

Zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym PM₁₀ oraz PM_{2,5} w warunkach silnej antropopresji na przykładzie miasta Sosnowiec

Particulate pollution of PM₁₀ and PM_{2,5} due to strong anthropopressure in Sosnowiec city

Jolanta Cembrzyńska ^(a-e), Ewa Krakowiak ^(b, f), Piotr Z. Brewczyński ^(f)

Zakład Szkodliwości Biologicznych i Immunoalergologii, Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego
Kierownik Zakładu, Dyrektor Instytutu: dr n. med. P.Z. Brewczyński

^(a) koncepcja

^(b) zebranie materiału do badań

^(c) badania laboratoryjne

^(d) statystyka

^(e) opracowanie tekstu i piśmiennictwa

^(f) opieka merytoryczna

STRESZCZENIE

Wstęp: Zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym stanowi poważny problem dużych miast oraz aglomeracji miejsko-przemysłowych zarówno w Polsce, jak i Europie. Źródłem pyłowych i gazowych zanieczyszczeń powietrza na obszarach miejskich są głównie emisje antropogeniczne pochodzące z sektora komunalno-bytowego, przemysłu oraz środków transportu. Jak wskazują liczne badania epidemiologiczne, zanieczyszczenia atmosferyczne, zwłaszcza pyły drobne o średnicach aerodynamicznych cząstek poniżej 2,5 μm, stanowią zagrożenie dla zdrowia osób długotrwale przebywających w warunkach występowania ponadnormatywnych stężeń pyłu. **Cel pracy:** Celem pracy jest ocena zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM₁₀ oraz PM_{2,5} w sezonie jesienno-zimowym na terenie miasta Sosnowiec, w odniesieniu do obowiązujących w Polsce oraz na terenie Unii Europejskiej norm jakości powietrza. **Wyniki:** Wyznaczone na podstawie pomiarów gravimetrycznych stężenia frakcji pyłu zawieszonego PM₁₀ oraz PM_{2,5} na terenie miasta Sosnowiec w sezonie jesienno-zimowym 2010–2011 roku, przekraczały od 2,1 do 2,7 razy wartości dopuszczalne, określone w obowiązujących aktach prawnych.

Słowa kluczowe: pył zawieszony, zanieczyszczenie powietrza, PM₁₀, PM_{2,5}, narażenie środowiskowe

ABSTRACT

Introduction: Air contamination with particulate matter causes a serious problem in large cities and urban-industrial agglomerations both in Poland and Europe. Anthropogenic sources of air pollution in urban areas are emissions from municipal, industrial and transportation sector. Many epidemiological studies have revealed that exposure to air pollution, especially the fine particles with aerodynamic diameter less than 2,5 micrometer, can pose a threat to human health exposed to exceedingly high concentrations of particulate matter. **Aim of the study:** The aim of this study was to evaluate PM₁₀ and PM_{2,5} mass concentrations in autumn and winter season in the city of Sosnowiec, in relation to ambient air quality standards in Poland and the European Union. **Results:** The average concentrations of PM₁₀ and PM_{2,5} in autumn-winter seasons in Sosnowiec city 2010–2011 were 2,1 to 2,7 times higher than limit values, specified in the legislation acts.

Key words: particulate matter, urban air pollution, PM₁₀, PM_{2,5}, environmental exposure

WSTĘP

Gwałtowny postęp cywilizacji obserwowany na przestrzeni ostatnich dekad, a wraz z nim rozwój przemysłu oraz postępująca urbanizacja, wywarły istotny wpływ na środowisko naturalne powodując

jego nadmierne skażenie. Do globalnych zagrożeń środowiska należą niewątpliwie pyłowe zanieczyszczenia atmosferyczne, które ze względu na transgraniczny zasięg prowadzą do skażenia dużych obszarów oraz stanowią zagrożenie dla zdrowia ekspozowanej populacji [1–3].

Pył zawieszony stanowi złożoną mieszaninę cząstek stałych, ciekłych i gazowych, które ze względu na duży stopień dyspersji mogą przebywać w atmosferze w stanie zawieszonym przez długi czas. W kontekście oceny stopnia zagrożenia zdrowia, powszechnie stosowanym parametrem w odniesieniu do pyłu zawieszonego jest klasyfikacja według średnicy aerodynamicznej cząstek. Wyróżnia ona dwie główne frakcje (kategorie) pyłu, będące elementem monitoringu jakości powietrza w środowisku miejskim zarówno w Polsce jak i Europie:

- PM₁₀ (ang. *coarse particles*) – frakcja zgrubna, której cząstki pyłu mają średnice aerodynamiczne poniżej 10 μm,
- PM_{2,5} (ang. *fine particles*) – frakcja drobna, której cząstki pyłu mają średnice aerodynamiczne poniżej 2,5 μm.

Poszczególne frakcje pyłu zawieszonego, tworzą zróżnicowane grupy zanieczyszczeń, które oprócz wspomnianej średnicy aerodynamicznej różnią się między innymi procesem powstawania, składem chemicznym, zachowaniem oraz czasem półtrwania w atmosferze. W środowisku miejskim frakcja zgrubna pyłu jest emitowana bezpośrednio do atmosfery jako zanieczyszczenie pierwotne i obejmuje materiał uwalniany przez źródła stacjonarne i powierzchniowe w postaci cząstek pyłu, kurzu, popiołu, sadzy oraz pyłu drogowego ulegającego resuspensji [3, 4]. Frakcja drobna, którą stanowią cząstki o średnicy mniejszej niż 2,5 μm, powstaje w atmosferze, jako produkt utleniania prekursorów gazowych takich jak: dwutlenek siarki (SO₂), tlenki azotu (NO_x), amoniak (NH₃), oraz lotne związki organiczne (LZO), których źródłem są wysokotemperaturowe procesy obróbki paliw stałych i płynnych [3]. Frakcja ta zawiera największą grupę związków chemicznych o udowodnionym działaniu rakotwórczym, mutagennym oraz cytotoksycznym, między innymi wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA). Ze względu na powszechność występowania w środowisku człowieka oraz wysoki współczynnik kancerogenności, benzo(a)piren został uznany markerem dla całej grupy WWA [5–7].

Zapoczątkowane w drugiej połowie ubiegłego wieku badania z zakresu epidemiologii środowiskowej wskazują na znaczący wpływ jakości powietrza na zdrowie populacji. Skutki zdrowotne dotyczą przede wszystkim układów oddechowego oraz sercowo-naczyniowego i są powiązane ze wzrostem hospitalizacji oraz obniżeniem średniej długości życia [8–10]. Częstość występowania oraz nasilenie dolegliwości dotyczy zwłaszcza grup „podwyższonego ryzyka” – dzieci i osób powyżej 65. roku życia – a czynnikami promującymi są dodatkowo: astma, przewlekła obturacyjna choroba płuc, niewydolność krążenia

oraz choroby alergiczne. Ze względu na silną toksyczność zanieczyszczeń towarzyszących, szczególnie zagrożenie dla zdrowia stanowi drobny pył zawieszony PM_{2,5}, który przenikając poza krtań do najdrobniejszych oskrzelików wchodzących w skład bezręskowej części dróg oddechowych jest wchłaniany bezpośrednio do krwioobiegu [10, 11].

Zanieczyszczenie powietrza pyłem zawieszonym stanowi poważny problem zdrowia publicznego w Europie, gdzie na terenach zurbanizowanych mieszka około 75% ludności. W latach 1997–2008, od 13 do 62% ludności europejskiej mieszkającej na obszarach miejskich było narażone na oddziaływanie stężenia pyłu PM₁₀ przekraczające wartości dopuszczalne, określone w celu ochrony zdrowia ludzi [12]. Badania przeprowadzone w różnych krajach europejskich w okresie zimowym 1993/1994 roku wskazały występowanie wysokich stężeń pyłu zawieszonego PM₁₀ na obszarach miejskich o dużej gęstości zaludnienia [13]. Jednak pył zawieszony nie ma stężenia progowego, zatem negatywne skutki zdrowotne mogą pojawić się na wszystkich poziomach ekspozycji [12].

Polska jest krajem charakteryzującym się występowaniem obszarów o wysokim stopniu degradacji środowiska, spowodowanym dynamicznym procesem urbanizacji i industrializacji, zachodzącym w II połowie XX wieku. Dominujący udział paliw stałych w strukturze podstawowych nośników energii pierwotnej stanowi główne źródło presji środowiskowej, a ponad 62% pyłowych emisji związane jest z procesami spalania w sektorze komunalnym i mieszkaniowym [14]. Najbardziej uprzemysłowionym i zurbanizowanym terenem w skali kraju i Europy jest obszar Śląska oraz aglomeracji górnośląskiej, z którym integralnie związane jest miasto Sosnowiec. W 2010 roku na terenie województwa śląskiego funkcjonowały 343 zakłady szczególnie uciążliwe dla czystości powietrza, które w skali kraju wyemitowały do środowiska 21,4% zanieczyszczeń pyłowych oraz 20% zanieczyszczeń gazowych [14]. Zaburzenie równowagi ekologicznej na tym terenie spowodowało, że od wielu lat utrzymują się wysokie poziomy stężenia pyłu zawieszonego. W 2010 roku średnie roczne stężenia pyłu PM₁₀ oraz PM_{2,5} należały do najwyższych wśród wszystkich aglomeracji w Polsce i wyniosły odpowiednio 50,5 μg/m³ oraz 42,5 μg/m³ [14].

Od 2008 roku obowiązuje nowa Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy „Clean Air for Europe”, potocznie nazywana „Dyrektywą CAFE” [15], która jest najważniejszym aktem prawa europejskiego, regulującym kwestie strategii ochrony powietrza na terenie wspólnoty w sposób kompleksowy. Transpozycja postanowień przedmiotowej

dyrektywy na polski obszar prawny nastąpiła poprzez nowelizację Ustawy Prawo Ochrony Środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 roku, która wraz z aktami wykonawczymi zapewnia dostosowanie regulacji krajowych do wymagań unijnych.

CEL PRACY

Celem pracy jest ocena zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM₁₀ oraz PM_{2,5} w rejonie intensywnej antropopresji, w oparciu o pomiary grawimetryczne przeprowadzone na terenie miasta Sosnowiec w sezonie jesienno-zimowym, obejmującym okres od października 2010 roku do marca 2011 roku.

MATERIAŁ I METODY

Charakterystyka miasta

Sosnowiec to miasto na prawach powiatu, położone w środkowo-wschodniej części województwa śląskiego. Jest jednym z czternastu miast tworzących Górnośląski Związek Metropolitalny (GZM), oraz tworzy zespół 19 graniczących ze sobą miast województwa śląskiego, wchodzących w skład konurbacji górnośląskiej. Pod względem powierzchni Sosnowiec zajmując obszar 91,06 km², plasuje się na 5 miejscu wśród 14 miast aglomeracji górnośląskiej. Liczba mieszkańców w 2010 r. wyniosła 217.638 osób (stan na XII 2010 r.), co stanowi Sosnowiec jednym z najludniejszych miast województwa śląskiego oraz aglomeracji górnośląskiej. Głównymi źródłami zanieczyszczeń emisji zorganizowanej, niezorganizowanej i wtórnej na terenie Sosnowca są następujące źródła [16]:

- komunalne, szczególnie zlokalizowane w obszarach starych dzielnic,
- liniowe w postaci ciągów komunikacyjnych,
- energetycznego spalania, w szczególności w lokalnych instalacjach o małej mocy wyposażonych w kotły opalane węglem,
- przemysłowe, nie posiadające skutecznych urządzeń ochrony powietrza,
- obszarowe obejmujące tereny przemysłowe i poprzemysłowe, nieużytki, tereny niezrekultywowane,
- składowiska odpadów, termicznie czynne zwąły.

Stanowisko pomiarowe, technika poboru próbek powietrza

Stanowisko pomiarowe do poboru próbek pyłu zawieszonym PM₁₀ oraz PM_{2,5} zostało usytuowane w południowo-zachodniej części miasta Sosnowiec (współrzędne punktu: 50.279° N, 19.120° E). Inte-

gralność punktu pomiarowego w skali makrośrodowiska jest reprezentatywna dla stacji tła miejskiego ze względu na ochronę zdrowia ludzi, dla której kryteria określono w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu [17]. Do poboru próbek powietrza stosowano niskoprzepływowe pompy Harvarda, wyposażone w głowice aspiracyjne PM₁₀ oraz PM_{2,5} (prod. Air Diagnostic and Engineering Inc, Naples, USA) [18]. Budowa głowicy aspiracyjnej pozwala na wychwyt cząstek o średnicy aerodynamicznej 10 μm oraz 2,5 μm z 50% skutecznością. Próbkę pyłu pobierano w sposób ciągły (dobowy) przy stałym strumieniu objętości powietrza wynoszącym 9 dm³/min. Każdorazowo, zarówno przed pomiarem jak i po pomiarze sprawdzano zgodność przepływu powietrza przy użyciu wzorcowanego rotametry typu TG06 (VEB Prüfgeräte-Werk Medinge, Niemcy).

Kondycjonowanie oraz analiza wagowa filtrów

Do poboru prób powietrza stosowano filtry szklane, z powłoką teflonową typu PTFE (fluoropochodne węglowodorów), o średnicy porów 2 μm (prod. SKC, USA). Zaletą materiału, z którego zostały wykonane filtry jest całkowita inertność chemiczna wobec związków zawartych w filtrowanym powietrzu oraz wysoka skuteczność zatrzymywania cząstek.

Kondycjonowanie filtrów, zarówno czystych jak i z pobraną próbką powietrza przeprowadzono w stałych warunkach temperatury i wilgotności (22° C ± 1, 45% ± 5). Filtry umieszczano w eksykatorach wypełnionych substancją suszącą w postaci bezwodnego chlorku wapnia (CaCl₂), posiadającego silne właściwości higroskopijne na okres minimum 24 godzin, po którym następował proces ważenia.

Do wyznaczenia masy filtrów czystych oraz z pobraną próbką powietrza stosowano wagę analityczną Sartorius-Genius model ME 215S (prod. Sartorius AG Göttingen, Niemcy), z dokładnością ważenia 10 μg. Waga zapewnia wysoką precyzję wyznaczenia masy poprzez zastosowany system automatycznej kalibracji *isoCAL* oraz układ eliminacji ładunków elektrostatycznych (funkcja dejonizacji powietrza).

Stężenie pyłu wyrażone w μg/m³, wyznaczono jako stosunek masy pyłu zebranego na filtrze do objętości pobranego powietrza.

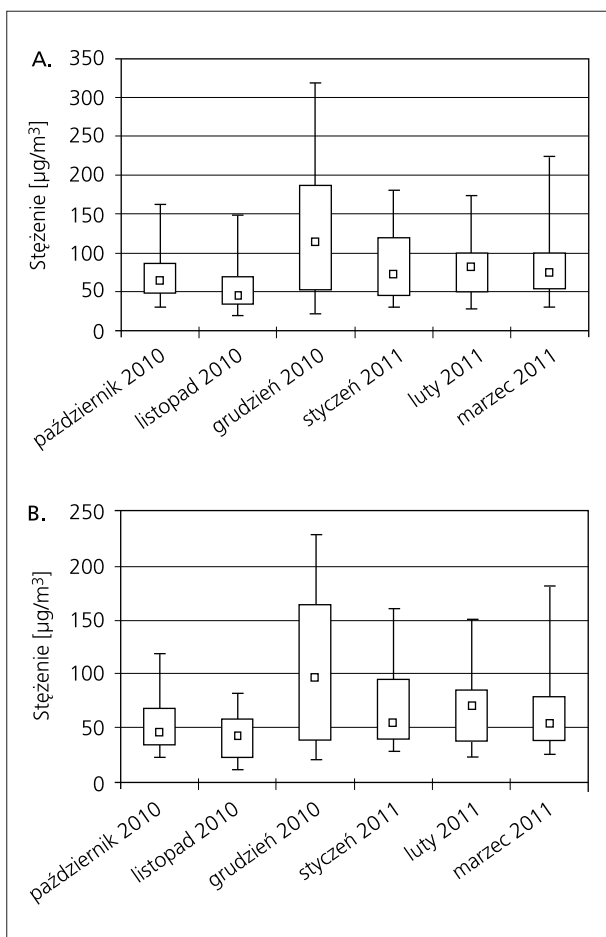
Analiza statystyczna

Analizę statystyczną zmiennych przeprowadzono z wykorzystaniem programu Statistica for Windows, wersja 7.1. Wyznaczono podstawowe miary statystyki opisowej takie jak: średnia arytmetyczna, minimum i maksimum oraz miary położenia: medianę i kwartyle.

Celem określenia jakim typem rozkładu zmiennych w poszczególnych miesiącach sesji pomiarowej charakteryzuje się dana populacja zastosowano test Shapiro-Wilka. Do porównania zależności między zmiennymi w miesiącach jesiennych i zimowych zastosowano test U Manna-Whitneya dla statystyk nieparametrycznych. Za istotnie statystycznie uznano wartości, dla których prawdopodobieństwo $p < 0,05$.

WYNIKI BADAŃ

Na ryc. 1 przedstawiono rozkład dobowych stężeń pyłu PM₁₀ oraz PM_{2,5} w poszczególnych miesiącach, na terenie miasta Sosnowiec.



Ryc. 1. Rozkład dobowych stężeń pyłu zawieszzonego PM₁₀ (A) oraz PM_{2,5} (B) (µg/m³) na terenie miasta Sosnowiec w sezonie jesienno-zimowym 2010–2011 roku (wykres skrzynkowy: 25–75%, □ – mediana, I – minimum, maksimum)

Fig. 1. Distribution of daily concentrations of PM₁₀ (A) and PM_{2,5} (B) in the city of Sosnowiec during autumn-winter season of 2010–2011 (the box-plots: 25–75%, □ – median, I – minimum, maximum)

W Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu [19], uwzględniając wymagania przepisów wspólnotowych, podano dwa poziomy dopuszczalne dla pyłu PM₁₀: 50 µg/m³ jako okres uśredniania dla 24 godzin oraz 40 µg/m³ jako średnia dla roku kalendarzowego (tab. I).

Tab. I. Poziomy dopuszczalne dla pyłu zawieszzonego PM₁₀ oraz PM_{2,5}*

Tab. I. Limit values for PM₁₀ and PM_{2,5} particulate matter

Nazwa substancji	Okres uśredniania wyników pomiarów	Poziom dopuszczalny substancji w powietrzu [µg/m ³]	Dopuszczalna częstość przekroczenia	Alarmowy poziom substancji w powietrzu [µg/m ³]
PM ₁₀	24 godziny	50	35	200
	rok kalendarzowy	40	–	–
PM _{2,5}	rok kalendarzowy	25	–	–

* Poziom dopuszczalny określony w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. poz. 1031).

Zarówno w przypadku frakcji pyłu PM₁₀ jak i PM_{2,5} istotne statystycznie różnice ($p < 0,05$) wystąpiły pomiędzy wartościami stężeń uzyskanymi w miesiącach jesiennych (październik–listopad) i zimowych (grudzień–marzec).

Najwyższe stężenia frakcji PM₁₀ wystąpiły w grudniu (mediana stężeń: 115 µg/m³, zakres stężeń: 22–319 µg/m³). W okresie styczeń–luty stężenia pyłu PM₁₀ były niższe, jednak w porównaniu z zalecanymi wartościami dopuszczalnymi dobowy przebieg koncentracji pyłu był wysoki, a mediana stężeń wyniosła odpowiednio 85 µg/m³ oraz 106 µg/m³. Zarówno najniższe wartości średniego stężenia pyłu (mediana 70 µg/m³ i 56 µg/m³) jak i najniższe wartości maksymalne (162 µg/m³ i 149 µg/m³) wystąpiły w październiku i listopadzie.

W analizowanym okresie wystąpiło 126 dni (70% okresu badań) kiedy wartość normatywna dla 24-godzinowego okresu uśredniania została przekroczona, natomiast zgodnie z wytycznymi, częstość przekroczenia dla całego roku kalendarzowego nie może być większa niż 35 razy (tab. II) [19]. Ponadto, sześciokrotnie zaistniała sytuacja przekroczenia alarmowego poziomu substancji tj. stężenia 200 µg/m³, będącego wartością progową informowania społeczeństwa o ryzyku wystąpienia przez trzy kolejne doby nieko-

Tab. II. Charakterystyka statystyczna dobowych stężeń pyłu PM₁₀ i PM_{2,5} (µg/m³) na terenie Sosnowca, w sezonie jesienno-zimowym 2010–2011 roku (\bar{x} – średnie stężenie, >50 – udział stężeń powyżej 50 µg/m³, >25 – udział stężeń powyżej 25 µg/m³, s – odchylenie standardowe)

Tab. II. Statistical characteristic of daily concentrations of PM₁₀ and PM_{2,5} (µg/m³) in the city of Sosnowiec, during autumn-winter season of 2010–2011 (\bar{x} – mean value, >50 – number of results above 50 µg/m³, >25 – number of results above 25 µg/m³, s – standard deviation)

Okres badań	N	PM ₁₀					PM _{2,5}				
		\bar{x}	>50	min.	maks.	s	\bar{x}	>50	min.	maks.	s
Październik 2010	31	70	22 (71%)	31	162	31	53	29 (94%)	22	119	24
Listopad 2010	30	56	15 (50%)	19	149	31	42	20 (67%)	11	82	21
Grudzień 2010	31	126	24 (77%)	22	319	80	106	28 (90%)	20	230	57
Styczeń 2011	31	81	20 (65%)	31	180	44	71	31 (100%)	28	161	37
Luty 2011	28	82	21 (75%)	28	174	36	69	26 (93%)	22	151	33
Marzec 2011	31	80	24 (77%)	31	224	40	63	30 (97%)	25	182	32

rzystnych skutków zdrowotnych [19]. Średnia wartość stężenia dla sześciu miesięcy badanego okresu wyniosła 83 µg/m³ i przekraczała zalecany poziom dopuszczalny 2,1 razy.

Dla pyłu PM_{2,5} w polskim prawodawstwie nie jest określona wartość stężenia dopuszczalnego dla 24-godzinnego okresu uśredniania. W Dyrektywie CAFE wyznaczono wartość dopuszczalną na poziomie 25 µg/m³ dla rocznego okresu uśredniania wyników pomiarów, z terminem osiągnięcia do dnia 1 stycznia 2015 roku. Należy jednak zaznaczyć, że jest to jedynie wartość orientacyjna, która w 2013 roku zostanie zweryfikowana przez Komisję Europejską, z uwzględnieniem dalszych informacji na temat skutków dla zdrowia i środowiska [15].

Najwyższy poziom zanieczyszczenia drobnym pyłem PM_{2,5} wystąpił w miesiącu grudniu (mediana stężeń: 97 µg/m³, zakres stężeń: 20–230 µg/m³) oraz w pozostałych miesiącach zimowych: w styczniu (mediana stężeń: 55 µg/m³, zakres stężeń: 28–161 µg/m³), lutym (mediana stężeń: 71 µg/m³, zakres stę-

żeń: 22–151 µg/m³) oraz marcu (mediana stężeń: 55 µg/m³, zakres wartości: 25–182 µg/m³). Miesiącami jesiennymi (październik–listopad) odpowiadały na ogół niższe stężenia pyłu. Mediana stężeń w październiku wyniosła 47 µg/m³ (zakres stężeń: 22–119 µg/m³), a w listopadzie 43 µg/m³ (zakres stężeń: 11–82 µg/m³).

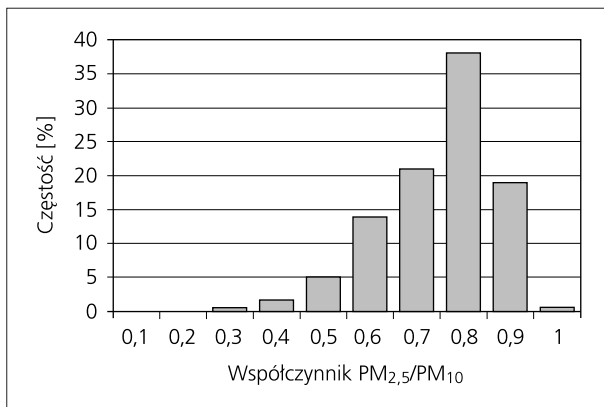
Analiza statystyczna zanieczyszczenia powietrza drobnym pyłem zawieszonym PM_{2,5} wykazała, że w badanym okresie, przez 164 dni występowały stężenia wyższe niż 25 µg/m³, co stanowiło aż 90% całego okresu pomiarów (tab. II). Średnia wartość stężenia dla sześciu miesięcy badanego okresu wyniosła 67 µg/m³ i przekraczała zalecany poziom dopuszczalny 2,7-krotnie.

W tabeli III przedstawiono udział masy pyłu PM_{2,5} w stosunku do PM₁₀ w poszczególnych miesiącach, wyrażony jako współczynnik ilorazu PM_{2,5} do PM₁₀. Średni współczynnik dla całego okresu badań wyniósł 0,81 (zakres od 0,75 w listopadzie do 0,88 w styczniu). Częstotliwość występowania współczynnika powyżej 0,6 stanowiła ponad 92% okresu badań (rycina 2).

Tab. III. Rozkład współczynnika masy pyłu PM_{2,5} do PM₁₀ na terenie Sosnowca, w sezonie jesienno-zimowym 2010–2011 roku

Tab. III. Distribution of the mass ratio of PM_{2,5} to PM₁₀ in the city of Sosnowiec, during autumn-winter season of 2010–2011

Okres badań	Średnie stężenie PM ₁₀ µg/m ³	Średnie stężenie PM _{2,5} µg/m ³	Współczynnik PM _{2,5} /PM ₁₀
Październik 2010	70	53	0,76
Listopad 2010	56	42	0,75
Grudzień 2010	126	106	0,84
Styczeń 2011	81	71	0,88
Luty 2011	82	69	0,84
Marzec 2011	80	63	0,79



Ryc. 2. Częstość występowania określonych współczynników masy pyłu PM_{2,5} do PM₁₀ na terenie Sosnowca, w sezonie jesienno-zimowym 2010–2011

Fig. 2. Frequency of PM_{2,5} to PM₁₀ ratios in the city of Sosnowiec, during autumn-winter season of 2010–2011

DYSKUSJA

Miasto Sosnowiec reprezentuje warunki aerosanitarnie typowe dla obszarów zurbanizowanych, będące wypadkową emisji antropogenicznej, związanej z funkcjonowaniem sektora komunalno-bytowego, przemysłowego oraz transportu. Ponadto, teren miasta narażony jest na adwekcję zanieczyszczeń z ościennych, wysoko uprzemysłowionych ośrodków. Miasta takie jak Dąbrowa Górnicza, Jaworzno, Będzin, czy Katowice, sąsiadujące z obszarem Sosnowca, zostały zaliczone do miast o dużej skali zagrożenia środowiska emisją zanieczyszczeń powietrza [14]. W konse-

wencji, powoduje to złą jakość powietrza na terenie miasta, potęgowaną przez wzmożoną konsumpcję paliw stałych w sezonie grzewczym w lokalnych kotłowniach i paleniskach domowych.

Uzyskane w wyniku badań wysokie wartości dobowych stężeń, zarówno frakcji PM₁₀ jak i PM_{2,5} w poszczególnych miesiącach jesienno-zimowej sesji pomiarowej na terenie Sosnowca, nie wykazują przestrzennych różnic. Stanowią one bowiem problem większości stacji tła miejskiego w Polsce, a w przebiegu rocznym przekroczenia norm dotyczą głównie miesięcy okresu zimowego, kiedy notuje się ich największą ilość (tabela IV). Potwierdzają to również dane najnowszego raportu dotyczącego oceny jakości powietrza w strefach i aglomeracjach miejskich za rok 2010, w których dokonywane są w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska pomiary stężenia substancji zanieczyszczających powietrze. W wyniku klasyfikacji stref w oparciu o stężenia pyłu PM₁₀ wykazano, że 91% stref posiada najniższą kategorię C, z powodu częstości przekraczania wartości dobowej dla pyłu zawieszonego PM₁₀ [20]. Dotyczy to zwłaszcza terenu województwa śląskiego, który ze względu na wysoki stopień presji środowiskowej, znamionuje wysoki poziom zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym. Świadczy o tym fakt, że wszystkie strefy na obszarze województwa uzyskały kategorię C ze względu na przekroczenia zarówno średniej rocznej jak i częstości przekraczania normy dobowej dla pyłu PM₁₀, dla których kryteria określono w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu [19].

Tab. IV. Średnie miesięczne stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ (μg/m³) w latach 2010–2011 w wybranych miastach aglomeracji górnośląskiej [29]

Tab. IV. Monthly average of PM₁₀ mass concentration (μg/m³) in the years 2010–2011 in selected cities of the Upper Silesian agglomeration [29]

Miasto	Rok	Sezon zimowy ¹⁾						Sezon letni ²⁾					
		I	II	III	X	XI	XII	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Katowice	2010	82	88	64	68	56	122	57	32	30	35	34	40
	2011	80	82	83	61	116	47	56	40	29	28	35	50
Sosnowiec	2010	BD	BD	BD	49	42	101	BD	BD	33	29	26	29
	2011	75	64	71	56	102	72	40	29	23	20	21	41
Rybnik	2010	BD	BD	BD	78	64	129	BD	BD	48	36	29	38
	2011	63	124	65	99	83	94	51	38	24	20	27	42
Dąbrowa Górnicza	2010	82	90	59	56	48	98	48	29	25	28	28	33
	2011	80	82	83	42	71	55	47	31	24	21	27	38

BD – brak danych

¹⁾ sezon zimowy (sezon grzewczy) – I i IV kwartał roku

²⁾ sezon letni (sezon niegrzewczy) – II i III kwartał roku

Dotrzymanie standardów jakości powietrza, zwłaszcza w sezonie zimowym, jest problemem wielu miast europejskich, a uzyskane w pracy wyniki badań wykazują zgodność z badaniami innych autorów [21]. Wieloośrodkowe badania prowadzone w pięciu państwach Europy Środkowej i Wschodniej (Polska, Czechy, Bułgaria, Rumunia, Słowacja) wykazały, że stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ oraz PM_{2,5} mierzone w okresie zimowym, są średnio dwukrotnie wyższe niż w okresie letnim. Najwyższe stężenia pyłu zawieszonego uzyskane przez autorów dotyczyły takich państw jak: Polska (PM₁₀ 96 µg/m³, PM_{2,5} 75 µg/m³), Czechy (PM₁₀ 94 µg/m³, PM_{2,5} 70 µg/m³) oraz Bułgaria (PM₁₀ 92 µg/m³, PM_{2,5} 61 µg/m³). W przypadku Polski, spowodowane jest to dominującym udziałem paliw organicznych, głównie węgla kamiennego w sektorze komunalnym w celach grzewczych, oraz znaczącym udziałem tzw. niskiej emisji w ogólnym bilansie substancji zanieczyszczających powietrze.

Natomiast niższe wartości stężenia pyłu zawieszonego PM₁₀ otrzymali Hoek i wsp. [13], w badaniach prowadzonych w czternastu miastach Europy. Mediana stężeń dla pyłu PM₁₀ w okresie zimowym w takich miastach jak: Katowice, Teplice, Budapeszt, Kraków czy Praga wyniosła odpowiednio: 63 µg/m³, 56 µg/m³, 54 µg/m³, 52 µg/m³ oraz 50 µg/m³. Sytuacja taka była prawdopodobnie spowodowana mniejszym oddziaływaniem emisji antropogenicznej.

W środowisku miejskim, obecna jest zarówno frakcja zgrubna jak i drobna pyłu, jednak ich wzajemne proporcje, wykazują zróżnicowanie w zależności od pory roku i dominujących źródeł emisji zanieczyszczeń. Na obszarze Europy, średni współczynnik udziału frakcji PM_{2,5} w pyłe PM₁₀ wynosi 0,65 (zakres: od 0,42 do 0,82) [3]. Z uwagi na utrzymujące się wysokie stężenia pyłu zawieszonego na terenie miasta Sosnowiec, uzyskane w pracy wysokie wartości współczynnika PM₁₀ do PM_{2,5} korelują z badaniami prowadzonymi pod kątem struktury aerozolu atmosferycznego w różnych miastach Górnego Śląska. Klejnowski i wsp. [22] wykazali, że udział masy pyłu PM_{2,5} w stosunku do PM₁₀ w sezonie zimowym w miastach o dużej presji środowiskowej (Katowice, Częstochowa, Zabrze) wynosi 0,8. Uznaje się, że wysoki udział frakcji pyłu PM_{2,5} w stosunku do PM₁₀ jak i częstość występowania jest typowy dla sezonu zimowego, bowiem jest wskaźnikiem wzmożonej emisji antropogenicznej zwłaszcza na obszarach, na których dominującą rolę odgrywa niska emisja.

Specyficzne warunki meteorologiczne w powiązaniu z niekorzystnymi warunkami wentylacyjnymi, charakterystycznymi dla zwartej zabudowy miejskiej powodują, że częstym zjawiskiem, zwłaszcza podczas zimowej inwersji, jest występowanie ekstremalnie

wysokich stężeń pyłu zawieszonego określanymi jako „epizody smogowe”. Na przykład, maksymalne stężenie frakcji PM₁₀ występujące w okresie zimowym 2006 roku w Zabrzu wyniosło 778 µg/m³ (29 stycznia) i przekraczało 15 razy przyjęty poziom dopuszczalny. Z kolei w Krakowie 25 stycznia 2006 roku stężenie PM₁₀ wyniosło 600 µg/m³ i przekraczało 12 razy przyjęty poziom dopuszczalny [23]. Na terenie Sosnowca do epizodów smogowych najczęściej dochodziło w grudniu (w dniach 4–5, 18, 22–23 oraz 27), kiedy sześciokrotnie została przekroczona wartość alarmowa, a maksymalne stężenie przekroczyło poziom dopuszczalny ponad 6 razy.

Działanie kancerogenne pyłów opiera się na jego aktywności mutagennej wynikającej z zawartości w nich metali ciężkich oraz WWA i pochodnych węglowodorów aromatycznych, wchodzących w skład tzw. pyłów czynnych [24]. Badania dotyczące aktywności biologicznej składników organicznych zaabsorbowanych na cząstkach pyłu zawieszonego potwierdzają, że pył zawieszony z sezonu zimowego wykazuje od 1,7 do 2,5 razy większy efekt mutagenny w stosunku do pyłu pobranego w sezonie letnim. Na silny efekt mutagenny pyłu ma niewątpliwie wpływ obecność w jego składzie benzo(a)pirenu, którego zawartość w sezonie zimowym jest 4–6 razy większa [25]. Fakt ten potwierdzają badania innych autorów [26, 27], którzy uzyskali wysokie wartości współczynnika mutagenności i cytotoksyczności w przeliczeniu na 1 m³ powietrza, dla prób pyłu pobranego w sezonie zimowym w różnych miastach Polski (Sosnowiec, Wrocław).

Badania z zakresu epidemiologii środowiskowej potwierdzają duży wpływ jakości powietrza atmosferycznego na zdrowie mieszkańców miast śląskich. Wysoką zapadalność na nowotwory płuc stwierdzono zarówno u kobiet, jak i mężczyzn zamieszkałych w Sosnowcu, Chorzowie, Rudzie Śląskiej, Zabrzu, Bytomiu, Dąbrowie Górniczej oraz powiecie miłkowskim [28]. Z uwagi na złą jakość powietrza na terenie miasta Sosnowiec, należy spodziewać się w kolejnych latach dalszego wzrostu liczby zachorowań u osób długotrwale przebywających w warunkach występowania ponadnormatywnych stężeń pyłu zawieszonego. Scenariusz taki jest wysoce prawdopodobny, gdyż okres powstawania raka płuc w przypadku oddziaływania pyłu zawieszonego jest o 4 lata krótszy w porównaniu z okresem oddziaływania innych zanieczyszczeń. Potwierdzeniem tego faktu jest ponadto wzrost umieralności ludności ekspozowanej na tego typu zanieczyszczenia. Spowodowane jest to synergicznym działaniem wysokiego stężenia pyłu w powietrzu w powiązaniu z silną toksycznością zanieczyszczeń [24].

WNIOSKI

Analiza stanu zanieczyszczenia powietrza pyłem zawieszonym PM₁₀ i PM_{2,5} wykazała, że na terenie miasta Sosnowiec występują niekorzystne warunki emisyjne i imisyjne, skutkujące utrzymywaniem się przez długi okres czasu ponadnormatywnych stężeń pyłu zawieszonego. W okresie pomiarowym zaistniały trudności zarówno z dotrzymaniem ustawowych progów alarmowych, poziomów dopuszczalnych ze względu na ochronę zdrowia ludności, oraz z częstotliwością ich przekraczania.

Dominujący udział pyłów drobnych w ogólnej masie pyłu zawieszonego świadczy o wysokiej emisji antropogenicznej, związanej ze spalaniem paliw w celach grzewczych. Stwarza to konieczność podjęcia niezbędnych działań w celu przywrócenia standardów jakości powietrza, które nie będą powodować zagrożenia dla zdrowia ekspozowanej populacji.

Praca została sfinansowana ze środków Instytutu Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu.

WYKAZ PIŚMIENICTWA

- Mayer H.: Air pollution in cities. *Atmospheric Environment* 1999; 33: 4029-4037.
- Mage D., Ozolins G., Peterson P., et al.: Urban air pollution in megacities of the world. *Atmospheric Environment* 1996; 30: 681-686.
- WHO: Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution. Copenhagen 2006.
- WHO: Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global Update 2005. Summary of risk assessment. World Health Organization 2006.
- ATSDR: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Department of Health and Human Services, Division of Toxicology, Agency for Toxic Substances and Disease Registry 1995.
- Finlayson-Pitts B.J., Pitts Jr. J. N.: Tropospheric Air Pollution: Ozone, Airborne Toxics, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and Particles. *Science* 1997; 276:1045-1052.
- IARC: A Review of Human Carcinogens. Chemical Agents and Related Occupations: Bezno(a)pyrene. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 110F: 111-138.
- Medina S. Plasencia A., Ballester F. et al.: Apehis: public health impact of PM10 in 19 European cities. *J Epidemiol Community Health* 2004; 58: 831-836.
- Atkinson R.W., Anderson H.R., Sunyer J., et al.: Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from APHEA 2 Project. *Am J Respir Crit Care Med* 2001;164: 1860-1866.
- Dockery D.W., Pope CA III., Xu X. et al.: An association between air pollution and mortality in six US cities. *N. Engl. J. Med.* 1993; 329:1753-1759.
- PN-ISO 7708. Jakość powietrza. Definicje pyłu stosowane przy pobieraniu próbek do oceny zagrożenia zdrowia. Polski Komitet Normalizacyjny 2001.
- EEA 2010. Środowisko Europy 2010 - Stan i Prognozy. Synteza. Europejska Agencja Środowiska, Kopenhaga 2010.
- Hoek G., Forsberg B., Borowska M., et al.: Wintertime PM10 and black smoke concentrations across Europe: results from the PEACE study. *Atmospheric Environment* 1997; 31: 3609-3622.
- GUS: Ochrona Środowiska 2011. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2011.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej L152/1.
- Prognoza oddziaływania na środowisko. Lokalny program rewitalizacji Miasta Sosnowca na lata 2010-2020, Sosnowiec, 2010.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu (Dz. U. poz. 1032).
- Marple V.A., Rubow K.L., Turner W., et al.: Low flow rate sharp cut impactors for indoor air sampling: design and calibration. *J Air Pollut Contr Assoc* 1987; 37:1303-1307.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. poz. 1031).
- IOŚ: Ocena jakości powietrza w strefach w Polsce za rok 2010. Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 2011.
- Houthuijs D., Breugelmans O., Hoek G., et al.: PM10 and PM2.5 concentrations in Central and Eastern Europe: results from the Cesar study. *Atmospheric Environment* 2001; 35: 2757-2771.
- Klejnowski K., Rogula-Kozłowska W., Krasa A.: Structure of atmospheric aerosol in Upper Silesia (Poland) - contribution of PM_{2,5} to PM₁₀ in Zabrze, Katowice and Częstochowa in 2005-2007. *Archives of Environmental Protection* 2009; 35: 3-13.
- Juda-Rezler K., Reizer M., Oudinet J.P.: Determination and analysis of PM10 source apportionment during episodes of air pollution in Central Eastern European urban areas: The case of wintertime 2006. *Atmospheric Environment* 2011; 45: 6557-6566.
- Janka R.M., Rożałowski W.: Aktywność mutagenna zanieczyszczeń atmosfery na obszarze silnie zdegradowanym. Artykuł wygłoszony na XXI Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Inżynieria Procesowa w ochronie środowiska”, Opole-Pokrzywna 2003.
- Binková B., Cerná M., Pastorková A., et al.: Biological activities of organic compounds adsorbed onto ambient air particles: comparison between the cities of Teplice and Prague during the summer and winter seasons 2000-2001. *Mutat Res* 2003; 525: 43-59.
- Kozłowska A., Olewińska E., Kowalska-Pawlak A., i wsp.: Ocena zanieczyszczeń mutagennych i cytotoksycznych we frakcjach PM₁₀ i PM_{2,5} aerozolu atmosferycznego na terenie miasta Sosnowca. *Medycyna Środowiskowa* 2011; 14: 21-33.
- Piekarska K., Zaciera M.: Mutagenność zanieczyszczeń organicznych zaabsorbowanych na cząsteczkach pyłu frakcji PM₁₀ i PM_{2,5} pobranego na terenie Wrocławia. *Medycyna Środowiskowa* 2008; 11: 27-34.
- Kapka L., Zemła B.F., Kozłowska A., i wsp.: Jakość powietrza atmosferycznego a zapadalność na nowotwory płuc w wybranych miejscowościach i powiatach województwa śląskiego. *Przegląd Epidemiologiczny* 2009; 63: 439-444.
- Śląski Monitoring Powietrza: <http://stacje.katowice.pios.gov.pl/monitoring/>

Adres do korespondencji:

inż. Jolanta Cembrzyńska
Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego
ul. Kościelna 13, 41-200 Sosnowiec
j.cembrzynska@imp.sosnowiec.pl