

Elwira ZAJUSZ-ZUBEK, Justyna FILIPEK, Anna MAINKA

Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
ul. Konarskiego 22B, 44-100 Gliwice
e-mail: Elwira.Zajusz-Zubek@polsl.pl

Wpływ źródeł spalających paliwa stałe na zanieczyszczenie środowiska pyłem PM10 na przykładzie miasta Tarnowskie Góry

**The Impact of Sources Burning Solid Fuels on Environmental Pollution
with PM10 on the Example of the City Tarnowskie Góry**

One of the most dangerous pollutants in the atmospheric air is particulate matter (PM). The National Center for Emissions Management (KOBIZE) indicates that approx. 50% of PM10 emission is responsible for the so-called low emission. Home sources are particularly dangerous during the heating season, not only because of the higher amount of fuel burned compared to the rest of the year but above all because of its quality. Individual sources use low-quality coal, biomass for heating purposes and municipal waste (despite the government ban). Dust emitted from households, due to its chemical composition, and toxic effects pose a threat to human health. The aim of the work was to investigate the concentration of PM10 and trace elements content (chromium, zinc, cadmium, cobalt, manganese, nickel and lead). The studies were carried out in Tarnowskie Góry, Upper Silesia Region during the heating season. The measuring point was located on the estate of single-family houses at a distance of 100 m from the road with high traffic volume. The 24 h PM10 samples were collected for 30 days from 3.01.2018 to 3.02.2018 using the gravimetric method. Dust samples were collected using the ATMOSERVICE dust sampler. The next step obtained the determination of the concentration of heavy metals in PM10 by atomic absorption spectrometry, AVANTA PM, GBC. The results show that PM10 concentration in the heating season exceeded the limit value $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (for 19 out of 30 days). The average concentration was $64.56 \pm 30.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, the highest concentration of PM10 was $119.99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (exceeded the limit value 2.4 fold), while the lowest concentration was $18.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$. On the basis of the chemical analysis, small concentrations of heavy metals were found. The following order of average concentration of seven trace elements was found: $\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Mn} > \text{Cr} > \text{Cd} > \text{Co} > \text{Ni}$. The concentration values of individual heavy metals in samples collected in the area of Tarnowskie Góry ranged from $0.14 \text{ ng}/\text{m}^3$ in the case of cadmium to $476.97 \text{ ng}/\text{m}^3$ for zinc. The concentration of cadmium, nickel, and lead in PM10 did not exceed the permissible level, while in the case of cadmium, the permissible level was exceeded for 14 days from 30 measurement days. Higher concentrations of Zn and Pb indicate the important role of Zinc Smelter Miasteczko Śląskie influencing the air quality of the city of Tarnowskie Góry. In order to improve the air quality in the city of Tarnowskie Góry, strict control activities should be carried out in order to execute the ban on waste incineration. The second aspect should include the guidelines on working heat and electricity supply systems that do not cause excessive pollution, in particular, particulate matter.

Keywords: air pollution, PM10, trace elements, low emission

Wstęp

Ogromny wpływ jakości powietrza na środowisko, ale przede wszystkim na zdrowie i życie ludzi jest powodem, dla którego tak istotne jest prowadzenie ciągłego monitoringu jakości powietrza oraz dążenie do minimalizowania powstawania zanieczyszczeń i poprawy stanu powietrza. Zanieczyszczenia pyłowe, które najczęściej występują w powietrzu, są niejednorodne, a ich negatywny wpływ na środowisko zależy od rozmiaru cząstek, właściwości fizycznych, ale także od ich składu chemicznego i biologicznego [1].

Problem zanieczyszczenia powietrza pyłami atmosferycznymi dotyczy krajów, w których silnie rozwinięta polityka energetyczna oparta jest głównie na wykorzystaniu węgla [2]. Energetyka, przemysł (głównie wydobywczy i metalurgiczny), sektor komunalno-bytowy oraz transport to sektory, z których pochodzi najwięcej zanieczyszczeń pyłowych w Polsce, która jest jednym z głównych emitentów tych zanieczyszczeń w Europie [1]. Na terenie Śląska stężenie zanieczyszczeń pyłowych mimo znacznego ograniczenia w stosunku do poprzednich lat i tak pozostaje najwyższe w Polsce oraz na terenie Unii Europejskiej. W zanieczyszczeniu powietrza pyłem zawieszonym (PM₁₀) w strefie aglomeracji górnośląskiej dominujący udział ma emisja ze źródeł powierzchniowych (41,3%) i liniowych (15,9%). W przypadku pyłu PM₁₀ łączny udział ła całkowitego dla roku bazowego (2015) wynosi 36%. Wysokie stężenia zarówno średnioroczne, jak i dobowe pyłu zawieszonego PM₁₀ odnotowano na terenach stref aglomeracji górnośląskiej i województwa śląskiego [3]. Za obecny stan jakości powietrza w Polsce odpowiedzialna jest w głównej mierze tzw. niska emisja, pochodząca przede wszystkim z sektora bytowo-komunalnego. Zgodnie z raportem WHO, w 2017 roku 36 z 50 najbardziej zanieczyszczonych miast UE znajduje się na terenie Polski. Miasto Tarnowskie Góry nie znalazło się w tej niechlubnej grupie, a średnioroczne stężenie pyłu PM₁₀ nie przekraczało wartości dopuszczalnej 40 µg/m³. W ostatnich latach (2015, 2016, 2017) średnioroczne stężenie znajduje się na stałym poziomie 38 µg/m³. Jednakże w sezonie zimowym dobowe stężenia dopuszczalne (50 µg/m³) są często przekraczane.

Na uwagę zasługuje fakt, że władze miasta są świadome problemu niskiej emisji. W 2018 roku Tarnowskie Góry wraz z Wojewódzkim Funduszem Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w Katowicach, Głównym Instytutem Górnictwa w Katowicach i Regionalnym Funduszem Ekorozwoju w Bielsku-Białej przystąpiły do pilotażowego projektu obejmującego monitorowanie stanu powietrza w mieście.

Duże znaczenie dla zdrowia człowieka ma rodzaj związków chemicznych i metali ciężkich, które zostały zaadsorbowane na powierzchni pyłu oraz wielkość cząstki pyłu [4]. Do najbardziej szkodliwych zalicza się pyły pochodzące z zakładów hutniczych, przemysłu gumowego oraz powstające w wyniku procesów spalania węgla, ponieważ na ich powierzchni znajdują się liczne substancje szkodliwe: dioksyny, metale ciężkie, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne [1, 5]. Jeżeli chodzi o wielkość cząstki, to szkodliwość pyłu rośnie wraz z jego rozdrobnieniem [6].

Powszechnie stosowany podział pyłów ze względu na rozmiar cząstek definiuje pył PM₁₀ jako frakcję pyłu zawieszonego o średnicach zastępczych cząstek poniżej 10 µm [7].

Pył PM10 osadza się w górnych drogach oddechowych (śluzówka nosa, jama nosowo-gardłowa, krtań) i może powodować katar, trudności z oddychaniem, zapalenie spojówek oraz przyczyniać się do infekcji układu oddechowego. Badania udowodniły, że najbardziej niebezpieczne są pyły ultradrobne, które powodują ostre reakcje układu oddechowego, osłabienie czynności płuc, choroby układu krążenia, a także przedwczesną śmierć [1, 2, 7].

Objawy wynikające z narażenia ludzi na oddziaływanie zanieczyszczeń pyłowych zależą również od czasu ekspozycji człowieka na zanieczyszczenia. Ekspozycja krótkoterminowa (od kilku godzin do kilku dni) powoduje niekorzystną pracę płuc oraz śmierć w wyniku chorób układu oddechowego i sercowo-naczyniowego. Niewielki poziom zanieczyszczeń oddziałujący na organizm człowieka przez wiele lat powoduje występowanie chorób przewlekłych oraz chorób układu krwionośnego i oddechowego prowadzących do osłabienia układu immunologicznego, nowotworu płuc czy śmierci [8]. Pył zawieszony, na powierzchni którego zaadsorbowane są metale ciężkie, stanowi poważne zagrożenie dla ludzkiego organizmu, zwłaszcza jeżeli na powierzchni znajdują się związki: arsenu, kadmu, niklu, ołowiu czy rtęci [4, 9].

Osoby, które są najbardziej narażone na choroby wywołane występowaniem zanieczyszczeń pyłowych w powietrzu, to dzieci, osoby starsze, a także osoby, u których występują choroby serca i układu oddechowego, cukrzyca lub otyłość. Zanieczyszczenia powietrza mają także ogromny wpływ na ryzyko przedwczesnego porodu, spowolnienie rozwoju płodu (mniejsza długość ciała, niska masa urodzeniowa czy zmniejszony obwód główki) oraz zmiany rozwojowe w wieku niemowlęcym (mniejsza objętość całkowita płuc, astma, uszkodzenia układu nerwowego) [8].

Celem pracy było zbadanie stężenia pyłu zawieszonego (PM10) oraz zawartych w nim pierwiastków śladowych, takich jak: chrom, cynk, kadm, kobalt, mangan, nikiel oraz ołów. Badania pyłu PM10 w powietrzu zewnętrznym przeprowadzono w wyznaczonym punkcie pomiarowym na terenie Górnego Śląska, w miejscowości Tarnowskie Góry, w sezonie grzewczym. Dobowe próbki pyłu pobierano przez 30 dni z użyciem pobornika pyłu firmy ATMOSERVICE. Kolejnym etapem było oznaczenie metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej stężenia metali ciężkich w pyłe zawieszonym PM10.

1. Charakterystyka pomiarów

Punkt pomiarowy zlokalizowano na terenie miejskim w południowej Polsce, na obszarze województwa śląskiego w Tarnowskich Górach przy ul. Roździeńskiego (50°44'43.59''N; 18°83'70.67''E). Punkt ten usytuowano na osiedlu domków jednorodzinnych, które występują w promieniu ok. 2 km. W odległości 100 m od punktu pomiarowego przebiega obwodnica miasta (Droga Krajowa 11) o natężeniu ruchu 17 tys. samochodów w ciągu doby. Lokalizację punktu pomiarowego przedstawiono na rysunku 1.

Zanieczyszczenia pyłowe na terenie miasta Tarnowskie Góry pochodzą głównie z palenisk indywidualnych oraz transportu, czyli tzw. „niskiej emisji”. W większo-

ści gospodarstw stosowanym paliwem jest węgiel kamienny. Jego niska jakość, spalanie odpadów oraz piece starego typu, które nie spełniają określonych wymagań, mają duży wpływ na jakość powietrza, zwłaszcza w sezonie grzewczym. Emitorem punktowym, który zlokalizowany jest w odległości ok. 5 km w kierunku północno-wschodnim od punktu pomiarowego, jest Huta Cynku w Miasteczku Śląskim.

Metodyka pomiarów stężeń pyłu zawieszonego jest określona przez:

- Dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystsze powietrze dla Europy [10],
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu [11],
- normę PN-EN 12341:2014 Powietrze atmosferyczne - Standardowa grawimetryczna metoda pomiarowa do określania stężeń masowych frakcji PM10 lub PM2,5 pyłu zawieszonego [12],
- normę PN-EN 16450:2017 Powietrze atmosferyczne - Automatyczne systemy pomiarowe do pomiarów stężenia pyłu zawieszonego (PM10; PM2,5) [13].

Wyżej wymienione akty prawne dopuszczają stosowanie dwóch metod pomiarowych: grawimetrycznej (referencyjnej) oraz automatycznej.



Rys. 1. Lokalizacja punktu pomiarowego

Fig. 1. Localization of the sampling point

Metoda grawimetryczna jest najbardziej precyzyjną i najczęściej stosowaną metodą pomiarową na stacjach pomiarowych jakości powietrza w Polsce. Metoda ta polega na włożeniu do automatycznego zmieniacza 14 jednorazowych filtrów, które wcześniej były kondycjonowane i ważone w laboratorium. Każdy filtr posiada numer identyfikacyjny. Po upływie 24 godzin filtr zostaje automatycznie zmieniony. Po dwóch tygodniach filtry zostają przewiezione do laboratorium w odpowiednich pojemnikach przeznaczonych do transportu, ponownie kondycjonowane i ważone. Różnicę mas filtrów po i przed ekscykcją odnosi się do objętości przepuszczonego powietrza i otrzymuje stężenie pyłu zawieszonego w danym dniu. Wynik podawany jest w $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Prędkość nominalna, z jaką zasysane jest powietrze przez pobornik pyłu, wynosi $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$ [7, 11, 12, 14].

Badania prowadzono przez 30 dni w sezonie grzewczym (od 3.01.2018 do 3.02.2018), wykorzystując metodę grawimetryczną. Próbkę pyłu zostały pobrane z użyciem pobornika pyłu PNS3D15/LVS3D firmy ATMOSERVICE. Następnie w próbkach pyłu PM10 oznaczono stężenia metali ciężkich zgodnie z wytycznymi określonymi w normie [15]. Kondycjonowane i zważone filtry umieszczono w naczyniach teflonowych, dodano po 8 cm^3 kwasu azotowego(V), a następnie z użyciem mineralizatora mikrofalowego typu MARS firmy CEM przeprowadzono mineralizację w temperaturze 220°C przez 30 minut. Stężenia wybranych pierwiastków (Co, Cd, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn) zbadano z użyciem spektrometru absorpcji atomowej typu AVANTA PM, firmy GBC.

2. Stężenia pyłu PM10

W tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiarów stężenia pyłu zawieszonego PM10 w powietrzu atmosferycznym dla sezonu grzewczego w punkcie pomiarowym zlokalizowanym w Tarnowskich Górach od 3.01.2018 r. do 3.02.2018 r. Kolorem czerwonym zaznaczono stężenia, które przekroczyły wartość dopuszczalną określoną w rozporządzeniu ministra środowiska z 2012 r. [16].

Otrzymane od 3.01.2018 do 3.02.2018 r. wyniki pokazują, że stężenie pyłu zawieszonego PM10 w sezonie grzewczym przekroczyło wartość dopuszczalną (19 z 30 dni), która zgodnie z rozporządzeniem ministra środowiska z 2012 r. [16] dla 24-godzinnego czasu uśredniania wynosi $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Średnie stężenie, które otrzymano na podstawie badań przeprowadzonych w sezonie grzewczym, wynosiło $64,56 \pm 30,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i przekroczyło dopuszczalną wartość o $24,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (61,4% dopuszczalnej wartości). Najwyższa wartość stężenia PM10 wystąpiła 22.01.2018 r. i wynosiła $119,99 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2,4-razy został przekroczony poziom dopuszczalny). Najniższa wartość stężenia pyłu zawieszonego w powietrzu to $18,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ w dniu 29.01.2018 r.

Dużo wyższe stężenia w sezonie grzewczym wynikają z występowania zjawiska tzw. „niskiej emisji”. Badania prowadzono na osiedlu domków jednorodzinnych, gdzie przeważają piece grzewcze i lokalne kotłownie, w których głównym paliwem opałowym jest węgiel. Występowanie częstych przekroczonych stężeń dopuszczalnych pyłu PM10 na terenie województwa śląskiego jest dużym zagroże-

niem dla stanu zdrowia ludzi. Rozporządzenie ministra środowiska 2012 r. [16] podaje, że dopuszczalna częstość przekroczeń w ciągu roku stężenia pyłu PM10 wynosi 35 razy. W przeprowadzonych badaniach dla sezonu grzewczego na 30 pobranych próbek wartość została przekroczona aż w 19 dniach.

Tabela 1. Stężenie pyłu zawieszonego PM10 w sezonie grzewczym

Table 1. Concentration of PM10 during heating season

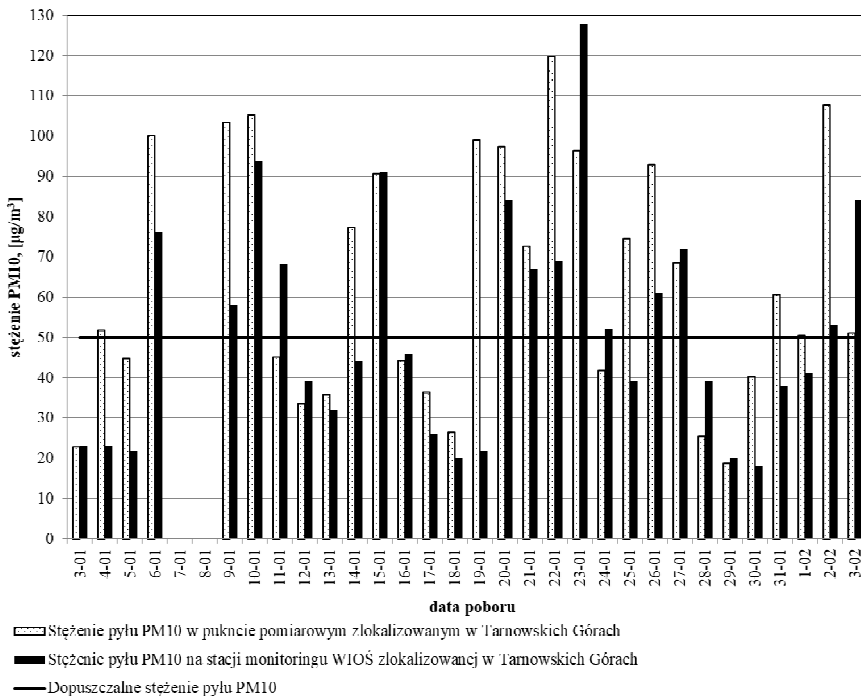
Nr filtra	Data poboru próbki	Stężenie pyłu $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nr filtra	Data poboru próbki	Stężenie pyłu $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1	3.01.2018	22,85	17	19.01.2018	99,03
2	4.01.2018	51,84	18	20.01.2018	97,44
3	5.01.2018	44,81	19	21.01.2018	72,71
4	6.01.2018	100,26	20	22.01.2018	119,99
5	7.01.2018	brak danych*	21	23.01.2018	96,43
6	8.01.2018	brak danych*	22	24.01.2018	41,79
7	9.01.2018	103,65	23	25.01.2018	74,58
8	10.01.2018	105,21	24	26.01.2018	92,99
9	11.01.2018	45,21	25	27.01.2018	68,64
10	12.01.2018	33,55	26	28.01.2018	25,45
11	13.01.2018	35,83	27	29.01.2018	18,78
12	14.01.2018	77,43	28	30.01.2018	40,32
13	15.01.2018	90,67	29	31.01.2018	60,68
14	16.01.2018	44,18	30	01.02.2018	50,63
15	17.01.2018	36,49	31	02.02.2018	107,87
16	18.01.2018	26,39	32	03.02.2018	51,04
				Wartość średnia	64,56
				Wartość minimalna	18,78
				Wartość maksymalna	119,99
				Odchylenie standardowe	30,38

* brak danych w wyniku awarii sprzętu

Wyniki stężenia pyłu PM10 w sezonie grzewczym (od 3.01.2018 r. do 3.02.2018 r.) otrzymane w punkcie poboru porównano z wynikami udostępnionymi przez WIOŚ dla stacji monitoringu tła, którą zlokalizowano w Tarnowskich Górach przy ul. Litewskiej (rys. 2). Zauważono, że wyniki otrzymane podczas badań własnych są wyższe od tych, opublikowanych przez stację WIOŚ. Różnice te wynoszą od 20 do 60% i wynikają m.in. z różnych lokalizacji punktów pomiarowych. Stację monitoringu usytuowano na terenie dużego osiedla, na którym znajdują się bloki mieszkalne. W odległości 1 km od stacji przebiega obwodnica miasta (DK11). Różnice w otrzymanych stężeniach pyłu zawieszonego PM10 wskazują na wyraźny udział kotłowni indywidualnych w emisji zanieczyszczeń pyłowych do atmosfery. Na podstawie otrzymanych wyników zauważono, że tendencje dla stężeń pyłu PM10 na stacji monitoringu i w punkcie poboru są takie same. Występujące wzrosty stężeń

pyłu zawieszonego w powietrzu w punkcie pomiarowym pokrywają się ze wzrostami stężeń na stacji WIOŚ. Dotyczy to również sytuacji, w której stężenie PM10 maleje (spadki stężeń w punkcie pomiarowym następują w tych samych dniach co na stacji monitoringu).

Otrzymane wyniki pyłu zawieszonego PM10 porównano również z wynikami w ramach badań prowadzonych przez Klejnowskiego i in. [17] w Zabrze od października 2007 r. do stycznia 2008 r. Wartości stężeń w sezonie zimowym są zbliżone. Dla Zabrze średnia wartość wynosiła $57,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a dla Tarnowskich Gór $64,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Występowanie niewielkich różnic stężenia pyłu PM10 związane jest z podobną lokalizacją punktów pomiarowych. Zarówno w Tarnowskich Górach, jak i w Zabrzu było to centrum miasta, charakteryzujące się podobnym typem zabudowy oraz natężeniem ruchu samochodowego.



Rys. 2. Porównanie wyników stężenia pyłu zawieszonego PM10 otrzymanych w punkcie poboru oraz na stacji monitoringu w Tarnowskich Górach w sezonie grzewczym

Fig. 2. Comparison of PM10 concentrations measured at sampling point and at monitoring station in Tarnowskie Góry during heating season

3. Stężenia wybranych pierwiastków śladowych w pyłe PM10

W kolejnym etapie oznaczono poziomy stężeń poszczególnych metali ciężkich w próbkach pyłu zawieszonego PM10 pobranych w czasie sezonu grzewczego na terenie Tarnowskich Gór (tab. 2).

Tabela 2. Stężenie metali ciężkich w badanych próbach pobranych w sezonie grzewczym w punkcie pomiarowym

Table 2. Concentration of heavy metals determined in samples collected during heating season at sampling point

Data poboru	Nr próbki	Cynk	Nikiel	Mangan	Kobalt	Chrom	Kadm	Ołów
		stężenie ng/m ³	stężenie ng/m ³	stężenie ng/m ³	stężenie ng/m ³	stężenie ng/m ³	stężenie ng/m ³	stężenie µg/m ³
3.01.2018	1	43,05	0,14	0,14	0,82	11,36	0,14	0,08
4.01.2018	2	152,94	0,14	0,14	5,47	5,32	0,14	0,04
5.01.2018	3	166,65	0,14	0,14	7,25	15,04	14,16	0,07
6.01.2018	4	237,07	0,14	13,56	0,14	0,14	10,64	0,17
7.01.2018	5	brak danych*						
8.01.2018	6	brak danych*						
9.01.2018	7	350,74	0,14	31,64	0,14	2,45	15,00	0,14
10.01.2018	8	250,29	2,32	15,84	2,14	10,42	8,22	0,15
11.01.2018	9	119,98	0,14	19,12	12,36	0,14	1,27	0,08
12.01.2018	10	59,73	0,14	8,61	0,14	15,33	0,14	0,06
13.01.2018	11	11,95	0,14	2,33	8,87	2,27	0,14	0,08
14.01.2018	12	320,16	0,14	19,48	0,14	0,14	7,00	0,14
15.01.2018	13	274,50	0,14	15,62	0,14	0,14	7,69	0,16
16.01.2018	14	88,98	0,14	5,62	0,14	0,14	0,14	0,12
17.01.2018	15	58,73	0,14	12,84	0,14	26,04	3,72	0,11
18.01.2018	16	36,96	0,14	17,19	0,14	15,55	0,44	0,09
19.01.2018	17	131,83	0,14	12,84	3,02	19,80	10,21	0,14
20.01.2018	18	199,23	0,14	10,67	0,14	0,14	13,86	0,32
21.01.2018	19	170,46	0,14	8,91	17,21	9,60	0,14	0,39
22.01.2018	20	313,52	0,21	14,43	19,03	0,14	6,13	0,24
23.01.2018	21	205,37	0,14	5,27	21,89	0,14	5,49	0,09
24.01.2018	22	62,72	0,14	0,14	0,14	0,14	11,14	0,05
25.01.2018	23	476,97	0,14	22,71	12,60	20,68	0,09	0,09
26.01.2018	24	131,74	0,14	5,99	0,14	10,93	9,37	0,10
27.01.2018	25	187,78	0,14	0,14	0,14	5,02	10,83	0,09
28.01.2018	26	23,41	0,14	1,31	0,14	0,14	2,96	0,07
29.01.2018	27	2,28	0,14	0,14	0,14	0,14	0,31	0,05
30.01.2018	28	137,09	0,14	13,02	0,14	0,14	0,85	0,03
31.01.2018	29	178,46	0,14	0,21	0,14	0,14	4,30	0,08
1.02.2018	30	110,51	0,14	0,14	0,14	0,14	5,99	0,05
2.02.2018	31	149,26	3,07	20,94	0,14	13,58	0,14	0,07
3.02.2018	32	8,63	0,14	0,14	0,14	0,14	1,05	0,04

* brak danych w wyniku awarii sprzętu

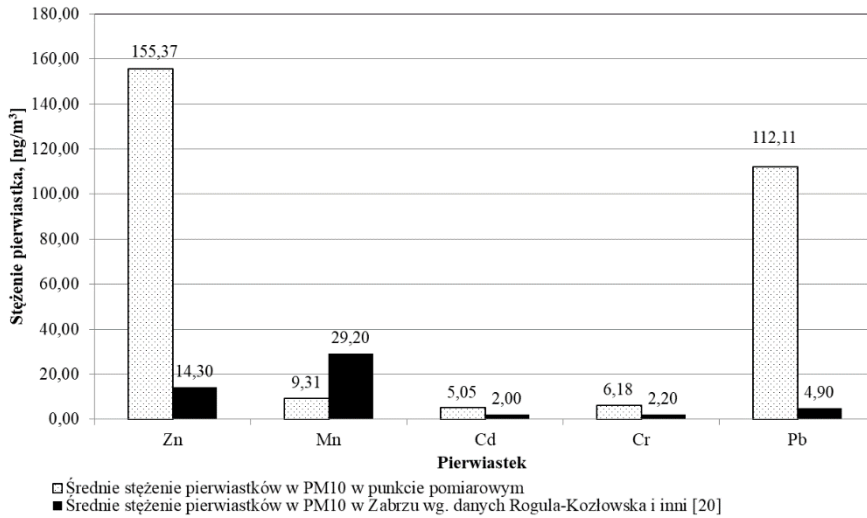
Na podstawie przeprowadzonej analizy chemicznej badanych próbek stwierdzono występowanie niewielkich stężeń metali ciężkich. Uszeregowane stężenia pierwiastków śladowych w pyłe PM10 oznaczonych w próbkach pobranych w sezonie grzewczym od najwyższego do najniższego są następujące: $Zn > Pb > Mn > Cr > Cd > Co > Ni$.

Wartości stężeń poszczególnych metali ciężkich w próbkach pobranych na terenie Tarnowskich Gór wynoszą od $0,14 \text{ ng/m}^3$ w przypadku kadmu do $476,97 \text{ ng/m}^3$ dla cynku. Najwyższe średnie wartości stężeń występują w przypadku cynku $155,37 \pm 113,84 \text{ ng/m}^3$ i ołowiu - $112,11 \pm 82,15 \text{ ng/m}^3$. Średnie stężenie ołowiu w sezonie zimowym stanowiło 22,42% poziomu dopuszczalnego (500 ng/m^3). Obecność tych pierwiastków śladowych w pyłe zawieszonym PM10 wynika z położenia punktu pomiarowego w odległości 5 km w kierunku północno-wschodnim od Huty Cynku Miasteczko Śląskie. Związane jest to z występowaniem nad Miasteczkiem Śląskim wiatrów północno-wschodnich, które są odpowiedzialne za transportowanie związków cynku i ołowiu z emisji z terenów huty cynku w kierunku Tarnowskich Gór [18].

Stężenie niklu w ciągu całego okresu pomiarowego ani razu nie przekroczyło wartości dopuszczalnej określonej w rozporządzeniu ministra środowiska 2012 r. [16], jego średnie stężenie wynosiło $0,31 \pm 0,26 \text{ ng/m}^3$ (1,55% poziomu dopuszczalnego), natomiast wartość dopuszczalna kadmu (5 ng/m^3) została przekroczona w ciągu 14 dni na 30 dni pomiarowych. Najwyższa wartość to $15,00 \text{ ng/m}^3$, która wystąpiła 9.01.2018 r. i 3-krotnie przekroczyła poziom dopuszczalny. Wartość średnia dla tego pierwiastka wynosiła $5,05 \pm 4,99 \text{ ng/m}^3$, co daje 101% wartości dopuszczalnej. Za wysokie stężenie kadmu w pyłe PM10 odpowiadają kotłownie indywidualne, przede wszystkim spalanie śmieci [19]. W przypadku manganu, kobaltu i chromu nie ma określonych wartości dopuszczalnych w pyłe zawieszonym PM10. Średnie stężenie tych pierwiastków wynosiło odpowiednio: $9,31 \pm 8,62$, $3,78 \pm 3,43$ oraz $6,18 \pm 7,78 \text{ ng/m}^3$.

Dla porównania, na rysunku 3 pokazano różnice średnich stężeń wybranych pierwiastków (Zn, Mn, Cd, Cr, Pb) otrzymanych podczas niniejszych badań z danymi, które zostały opublikowane przez Rogulę-Kozłowską i in. [20], gdzie przedstawiono średnie stężenia metali ciężkich w pyłe zebranym na terenie Zabrze w sezonie zimowym (od stycznia do kwietnia 2009 r.). Stężenia wynosiły odpowiednio dla Cr $2,2 \pm 2,6 \text{ ng/m}^3$, Cd $2,0 \pm 0,8 \text{ ng/m}^3$, Mn $29,2 \pm 14,3 \text{ ng/m}^3$, Pb $4,9 \pm 6,4 \text{ ng/m}^3$ i Zn $14,3 \pm 13,5 \text{ ng/m}^3$. Stężenia metali ciężkich w próbkach uszeregowano od najwyższego do najniższego: $Mn > Zn > Pb > Cr > Cd$.

Porównując otrzymane szeregi, zauważono istotną różnicę we wzajemnym położeniu cynku i ołowiu. Na terenie Tarnowskich Gór występują znacznie wyższe stężenia cynku i ołowiu w pyłe zawieszonym, co jest spowodowane działalnością Huty Cynku Miasteczko Śląskie. Pyły powstające podczas procesów technologicznych zawierają w swoim składzie metale podstawowe (Zn, Pb) oraz pierwiastki towarzyszące (Cd, As, Tl). W pyłach z elektrofiltru suchego występuje kumulacja kadmu, natomiast w pyłach z filtra tkaninowego cynku i ołowiu. Wysoka skuteczność (99,99%) odpyłania nie eliminuje całkowicie emisji wyżej wymienionych pierwiastków do środowiska [21].



Rys. 3. Porównanie stężeń metali ciężkich w PM10 w punkcie pomiarowym w Tarnowskich Górach z danymi dla miasta Zabrze wg opracowania Roguła-Kozłowska i in. [20]

Fig. 3. Heavy metals concentrations in PM10 samples collected at sampling point in Tarnowskie Góry compared with samples collected in Zabrze following Roguła-Kozłowska et al. [20]

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Wartość stężenia pyłu zawieszonego PM10 określona dla 24 godzin w sezonie grzewczym przekraczała poziom dopuszczalny przez 19 dni. Wartość średnia stężenia PM10 przekroczyła prawie dwukrotnie poziom dopuszczalny określony dla roku kalendarzowego w powietrzu zewnętrznym.
2. Najwyższe średnie stężenie wśród oznaczanych pierwiastków śladowych w sezonie zimowym odnotowano dla cynku ($155,37 \text{ ng/m}^3$), a najniższe dla niklu ($0,31 \text{ ng/m}^3$).
3. Stężenie kadmu, niklu oraz ołowiu w pyłe zawieszonym PM10 porównano z poziomem dopuszczalnym określonym w rozporządzeniu ministra środowiska [16]. Poziom dopuszczalny niklu oraz ołowiu w pyłe zawieszonym PM10 nie został przekroczony, natomiast w przypadku kadmu poziom dopuszczalny został przekroczony dla 14 dni z 30 dni pomiarowych.
4. Wyższe stężenia Zn i Pb wskazują na istotną rolę Huty Cynku Miasteczko Śląskie w kształtowaniu jakości powietrza miasta Tarnowskie Góry.
5. Niezbędnym wymogiem dla poprawy jakości powietrza na obszarze województwa śląskiego są działania kontrolne w zakresie stanowczego egzekwowania zakazu spalania odpadów w kotłach i piecach.
6. Konieczne jest egzekwowanie przez administrację państwową norm jakości węgla dla odbiorcy indywidualnego.
7. Opracowanie nowych planów zagospodarowania przestrzennego dla obszarów, w których występują przekroczenia dopuszczalnych stężeń pyłu PM10, określa-

jących wytyczne w zakresie funkcjonujących systemów zaopatrzenia w ciepło i energię elektryczną niepowodujących nadmiernej emisji zanieczyszczeń, w tym zwłaszcza pyłu zawieszonego.

Podziękowania

Badania zrealizowano w ramach badań statutowych Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Literatura

- [1] Juda-Rezler K., Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
- [2] Zajusz-Zubek E., Ocena form występowania pierwiastków śladowych w pyłe zawieszonym (PM10) i we frakcji respirabilnej (PM2,5) w otoczeniu pracujących elektrowni węglowych i koksowni w okresie letnim, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2016.
- [3] Załupka M. i inni, Program ochrony powietrza dla terenu województwa śląskiego mający na celu osiągnięcie poziomów dopuszczalnych substancji w powietrzu oraz pułapu stężenia ekspozycji, Katowice 2017.
- [4] Pałasz J.W., Niska emisja ze spalania węgla i metody jej ograniczenia, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2016.
- [5] Jędrak J., Konduracka E., Badyda A.J., Dąbrowiecki P., Wpływ zanieczyszczeń powietrza na zdrowie, Krakowski Alarm Smogowy, Kraków 2017.
- [6] Kozłowska-Szczęśna T., Krawczyk B., Kuchcik M., Wpływ środowiska atmosferycznego na zdrowie i samopoczucie człowieka, Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego, Warszawa 2004.
- [7] Juda-Rezler K., Toczko B., Pyły drobne w atmosferze, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2016.
- [8] Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, <https://powietrze.slaskie.pl/download/content/297>.
- [9] Ociepa-Kubicka A., Ociepa E., Toksyczne oddziaływanie metali ciężkich na rośliny, zwierzęta i ludzi, Inżynieria i Ochrona Środowiska 2012, 15, 169-180.
- [10] Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/50/WE z dnia 21 maja 2008 r. w sprawie jakości powietrza i czystszej powietrza dla Europy, 2008.
- [11] Dz.U., Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 września 2012 r. w sprawie dokonywania oceny poziomów substancji w powietrzu, 2013.
- [12] PN-EN 12341 Powietrze atmosferyczne - Standardowa grawimetryczna metoda pomiarowa do określania stężeń masowych frakcji PM10 lub PM2,5 pyłu zawieszonego, 2014.
- [13] PN-EN 16450 Powietrze atmosferyczne - Automatyczne systemy pomiarowe do pomiarów stężenia pyłu zawieszonego (PM10; PM2,5), 2017.
- [14] GIOŚ, Pomiary pyłu zawieszonego w powietrzu, <http://www.gios.gov.pl/pl/aktualnosci/391> (dostęp 9.07.2018).
- [15] PN-EN 14902 Jakość powietrza atmosferycznego. Standardowa metoda oznaczania Pb, Cd, As i Ni we frakcji PM10 pyłu zawieszonego, 2010.
- [16] Dz.U.1031, Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu.

- [17] Klejnowski K., Pastuszka J.S., Rogula-Kozłowska W., Talik E., Krasa A., Mass size distribution and chemical composition of the surface layer of summer and winter airborne particles in Zabrze, Poland, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2012, 88, 255-259.
- [18] Meteoblue Pogoda, <https://www.meteoblue.com> <https://www.meteoblue.com> (dostęp 9.07.2018).
- [19] Kabata-Pendias A., Pendias H., *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1999.
- [20] Rogula-Kozłowska W., Klejnowski K., Rogula-Kopiec P., Błaszczak B., Mathews B., Szopa S., Masowy rozkład pierwiastków w próbkach pyłu zawieszonego pobranych w obszarze tła miejskiego: wyniki ośmiomiesięcznych badań w Zabrzu, *Rocznik Ochrona Środowiska* 2013, 15, 1022-1040.
- [21] Nowińska K., Adamczyk Z., Mobilność pierwiastków towarzyszących odpadom hutnictwa cynku i ołowiu w środowisku, *Górnictwo i Geologia* 2013, 8, 77-87.

Silesian University of Technology, Faculty of Energy and Environmental Engineering
ul. Konarskiego 22B, 44-100 Gliwice, Poland
e-mail: Elwira.Zajusz-Zubek@polsl.pl

Streszczenie

Przedstawiono wyniki pomiarów stężeń pyłu PM₁₀ pobranego w mieście Tarnowskie Góry woj. śląskie w trakcie sezonu grzewczego (styczeń 2018 r.). Zgodnie z indeksami jakości powietrza, ze względu na stężenie pyłu PM₁₀ uzyskane wyniki pomiarów wskazują na umiarkowaną jakość powietrza w mieście. Przeprowadzone badania występowania wybranych pierwiastków śladowych, takich jak: chrom, cynk, kadm, kobalt, mangan, nikiel oraz ołów, w pyłe PM₁₀ utworzyły następujący szereg Zn > Pb > Mn > Cr > Cd > Co > Ni. Analiza uzyskanych stężeń pierwiastków śladowych wskazuje na dwa istotne źródła emisji tych metali do powietrza atmosferycznego. Stężenia kadmu, przekraczające wartość dopuszczalną, wskazują istotny wpływ niskiej emisji z palenisk indywidualnych, w szczególności ze spalania odpadów. Natomiast 10-krotnie wyższe stężenia cynku oraz 20-krotnie wyższe stężenia ołowiu w porównaniu do innych miast Śląska wskazują na istotny udział Huty Cynku Miasteczko Śląskie w kształtowaniu jakości powietrza miasta Tarnowskie Góry.

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia powietrza, PM₁₀, pierwiastki śladowe, niska emisja