląska, Gliwice 2003.
[5] Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Raport o stanie środowiska w Polsce 2008. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2010.

[6] Hendiger J.,. Ziętek P, Chludzińska M.: Wentylacja i klimatyzacja. Materiały pomocnicze do projektowania. Venture Industries, Warszawa 2009.
[7] Hjortenkrans D., Bergback B., Haggerud A.: New metal emission patterns in road traffic environment. Environmental *Science and Technology* 2006, nr 117, s. 85-98.
[8] Lippi 1 G., Guidi G.C., Maffulli N.: Air Pollution and Sports Performance in Beijing, Sports Med 2008; 29: 696–698.
[9] Menteşe S., Arisoy M., Rad A.Y., Güllü G.: Bacteria and Fungi Levels in Various Indoor and Outdoor Environments in Ankara, Turkey, *Clean* 2009, No. 37(6).
[10] Recknagel H., Sprenger E., Schramek E.R.: Kompedium wiedzy. Ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo. OMNI SCALA, Wrocław 2008.
[11] Rosas M.A.C.: Effect of Air Pollution on Athletes' Performance, Health, and Mortality Air & Water Pollution Control Engineering, Fall 2013.
[12] Sabiniak H.G., Pietras M.: Klimatyzacja obiektów basenowych, Politechnika Łódzka, Łódź 2010.
[13] Seppönen O., Fisk W.J.: Association of ventilation system type with SBS symptoms in office workers, *Indoor Air* 2002 No. 12.
[14] Srikanth P., Sudharsanam S., Steinberg R.: Bio-aerosols in indoor environment: composition, health effects and analysis, *Indian Journal of Medical Microbiology* 2008, No. 26 (4).
[15] Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Warszawie, Roczna ocena jakości powietrza w województwie mazowieckim. Raport za rok 2012, Warszawa 2013.
[16] Zwoździak A, Sówka I., Fortuna M., Zwoździak J.: Sezonowa zmienność stężeń pyłu PM10, PM2,5 oraz PM1 wewnątrz i na zewnątrz wybranej wrocławskiej szkoły, Politechnika Wrocławska, Lublin 2012
[17] Zwoździak P.: Konferencja Naukowa Studentów. „Biocywilizacja". UNS Politechnika Wrocławska 2008.

Akty prawne

[18] Dyrektywa 2008/50/WE.
[19] Dyrektywa 2004/107/WE.
[20] Rozporządzenie Ministra Środowiska z 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (DzU 2012, poz. 1032).
[21] Rozporządzenie Ministra Środowiska z 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (DzU 2012, poz. 1031).

Strony internetowe

[22] www.wios.warszawa.pl/download/1/106/1pylyzaw2008.pdf z dn. 26.03.2014 r.
[23] www.tsi.katowice.pl/pylomierze.html z dn. 8.05.2014 r.