



**Renata Musielińska¹, Jerzy Kwapuliński², Jolanta Kowol²,
Marek Asman³, Ewa Nogaj⁴, Anna Szady⁵**

¹*Zakład Biologii i Ochrony Środowiska
Instytut Chemii, Ochrony Środowiska i Biotechnologii
Akademia im. J. Długosza w Częstochowie
al. Armii Krajowej 13/15, 42–200 Częstochowa
e-mail: r.musielinska@ajd.czyst.pl*

²*Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach
Wydział Farmaceutyczny z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej w Sosnowcu
Katedra Toksykologii
ul. Jedności 8, 41–200 Sosnowiec.*

³*Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach
Wydział Farmaceutyczny z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej w Sosnowcu
Zakład Parazytologii
ul. Jedności 8, 41–200 Sosnowiec.*

⁴*Wyższa Szkoła Medyczna
ul. Wojska Polskiego 92, 41–200 Sosnowiec.*

⁵*Wojewódzki Szpital Specjalistyczny, Megrez Sp. z o.o.
ul. Edukacji 102, 43–100 Tychy*

ROLA ZJAWISKA WTÓRNEGO PYLENIA NA TERENIE SEMIREKREACYJNYM W NARAŻENIU LUDNOŚCI ZWIĄZKAMI NI, FE, CU I ZN

Streszczenie. Zawartość Ni, Fe, Cu, Zn w powietrzu, glebie i opadach w centrum Zawoi oznaczono metodą ICP-AES. Pobór imisji tych metali wykonano za pomocą pyłomierza stałego kierunkowego i ruchomego w sąsiedztwie ulicy i odległości 200 m od ulicy. Zjawisko wtórnego pylenia opisano za pomocą współczynników kontaminacji Endlera, współczynnika wtórnej emisji Stewarda, współczynnika wzbogacenia Endlera. Dodatkowy udział tego zjawiska i ogólną zawartość metali w przyziemnej warstwie powietrza określono według Szymczykiewicza. Stanowisko Markowe Szczawiny (Babia Góra) może być wykorzystane w badaniach prospektywnych jako układ odniesienia jakości powietrza. Na terenach semirekrecyjnych znaczący okresowy dodatkowy udział ma wtórna emisja pyłów. Współczynniki kontaminacji Endlera (dwie wersje) oraz Szymczykiewicza i Stewarda dobrze charakteryzują względną zmianę jakości

powietrza w sąsiedztwie powierzchni utwardzonych i w funkcji odległości od ruchliwej ulicy.

Słowa kluczowe: wtórna emisja, pyły zawieszone, metale ciężkie, powietrze, środowisko przyrodnicze, ekspozycja na nikiel, miedź, żelazo, cynk.

THE ROLE OF THE SECONDARY DUST EMISSION IN THE SEMIRECREATIONAL AREA IN THE EXPOSURE OF THE HUMAN POPULATION OF COMPOUNDS NI, FE, CU AND ZN

Abstract. The content of Ni, Fe, Cu, Zn in the air, soil and rainfall was determined by ICP-AES. The consumption of the imissions of these metals was performed using the fixed and moving direction dust meter in the vicinity of the street and at the distance 200m from the street. The phenomenon of the secondary dust emission was described using Endler's coefficients contamination, the Stewards coefficient of secondary emission and the Endler's enrichment factor. The additional part of this phenomenon and the overall content of metals in the ground layer of air was determined by Szymczykiewicz. The position Markowe Szczawiny (Babia Mountain) can be used in prospective studies as a reference air quality. In semirecreational areas the secondary dust emission has influence on the additional significant periodic. The coefficients of contamination of Endler's (two versions), Szymczykiewicz and Steward's feature relative change in the air quality in the vicinity of the surface hardened and in the distance function from the busy street.

Keywords: secondary emission, suspended dust, heavy metal, environment, exposure to Zn, Cu, Fe, Zn.

Wstęp

Poszukiwanie obszarów odniesienia do oceny zmian zawartości wybranych metali w środowisku przyrodniczym oraz stopnia degradacji środowiska przyrodniczego są stale aktualnymi zagadnieniami naukowymi [13]. Na wielkość i zasięg emisji dalekosięgającej ważny wpływ mają zmiany warunków klimatycznych (bezpośrednio poprzez zmianę wysokości dolnej warstwy mieszanina atmosfery). Położenie geograficzne i warunki fizjograficzne słusznie uzasadniają wybór obszaru przyległego do masywu Babiej Góry jako potencjalnego układu odniesienia dla ocen prospektywnych.

W okresach wietrznej pogody kompleksy leśne posiadają emisjochłonne właściwości i wpływają na zróżnicowanie składu ilościowego i jakościowego pyłu zawieszonego w przyziemnej warstwie powietrza, w glebie oraz w pyle

osiadłym na liściach roślin [13]. Dodatkowo udział w zanieczyszczeniu powietrza ma wtórna emisja w sąsiedztwie ruchliwej ulicy.

Ilości pyłu zawieszonego w powietrzu przy ulicy zmieniają się w granicach od 2,2 do 156 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w porównaniu do zakresu 0,3–5,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ w odległości 200 m od tej ulicy [15].

Konieczność uwzględnienia zjawiska wtórnej emisji uzasadniają badania Kwapulińskiego, Pastuszki, Mirosławskiego [6–8, 16]. Zatem celem badań było określenie jakości powietrza w przyziemnej warstwie w Zawoi i na Babiej Górze jako potencjalnego obszaru odniesienia dla ocen środowiskowych.

Metodyka badań

Badania powietrza oraz emisję kierunkową (zgodną z przeciętną „różą wiatrów”) przeprowadzono w Zawoi (Beskid Żywiecki) na 3 stanowiskach pomiarowych przy przelotowej ulicy, w odległości 200 i 500 m od ulicy oraz przy ulicy i w pyłach osiadłych na liściach. Próbkę pobierane były na wysokości 1,5–2 m nad poziomem gruntu. Gleby z tych terenów pobierano w odległości 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 m od skraju lasu. Wszystkie próbki pobrano w 2016 roku.

Pył zawieszony pobierano za pomocą aspiratora powietrza Staplex na sączkach, w ciągu 1 godziny o ściśle określonej masie, przy średnim przepływie powietrza wynoszącym 22 [Nm^3/h]. Opad całkowity pobierano za pomocą pyłomierza ruchomego, a opad kierunkowy za pomocą pyłomierza kierunkowego.

Próbki gleby i pyłu zawieszonego traktowano 5 cm^3 HNO_3 (V), aż do momentu uzyskania klarownego roztworu. Poboru prób dokonywano za pomocą aspiratora powietrza AP 700 w ciągu 1 godziny. Opad pyłu pobierano za pomocą pyłomierza kierunkowego do słoika szklanego z zawartością 100 ml wody redetylowanej. Roztwór przesączano na sączkach bibułowych typu Whatman 1, które po suszeniu i zważeniu spopielano w piecu muflowym w temperaturze 400°C i poddano mineralizacji na mokro w 10 cm^3 65% HNO_3 (V), odparowano, zakwaszono 2 cm^3 65% HNO_3 (V), dodano 20 cm^3 wody redetylowanej.

Zagadnienie zjawiska wtórnego pylenia jako potencjalnego dodatkowego źródła obecności badanych metali w powietrzu opisano za pomocą następujących współczynników [10]:

Zjawisko wtórnego pylenia opisano za pomocą:

1. Współczynnika wtórnej emisji K według Stewarda [18] z powierzchni utwardzonych, równy ilorazowi zawartości pyłu zawieszonego [mg/m^3] w powietrzu do zawartości pyłu osiadłego na powierzchni liści i krzewów (liście traktowane były jako adsorber pyłów na poziomie oddychania człowieka) [mg/m^3];

2. Współczynnika wzbogacenia U według Endlera [2] określający udział wtórnego pylenia w zanieczyszczeniu przyziemnej warstwy powietrza;

$$U = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%$$

U – oznacza udział wtórnego pylenia w zanieczyszczeniu przypowierzchniowych warstw powietrza, wyrażony w [%];

m_1 – masa danego metalu zawarta w 1 gramie pyłu zawieszonego w punkcie przy ulicy, wyrażona w [μg];

m_2 – masa danego metalu zawarta w 1 gramie pyłu zawieszonego w powietrzu w punkcie będącym poza zasięgiem oddziaływania wtórnego pylenia, wyrażona w [μg] (200 m od ulicy),

3. Dodatkowa masa danego metalu w ogólnym zanieczyszczeniu powietrza M według Szymkiewicza [19]:

$$M = U \cdot X_g$$

M – dodatkowy udział danego pierwiastka w ogólnym zanieczyszczeniu powietrza w sąsiedztwie powierzchni utwardzonych; [μg]

U – udział wtórnego pylenia w zanieczyszczeniu przypowierzchniowych warstw powietrza, wyrażony w [%];

X_g – średnia geometryczna zawartość poszczególnych pierwiastków w sąsiedztwie ulicy, [$\mu\text{g/g}$],

4. Współczynnika kontaminacji E według Endlera [3], jako iloraz zawartości metalu w pyłe zawieszonym przy ulicy ($\mu\text{g/m}^3$) i zawartości metalu w pyłe zawieszonym w funkcji odniesienia [$\mu\text{g/m}^3$].

Wyniki i ich omówienie

Obszar semirekreacyjny Zawoi (Beskid Wysoki) i Babiej Góry jest oddalony o ok. 150 km w linii prostej od centrum przemysłowego Górnego Śląska (Katowice, Chorzów, Zabrze, Gliwice). Na tym obszarze w centrum Zawoi w kwietniu i listopadzie w przyziemnej warstwie powietrza ilości pyłu zawieszonego zmieniają się w granicach odpowiednio 4,31–14 $\mu\text{g/m}^3$ oraz 0,4–1,81 $\mu\text{g/m}^3$. Zawartość związków wybranych pierwiastków w powietrzu w sąsiedztwie ruchliwej ulicy w porównaniu do powietrza na Babiej Górze są 37-krotnie większe dla Fe, niklu – 34-krotnie, Cu 2,8 razy, Zn 4,9 razy, a ilość pyłu zawieszonego 4,3 razy, zob. Tab. 1.

Te ilości związków wybranych metali w sąsiedztwie wpływu emisji samochodowej są większe w porównaniu do obowiązujących w Polsce wytycznych normatywnych. Ilustracją są przekroczenia w powietrzu maksymalnych zawartości Ni o 368%, Cu o 160%, pyłu zawieszonego o 600%. W funkcji odległości od drogi (200 m w porównaniu do Babiej Góry przekroczenia są rzędu: Fe 26 razy i 7 razy, Zn 1,2 i 5 razy, a Ni i Cu bez względu na odległość wartości ilorazu były podobne 1,5 dla Ni i 2,3 dla Cu.

Tabela 1. Współczynniki ekotoksykologiczne charakteryzujące zjawisko wtórnego pylenia

Parametr Współczynnik	Miesiąc	Przy ulicy wzgl. odl. 200m				W odległości 200m względem Babiej Góry			
		Fe	Ni	Cu	Zn	Fe	Ni	Cu	Zn
Współczynnik Steward'a [14]	Forma rozpuszczalna	0,21	0,34	0,31	0,10	0,2	0,3	0,2	0,8
	Form nierozpuszczalna	1,0	0,5	1,2	0,3	1,2	0,7	0,2	0,7
Współczynnik wzbogacenia Endler'a [1], [%]	Kwiecień	70,0	68,0	50,0	73,0	10,7	27,5	0,9	5,1
	Listopad	45,0	35,0	92,0	72,0	13,8	14,2	0,3	2,4
Dodatkowy udział U, [µg] wg. Szynkiewiczza [15]	Kwiecień	85400	2019	800	17400	2700	672	400	48100
	Listopad	30110	360	1200	17800	17100	228	0,2	46030
Kontaminacja powietrza przy ulicy i w odległości 200m względem Babiej Góry, [%], Endler [2]	Kwiecień	10,9	28,0	0,9	6,0	5,8	3,0	1,0	4,7
	Listopad	14,0	14,0	0,3	2,5	32,0	22,0	2,1	1,5

Wpływ permanentny wtórnej emisji z powierzchni utwardzonych, emisji spalin, niskiej emisji gospodarstw mieszkaniowych sprawia, że ilości sedymentacyjne na liściach maksymalnie badanych związków metali były rzędu: Ni 4300 $\mu\text{g/g}$, Fe – 2700 $\mu\text{g/g}$, Cu – 6800 $\mu\text{g/g}$, Zn – 3600 $\mu\text{g/g}$. Te ilości są dużo mniejsze od ilości obserwowanych w kompleksach leśnych na Górnym Śląsku [5, 12, 14, 17]. Dla porównania charakterystyki jakości powietrza w powyższych warunkach wpływu wyróżnionych emisji zasadne jest podanie zawartości metali w powietrzu na Babiej Górze wyrażone w $\mu\text{g/m}^3$ oraz $\mu\text{g/g}$, zob. Tab. 2.

Tabela 2. Zawartość Fe, Ni, Cu, Zn w pyłe zawieszonym w powietrzu - Babia Góra [$\mu\text{g/m}^3$, $\mu\text{g/g}$].

Miesiąc		Me ⁺ⁿ	Fe	Ni	Cu	Zn
Marzec n=36	$\mu\text{g/m}^3$		0,11-0,53 0,37±0,30	0,02-0,06 0,03±0,02	0,17-0,32 0,22±0,10	0,60-0,80 0,69±0,10
	v		32%	65%	36%	8%
	$\mu\text{g/g}$		290-1700 2000±130	3002-950 450±180	548-1956 845±140	850-1970 700±200
Listopad n=58	$\mu\text{g/m}^3$		0,05-0,13 0,09±0,02	0,06-0,09 0,05±0,02	0,20-1,25 0,64±0,50	1,10-2,30 1,50±0,50
	v		26%	26%	52%	36%
	$\mu\text{g/g}$		157-550 240±120	130-662 320±133	308-758 450±158	630-800 730±100

Objaśnienia: v – współczynnik zmienności (%).

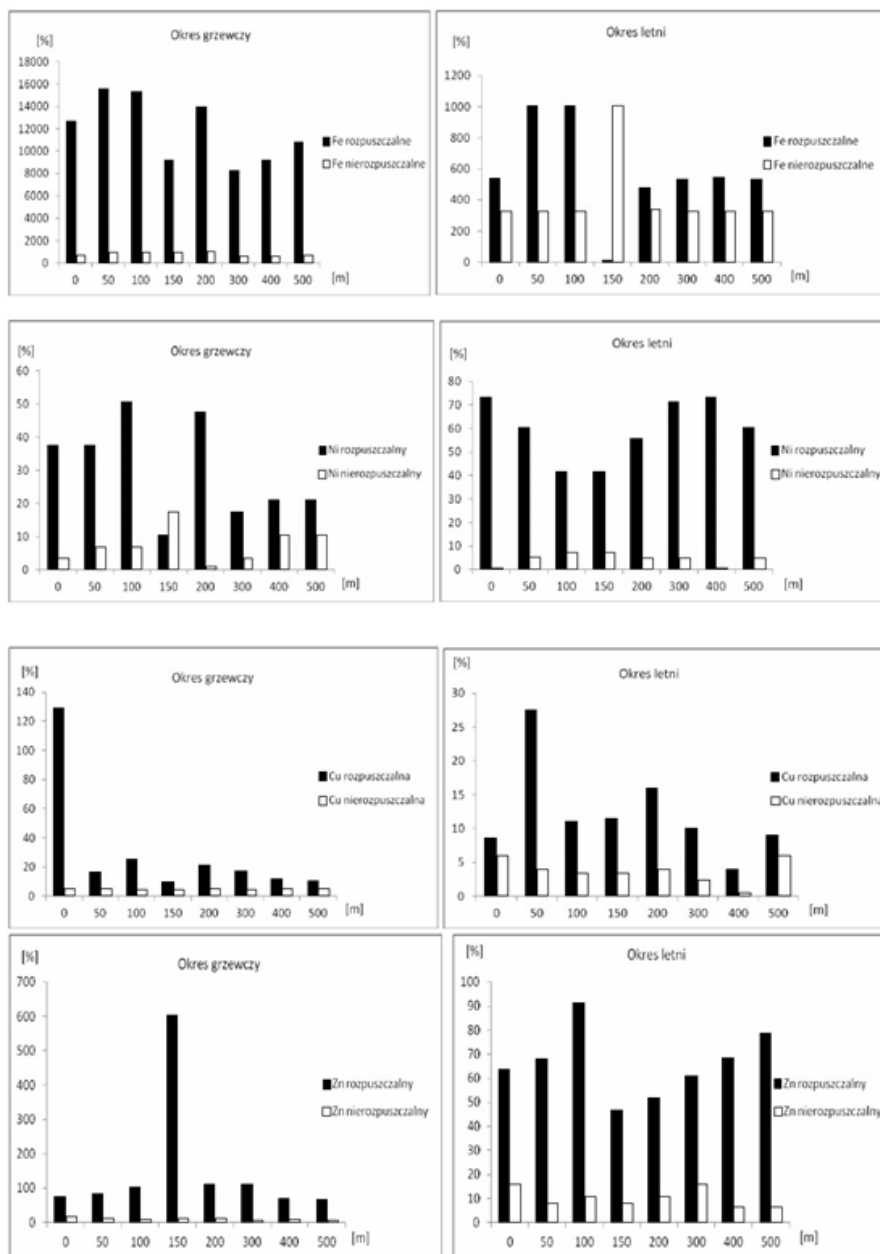
Explanations: : v – the coefficient of variation (%).

Podkreślić należy, że zmienność występowania metali jest mała, a mianowicie: Fe i Ni rzędu 26%, Cu – 52%, Zn – 36% , zob. Tab. 2. Zawartość poszczególnych metali w pyłe zawieszonym rzędu 2000 $\mu\text{g/g}$ – Fe, 450 $\mu\text{g/g}$ – Ni, 845 $\mu\text{g/g}$ – Cu, 700 $\mu\text{g/g}$ – Zn sprawia, że w marcu stężenie ich w powietrzu wynosiło kolejno Fe – 0,37 $\mu\text{g/m}^3$, Ni – 0,03 $\mu\text{g/m}^3$, Cu – 0,22 $\mu\text{g/m}^3$, Zn – 0,69 $\mu\text{g/m}^3$. W listopadzie zawartości w powietrzu w przyziemnej warstwie powietrza były istotnie inne, wyższe: Fe – 0,90 $\mu\text{g/m}^3$, Ni – 0,30 $\mu\text{g/m}^3$, Cu – 1,32 $\mu\text{g/m}^3$, Zn – 1,78 $\mu\text{g/m}^3$. Intoksykacja wybranych elementów środowiska przyrodniczego przebiega różnie. Na przykładzie występowania metali w glebie w okresie grzewczym i letnim widać, że prawdopodobnie warunki anemologiczne (kierunek i prędkość wiatru) różnicują ostateczne rozmieszczenie związków

ków wybranych metali w glebie w funkcji odległości od drogi. Z kolei udział form nierozpuszczalnych Fe i Ni, Cu i Zn w funkcji odległości utrzymuje się na podobnym poziomie w okresie grzewczym i letnim. Udział form rozpuszczalnych badanych metali każdorazowo jest większy; ma to istotne znaczenie dla mobilności ich jonów w przekroju gleby, a ostatecznie do podziemnych organów roślin, zob. Rys. 1.

Rolę zjawiska wtórnego pylenia w porównaniu do przeciętnej emisji w wyższych partiach Babiej Góry ilustrują wyniki zawartości Fe, Cu, Ni, Zn w pyłe zawieszonym w listopadzie i kwietniu, zob. Tab. 1–2. Skutki środowiskowej i wtórnej emisji w pierwszej kolejności dobrze charakteryzuje współczynnik Stewarda [18]. Widać wyraźnie, iż dodatkowy udział rozpuszczalnych związków badanych pierwiastków w wyniku sedymentacji jest rzędu Fe – 21–34% przy ulicy, a w odległości 200 m od 20% (Fe) – 80% (Zn). Nie jest dla autorów zaskoczeniem, że udział form nierozpuszczalnych jest dużo większy. Badania specjacyjne pyłu zawieszonego wyraźnie ten fakt potwierdzają. W sąsiedztwie ulicy dodatkowy ich udział w największym stopniu dotyczy Fe – 1005%, Cu – 120%, a w odległości 200 m wartości te dla Fe i Zn wynoszą 120% i 70%. Wyraźnie zmalał udział nierozpuszczalnych związków miedzi od 505% przy ulicy do 20% w odległości 200 m. Tendencje zmian wielkości udziału dodatkowych ilości związków poszczególnych pierwiastków potwierdza współczynnik wzbogacenia Endlera [2]. Wartość współczynnika wzbogacenia Cu dla powietrza na Babiej Górze wynosi 0,9%, Zn – 5,15%, Fe – 10,7% i Ni – 27,5%. W listopadzie kontaminacja powietrza tymi pierwiastkami w odległości 200 m wynosiła kolejno Fe – 13,8%, Ni – 14,2%, Cu – 0,3%, Zn – 2,4%. W rezultacie, dodatkowa konkretna ilość poszczególnych pierwiastków migrująca do przyziemnej warstwy powietrza przy ulicy w marcu wynosiła kolejno 85400 µg Fe, 2019 µg Ni, 800 µg Cu, 17400 µg Zn. W odległości 200 m udział dodatkowej masy emitowanych pyłów jest znacznie mniejszy, z wyjątkiem prawie 2,9 razy większej ilości związków cynku.

Wyniki obliczone dla listopada potwierdzają rolę związków wybranych metali w strukturze mineralnej pyłu zawieszonego w wyniku wtórnej emisji w sąsiedztwie ulicy. Środowiskowe znaczenie wtórnej emisji podkreślają współczynniki kontaminacji Endlera [3] ustalone dla dwóch okresów czasowych (marzec – listopad) w sąsiedztwie ulicy i w odległości 200 m jeśli je porównać do wtórnej emisji pyłów na Babiej Górze. W sąsiedztwie ulicy ilości związków, które dodatkowo zwiększają środowiskowe tło zanieczyszczeń powietrza jest większe, a mianowicie Fe ok. 11–14 razy, Ni 28 i 14 razy, Cu nieznacznie (0,3–0,9) i Zn 6 i 2,5 razy. Natomiast powietrze w odległości 200 m od ulicy, w porównaniu do jakości powietrza na Babiej Górze, jest zanieczyszczone w mniejszym stopniu w porównaniu do ulicy. Nowe środowiskowe tło występowania metali jest większe wobec powietrza na Babiej Górze odpowiednio: 5,8–32 razy dla Fe, 3–22 razy dla Ni, 1–2 razy dla Cu, 1,5–4,7 razy Zn.



Rys. 1. Udział form rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych w glebie w okresie grzewczym i w sezonie letnim w funkcji odległości

Podsumowując, warto przypomnieć że pyły drogowe składają się z różnych związków pochodzących z emisji spalanych materiałów pędnych, ścierania się nawierzchni asfaltowej, zużywania opon, klocków hamulcowych czy środków przeciwstukowych dodawanych do paliwa [1]. Z danych literaturowych [4] jasno wynika, że materiał pochodzący ze ścierania się nawierzchni asfaltowych może wzbogacać pyły PM10. W Wielkiej Brytanii pył powstający w trakcie eksploatacji dróg i opon samochodowych powodował emisję do środowiska w ilości $5,3 \cdot 10^7$ kg (dane za rok 1996), w Niemczech była to emisja w przedziale od 55 do $657 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-1}$, natomiast w Japonii $2,8 \cdot 10^8$ kg (dane za rok 2001) [20]. Przeprowadzone badania w wybranych miastach Polski wskazują wyraźnie na udział zjawiska wtórnego pylenia w narażeniu dzieci na związki metali ciężkich. Przykładowo, w województwie śląskim ustalone współczynniki wtórnej emisji Stewarda wynosiły odpowiednio: 3,8% w Katowicach, do 4,0% w Bytomiu i około 0,3% w Bielsku-Białej. Kontaminacja środowiska przyrodniczego związkami metali jako efekt zjawiska wtórnego pylenia dla większości miast w Polsce przedstawia się następująco: np. dla Pb w granicach od 21 do 34%, dla Cu – 45% w Gliwicach oraz do 60% w Zagłębiu, Ni w granicach od 93 do 99% [11]. Przykładem miast o największym udziale wtórnej emisji np. związkami niklu w sąsiedztwie ruchliwych ulic należą: Tychy, Katowice, Zabrze, Gliwice oraz Rybnik. Częstochowa, Bielsko-Biała oraz obszar Zagłębia Dąbrowskiego wyróżniają się mniejszym udziałem tego metalu w pyłe. Stopień wzbogacenia przyziemnej warstwy powietrza jako efekt zjawiska wtórnego pylenia wynosił w przypadku Ni – dla Częstochowy 23%, a w Tychach – do 50% [9].

Przytoczone przykłady wyraźnie wskazują na rolę wtórnego pylenia w narażeniu ludności na związki metali ciężkich. W związku z tym, istnieje potrzeba by zagadnienie to ciągle monitorować za pomocą współczynników: kontaminacji i wzbogacenia Endlera oraz współczynnika wtórnej emisji Stewarda, ponieważ współczynniki te bardzo dobrze charakteryzują zmieniającą się jakość powietrza.

Wnioski

Zjawisko wtórnej emisji pyłów na terenach semirekreacyjnych stanowi poważne dodatkowe źródło zanieczyszczenia powietrza.

Środowiskowe tło występowania Fe, Cu, Ni, Zn w zasięgu oddziaływania zjawiska wtórnego pylenia jest wielokrotnie większe niż na Babiej Górze.

Dodatkowe narażenie związkami badanych metali mieszkańców Zawoi i analogicznie z innych miejscowości semirekreacyjnych dobrze odwzorowują wartości współczynników charakteryzujących wtórne pylenie.

System współczynników kontaminacji Endlera (dwie wersje) oraz Szymczykiewicza i Stewarda stanowią dobrą podstawę do oceny bezpieczeństwa ludności narażonej na zjawisko wtórnego pylenia.

Literatura

- [1] Adachi K., Tainosho Y., *Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust*, „Environment International”, 2004, vol. 30(8), s. 1009–1017, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2004.04.004>
- [2] Endler Z., Markiewicz K., Michalczyk J., *Zawartość metali ciężkich w liściach, kwiatach i owocach bzu czarnego*, „Wiadomości Zielarskie”, 1989, vol. 2, s. 5–6.
- [3] Endler Z., Markiewicz K., Michalczyk J., *Wpływ spalin pojazdów na kumulację toksycznych metali w liściach i owocach głogu*, „Herba Polonica”, 1987, vol. 4, s. 254–260.
- [4] Kupiainen K., Tervahattu H., Raisanen M., *Experimental studies about the impact of traction sand on urban road dust composition*, „The Science of the Total Environment”, 2003, vol. 308, s. 175–184, DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697\(02\)00674-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0048-9697(02)00674-5)
- [5] Kwapuliński J., Cyganek M., Mirosławski J., Czomperlik B., *Zagadnienia współwystępowania metali w środowisku leśnym*, „Gaz Woda Techn. Sanit.”, 1992, vol. 66(2), s. 26–30.
- [6] Kwapuliński J., Mirosławski J., *Charakterystyka fizyczno-chemicznego zjawiska wtórnego pylenia w otoczeniu ulicy*, „Ochrona Powietrza”, 1990, vol. 5, s. 97–101.
- [7] Kwapuliński J., Paśluszko J., *Koncentracja metali ciężkich w powietrzu w pobliżu dróg silnie zapyłonych*, „Gaz Woda Techn. Sanit.”, 1986, vol. 1, s. 17–20.
- [8] Kwapuliński J., Paśluszko J., *Application the mass balance equation in the estimation of Be and Ra concentration in the lower atmosphere*, „Sci. Total Environ.”, 1983, vol. 26, s. 203–207.
- [9] Kwapuliński J., Suflita M., Brewczyński P.Z., Bebek M., Babula M., Królak E., Szady B., Nogaj E., Rabsztyn E., Mitko K., Musielińska R., Krakowiak E., *Wtórna emisja pyłów a kumulacja Ni w migdałkach gardłowych dzieci zamieszkałych w miastach województwa śląskiego*, „Med. Środow.”, 2012, vol. 15(4), s. 55–62.
- [10] Kwapuliński J., Suflita M., Królak E., Bebek M., Babula M., Mitko K., Nogaj E., Musielińska R., *Znaczenie wtórnej emisji pyłów w miastach dla kumulacji Ni w migdałkach gardłowych*, „Ekologia i Technika”, 2012, vol. 20(2), s. 107–114.
- [11] Kwapuliński J., Suflita M., Nogaj E., Brewczyński P.Z., Kowol J., Brodziak-Dopierała B., Kuźniewski K., *Ocena narażenia dzieci na wtórną emisję niklu, ołowiu i miedzi pochodzenia środowiskowego*, „Med. Środow.”, 2012, vol. 15(4), s. 45–54.

- [12] Kwapuliński J., Wiechuła D., Kowal J., Mirosławski J., *Współwystępowanie metali w ekosystemie leśnym na przykładzie lasów woj. śląskiego*, „Problemy Ekologii”, 2002, vol. 6(4), s. 161–166.
- [13] Mirosławski J., Cyganek M., Czomperlik B., Szywała A., Kwapuliński J., *Ocena emisjochłonnej funkcji lasu w aspekcie zagrożenia toksycznymi metalami ciężkimi*, „Sylwan”, 1992, vol. 5, s. 11–18.
- [14] Mirosławski J., Cyganek M., Czomperlik B., Szywała A., *Skutki zjawiska wtórnego pylenia lasu zanieczyszczonego toksycznymi metalami*, „Sylwan”, 1992, vol. 6, s. 100–106.
- [15] Mirosławski J., Wiechuła D., Kwapuliński J., Sottysiak G., *Udział leśnej emisji obszarowej w występowaniu metali w przyziemnej warstwie powietrza*, „Ochrona Powietrza i Probl. Odpadów”, 2002, vol. 36(3), s. 98–102.
- [16] Pastuszko J., Kwapuliński J., *Wpływ emisji pyłu z dróg na zmianę niektórych parametrów środowiska*, „Ochrona Powietrza”, 1986, vol. 2, s. 29–32.
- [17] Sarosiek J., Mirosawski J., Kwapuliński J., Paukzto A., Wiechuła D., Mansar A., *Współwystępowanie Me^{+ne} w pyłe zdeponowanym w liściach drzew w Beskidzie Zachodnim*, „Prace Bot.”, 1997, vol. 72, s. 49–62.
- [18] Stewart K., *Surface Contamination* [in:] B.R., Fish (ed.) Proc. of a Symp. Healt at Gatlinburg, Pergamon Press, Oxford 1967, s. 63–74.
- [19] Szymczykiewicz K., *Toksykologia pyłów*, IMP Sosnowiec 1988.
- [20] Yongming H., Peixuan D., Junji C., Posmentier E.S., *Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China*, „The Science of the Total Environment”, 2006, vol. 355, s.176–186, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.02.026>