



**Renata Musielińska<sup>1</sup>, Jerzy Kwapuliński<sup>2</sup>, Jolanta Kowol<sup>2</sup>, Marek Asman<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*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*

<sup>2</sup>*Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach*

*Wydział Farmaceutyczny z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej w Sosnowcu*

*Katedra Toksykologii*

*ul. Jedności 8, 41–200 Sosnowiec*

<sup>3</sup>*Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach*

*Wydział Farmaceutyczny z Oddziałem Medycyny Laboratoryjnej w Sosnowcu*

*Zakład Parazytologii*

*ul. Jedności 8, 41–200 Sosnowiec*

## KONTAMINACJA W PRZYZIEMNEJ WARSTWIE POWIETRZA W ZAWOI W ASPEKTCIE POSZUKIWANIA OBSZARÓW ODNIESIENIA

**Streszczenie.** Badania przeprowadzono w obszarze administracyjnym Nadleśnictwa Zawoja. Jako układ odniesienia wytypowano schronisko na Babiej Górze (Markowe Szczawiny). Zawartość Ni, Fe, Cu, Zn 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 semirekreacyjnych 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 zawieszane, metale ciężkie, powietrze, środowisko przyrodnicze, ekspozycja na nikiel, miedź, żelazo, cynk.

## THE CONTAMINATION IN THE GROUND LAYER OF AIR IN ZAWOJA IN TERMS OF THE SEARCH FOR REFERENCE AREAS

**Abstract.** The studies were conducted in the area of the Zawoja Forest District. As a frame of reference the hostel in Babia Mountain (Markowe Szczawiny) was chosen. The content of Ni, Fe, Cu, Zn 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 Steward's 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.

### Wprowadzenie

Wymogi bezpieczeństwa w zakresie narażenia ludności na związki toksycznych metali wymagają podjęcia badań nad zjawiskiem wtórnego pylenia. Temat ten był dotychczas analizowany w piśmiennictwie tylko jako zjawisko fizyczno-chemiczne, a pominięty był aspekt ekotoksykologiczny. Przeprowadzone badania opisują szkodliwy wpływ zjawiska wtórnego pylenia na ludzi i zwierzęta w oparciu o zestaw współczynników, które pozwalają ocenić i porównać wpływ tego zjawiska na otoczenie. W związku z powyższym dla ocen prognostycznych narażenia ludności konieczne jest poszukiwanie obszarów, w których wtórna emisja pochodzi równolegle z emisji samochodowej i emisji pyłów gleby o określonej charakterystyce geochemicznej. Ten wymóg spełnia obszar administracyjny gminy Zawoja.

Degradacja środowiska przyrodniczego powodowana nadmierną obecnością metali to wciąż aktualny problem. Zasadne zatem staje się poszukiwanie terenów mogących stać się obszarami odniesienia. W przeprowadzonych badaniach, potencjalnym układem odniesienia dla ocen prospektywnych poprzez położenie geograficzne oraz warunki fizjograficzne stał się teren przyległy do masywu Babiej Góry.

Obecne tam kompleksy leśne posiadają emisjochłonne właściwości, przez co w okresach wietrznej pogody wpływają na zróżnicowanie składu ilościowego i jakościowego pyłu zawieszzonego w przyziemnej warstwie powietrza, w glebie oraz w pyłe osiadłym na liściach roślin [9]. Ten proces jest modyfikowany wpływem wtórnej emisji w sąsiedztwie ruchliwej ulicy [11].

Wpływ dalekosięgającej emisji związków wybranych metali w odróżnieniu do lokalnej niskiej emisji ocenia się na podstawie wyników z programów monitorujących skład chemiczny powietrza na terenach semirekreacyjnych położonych przynajmniej 100 km od zespołu emitorów punktowych np.: elektrowni. Celowa jest zatem organizacja badań na takim obszarze semirekreacyjnym, która uwzględni analizę zawartości charakterystycznych pierwiastków w pyłe zawieszonym dla rozważanej emisji, w opadzie całkowitym zgodnie z „różą wiatrów”. Jak podają Kwapuliński, Pastuszko i Mirosławski [4–6, 12] należy także ocenić lokalną rolę wtórnej emisji gleby lub emisji samochodowej za pomocą wyników zawartości w tych elementach środowiska przyrodniczego, pozyskiwanych w funkcji odległości od drogi lub lasu z uwagi na jego emisjochłonne właściwości [4–6, 12]. Celem badań było określenie jakości powietrza w przyziemnej warstwie w Zawoi jako potencjalnego obszaru odniesienia dla ocen środowiskowych.

## Metodyka badań

Badania powietrza w Zawoi (Beskid Żywiecki) przeprowadzono na 3 stanowiskach pomiarowych przy przelotowej ulicy, w odległości 200 i 500 m od ulicy oraz przy ulicy i w pyłach osiadłych na liściach w latach 2014–2016. Próbkę pobierano 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.

Pył zawieszony pobierano za pomocą aspiratora powietrza Staplex na kondycjonowanych sączkach, o ściśle określonej masie w ciągu 30 minut, przy średnim przepływie powietrza wynoszącym 22 [Nm<sup>3</sup>/h]. Jako punkt odniesienia wybrano schronisko pod Babią Górą na Markowych Szczawinach (1725 m n.p.m.). Na tym stanowisku pobierano próby pyłu zawieszzonego i zdeponowanego na liściach drzew. Ponadto przedmiotem badań był opad całkowity pobierany za pomocą pyłomierza ruchomego, a opad kierunkowy za pomocą pyłomierza kierunkowego.

Próbki gleby i pyłu zawieszzonego o znanej masie po wysuszeniu pod lampami promiennikowymi, traktowano 5 cm<sup>3</sup> HNO<sub>3</sub> (V), spektralnie czystym (Merck, Niemcy). Poboru pyłu dokonywano za pomocą aspiratora powietrza AP 700 w ciągu 1 godziny z wydajnością 8 dm<sup>3</sup>/min z zastosowaniem sepa-

ratorów poszczególnych frakcji pyłu. Pyły z emisji kierunkowej pobierano za pomocą pyłomierza kierunkowego do słoika szklanego z zawartością 100 ml wody redestylowanej.

Do oznaczenia metali w analizach została wykorzystana metoda indukcyjnie sprzężonej plazmy (ICP-AES), za pomocą aparatu firmy SOLAR 2000, zgodnie z instrukcją fabryczną.

Do obliczeń uwzględniono 6 pomiarów wykonanych dla 3 próbek danej próby, wykorzystując średnią arytmetyczną tych oznaczeń, którym towarzyszyło odchylenie standardowe w granicach 2,5–3% wartości oznaczanej.

Stopień odzysku związków badanych metali wahał się w granicach od 98% – Cu do 104% – Zn.

Zagadnienie zjawiska wtórnego pylenia jako potencjalnego dodatkowego źródła obecności badanych metali w powietrzu opisano za pomocą następujących współczynników [7]:

Zjawisko wtórnego pylenia opisano za pomocą:

- współczynnika wtórnej emisji K według Stewarda [14]
- współczynnika wzbogacenia U według Endlera [1]
- dodatkowej masy danego metalu w ogólnym zanieczyszczeniu powietrza M według Szymkiewicza [15]
- współczynnika kontaminacji E według Endlera [2]

## Wyniki i ich omówienie

Na badanym obszarze wyniki interpretowano w porównaniu do danych uzyskanych dla powietrza na Babiej Górze. Punkt ten przyjęto jako spełniający kryteria tła środowiskowego (duża różnica wysokości i odległość rzędu 5 km w odniesieniu do centrum obszaru administracyjnego i fizjografii Zawoi). W przyziemnej warstwie powietrza przykładowo ilość pyłu zawieszzonego od 4,31 do 14,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  w kwietniu, w listopadzie zmieniły się w granicach od 0,4 do 1,81  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Okazało się, że w okolicy drogi w Zawoi zawartość związków Fe w porównaniu do Babiej Góry są 37-krotnie większe, niklu 34-krotnie, miedzi 2,87 razy, cynku 4,85 razy, a ilość pyłu zawieszzonego w powietrzu 4,26 razy większe. Obserwowane zawartości metali w sąsiedztwie głównej, ruchliwej ulicy w Zawoi mogą przekraczać wartości normatywne dla powietrza (Tab. 1).

Przykładowo maksymalne zawartości związków Ni są odpowiednio wyższe o 368% lub 759%, Cu o 175%, a pyłu zawieszzonego o 609%.

Tabela. 1. Zawartość metali w powietrzu na terenie Zawoi, [ $\mu\text{g/g}$ ] (2014–2016)

| Metal     | Miesiąc     |       |          |       |        |       |       |       |
|-----------|-------------|-------|----------|-------|--------|-------|-------|-------|
|           | Październik |       | Listopad |       | Marzec |       | Maj   |       |
|           | $m_1$       | $m_2$ | $m_1$    | $m_2$ | $m_1$  | $m_2$ | $m_1$ | $m_2$ |
| <b>Fe</b> | 10865       | 8899  | 674.5    | 374   | 1240   | 374   | 541   | 533   |
| <b>Ni</b> | 21          | 14    | 10       | 6.5   | 30.5   | 10    | 73    | 60    |
| <b>Cu</b> | 19          | 6     | 12       | 1     | 16     | 8     | 8.5   | 4     |
| <b>Zn</b> | 104.5       | 5.95  | 2325     | 655   | 2385   | 651   | 91    | 78    |

Objaśnienia:  $m_1$  - przy ulicy;  $m_2$  - poza zasięgiem oddziaływania (500 m od ulicy)  
 Explanations:  $m_1$  – at the street;  $m_2$  – out of reach of influence (500 m from the street)

Z uwagi na obecność dużej emisji ze spalania węgla w gospodarstwach domowych zmieniającej się sezonowo zasadne jest porównanie wyników zawartości  $\text{Me}^{+ne}$  wyrażonych w  $\mu\text{g/m}^3$ . Wówczas zawartość metali w sąsiedztwie przelotowej ulicy w Zawoi i w odległości 200 m w porównaniu do ilości obserwowanych w powietrzu na Babiej Górze są wyższe odpowiednio Fe 26,1 razy i 6,98 razy, Zn 1,10 razy i 4,93 razy, a Ni i Cu bez względu na odległość wartości ilorazu były podobne: 1,52 dla Ni i 2,30 dla Cu.

Dlatego w pyłe zdeponowanym na liściach w formie rozpuszczalnej i nierozpuszczalnej była różna w zależności od gatunku drzew i stanowiła o dodatkowych ilościach związków metali w przyziemnej warstwie powietrza jako efekt oddziaływania lasu na środowisko przyrodnicze w lasach Beskidu Zachodniego. Są to ilości duże i porównywalne z uzyskanymi wynikami Sarosieka i wsp. [13].

Ilości bezpośrednio biodostępnych form metali w pyłe osiadłym były następujące:

Ni: 1–4297  $\mu\text{g/g}$ , Cu: 1–6758  $\mu\text{g/g}$ , Zn: 143–3605  $\mu\text{g/g}$ , Fe: 24–2738  $\mu\text{g/g}$ .

Te zawartości mocno odbiegają, jako mniejsze, od ilości obserwowanych w kompleksach leśnych na Górnym Śląsku [3, 8].

Zarówno w pyłach osiadłym w obszarze Babiej Góry, jak i w kompleksach leśnych na terenie Śląska większe znaczenie ekotoksykologiczne w oddziaływaniu zjawiska wtórnego pylenia lasu posiadają formy rozpuszczalne związków badanych metali w pyłe zdeponowanym na liściach drzew [9–10].

Zasadniczym argumentem za przyjęciem obszaru leśnego Babiej Góry jako układu odniesienia jest bardzo mały współczynnik zmienności występowania badanych metali w przyziemnej warstwie powietrza  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , który wynosił w okresie wiosny kolejno: Fe–32%, Ni–65%, Cu–36%, Zn–8%, a w okresie jesieni Fe i Ni–26%, Cu–52%, Zn–36% (Tab. 2).

Tabela 2. Zawartość Fe, Ni, Cu, Zn w pyłe zawieszonym w powietrzu – Babia Góra [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\mu\text{g}/\text{g}$ ] (2014–2016).

| Me <sup>+n</sup> |                          | Fe                                   | Ni                                  | Cu                                  | Zn                                   |
|------------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Miesiąc          |                          |                                      |                                     |                                     |                                      |
| Kwiecień<br>n=33 | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 0,11-0,53<br>0,37±0,3                | 0,02-0,06<br>0,03±0,02              | 0,17-0,32<br>0,22±0,10              | 0,60-0,80<br>0,69±0,10               |
|                  | v                        | 32%                                  | 65%                                 | 36%                                 | 8%                                   |
|                  | $\mu\text{g}/\text{g}$   | 289,90-<br>1700,00<br>2000,00±135,00 | 3002,00-<br>950,00<br>450,30±180,00 | 548,10-<br>1945,00<br>845,00±140,00 | 850,00-1968,00<br>1198,00±198,0<br>0 |
| Listopad<br>n=48 | $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 0,05-0,13<br>0,09±0,02               | 0,06-0,09<br>0,05±0,02              | 0,20-1,25<br>0,64±0,50              | 1,10-2,30<br>1,50±0,50               |
|                  | v                        | 26%                                  | 26%                                 | 52%                                 | 36%                                  |
|                  | $\mu\text{g}/\text{g}$   | 157,00-550,00<br>245,10±120,00       | 130,00-662,00<br>300,0±133,00       | 298,00-758,00<br>451,00±157,10      | 635,0-833,00<br>732,0±102,00         |

Objaśnienia: v – współczynnik zmienności (%).

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

Podsumowując interpretację uzyskanych wyników, można uznać, że obecność związków Fe, Ni, Cu, Zn w przyziemnej warstwie powietrza w głównej mierze jest udziałem wtórnej emisji pyłów pochodzących ze spalania paliw w samochodach oraz z niskiej emisji gospodarstw domowych.

Zatem w następnej kolejności podjęto się oceny około toksykologicznej zjawiska wtórnego pylenia wokół przelotowej ruchliwej ulicy w Zawoi. W sąsiedztwie ulicy sedymentują większe ilości pyłów, które w warunkach podmuchów towarzyszących przejeżdżającym samochodom oraz wietrznej pogody ponownie są wywiewane do przyziemnej warstwy atmosfery (0–500m) (Tab. 3).

Tabela 3. Zmiana współczynnika wzbogacenia przyziemnej warstwy powietrza w układzie (ulica-200 m od drogi) [%] wg Endlera [1] (2014–2016)

| Miesiąc \ Me <sup>+n</sup> | Fe   | Ni   | Cu   | Zn   |
|----------------------------|------|------|------|------|
| <b>Marzec</b>              | 69,8 | 67,2 | 50,0 | 72,2 |
| <b>Maj</b>                 | 1,5  | 17,8 | 52,9 | 14,3 |
| <b>Październik</b>         | 18,0 | 33,3 | 68,4 | 94,3 |
| <b>Listopad</b>            | 44,6 | 35,0 | 91,7 | 71,8 |

Okazało się, że dodatkowy wzrost zawartości związków wybranych metali jest znaczący w marcu i listopadzie: Fe o 69 i 45%, Ni o 50 i 35 %, Cu o 50 i 91%, Zn o 71 i 72%. Wyraźnie zaznacza się rola okresu grzewczego. Z kolei przyziemna warstwa powietrza wzbogaca się związkami miedzi o 68% i Zn 95% w październiku, a w okresie letnim jonami miedzi o ok. 53%, a jonami cynku o 14%. To sprawia, w świetle koncepcji Szymczykiewicza [15], że dodatkowy bardzo duży udział, w wyniku zjawiska wtórnego pylenia, poszczególnych pierwiastków w powietrzu przy ulicy waha się w granicach dla Fe od 811 do 86750 µg, Ni od 699 do 2049 µg, Cu od 800–1299 µg, Zn od 130–17338 µg.

Dodatkowe udziały są zdecydowanie mniejsze w powietrzu w odległości 200 m (Tab. 4).

Tabela 4. Dodatkowa masa danego metalu w ogólnym zanieczyszczeniu powietrza w sąsiedztwie ulicy wg Szymczykiewicza [15], [µg] (2014–2016)

| Miesiąc            | Przy ulicy |        |        |          | W odległości 200 m od ulicy |        |       |         |
|--------------------|------------|--------|--------|----------|-----------------------------|--------|-------|---------|
|                    | Fe         | Ni     | Cu     | Zn       | Fe                          | Ni     | Cu    | Zn      |
| <b>Marzec</b>      | 86750,0    | 2049,6 | 800,0  | 173389,5 | 2610,2                      | 672,0  | 400,0 | 47327,7 |
| <b>Maj</b>         | 811,5      | 1299,4 | 449,6  | 130,1    | 799,5                       | 1032,0 | 212,0 | 1115,4  |
| <b>Październik</b> | 19557,0    | 699,3  | 1299,6 | 9851,2   | 160182,0                    | 466,2  | 410,4 | 559,3   |
| <b>Listopad</b>    | 30105,0    | 350,0  | 1100,4 | 166935,0 | 16680,4                     | 227,5  | 92,0  | 47029,0 |

Najwyższa zawartość związków żelaza jest około 5-krotnie mniejsza, Ni ok. 2 razy, Cu ok. 400 razy i Zn ok. 4 razy.

Kolejnym parametrem opisującym rolę ekotoksykologiczną zjawiska wtórnego pylenia w sąsiedztwie ruchliwych ulic jest współczynnik wtórnej emisji (Tab. 5).

Tabela 5. Współczynnik wtórnej emisji metali wg Stewarda [14] w Zawoi w formie rozpuszczalnej i nierozpuszczalnej w pyłe zawieszonym (2014–2016)

| Me <sup>+n</sup> | Przy ulicy    |                  | W odległości 200m od ulicy |                  |
|------------------|---------------|------------------|----------------------------|------------------|
|                  | Rozpuszczalne | Nierozpuszczalne | Rozpuszczalne              | Nierozpuszczalne |
| <b>Fe</b>        | 0,210         | 1,010            | 0,180                      | 1,150            |
| <b>Ni</b>        | 0,340         | 0,470            | 0,300                      | 0,620            |
| <b>Cu</b>        | 0,310         | 1,100            | 0,230                      | 0,130            |
| <b>Zn</b>        | 0,107         | 0,265            | 0,770                      | 0,720            |

Ten parametr mówi, o ile permanentny wpływ wtórnej emisji w porównaniu do emisji środowiskowej jest większy. Zgodnie z interpretacją Stewarda brak wpływu ma miejsce jeśli współczynnik ten jest mniejszy lub równy zeru. Dla środowiska przyrodniczego ważne są w prognozowaniu skutków wartości charakteryzujące formę rozpuszczalną i nierozpuszczalną w emitowanym pyłe zawieszonym.

Podobną interpretację ma współczynnik kontaminacji pyłu zawieszonego w porównaniu do odległych wytypowanych w badaniach układów odniesienia, w naszym przypadku schronisko na Markowych Szczawinach (Babia Góra). W przypadku oznaczanych pierwiastków (Fe, Ni, Cu, Zn) kontaminacja powietrza w centrum Zawoi jest większa. W kwietniu ok. 11-krotnie większa w przypadku żelaza, 27-krotnie dla Cu, 5-krotnie dla Zn. W listopadzie wartości dla Fe, Ni są rzędu 14, a Zn 2,4.

Najmniejszą rolę w kontaminacji powietrza przy ulicy odgrywa miedź, wartości są mniejsze od zera.

Inną wersją współczynnika kontaminacji [14] są obliczenia dla relacji ilości pyłu zawieszonego do pyłu osiadłego (Tab. 6).



Tabela 6. Porównanie współczynnika kontaminacji powietrza wg Endlera [1] na Babiej Górze oraz w odległości 200 m od ulicy (2014–2016)

| Me <sup>+n</sup> | Babia Góra |          | W odległości 200m od ulicy |          |
|------------------|------------|----------|----------------------------|----------|
|                  | Kwiecień   | Listopad | Kwiecień                   | Listopad |
| Fe               | 0,50       | 0,06     | 5,71                       | 30,00    |
| Ni               | 0,97       | 0,56     | 2,50                       | 21,70    |
| Cu               | 1,48       | 1,36     | 1,02                       | 2,02     |
| Zn               | 6,33       | 8,30     | 4,25                       | 1,43     |

Uzyskane dane także ilustrują negatywną rolę dodatkowych ilości związków oznaczanych pierwiastków na jakość środowiska przyrodniczego w okolicy Markowych Szczawin. Wartości tego parametru są istotnie mniejsze ( $p \leq 0,005$ ) w porównaniu do sytuacji przy ulicy w centrum Zawoi ekspozycja środowiska przyrodniczego jest porównywalna na obu stanowiskach ze strony związków Zn u podnóża Babiej Góry 6,3 i 8,3 wobec 5,0 i 2,4 w centrum (Tab. 1).

Podobnie związki miedzi więcej intoksykują środowisko przyrodnicze i tak: na Babiej Górze 1,48 i 1,36 wobec 0,87 i 0,27 w Centrum. Znaczących wzrostów należy oczekiwać ze strony udziału masowego związków żelaza – 10,7–13,5 i niklu – (27,5 i 14,2) w obszarze ulicy w centrum.

W porównaniu do jakości powietrza na Markowych Szczawinach (Babia Góra) w odległości 200 m od ulicy jest ono ze względu na związki żelaza gorsze 5,7–30 razy, Ni 2,5–24 razy. Związki Zn występują w przyziemnej warstwie powietrza przy ulicy i w odległości 200 m na podobnym poziomie, a mianowicie w kwietniu 4,2 i w listopadzie 1,43 (Tab. 6), oraz w odległości 200 m w kwietniu 1,0 i w listopadzie 1,4 wobec stanowiska na Babiej Górze. Udział wtórny związków Cu w zanieczyszczeniu powietrza charakteryzują odpowiednie wartości 1,02 i 2,02 (200 m) i 1,48 i 1,36 (ulica). Oznacza to, że stopień oddziaływania wtórnej emisji maleje z odległością już w obszarze środowiska przyrodniczego w odległości 200 m od ulicy.

Ostatecznie, rozpatrując układ powietrze przy ulicy i w odległości 200 m od tejże ulicy przekonujemy się na przykładzie współczynnika Endlera [2], iż w ciągu roku jakość powietrza w warstwie przyziemnej jest gorsza niż w odległości 200 m ze względu na obecność związków metali w tym: Fe 18,0–69,8 razy, Ni 17,8–67,2 razy, Cu 50–91,7 razy, Zn 11,43–94,3 razy.

## Wnioski

Stanowisko Markowe Szczawiny (Babia Góra) może być wykorzystane w badaniach prospektywnych jako układ odniesienia jakości powietrza.

Na terenach semirekreacyjnych znaczący okresowy dodatkowy udział w zanieczyszczeniu przyziemnej warstwy powietrza 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.

## Literatura

- [1] Endler Z., Markiewicz K., Michalczyk J., Zawartość metali ciężkich w liściach, kwiatach i owocach bzu czarnego, „Wiadomości Zielarskie”, 1989, vol. 2, s. 5–6.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Kwapuliński J., Mirosławski J., Charakterystyka fizyczno-chemicznego zjawiska wtórnego pylenia w otoczeniu ulicy, „Ochrona Powietrza”, 1990, vol. 5, s. 97–101.
- [5] Kwapuliński J., Pasłuszko J., Koncentracja metali ciężkich w powietrzu w pobliżu dróg silnie zapyłonych, „Gaz Woda Techn. Sanit.”, 1986, vol. 1, s. 17–20.
- [6] Kwapuliński J., Pastuszko 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Mirosławski J., Cyganek M., Czomperlik B., Szywała A., Kwapuliński J., Ocena emisjochłonnej funkcji lasu w aspekcie zagrożenia toksycznymi metalami ciężkimi, „Sylvan”, 1992, vol. 5, s. 11–18.

- 
- [10] Mirosławski J., Cyganek M., Czumperlik B., Szywała A., Skutki zjawiska wtórnego pylenia lasu zanieczyszczonego toksycznymi metalami, „Sylwan”, 1992, vol. 6, s. 100–106.
  - [11] Mirosławski J., Wiechuła D., Kwapuliński J., Sołtysiak G., Udział leśnej emisji obszarowej w występowaniu metali w przyziemnej warstwie powietrza, „Ochrona Powietrza i Probl. Odpadów”, 2002, vol. 36(3), s. 98–102.
  - [12] Pastuszko J., Kwapuliński J., Wpływ emisji pyłu z dróg na zmianę niektórych parametrów środowiska, „Ochrona Powietrza”, 1986, vol. 2, s. 29–32.
  - [13] Sarosiek J., Mirosławski 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.
  - [14] Stewart K., Surface Contamination [in:] B.R., Fish (ed.) Proc. of a Symp. Health at Gatlinburg, Pergamon Press, Oxford 1967, s. 63–74.
  - [15] Szymczykiewicz K., Toksykologia pyłów, IMP Sosnowiec 1988.