

Zanieczyszczenie kadmem powietrza atmosferycznego miast śląskich

Cadmium contamination of atmospheric air in the Silesian cities

Aleksandra Moździerz (a, b, c, d, e), Małgorzata Juszko-Piekut (b, c, e), Jerzy Stojko (d, e)

Zakład Higieny, Bioanalizy i Badania Środowiska
Wydział Farmaceutyczny z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej w Sosnowcu
Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach
Kierownik: dr hab. n. med. J. Stojko

- (a) koncepcja
- (b) zebranie materiału do badań
- (c) badania laboratoryjne
- (d) statystyka
- (e) opracowanie tekstu i piśmiennictwa

STRESZCZENIE

Wstęp. Od wielu lat prowadzone są badania oceniające zagrożenie środowiska i ryzyko utraty zdrowia populacji narażonej na działanie metali ciężkich, w tym kadmu. Celem pracy była ocena poziomu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego kadmem w roku 2009, uwzględniając okres letni oraz zimowy – grzewczy, przeprowadzono analizę porównawczą analogicznych danych pochodzących z lat wcześniejszych, 2005–2008. **Materiał i metody.** W opracowaniu wykorzystano wyjściowe dane statystyczne pomiarów zanieczyszczeń powietrza, pochodzących z poszczególnych stanowisk pomiarowych zlokalizowanych na terenie województwa śląskiego. Pomiarów wykonano w ramach systemu sanitarnych badań atmosfery (Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Katowicach). Próbkę pyłu PM10 poddane były obróbce w celu oznaczenia kadmu (Cd) metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (ASA). **Wyniki.** W roku 2009 wartości średnich rocznych stężeń kadmu w powietrzu atmosferycznym wynosiły od 0,7 ng/m³ do 5,3 ng/m³. Najwyższe stężenie kadmu zanotowano na terenie jednostki administracyjnej Miasteczko Śląskie, a najniższe w Jaworznie. Docelowy poziom kadmu (5 ng/m³) w powietrzu wyznaczony ze względu na ochronę zdrowia ludzi został przekroczony na terenie stacji – Miasteczko Śląskie. Na terenie pozostałych dziesięciu stacji pomiarowych zarówno w roku 2009 jak i przedziale czasowym 2005–2008 docelowy poziom kadmu wyznaczony normatywem nie został przekroczony. Zebrane dane wskazują na sezonową zmienność stężenia kadmu w powietrzu atmosferycznym. **Wnioski.** Poziomy zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego kadmem na terenie badanych miast Śląska w roku 2009 jak i w latach 2005–2008 utrzymują się na podobnym poziomie.

rycznego kadmem na terenie badanych miast Śląska w roku 2009 jak i w latach 2005–2008 utrzymują się na podobnym poziomie.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia powietrza, kadm (Cd), województwo śląskie

ABSTRACT

Background. For many years, researchers have evaluated environmental damage caused by heavy metals, including cadmium, as well as health risks in the population exposed to them. Thus the aim of our study was to evaluate cadmium levels in the atmospheric air in 2009, including summer and winter heating season. A comparative analysis was performed using the corresponding data from 2005–2008. **Material and Methods.** In the study, we used the statistical output data of air pollution obtained from particular measurement stations in the Silesian Voivodeship. The measurements were taken in the Provincial Sanitary and Epidemiological Station in Katowice city as a procedure of environmental monitoring. PM10 samples were processed to determine cadmium (Cd) concentration using atomic absorption spectrometry (AAS). **Results.** In 2009, annual average cadmium levels in the atmospheric air were 0.7 ng/m³ – 5.3 ng/m³. The highest level was recorded in Miasteczko Śląskie and the lowest one in Jaworzno. The target level of cadmium (5 ng/m³) in the air for the protection of human health was exceeded within the station – Miasteczko Śląskie. In the other ten measuring stations both

in 2009 as well as the time interval 2005–2008 target of cadmium determined annum has not been exceeded. The collected data indicate a seasonal variation of the cadmium concentration in ambient air. **Conclusions.** The levels of air pollution by cadmium in the cities studied

Silesia in 2009 and in the years 2005–2008 have remained at a similar level.

Keywords: air pollution, cadmium (Cd), Silesian Voivodeship

WSTĘP

Narażenie na podwyższone stężenia zanieczyszczeń atmosfery powoduje pogorszenie stanu zdrowia, jest czynnikiem zwiększającym ryzyko wystąpienia wielu chorób oraz zwiększa ryzyko przedwczesnej śmierci [1–4]. Kadm jest jednym z głównych zanieczyszczeń środowiska. Z danych Agency for Toxic Substances and Diseases Registry US wynika, iż corocznie do środowiska jest uwalniane 25–30 tys. ton kadmu, z czego około połowa jest uwalniana do światowych zasobów wody [5]. W latach 1999–2003 na świecie wyprodukowano ok. 17–20 tys. ton/rok kadmu, przy czym ok. 400 ton/rok w Polsce [6]. Stężenie kadmu (Cd) w pyłe PM₁₀ (*particulate matter 10* – wszystkie cząstki o wielkości 10 mikrometrów lub mniejsze) na terenach przemysłowych o wysokim stopniu urbanizacji jest wysokie i zawiera się w granicach 0,2–0,6 µg/m³, natomiast w rejonach wiejskich osiąga poziom 0,001–0,003 µg/m³. Na terenach miejskich poziom kadmu wynosi 0,002–0,05 µg/m³ [7–9].

Kadm stanowi zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt. W powietrzu atmosferycznym występuję w postaci tlenków (CdO) łatwo rozpuszczalnych w wodzie, co warunkuje ich biodostępność w środowisku. Przystawanie kadmu przez rośliny jest związane z ryzykiem wprowadzenia tego pierwiastka do diety człowieka. Zawartość kadmu w owocach i warzywach na terenie Polski wynosi 0,002–0,08 ppm suchej masy [7]. Od wielu lat prowadzone są badania oceniające zagrożenie środowiska i utratę zdrowia ludzi narażonych na działanie metali ciężkich, w tym kadmu. Kadm stanowi zagrożenie nie tylko w skali lokalnej, ale również kontynentalnej. Jest to związane z jego długim okresem występowania w atmosferze, warunkami technicznymi źródła emisji, a także warunkami meteorologicznymi. Kadm jest metalem, który ulega dużej bioakumulacji. Długoterminowe narażenie na kadm znajduje odzwierciedlenie w zwiększonej akumulacji tego pierwiastka w nerkach, trzustce, płucach, ośrodkowym układzie nerwowym i jądrach, jego zawartość w kościach, włosach jest zróżnicowana i może być wykorzystana do oceny zanieczyszczenia środowiska [10].

Cel pracy

Biorąc powyższe pod uwagę, za cel pracy przyjęto ocenę poziomu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego kadmem w roku 2009, uwzględniając w analizie podział na okres letni oraz zimowy – grzewczy. Ponadto, przeprowadzono analizę porównawczą analogicznych danych pochodzących z lat wcześniejszych, przedziału czasowego: 2005–2008.

MATERIAŁ I METODY

Niniejsze opracowanie jest kontynuacją badań prowadzonych przez pracowników Zakładu Higieny, Bioanalizy i Badania Środowiska Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach oraz Wojewódzkiej Stacji Sanitarnej-Epidemiologicznej w Katowicach. Badania dotyczyły stanu zanieczyszczenia atmosfery kadmem na terenie wybranych jednostek administracyjnych województwa śląskiego.

Kryteria oceny stanu zanieczyszczenia powietrza

Podstawę prawną, która zawiera kryteria oceny stanu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego stanowią:

1. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 czerwca 2002 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów niektórych substancji w powietrzu, alarmowych poziomów niektórych substancji w powietrzu oraz marginesów tolerancji dla dopuszczalnych poziomów niektórych substancji (Dz.U. 2002 Nr 87 poz.796) [12],
2. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 5 grudnia 2002 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz.U. 2003 Nr 1 poz.12) [13],
3. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 23 stycznia 2008 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo Ochrony Środowiska (Dz.U. 2008 nr 25 poz. 150) [14],
4. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy (Dz.U. L 152z 11.6.2008) [15].

Organizacja i metodyka badań

W pracy wykorzystano wyjściowe dane statystyczne pomiarów zanieczyszczeń powietrza z terenu województwa śląskiego. Pomiary wykonano w ramach systemu sanitarnych badań atmosfery. Pomiary stężeń pyłowych zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego kadmem były wykonywane na 11 stanowiskach pomiarowych w: Katowicach, Cieszynie, Jastrzębiu-Zdroju, Jaworznie, Lublińcu, Miasteczku Śląskim, Raciborzu, Rybniku, Wodzisławiu Śląskim, Żorach i Żywcu. Stanowiska pomiarowe w ww. jednostkach administracyjnych znajdowały się głównie na obszarach o średnim natężeniu ruchu samochodowego oraz w okresie zimy charakteryzowały się dużą emisją zanieczyszczeń z indywidualnych źródeł emisji – kominy domów i mieszkań opalanych węglem. Próby pobierano z wykorzystaniem systemu losowego. Częstotliwość poboru wynosiła 10 pomiarów na miesiąc, co daje 120 pomiarów w ciągu roku. Do zanieczyszczeń pyłowych stosowano aspiratory typu HVS zasysające 38–40 m³/h powietrza, wyposażone w separatory frakcji pyłu o średnicy aerodynamicznej powyżej 10 µm. Aspiratory były wzorcowane w laboratorium kalibracyjnym za pomocą przyrządów pomiarowych posiadających aktualne świadectwa uwierzytelniania Głównego Urzędu Miar. Pył gromadzono na filtrach z włókna szklanego typu GF/A firmy Whatman o wymiarach 203 x 254 mm. Stężenie pyłu zawieszonego oznaczano wagowo na podstawie różnicy w masie filtra przed i po pobraniu próby. Część filtrów poddawano procesowi mineralizacji w stężonym kwasie azotowym (V), w celu oznaczenia w pyłe PM10 stężeń metali, w tym prezentowanego w niniejszej pracy kadmu. W tak otrzymanych próbkach oznaczano zawartość kadmu metodą absorpcyjnej spektroskopii atomowej (ASA), z kuetą grafitową, przy długości fali – 228,8 nm. Oznaczanie pierwiastków techniką absorpcyjnej spektrometrii atomowej przeprowadza się na podstawie krzywej wzorcowej, sporządzonej w oparciu o serie roztworów wzorcowych firmy MERCK.

Metodyka opracowania wyników

Analizowano wartości stężeń od 1.01.2009 r. do 31.12.2009 r. z uwzględnieniem podziału na sezony: grzewczy – zimowy (od 01.01 do 11.04 i od 11.10 do 31.12), oraz letni (od 12.04 do 10.10). Uzyskane wartości stężeń kadmu poddane zostały analizie statystycznej. Opracowanie statystyczne wyników pomiarów przeprowadzono w oparciu o założenie, że zanieczyszczenie atmosfery jest w poszczególnych sezonach zjawiskiem losowo zmien-

nym, a jego rozkład jest zbliżony do rozkładu logarytmiczno-normalnego.

W celu przeprowadzenia statystycznej analizy porównawczej dotyczącej zmian poziomów zanieczyszczenia kadmem powietrza atmosferycznego na terenie województwa śląskiego wyniki porównano do analogicznych danych z lat 2005–2008. Obliczono średnią arytmetyczną, odchylenie standardowe. Wykonano test t-Studenta w celu oceny sezonowej zmienności stężeń kadmu oraz oceny zmian stężeń tego metalu w 2009 roku w porównaniu do lat 2005–2008.

WYNIKI

W roku 2009 wartości średnich rocznych stężeń kadmu w powietrzu atmosferycznym wynosiły od 0,73 ng/m³ do 5,23 ng/m³, najwyższe stężenie kadmu zanotowano na terenie jednostki administracyjnej Miasteczko Śląskie, a najniższe w Żywcu. Docelowy poziom stężenia kadmu w powietrzu oszacowany ze względu na ochronę zdrowia ludzi (5 ng/m³) został przekroczony na terenie Miasteczka Śląskiego, natomiast na pozostałych stacjach pomiarowych był poniżej poziomu docelowego (Tab. I).

Zebrane dane wskazują na sezonową zmienność stężenia kadmu w powietrzu atmosferycznym. Obserwujemy wzrost stężenia kadmu w okresie zimowym (sezon grzewczy). W okresie zimowym wartości stężeń kształtowały się w przedziale od 0,95 ng/m³ (Żywiec) do 5,25 ng/m³ (Miasteczko Śląskie). W okresie letnim występują niższe stężenia kadmu mieszczące się w przedziale od 0,40 ng/m³ w Cieszynie do 5,20 ng/m³ w Miasteczku Śląskim.

Największy wzrost stężenia kadmu w okresie grzewczym w porównaniu do sezonu letniego zanotowano w Lublińcu i wyniósł on 1,65 ng/m³ (Tab. I).

W latach 2005–2008 średnioroczne wartości stężeń kadmu w powietrzu atmosferycznym dla badanych stacji pomiarowych kształtowały się w przedziale od 0,78 ng/m³ do 7,38 ng/m³. Najniższe stężenie roczne wystąpiło w 2006 roku w Raciborzu i 2007 roku na terenie Jastrzębia-Zdroju – 0,80 ng/m³, natomiast najwyższe w 2008 roku w Miasteczku Śląskim (7,38 ng/m³) (Tab. I).

Wartość stężenia średniorocznego kadmu ($D_a = 10$ ng/m³ – obowiązywała do czerwca 2008 roku) nie została przekroczona na terenie żadnej z 11 badanych jednostek administracyjnych w latach 2005–2008.

Tabela I. Stężenia kadmu (ng/m^3) w wybranych stacjach pomiarowych na terenie województwa śląskiego w latach od 2005 do 2009 i wartości odchylenia standardowegoTable I. Cadmium concentration (ng/m^3) at selected measuring points in Silesia in the years between 2005 and 2009 and the standard deviation

Stacja pomiarowa	Okres	Średnie stężenie kadmu w ng/m^3 w latach od 2005 do 2009					Odchylenie standardowe
		2005	2006	2007	2008	2009	
Katowice	grzewczy	2,80	3,15	2,80	2,10	1,95	0,40
	letni	2,20	2,30	1,30	1,50	1,40	
	rok	2,50	2,73	2,05	1,80	1,68	
Cieszyn	grzewczy	3,00	–	1,10	1,90	1,15	0,56
	letni	1,20	1,20	0,90	0,60	0,40	
	rok	2,10	–	1,00	1,25	0,78	
Jastrzębie-Zdrój	grzewczy	1,90	1,30	0,90	0,85	1,10	0,39
	letni	0,80	1,80	0,70	1,00	0,60	
	rok	1,35	1,55	0,80	0,93	0,85	
Jaworzno	grzewczy	1,30	2,10	1,60	1,25	1,60	0,30
	letni	1,10	1,40	0,80	1,00	1,10	
	rok	1,20	1,75	1,20	1,13	1,35	
Lubliniec	grzewczy	3,00	3,90	2,25	1,80	3,55	0,51
	letni	2,10	2,50	1,40	2,40	1,90	
	rok	2,55	3,20	1,83	2,10	2,73	
Miasteczko Śląskie	grzewczy	6,00	3,55	1,95	5,65	5,25	2,38
	letni	2,60	6,70	1,10	9,10	5,20	
	rok	4,30	5,13	1,53	7,38	5,23	
Racibórz	grzewczy	2,85	0,75	1,50	1,70	1,60	0,47
	letni	1,50	0,80	1,10	0,50	1,00	
	rok	2,18	0,78	1,30	1,10	1,30	
Rybnik	grzewczy	1,95	1,75	1,45	1,40	1,90	0,26
	letni	0,80	1,50	0,60	1,00	1,00	
	rok	1,38	1,63	1,03	1,20	1,45	
Wodzisław Śląski	grzewczy	2,85	2,90	2,15	1,85	2,00	0,30
	letni	1,00	1,70	1,40	1,20	0,80	
	rok	1,93	2,30	1,78	1,53	1,40	
Żory	grzewczy	1,95	2,05	1,25	2,25	1,95	0,32
	letni	1,30	1,30	0,70	0,80	1,00	
	rok	1,63	1,68	0,98	1,53	1,48	
Żywiec	grzewczy	2,30	2,20	1,40	1,40	0,95	0,24
	letni	1,00	1,10	1,30	0,60	0,50	
	rok	1,65	1,65	1,35	1,00	0,73	
Wartość średnia dla badanych stacji pomiarowych w kolejnych latach		2,07	2,24	1,35	1,90	1,73	

– brak danych (*no data available*)

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można stwierdzić, że powietrze atmosferyczne na terenie badanych jednostek administracyjnych było najmniej zanieczyszczone kadmem w 2007 roku. Śred-

nie stężenie kadmu na badanym terenie wyniosło $1,35 \text{ ng/m}^3$ (Tab. I).

Na przestrzeni lat od 2005 do 2008 największy wzrost stężeń kadmu zanotowano w Miasteczku

Śląskim. W 2007 roku stężenie kadmu na terenie tej jednostki administracyjnej wynosiło 1,53 ng/m³ i wzrosło do wartości 7,38 ng/m³ w roku 2008, tym samym został przekroczony docelowy poziom kadmu w powietrzu (5 ng/m³) [14].

Zaobserwowano sezonową zmienność stężeń kadmu w powietrzu atmosferycznym. Najwyższe stężenie kadmu w okresie grzewczym wystąpiło również w Miasteczku Śląskim. Wartość stężenia kadmu w 2005 roku (okres grzewczy) wyniosła 6,00 ng/m³ i spadła w dwóch kolejnych latach, aby ponownie w 2008 roku osiągnąć poziom zbliżony do wartości z roku 2005 (Tab. I).

W celu ustalenia tendencji zmian poziomu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego na terenie miast województwa śląskiego, dokonano porównania wartości stężeń kadmu w 2009 roku z wartościami stężeń w latach 2005–2008.

W 2006 roku zanotowano najwyższe średnie stężenie kadmu wynoszące 2,24 ng/m³ (wartość średnia dla uwzględnionych stacji pomiarowych). W 2007 roku odnotowano wyraźny spadek stężenia badanego metalu (1,35 ng/m³), a w 2008 roku nastąpił kolejny wzrost stężenia (Tab. I).

Największy spadek stężenia kadmu w 2009 roku w porównaniu do roku 2008 odnotowano w Miasteczku Śląskim i wyniósł on 1,90 ng/m³. Natomiast w czterech punktach pomiarowych: Jaworzno, Lubliniec, Racibórz i Rybnik odnotowano niewielki wzrost stężenia kadmu w 2009 roku i wyniósł on odpowiednio: 0,22 ng/m³, 0,63 ng/m³, 0,20 ng/m³, 0,25 ng/m³.

Ocena sezonowej zmienności stężeń kadmu w latach od 2005 do 2009 została przeprowadzona przy założeniu, że zanieczyszczenie atmosfery jest w poszczególnych sezonach zjawiskiem losowo zmiennym, a jego rozkład jest zbliżony do rozkładu logarytmiczno-normalnego.

Wyraźny wzrost stężenia kadmu następuje w sezonie grzewczym. Jednakże porównując stężenia w sezonie zimowym do stężeń w sezonie letnim wyniki istotne statystycznie otrzymujemy dla następujących stacji pomiarowych: Katowice, Jaworzno, Rybnik, Wodzisław Śląski, Żory i Żywiec. Poziom istotności $\alpha = 0,05$. Dla pozostałych 5 jednostek administracyjnych wzrost poziomu kadmu w sezonie grzewczym jest zauważalny, ale zmiana ta nie jest istotna statystycznie. Poziom istotności $\alpha = 0,05$ (Tab. II).

Przeprowadzone analizy statystyczne pozwalają stwierdzić, że wszelkie zmiany (wzrost i spadek) w 2009 roku w odniesieniu do średniej z lat 2005–2008 nie są istotne statystycznie przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Również niskie wartości odchylenia standardowego świadczą o niewielkim rozrzucie wyników wokół średniej. Można zatem przyjąć, że stężenie kadmu w 2009 roku utrzymywało się na zbliżonym poziomie do wartości średnich z lat 2005–2008. Jednakże aby ocenić trendy dotyczące zawartości kadmu w powietrzu atmosferycznym na terenie województwa śląskiego należałoby w kolejnym etapie badań ocenić je metodą analizy regresji prostych łamanych, która pozwoliłaby zaobserwować zmiany kierunku zdarzenia na przestrzeni analizowanego okresu czasu.

Tabela II. Wyniki testu t-Studenta dla średnich wartości stężenia kadmu (ng/m³) w sezonie grzewczym i letnim w latach 2005–2009
Table II. The results of Student's t test for mean values of cadmium concentration (ng/m³) during the heating season and summer between 2005 and 2009

Stacja pomiarowa	Okresy pomiarowe w przedziale lat 2005–2009	Test t-Studenta	Poziom istotności $\alpha = 0,05$
Katowice	grzewczy / letni	2,63	+
Cieszyn	grzewczy / letni	2,16	–
Jastrzębie-Zdrój	grzewczy / letni	0,80	–
Jaworzno	grzewczy / letni	2,73	+
Lubliniec	grzewczy / letni	1,92	–
Miasteczko Śląskie	grzewczy / letni	0,28	–
Racibórz	grzewczy / letni	1,86	–
Rybnik	grzewczy / letni	3,78	+
Wodzisław Śląski	grzewczy / letni	4,19	+
Żory	grzewczy / letni	4,15	+
Żywiec	grzewczy / letni	2,50	+

– porównywane wartości nie różnią się w sposób statystycznie istotny (*compared values do not differ statistically significantly*)

+ wyniki różnią się w sposób statystycznie istotny (*results differ statistically significantly*)

DYSKUSJA

Formy fizyko-chemiczne kadmu, wielkość emisji, a także wysokość źródeł punktowych mają wpływ na zasięg transportu kadmu z masami powietrza. Kadm do powietrza jest emitowany wraz z pyłami. Frakcje pyłowe PM10 (*particulate matter 10* – wszystkie cząstki o wielkości 10 mikrometrów lub mniejsze) i PM2,5 (*particulate matter 2.5* – wszystkie aerozole atmosferyczne o wielkości 2,5 mikrometra) mogą być przenoszone na odległość od 500 do 800 km od źródła emisji. Ponadto kadm utrzymuje się w powietrzu atmosferycznym od 1 do 2 tygodni. Stwarza to możliwość przemieszczania zanieczyszczenia wraz z masami powietrza. Kadm wprowadzony do środowiska nie podlega degradacji, pozostaje w ciągłym obiegu, szybko przemieszcza się w łańcuchu troficznym gleba–roślina–człowiek, łatwo ulega wchłanianiu i bioakumulacji w organizmach żywych [16–20].

Kadm jest priorytetowym zanieczyszczeniem wielu programów badawczych, których celem jest zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska, oraz ograniczenie narażenia ludzi na działanie zanieczyszczeń atmosferycznych [21, 22].

Emisja antropogeniczna jest głównym źródłem zanieczyszczenia powietrza, składają się na nią procesy produkcyjne, energetyka przemysłowa i zawodowa, a także źródła powierzchniowe, obejmujące emisję z mieszkań, usług i sektora rolnego oraz transportu drogowego [23, 24].

Na Śląsku emisja zanieczyszczeń pyłowych, w tym również metali ciężkich, ze źródeł powierzchniowych, mieszkalnictwa i sektora usług wynosi 47%, a ze źródeł punktowych 40% wojewódzkiej emisji pyłu. Województwo jest jednym z regionów Polski o największej ilości źródeł punktowych zanieczyszczających atmosferę, na jego terenie znajduje się 361 zakładów szczególnie uciążliwych dla czystości powietrza. Stanowi to 21% zakładów uciążliwych w skali kraju [22]. Do zakładów, które wprowadzają największe ilości zanieczyszczeń pyłowych (ponad 50% emisji wojewódzkiej) należą: Elektrownia Rybnik S.A., Elektrownia „Jaworzno”, Elektrownia „Łaziska”, Elektrownia „Łagisza”, Elektrownia „Halemba”, PKE S.A., Elektrociepłownia w Bielsku Białej, Elektrociepłownia „EC Nowa” w Dąbrowie Górniczej, Zespół Elektrociepłowni Bytom S.A., Zakład Energetyki Ciepłej Katowice S.A. Rozkład przestrzenny emisji zanieczyszczeń w województwie śląskim jest nierównomierny. Największa emisja zanieczyszczeń występuje w aglomeracjach – górnośląskiej i rybnicko-jastrzębskiej. W 2009 roku w porównaniu do roku 2008 nastąpiły zmiany emisji za-

nieczyszczeń. Poziom redukcji pyłu zawieszonego wyniósł 17% [22, 23]. Pył zawieszony PM10 jest nośnikiem kadmu. Szacuje się, że udział masowy kadmu w pyłe mieści się w zakresie od 0,001% do 0,22%. Największą zawartość kadmu mają pyły pochodzące z procesów hutniczych i z energetycznego spalania paliw [24].

Z danych opublikowanych przez Krajowego Administratora Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji wynika, że największy udział w emisji metali mają procesy spalania. W przypadku emisji kadmu w 2009 roku dominują procesy spalania w sektorze mieszkaniowym i komunalnym. Zużycie materiałów w trakcie eksploatacji samochodów (np. opon samochodowych) jest jednym z pięciu znaczących źródeł emisji kadmu do atmosfery i stanowi 1% [25].

W latach 1980–1995 obserwowano stały spadek wartości rocznych emisji kadmu na terenie ówczesnego województwa katowickiego [9]. W porównaniu do roku 1980 spadek emisji wyniósł w 1995 roku 50%, a w 2005 ponad 60% [6]. Największe tempo zmniejszenia emisji kadmu miało miejsce w latach 90. XX wieku. Przyczyną spadku emisji było między innymi załamanie gospodarcze w Polsce, które dotknęło również województwo katowickie. Pomimo zauważalnej redukcji zanieczyszczeń na terenie kraju w latach 90. województwo katowickie nadal pozostawało w ścisłej czołówce regionów o najwyższych stężeniach zanieczyszczeń kadmem [26].

Zmiany stężeń kadmu w powietrzu atmosferycznym województwa śląskiego od roku 2005 do 2009 nie są już tak duże jak w latach 90. Miasteczko Śląskie jest jednostką administracyjną o najwyższym stężeniu kadmu na terenie województwa, wynosiło ono w roku 2009 5,23 ng/m³, tym samym docelowy poziom kadmu w powietrzu wyznaczony normatywnym, uwzględniający ochronę zdrowia populacji zamieszkującej badany teren został przekroczony [14]. Jest to spowodowane prawdopodobnie przez trzy czynniki: emisję pochodzącą ze źródeł punktowych i powierzchniowych, emisję pochodzącą ze źródeł komunalnych, w tym przede wszystkim z ogrzewania budynków mieszkalnych tzw. niska emisja, emisję ze źródeł liniowych i powierzchniowych (drogi, parkingi).

Na terenie Miasteczka Śląskiego zakładem emitującym najwięcej zanieczyszczeń z procesów grzewczych i technologicznych jest Huta Cynku „Miasteczko Śląskie”. Od XVI wieku Miasteczko Śląskie było terenem rozwijającego się górnictwa kruszcowego oraz rud żelaza. Huta Cynku „Miasteczko Śląskie” była w latach 70. oraz 80. XX w. jednym z po-

ważniejszych źródeł emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Na początku lat 90. XX w. podjęto realizację programu proekologicznego, który doprowadził do obniżenia emisji metali ciężkich na omawianym terenie. Pomimo tych działań Miasteczko Śląskie pozostaje regionem o najwyższym stężeniu kadmu w powietrzu. W roku 2009 w porównaniu z rokiem 2008 – zanotowano tu największy spadek wartości kadmu i wyniósł on $1,9 \text{ ng/m}^3$. Zmniejszenie ilości tego metalu odnotowano również na 5 innych stacjach pomiarowych: Katowice, Cieszyn, Wodzisław Śląski, Żory i Żywiec. Zmiany te wynosiły nawet do – 43% wartości w odniesieniu do roku 2008 (dla Cieszyna). Jednakże wzrost stężenia kadmu w 2009 roku nastąpił na terenie 4 jednostek administracyjnych (Lubliniec, Jaworzno, Racibórz, Rybnik). Najwyższy o 28,6% odnotowano w Lublińcu.

Głównym źródłem zanieczyszczeń emitowanych do powietrza na terenie miejscowości Lubliniec jest emisja antropogeniczna obejmująca emisję niską z kotłowni, indywidualnych palenisk domowych. Należy nadmienić iż w bezpośrednim otoczeniu stacji pomiarowej w Lublińcu znajduje się zabudowa jednorodzinna. Drugim źródłem emisji są zakłady przemysłowe (Lentex S.A. w Lublińcu, Fortum Częstochowa S.A., Energetyka Ciepna Opolszczyzny S.A., TURBOCARE POLAND S.A.), które posiadają pozwolenia na wprowadzenie gazów i pyłów do powietrza. Ponadto, Lubliniec jest ważnym węzłem komunikacyjnym. Na terenie gminy krzyżują się dwie drogi krajowe którymi prowadzony jest tranzyt, a przez centrum miasta przebiegają ciągi komunikacyjne – droga wojewódzka i międzypowiatowa [27]. Powyższe uwarunkowania mogą być powodem stosunkowo wysokich stężeń kadmu w Lublińcu.

W badaniach zaobserwowano różnice w czasowej zmienności emisji kadmu. Wspólną cechą sezonowych zmian jest występowanie najwyższych emisji miesięcznych w okresie zimowym-grzewczym, a niższych w miesiącach letnich. Zmienność ta potwierdza istotny wpływ procesów energetycznego spalania paliw (w szczególności węgla kamiennego) na wielkość emisji kadmu. Jednakże porównując stężenia w sezonie zimowym do stężeń w sezonie letnim, wyniki istotne statystycznie otrzymujemy w Katowicach, Jaworznie, Rybniku, Wodzisławiu Śląskim, Żorach i Żywcu. W pozostałych punktach pomiarowych wzrost stężenia w sezonie grzewczym jest zauważalny, ale nie jest istotny statystycznie ($\alpha = 0,05$).

W pierwszych pięciu latach XXI wieku emisja kadmu ustabilizowała się i odpowiada poziomom z 2000 roku. Różnice emisji dla kadmu wynoszą

ok. 3 %. Rejonami o podwyższonej emisji kadmu na terenie Polski są województwa śląskie i dolnośląskie, wschodnia część województwa opolskiego, centralna część województwa mazowieckiego i zachodnia część Małopolski. Rejonem o najniższej emisji jest obszar wzdłuż wschodniej, północnej i zachodniej granicy Polski, z wykluczeniem województwa dolnośląskiego, zachodniopomorskiego i zachodniej części województwa pomorskiego. Najniższą emisję zanotowano w województwie lubuskim. Źródłem emisji metali w tym województwie są głównie procesy spalania paliw w sektorze komunalnym [6].

Parlament Europejski zatwierdził w 2004 roku Dyrektywę, w której określono poziomy docelowe dla metali ciężkich. Docelowy poziom dla kadmu w powietrzu ze względu na ochronę zdrowia ludzi wynosi 5 ng/m^3 [28]. Wśród krajów europejskich, które emitują największe ilości kadmu znalazły się – Rosja, Niemcy, Polska i Hiszpania. Kilka krajów członkowskich Europejskiego Obszaru Gospodarczego, EOG (European Economic Area, EEA) znacząco zmniejszyło od roku 1990 emisję kadmu – Wielka Brytania, Litwa, Bułgaria, Estonia, Francja i Finlandia [29].

Ocena emisji metali ciężkich, w tym kadmu jest bardzo istotna ze względu na ich negatywny wpływ na zdrowie populacji ludzkiej. Kadm jest jednym z głównych zagrożeń dla środowiska i człowieka. Jest to spowodowane jego koncentracją w środowisku, łatwym wchłanianiem i zdolnością do bioakumulacji w organizmach. Jest to pierwiastek toksyczny nawet gdy występuje w organizmie w małych ilościach [30]. Kadm dostaje się do organizmu drogą oddechową i pokarmową. Najefektywniejsze wchłanianie zachodzi drogą oddechową. Szacuje się, że około 10% dawki kadmu w postaci CdO kumuluje się bezpośrednio w płucach, a nawet 40% przechodzi do krwiobiegu podczas ekspozycji na kadm zawarty we wdychanym powietrzu [16]. Badania epidemiologiczne dowodzą, że wchłanianie i kumulacja kadmu jest różna, w zależności od wieku i płci. Osoby młode mają większą zdolność wchłaniania w odniesieniu do osób starszych, natomiast kobiety w odniesieniu do mężczyzn akumulują większe ilości kadmu w tkankach wątroby i nerek [2, 31].

Źródłem narażenia inhalacyjnego na kadm są papierosy, długotrwałe palenie tytoniu ma bardzo istotny wpływ na wzrost stężenia kadmu w nerce [2]. Płuca resorbują 40 – 60 % kadmu zawartego w dymie tytoniowym. Przeciętnie palacze mają 3-4 krotnie wyższą zawartość kadmu w organizmie niż osoby niepalące. Kadm jest jednym z głównych czyn-

ników nowotworowych dymu tytoniowego, zwiększa ryzyko wystąpienia raka płuca u osób palących papierosy [4, 11, 32, 33].

Działanie pyłu zawieszonego PM10, zawierającego kadm może spowodować wzrost zachorowalności na nowotwory złośliwe płuca. Zatrucie kadmem drogą oddechową prowadzi do powstania zespołu zaburzeń oddechowych (zapalenie gardła i krtani, rozedma, obrzęk płuc), bardzo często stwierdzanego u osób zawodowo narażonych na działanie tego metalu. Długotrwałe narażenie na kadm może spowodować wystąpienie przewlekłej obturacyjnej choroby płuc, a długotrwała ekspozycja może prowadzić do raka płuca [34]. Wyniki badań kliniczno-kontrolnych prowadzonych metodą logistycznej analizy wielowymiarowej wskazują, że dominującym czynnikiem w rozwoju raka płuca u imigrantów, którzy zamieszkują przemysłowy region Polski jest zamieszkiwanie w strefie III (strefa przemysłowa). Obejmuje ona część terenów, które były przedmiotem badań w tej pracy. Zwiększa to prawie dwukrotnie ryzyko wystąpienia raka [4].

Nerki są głównym miejscem kumulacji kadmu. W wyniku działania kadmu dochodzi do zaburzeń w funkcjonowaniu nerek, co jest spowodowane uszkodzeniami części proksymalnych kanalików nerkowych. Może również wystąpić uszkodzenie kłębuszków nerkowych [35]. Liczne badania wskazują, że uszkodzenie nerek następuje w sposób zależny od dawki [36]. W populacji osób w przedziale wiekowym 40–60 lat, stwierdza się największe poziomy kadmu w nerkach [2], a zaobserwowane uszkodzenia kłębuszków i kanalików nerkowych określono jako zmiany nieodwracalne [37].

Kadm został zaliczony do substancji o właściwościach rakotwórczych. Zgodnie z opracowaniem Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem, kadm należy do pierwszej grupy substancji rakotwórczych dla człowieka. W hodowlach komórkowych poddanych działaniu kadmu obserwowano fragmentację nici DNA, mutacje i aberracje chromosomowe. Wykazano związek między działaniem kadmu i występowaniem nowotworów jąder, płuca, stercza i szpiku kostnego [38].

Z badań epidemiologicznych wynika, że w populacjach europejskich stężenie kadmu we krwi stopniowo wzrasta. Kadm jako metal niezwykle toksyczny ulega kumulacji w organizmie człowieka (głównie w wątrobie i nerkach). Wydalanie kadmu u osoby dorosłej nie przekracza 0,01% ilości kadmu przyjmowanego w ciągu dnia, okres biologicznego półtrwania kadmu, oceniany jest na 16–38 lat.

Wyniki badań prowadzonych na terenie Śląska potwierdziły jednoznacznie występowanie zależno-

ści pomiędzy stanem zanieczyszczenia środowiska a określonymi skutkami zdrowotnymi, występującymi wśród mieszkańców obszarów objętych emisją zanieczyszczeń. Zanieczyszczenie środowiska metalami ciężkimi daje podstawę do obaw o stan zdrowia populacji, mając powyższe na uwadze, należy dążyć do redukcji i ograniczenia poziomu emisji kadmu do atmosfery.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można przedstawić następujące wnioski:

- W roku 2009 wartości średnich rocznych stężeń kadmu w powietrzu atmosferycznym wynosiły od 0,73 ng/m³ do 5,23 ng/m³. Docelowy poziom stężenia kadmu w powietrzu oszacowany ze względu na ochronę zdrowia ludzi został przekroczony na terenie Miasteczka Śląskiego.
- Zauważalna jest sezonowa zmienność stężenia kadmu w powietrzu atmosferycznym, charakteryzująca się wzrostem emisji w okresie zimowym-grzewczym w odniesieniu do okresu letniego.
- Stężenie kadmu w 2009 roku utrzymywało się na zbliżonym poziomie do wartości średnich z lat 2005–2008.

Źródło finansowania: KNW-1-144/P/2/0 – badania statutowe

PODZIĘKOWANIA

Autorzy dziękują Panu mgr. inż. Andrzejowi Tyczyńskiemu za cenne uwagi i pomoc w realizacji powyższego opracowania.

PIŚMIENNICTWO

1. Kapka L., Zemła B., Kozłowska A., Olewińska E., Pawlas N.: Jakość powietrza atmosferycznego a zapadalność na nowotwory płuc w wybranych miejscowościach i powiatach województwa śląskiego. *Prz. Epid.* 2009, 63:439-444.
2. Wilk A., Kalisińska E., Różański J., Eanocha N.: Kadm, ołów i rtęć w nerkach człowieka. *Med. Środowiskowa.* 2013, 16, 1:75-81.
3. Trojanowska M., Świetlik R.: Ocena ryzyka nowotworowego związanego z narażeniem inhalacyjnym na benzo(a)piren w wybranych miastach Polski. *Med. Środowiskowa.* 2013, 16, 2:14-22.
4. Juszek-Piekut M., Kołosa Z., Moździerz A.: The influence of selected environmental factors of lung cancer incidence in immigrant population of industrial areas. *Pol. J Environ. Stud.* 2004, 13, 2:174-180.
5. Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR): Toxicological Profile for Cadmium. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, GA, USA, 1999.

6. Hławiczka S.: Metale ciężkie w środowisku. Prace instytutu Ekologii Terenów Uprzemysłowionych. Białystok: Wydawnictwo Ekonomia i Środowisko. 2008.
7. Ostrowska P.: Kadm, występowanie, źródła zanieczyszczeń i metody recyklingu. Gospodarka Surowcami Mineralnymi. 2008, 24:255-260.
8. Świąteczak J., Cimander B.: Kadm w środowisku. Med. Pracy. 1995, 47/46: 39-56.
9. Moździerz A., Juszko-Piekut M., Kołosza Z. et al.: Comparative study of certain pollutant concentration in the former Katowice voivodeship (1991-1998 and 1983-1990). Pol. J. Environ. Stud. 2007, 16, 2: 399-404.
10. Hać E., Krzyżanowski M., Krechniak J.: Cadmium content in human kidney and hair, in the Gdansk region. Sci. Total Environ. 1998, 224:81-85.
11. Cadmium and cadmium compounds. IARC Monogr. Eval. Carcinog. Risk Hum. 1993, 58:119-237.
12. Internetowy System Aktów Prawnych, Dz. U. 2002 Nr 87 poz. 796 [http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20020870796]
13. Internetowy System Aktów Prawnych, Dz. U. 2003 Nr 1 poz. 12 [http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20030010012]
14. Internetowy System Aktów Prawnych, Dz. U. 2008 nr 25 poz. 150 [http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20080250150]
15. Dyrektywy – Eur-Lex, Dz. U. L 152z 11.6.2008 [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:001:0044:pl:PDF]
16. Bonda E., Włostkowski T., Krasowska A.: Metabolizm i toksyczność kadmu u człowieka i zwierząt. Kosmos Problemy Nauk Biologicznych. 2007, 1-2:87-97.
17. Floriańczyk B.: Toksyczne i kancerogenne właściwości kadmu. Nowiny Lekarskie. 1995, 64: 737-754.
- Friberg L., Elinder C.G., Kjellstrom T.: Cadmium. Environmental Health Criteria 134. World Health Organization, Geneva, 1992.
18. Waalkes M.P.: Cadmium carcinogenesis in review. J. Inorg. Biochem. 2000, 79: 241-244.
19. Waalkes M.P.: Cadmium carcinogenesis. Mutat. Res. 2003, 533: 107-120.
20. Program Ochrony Środowiska dla Województwa Śląskiego do roku 2013 z uwzględnieniem perspektywy do roku 2018. Katowice 2011. [http://www.slaskie.pl/zalaczniki/2011/09/12/1315812365/1315812504.pdf]
21. Krajowy raport mozaikowy o stanie środowiska – województwo śląskie. Inspekcja Ochrony Środowiska, Katowice 2009. [http://www.katowice.pios.gov.pl/monitoring/raporty/2002-07/mozaika.pdf]
22. Inspekcja Ochrony Środowiska: Jakość powietrza w Polsce w roku 2009 w świetle wyników pomiarów prowadzonych w ramach PMŚ, Warszawa 2010. [http://www.gios.gov.pl/zalaczniki/artykuly/raport_pms_2009.pdf]
23. Cenowski M.: Zawartość arsenu, kadmu i niklu w pyłe PM10 na obszarach o różnym stopniu antropopresji. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów. 2009, 43:94-103.
24. Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. Krajowa inwentaryzacja emisji SO₂, NO_x, CO, NH₃, NMLZO, pyłów, metali ciężkich i TZO za lata 2008-2009 w układzie klasyfikacji SNAP i NFR. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2011 [http://www.kobize.pl/materialy/Inwentaryzacja_krajowe/Raport_LRTPAP_2009.pdf]
25. Hławiczka S.: Krajowa emisja kadmu, ołowiu, arsenu, niklu, chromu, miedzi i cynku z obszaru Polski do atmosfery w latach 1980-2005. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów. 2008; 42:137-147.
26. BIP Urząd Miejski Lubliniec, Aktualizacja Programu Ochrony Środowiska dla gminy Lubliniec na lata 2010-2013 z perspektywą do 2018r. Lubliniec 2010.
27. Dyrektywy – Eur-Lex, Dyrektywa 2004/107/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 15 kwietnia 2004 r. w sprawie arsenu, kadmu, rtęci, niklu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w otaczającym powietrzu, Dz. U. Unii Europejskiej z dnia 26.01.2005 poz. L23/3 [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2004L0107:20090420:PL:PDF]
28. European Environment Agency, Change (%) in cadmium emissions 1990-2008 (EEA member countries) [http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/change-in-cadmium-emissions-1990-2007-eea-member-countries-1]
29. Czacot H., Skrzycki M.: Kadm – pierwiastek całkowicie zbędny dla organizmu. Postępy Hig. Med. Dośw. 2010, 64:38-49. [http://www.phmd.pl/fulltxt.php?ICID=904693]
30. Satarug S., Baker J.R., Reilly P.E. et al.: Changes in zinc and copper homeostasis in human livers and kidneys associated with exposure to environmental cadmium. Hum. Exp. Toxicol., 2001, 20: 205-213.
31. Waalkes M.P.: Cadmium carcinogenesis. Mutat. Res., 2003, 533: 107-120.
32. Waisberg M., Joseph P., Hale B., Beyersmann D.: Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. Toxicology. 2003, 192: 95-117.
33. Młynek V., Skoczyńska A.: Prozapalne działanie kadmu. Post. Hig. Med. Dośw., 2005, 59: 1-8.
34. Marchewka Z., Grzebinoga A.: Substancje chemiczne-czynnikami ryzyka nefropatii cukrzycowej. Post. Hig. 2009, 63: 592-597.
35. Bernard A.: Cadmium and its adverse effects on human health. Indian J. Med. Res. 2008, 128: 557-564.
36. Godt J., Scheidig F., Grosse-Siestrup C. et al.: The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. Journal of Occupational Medicine and Toxicology. 2006. 1:22 [http://www.occup-med.com/content/1/1/22]
37. Koyama H., Kitoh H., Satoh M., Tohyama C.: Low dose exposure to cadmium and its health effects. I. Genotoxicity and carcinogenicity. Nippon Eiseigaku Zasshi. 2002. 57: 547-555.

Adres do korespondencji:

Aleksandra Moździerz
Zakład Higieny, Bioanalizy i Badania Środowiska ŚUM
41-200 Sosnowiec, ul. Kasztanowa 3a
tel/fax: 32 269 98 25
amozdzierz@sum.edu.pl