

**JERZY KWAPULIŃSKI, DANUTA WIECHUŁA, JOLANTA KOWOL****Ekotoksykologia powietrza leśnego**

Ecotoxicology of forest air

**ABSTRACT**

The paper provides the analysis of changes in concentrations of heavy metals in the dust of forest air at different heights above ground level, in different daytime hours and under different meteorological conditions – rain and rainless periods, different wind speeds.

**KEY WORDS**

forest air, heavy metals, suspended dusts

Las – jeden z najbardziej docenianych przez społeczeństwo elementów środowiska przyrodniczego przedstawia różnorakie walory. Oddziałuje na równowagę psychomotoryczną człowieka, posiada właściwości emisjochłonne, obniżające w długich okresach zawartość pyłu zawieszonego i metali w warstwie oddychania dzieci i dorosłych. Kształtowanie homeostazy w organizmie człowieka, jak ostatnio dowiodły tego różne kompleksowe programy badawcze dotyczące relacji środowisko przyrodnicze – człowiek, zależy także od cech estetycznych i krajobrazowych danego kompleksu leśnego. Jednakże pojemność chemoekologiczna i zawartość katatometryczna poszczególnych pierwiastków to zasadnicze problemy badawcze stopnia zanieczyszczenia lasu. Dla turystów, wycieczkowiczów, ludzi korzystających z dobrodziejstw lasu ważna jest informacja, jak zawartość pierwiastków o właściwościach toksycznych zmienia się w ciągu doby. W warunkach długotrwałej i permanentnej emisji związków metali informacja o zawartościach metali posiada także znaczenie do oceny pojemności chemoekologicznej lasu, przez którą rozumiemy tę ilość wszystkich pierwiastków o właściwościach fizjologicznych bądź toksycznych, która zapewnia utrzymywanie się dotychczasowego charakterystycznego składu gatunkowego flory i fauny. To spojrzenie dopiero w ostatnich latach znalazło zrozumienie wśród przyrodników.

Drugim pojęciem, ważnym nie tylko dla flory i fauny, jest zawartość katatometryczna pierwiastka –  $c_k$ . Otóż chwilowe, krótkotrwałe stężenie metalu w powietrzu oraz zakres jego konsekwentnego oddziaływania na organizm ludzki są wypadkową zawartości pierwiastka odpowiadającej średniej geometrycznej lub najbardziej prawdopodobnemu zakresowi zmian, wilgotności powietrza oraz prędkości wiatru, stymulującym procesy sedymentacyjne drobno-dyspersyjnych pyłów, osiadłych uprzednio na liściach lub igłach drzew. Wymienione czynniki odwzorowuje pojęcie katatometryczne stężenie pierwiastka.

Skrupulatna analiza wyników zawartości metali w powietrzu w kompleksach leśnych położonych w różnych odległościach od emisji przemysłowej oraz o różnym stopniu zanieczyszczenia na terenie Beskidu Śląskiego, Beskidu Żywieckiego i Beskidu Małego, w okolicach Knuruwa, Kochłowic, Piekar, Tarnowskich Gór na Śląsku pozwoliła ustalić, że pojęcie to wyrazić można wzorem:

**JERZY KWAPULIŃSKI, JOLANTA KOWOL  
DANUTA WIECHUŁA**

Katedra i Zakład Toksykologii, Wydział  
Farmaceutyczny, Śląska Akademia Medyczna  
ul. Jagiellońska 4  
41-200 Sosnowiec

$$C_k = \frac{C \cdot v^{\frac{1}{3}}}{H}$$

w którym:

- $C$  – stężenie pierwiastka w pyłe zawieszonym,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  
 $v$  – prędkość wiatru  
 $H$  – wilgotność względna

lub

$$C_k = C \cdot \sqrt[3]{t_k}$$

w którym:

- $t_k$  – temperatura katatometryczna

Konieczność modyfikacji dotychczasowych informacji o chemii powietrza leśnego determinują spostrzeżenia z długoletnich badań na obszarze lasów Górnego Śląska a także Beskidów. Otóż okazało się, że zawartość wybranych metali w pyłe zmienia się w funkcji wysokości, w powiązaniu z porą dnia (tab. 1). Zawartość ołowiu, miedzi, cynku, żelaza, manganu w okresie wzmózonej konwekcji powietrza zmienia się w szerokich granicach, tylko kadm obecny był w powietrzu w podobnych ilościach –  $0,006 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Dla potrzeb dyskusji, celem uniezależnienia się od intensywnych zmian środowiskowego poziomu szeregu metali, szczegółowe badania ilustrujące zmienność występowania metali w ciągu doby przeprowadzono w kompleksie leśnym Ustroń, osobno w okresie suchym i deszczowym. Przeniesienie badań na teren takiego kompleksu leśnego miało, przynajmniej w pewnej mierze, gwarantować analizę występowania metali dla warunków turbulencyjnych,

**Tabela 1.**

Zawartość wybranych metali w pyłe zawieszonym w powietrzu w funkcji wysokości i różnych pór dnia w Knurów, 1999 r., [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].

Concentrations of the selected metals in the dust suspended in the air at different heights above ground level, in different daytime hours in Knurów, 1999, [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].

Wysokość [m]	Godzina poboru	Pb	Cd	Mn	Ni	Cu	Zn	Fe
0	10 <sup>30</sup> -11 <sup>00</sup>	0,25	0,006	0,27	0,17	1,54	0,74	2,95
	11 <sup>15</sup> -11 <sup>45</sup>	0,19	0,007	0,13	0,12	1,01	0,47	1,90
	12 <sup>00</sup> -12 <sup>30</sup>	0,08	0,004	0,03	0,05	0,66	0,30	1,15
	13 <sup>15</sup> -13 <sup>45</sup>	0,17	0,002	0,02	0,13	0,74	0,52	1,79
1,5	13 <sup>45</sup> -14 <sup>15</sup>	0,14	0,004	0,07	0,12	1,03	0,38	1,46
	14 <sup>15</sup> -14 <sup>45</sup>	0,18	0,008	0,19	0,33	0,88	0,64	2,66
2,5	15 <sup>00</sup> -15 <sup>30</sup>	0,17	0,009	0,17	0,10	0,80	0,53	2,02
	15 <sup>30</sup> -16 <sup>45</sup>	0,19	0,008	0,16	0,19	0,60	0,57	2,16
5	16 <sup>15</sup> -16 <sup>45</sup>	0,09	0,008	0,05	0,15	0,46	0,36	1,31
	16 <sup>45</sup> -17 <sup>15</sup>	0,12	0,008	0,03	0,15	0,38	0,38	1,35
Średnia arytmetyczna		0,16	0,006	0,11	0,15	0,81	0,49	1,87

kreowanych przez las, a nie jednocześnie przez las uprzednio zanieczyszczony przez lokalną emisję przemysłową. Zagadnienie to ilustrują szczegółowe dane serii pomiarowych, obejmujących pomiary cogodzinne od 6<sup>00</sup> rano do 24<sup>00</sup> w nocy (tab. 2). Okres deszczowy ilustrują dane zawarte w tab. 3.

W sąsiedztwie ustronkich lasów nie można wyróżnić jakichkolwiek charakterystycznych trendów zmian zawartości metali w powietrzu. Spostrzeżono, że na ogół poszczególne stężenia toksycznych metali oscylują wokół podobnych zakresów i nawiązują do charakterystycznych zmian tła środowiskowego. Dopiero obecność wiatru o prędkości powyżej 5 m/s powoduje

**Tabela 2.**

Występowanie wybranych metali w pyłe zawieszonym w powietrzu w cyklu dobowym w okresie bezdeszczowym w Ustroniu, 1998 r., [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].

Diurnal concentrations of the selected metals in the dust suspended in the air during the rain period in Ustron, 1999, [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].

Data poboru	Godzina poboru	Pb	Cd	Mn	Ni	Cu	Zn	Fe
10.08	6-7	0,221	0,043	0,018	0,089	0,058	0,228	1,147
	8-9	0,304	0,033	0,035	0,089	0,084	0,349	1,646
	10-11	0,107	0,023	0,018	0,133	0,058	0,044	0,829
	12-13	0,221	0,023	0,000	0,045	0,011	0,157	0,421
	14-15	0,451	0,043	0,035	0,089	0,058	0,278	0,647
	16-17	0,291	0,043	0,088	0,089	0,011	0,739	1,419
	19-20	0,310	0,000	2,429	4,164	0,084	4,332	1,601
	21-22	0,020	0,000	0,018	0,045	0,084	0,321	3,961
	23-24	0,272	0,013	0,000	0,020	0,032	0,278	0,511
11.08	1-2	0,280	0,000	0,053	0,177	0,058	0,313	0,239
	3-4	0,043	0,000	0,176	0,177	0,084	1,343	0,121
	5-6	0,451	0,053	0,000	0,045	0,084	0,207	2,282
	7-8	0,221	0,053	0,018	0,000	0,032	0,299	0,829
	8-9	0,064	0,023	0,053	0,177	0,084	0,562	0,421
	10-11	0,185	0,013	0,053	0,133	0,058	0,278	0,511
	12-13	0,185	0,023	0,018	0,045	0,058	2,408	3,598
	14-15	0,107	0,014	0,000	0,000	0,032	0,221	0,375
	16-17	0,221	0,000	0,088	0,133	0,002	0,278	2,509
18-19	0,183	0,043	0,035	0,089	0,058	0,207	9,998	
17.08	6-7	0,339	0,000	0,440	1,595	0,521	0,597	2,418
	8-9	0,221	0,000	0,176	0,177	0,084	0,384	2,509
	10-11	0,095	0,043	0,176	0,045	0,058	0,136	1,964
	11-12	0,243	0,195	0,123	0,222	0,058	0,228	0,784
	13-14	0,056	0,023	0,053	0,000	0,000	0,907	0,486
	15-16	0,197	0,000	0,053	0,089	0,058	0,633	9,227
	17-18	0,332	0,013	0,123	0,177	0,058	0,633	1,283
	19-20	0,141	0,023	0,018	0,089	0,058	0,136	0,330
	20-21	0,312	0,033	0,018	0,089	0,058	0,470	1,964
	22-23	0,000	0,025	0,000	0,000	0,084	0,235	1,918
	21.08	11-12	0,680	0,013	0,056	0,089	0,033	0,278
12-13	0,680	0,043	0,074	0,133	0,069	0,370	2,690	
13-14	0,451	0,000	0,074	0,045	0,010	1,088	2,145	
14-15	0,451	0,000	0,056	0,266	0,042	0,512	3,280	
15-16	0,451	0,013	0,189	0,399	0,069	0,633	2,645	

Tabela 3.

Występowanie wybranych metali w pyłe zawieszonym w powietrzu w cyklu dobowym w okresie deszczowym w Ustroniu, 1999 r., [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].

Diurnal concentrations of the selected metals in the dust suspended in the air during the rainless period in Ustroń, 1999, [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]

Data poboru	Godzina poboru	Pb	Cd	Mn	Ni	Cu	Zn	Fe
18.07	6-7	0,107	0,000	1,176	2,392	0,054	1,343	2,327
	8-9	0,000	0,000	0,373	0,133	0,000	0,508	0,115
	10-11	0,000	0,000	0,018	0,000	0,042	0,257	0,511
	12-13	0,000	0,000	0,056	0,133	0,132	0,079	0,469
	14-15	0,002	0,000	0,113	0,177	0,160	0,370	2,009
	16-17	0,000	0,021	0,010	0,620	0,052	0,000	0,000
	18-19	0,221	0,000	0,074	0,177	0,017	0,191	0,271
	20-21	0,184	0,013	0,053	0,133	0,111	0,207	0,284
	22-23	0,287	0,000	0,106	0,045	0,032	4,218	0,103
19.07	24-1	0,142	0,043	0,141	0,266	0,058	0,718	0,510
	2-3	0,222	0,013	0,194	0,310	0,032	0,562	0,240
	4-5	0,221	0,025	0,340	0,576	0,002	1,130	0,240
	6-7	0,221	0,000	0,074	0,089	0,042	1,932	0,784
	8-9	0,020	0,000	0,018	0,089	0,419	0,095	0,271
	10-11	0,107	0,000	0,189	0,399	0,674	0,437	0,544
	12-13	0,107	0,000	0,074	0,000	0,762	0,512	0,421
	14-15	0,064	0,000	8,941	14,573	0,270	6,525	10,815
	16-17	0,153	0,000	0,880	1,595	0,084	2,230	1,510
	18-19	0,000	0,000	0,053	0,000	0,084	0,086	0,240
20-21	0,110	0,000	0,018	0,000	0,084	3,188	0,647	
04.08	24-1	0,251	0,033	0,123	0,177	0,521	7,590	1,419
	2-3	0,128	0,000	0,088	0,089	0,058	0,157	0,000
	4-5	0,020	0,002	0,056	0,000	0,002	0,044	0,000
	6-7	0,221	0,002	0,018	0,045	0,002	0,186	0,012
	8-9	0,107	0,000	0,037	0,133	0,00	0,206	0,000
	10-11	0,020	0,000	0,056	0,133	0,002	0,301	0,078
	12-13	0,020	0,002	0,112	0,266	0,002	0,206	0,078
	14-15	0,043	0,002	0,405	0,842	0,455	0,597	0,693
	18-19	1,023	0,000	0,074	0,177	0,176	0,103	0,078

przemieszczanie się osiadłych pyłów do przyziemnych warstw powietrza. Na tym polega specyfika zjawiska wtórnego pylenia lasu, że niezależnie od pory dnia, w pewnych przedziałach czasowych mogą pojawić się w powietrzu zdecydowanie większe ilości danego pierwiastka, w obecności porywistych wiatrów. Przykładowo, o ile w ciągu dnia i w ciągu nocy (10-11 sierpnia) zawartość manganu przeciętnie wahała się w granicach od 0,018 do 0,053  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  to pomiędzy 19<sup>00</sup>-20<sup>00</sup> obserwowano wzrost zawartości manganu aż do poziomu 2,429  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Podobny sposób zachowania dotyczył niklu, cynku i żelaza. Zawartość niklu oscylowała pomiędzy 0,04-0,177  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , jednakże o tej samej porze dnia (19<sup>00</sup>-20<sup>00</sup>) wzrosła do 4,164  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cynk największe stężenie, tj. 4,332  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , również osiągnął w czasie między godziną 19<sup>00</sup>-20<sup>00</sup> (tab. 2). Niejednokrotne zmiany występowania poszczególnych metali w powietrzu tłumaczy się zmianą składu dyspersyjnego pyłu, który zawiera zróżnicowane ilości poszczególnych metali.

Podczas wietrznej pogody przypadającej na okres deszczowy (tab. 3) obserwowano dwa równoległe sposoby występowania metali w powietrzu:

- w pierwszym przypadku na ogół obserwowano mniejsze ilości poszczególnych metali w powietrzu w porównaniu z okresem bezdeszczowy.
- w drugim przypadku można znaleźć przykłady skokowych wzrostów zawartości niektórych metali, co tłumaczy się rolą wiatrów o większej prędkości w tworzeniu aerozoli składających się z kropeł wody deszczu i wcześniejszego depozytu pyłu na liściach.

Przykładem drugiego sposobu objawiania się skutków zjawiska wtórnego pylenia jest gwałtowny wzrost zawartości ołowiu ( $1,023 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) o godzinie  $18^{00}$ - $19^{00}$  (04.08). W tym dniu ilustracją mogą być również wyniki stężenia miedzi: o godzinie  $1^{00}$  -  $0,521 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i o godzinie  $14^{00}$  -  $0,455 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Badania zmian zawartości metali w funkcji wysokości, jakkolwiek są organizacyjnie bardzo utrudnione ze względu na konieczność zachowania kryterium jednoczesnego poboru prób powietrza na różnych wysokościach nad podłożem oraz spełnienia kryterium podobieństwa stanu pogody, to dają jednak ciekawe wnioski. Porównanie wyników wskazuje na dostrzeżone charakterystyczne kierunki zmian zawartości metali w funkcji wysokości, polegające na tym, że na ogół stężenia metali w warstwie powietrza przy samym podłożu są najniższe, to jednak w ogólnym obrazie tendencji można dostrzec przypadki nieco innej fluktuacji zmian występowania wybranych metali (tab. 4).

W głębi lasu obserwuje się wyraźnie obecność większych ilości toksycznych metali w strefie koronowej lasu. Ten sposób zmian potwierdzają także niepublikowane jeszcze wyniki obserwacji zachowania się talu, charakterystyczne dla emisji Zakładu Przetwórstwa Rud Cynkowo Ołowiowych w lasach Miasteczka Śląskiego [Rochel 2001].

Tabela 4.

Zawartość wybranych metali w powietrzu w pyłe zawieszonym w funkcji wysokości w kompleksie leśnym Knurów, 1990 r., [ $\mu\text{g}/\text{g}$ ].  
Concentrations of the selected metals in the dust suspended in the air at different heights above ground level in the forest complex in Knurów, 1999, [ $\mu\text{g}/\text{g}$ ]

Wysokość [m]	Pb	Cd	Mn	Ni	Cu	Zn	Fe
0,0	940,0-3932,7	40,0-144,2	302,5-3020,4	525,0-2548,0	7207,5-21298,1	3354,0-9913,5	12680,0-40173,1
	2547,7	83,5	1589,1	1653,6	15239,9	7179,7	28638,1
1,5	1904,5-12366,7	57,1-133,3	166,7-1952,4	1857,1-9333,3	9228,6-54433,3	5892,9-38233,3	22957,1-131266,7
	8638,7	90,5	1092,1	4865,1	26599,20	16937,3	60680,9
2,5	3410,7-13866,7	169,6-566,7	3437,5-11533,3	2008,9-13666,7	15767,9-44333,3	10446,4-41566,7	39660,7-158466,7
	8638,7	368,2	7485,4	7837,8	30050,6	26006,6	99063,7
5,0	2076,9-6333,3	138,5-600,0	500,0-3300,0	2461,5-11000,0	6461,5-33566,7	6492,3-26333,3	22892,3-96066,7
	4205,1	369,2	1900,0	6730,8	20014,1	16412,8	59479,5
Min	940,1	40,0	166,7	525,0	7207,5	3345,0	12680,0
Max	13866,7	600,0	11533,3	13666,7	54433,3	41566,7	158466,7
Średnia arytmetyczna	5220,5	227,8	3116,6	5271,8	22975,9	16634,1	61965,6

To spostrzeżenie jest kolejną właściwością odróżniającą przebieg zjawiska wtórnego pylenia wewnątrz lasu od zmian obserwowanych dla emitatorów liniowych (drogi komunikacyjne). Graniczna wysokość warstwy zjawiska wtórnego pylenia w warunkach emitatora liniowego sięga około 5 m [Kwapuliński i wsp., 1991; Pastuszka i Kwapuliński 1988]. W sumie dla lasu praktycznie nie można wyznaczyć podobnej jak dla emitatorów liniowych warstwy granicznej wpływów wtórnej emisji pyłów. Bezpośrednio w warstwie nad koroną lasu jak i w obrębie warstwy koronowej stężenie metali jest wypadkową wpływu lokalnej emisji metali nad obszarem lasu. Ogólnie jednak w profilu wysokości drzew do 15 m zaznaczają się dwa maksima stężeń metali. Pierwszy ma miejsce ok.  $10^{30}$  –  $11^{45}$ , a drugi trwa dłużej i przypada na porę dnia między  $14^{15}$  –  $16^{45}$ . Przeciętna zawartość metali w kompleksach leśnych pozostających pod wpływem emisji przemysłowej wynosi:  $0,16 \mu\text{gPb}/\text{m}^3$ ,  $0,006 \mu\text{gCd}/\text{m}^3$ ,  $0,11 \mu\text{gMn}/\text{m}^3$ ,  $0,15 \mu\text{gNi}/\text{m}^3$ ,  $0,81 \mu\text{gCu}/\text{m}^3$ ,  $0,49 \mu\text{gZn}/\text{m}^3$  i  $1,87 \mu\text{gFe}/\text{m}^3$  (tab. 1).

Tabela 5.

Zawartość wybranych metali w pyłe zawieszonym z ukierunkowanej emisji, na skraju lasu w Kochłowicach, [ $\mu\text{g}/\text{g}/\text{godz.}$ ].

Concentrations of the selected metals in the dust suspended in the air from the directed source of emissions at the forest edge in Kochłowice [ $\mu\text{g}/\text{g}/\text{hour}$ ]

Data poboru	Pb	Cd	Mn	Ni	Cu	Zn	Fe
29.06-30.06	15,73	1,80	6,74	15,73	13,48	97,75	340,45
30.06-02.07	12,77	2,13	12,77	19,15	12,77	59,57	236,17
02.07-06.07	6,87	0,76	9,92	5,34	5,34	74,05	308,40
06.07-10.07	1,92	0,32	2,88	2,56	1,60	21,73	41,53
10.07-14.07	3,21	0,23	8,26	2,29	2,29	16,97	174,31
14.07-21.07	2,01	0,47	3,36	2,01	1,34	18,79	77,85
21.07-24.07	7,48	0,93	13,08	7,48	6,54	91,59	150,47
24.07-28.07	4,78	0,24	7,18	2,87	2,39	25,50	138,76
28.07-02.08	3,76	0,30	5,26	4,51	2,26	38,35	49,62
02.08-10.08	2,21	0,37	2,94	1,47	2,21	16,91	61,76
10.08-17.08	3,90	0,39	3,90	2,60	3,25	23,38	105,19
17.08-21.08	4,23	0,35	2,82	3,52	7,75	20,42	47,89
21.08-25.08	3,61	0,30	3,61	3,01	4,22	18,07	79,52
25.08-01.09	2,99	0,22	3,73	2,24	1,49	17,91	60,45
01.09-08.09	1,69	0,17	4,80	0,85	0,85	23,28	146,89
08.09-14.09	3,36	0,23	5,37	2,68	2,68	—	107,38
14.09-19.09	2,49	0,33	6,22	2,07	2,07	16,60	93,36
19.09-23.09	2,64	0,18	4,93	0,88	1,76	11,97	110,92
23.09-30.09	3,45	0,41	4,83	2,07	2,76	18,62	112,41
30.09-06.10	1,03	0,10	0,69	1,03	1,38	7,24	16,90
06.10-14.10	3,66	0,37	3,66	3,66	3,66	24,39	65,85
14.10-19.10	4,76	0,47	7,10	2,96	3,55	21,89	144,38
19.10-27.10	2,44	0,37	2,44	2,44	2,44	12,20	34,15
27.10-06.11	1,86	0,19	2,79	0,93	1,40	6,98	23,26
06.11-16.11	2,52	0,25	6,29	1,89	1,89	13,84	72,33
Minimum	1,03	0,10	0,69	0,85	0,85	6,98	16,90
Maksimum	15,73	2,13	13,08	19,15	13,48	97,75	340,45
Średnia arytmetyczna	4,21	0,48	5,42	3,85	3,65	29,08	112,01

Ciekawym zagadnieniem dotyczącym chemii powietrza leśnego jest migracja metali między drzewami w profilu wysokości drzew. Źródłem zanieczyszczenia w tym przypadku są depozyty metali na liściach, które są uruchamiane w warunkach wietrznej pogody. Przeciętne prędkości migracji metali są różne i determinowane udziałem danego pierwiastka w danej frakcji pyłu podlegającemu zjawisku rozprzestrzeniania (tab. 5).

Jeśli jako kryterium uszeregowania przyjmiemy przeciętne prędkości migracji danego metalu wyrażone w  $\mu\text{g/g}/\text{godz.}$ , to kolejność zdolności ich przemieszczania wraz z pyłem jest następująca: 0,48 – Cd, 3,65 – Cu, 3,85 – Ni, 4,21 – Pb, 5,42 – Mn, 29,1 – Zn, 112,0 – Fe. Istotny udział w stymulowaniu prędkości migracji pierwiastka w powietrzu leśnym posiada prędkość wiatru. Zakresy zmian odpowiadające prędkości 0-1,0 m/s oraz prędkości 5-10 m/s są następujące [ $\mu\text{g/g}/\text{godz.}$ ]: dla Pb 1,03 i 15,73, dla Cd 0,10 i 2,13, dla Mn 0,69 i 13,08, dla Ni 0,85 i 19,15, dla Cu 0,85 i 13,48, dla Zn 6,98 i 97,75, dla Fe 16,90 i 340,45. Dla podkreślenia roli prędkości wiatru przytoczono dane dla okresu bardzo wietrznej pogody ( $v = 10$  m/s) w dniach od 29 czerwca do 2 lipca wartości prędkości migracji są zbliżone do wartości maksymalnych (tab. 5).

Zwrócić należy uwagę na grupę pierwiastków o przeciętnej prędkości migracji ok. 4-5  $\mu\text{g/g}/\text{godz.}$  Oznacza to, że Pb, Mn, Ni, Cu będą się utrzymywały w powietrzu dłużej w porównaniu z Fe i Zn. Najbardziej kancerogeny spośród wymienionych – kadm przemieszcza się w powietrzu najwolniej – 0,48  $\mu\text{g/g}/\text{godz.}$  Oznacza to, że jego sedymentacja do podłoża jest znikoma i proces samooczyszczania się powietrza z obecnych określonych ilości kadmu jest bardzo powolny. Umożliwia to w dłuższym okresie wchłanianie drogą oddechową tego pierwiastka.

## Literatura

- Kwapuliński J., Mirosławski J., Cyganek M.: Ocena toksyczności zjawiska wtórnego pylenia w sąsiedztwie ulicy. *Ochrona Powietrza* 1991 nr 1 6-9.
- Pastuszka J., Kwapuliński J.: Wpływ emisji pyłu z dróg na zmianę niektórych parametrów środowiska. *Ochrona Powietrza* 1988 nr 2 29-32.
- Rochel R.: Dynamika zmian zawartości talu w otoczeniu Huty „Miasteczko Śląskie”. Praca doktorska. ŚAM. 2001.

## SUMMARY

### Ecotoxicology of forest air

Forests, especially in industrial regions, are affected by permanent emissions causing significant raise in the concentration levels of heavy metals. The concentrations of heavy metals in the forest air vary especially under windy weather conditions. Winds blowing with the speed above 5m/s during rainless weather cause movement of dusts deposited on foliage to the near-ground air layers. Windy weather during rainy periods also increases concentrations of heavy metals in the air, which is connected, with the formation of aerosols composed of raindrops and dust deposits on foliage. Lower concentrations of metals are recorded in the near-ground air layer. In the interior of the forest the quantity of toxic metals are greater in the crown layer and the delimitation of the threshold layer of the impact of dust emissions for forests is not possible. The studies allowed to state that the iron is the metal of the highest migration speed. The translocation of cadmium is slowest, and lead, manganese, nickel and copper reveal the medium migration speed.