

OCENA ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA STACJI BAZOWYCH ZMŚP METALAMI CIĘŻKIMI I DWUTLENKIEM SIARKI W LATACH 2001–2009 Z WYKORZYSTANIEM POROSTU *HYPOGYMNINGIA PHYSODES*

Katarzyna Sawicka-Kapusta, Marta Zakrzewska,
Gabriela Bydłoń, Joanna Hajduk

Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłoń G., Hajduk J., 2010: Ocena zanieczyszczenia powietrza Stacji Bazowych ZMŚP metalami ciężkimi i dwutlenkiem siarki w latach 2001–2009 z wykorzystaniem porostu *Hypogymnia Physodes* (*Estimation of air pollution in the base stations of the integrated nature monitoring system by heavy metals and sulphur dioxide in 2001–2009 using lichen Hypogymnia physodes*), *Monitoring Środowiska Przyrodniczego*, Vol. 11, s. 63-71, Kieleckie Towarzystwo Naukowe, Kielce.

Zarys treści: Zanieczyszczenie powietrza Stacji Bazowych ZMŚP metalami ciężkimi i SO₂ ocenia się od 2001 roku, stosując jako biowskaźnik porost *Hypogymnia physodes*. W lipcu 2009 roku, na terenie siedmiu Stacji Bazowych (Biała Góra, Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry, Pożary, Św. Krzyż i Szymbark) zebrano próby tego porostu, występujące w naturalnym środowisku, na stałych powierzchniach monitoringowych. W plechach *H. physodes* analizowano stężenie Cd, Pb, Cu, Zn, Fe, Ni i Cr, stosując metodę AAS, a poziom S, stosując metodę turbidymetryczną. Na terenie Stacji Bazowych ZMŚP wykazano zróżnicowane zanieczyszczenia powietrza zarówno metalami ciężkimi, jak i dwutlenkiem siarki. Najwyższe, podobne, poziomy kadmu wykazano na Stacjach Św. Krzyż, Szymbark i Pożary, najniższy w Białej Górze. Najwyższe koncentracje ołowiu stwierdzono na południu Polski na Stacji Św. Krzyż i Szymbark, natomiast najniższe w Storkowie i na Wigrach. Zanieczyszczenie miedzią było podobne na wszystkich Stacjach Bazowych ZMŚP z wyjątkiem Storkowa, gdzie stwierdzono wartość najwyższą. Niskie koncentracje cynku stwierdzono w północnej części kraju, najniższe w Białej Górze i w Puszczy Boreckiej. Generalnie na północy kraju stwierdzono niższe koncentracje metali, a na południu wyższe. Najniższe zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem siarki wykazano tylko na dwóch, położonych na północy, Stacjach – Puszczy Boreckiej i Wigrach. Na wszystkich pozostałych zanieczyszczenie jest znacznie wyższe. W 2009 roku zanieczyszczenie powietrza Stacji Bazowych ZMŚP, w porównaniu do 2001 roku, zmniejszyło się, szczególnie ołowiem, żelazem, a do 2005 roku – chromem. Istotnie zmniejszyło się także zanieczyszczenie wszystkich sześciu Stacji Bazowych dwutlenkiem siarki. Puszcza Borecka i Wigry mogą być, na podstawie danych z 2009 roku, zaliczone do stacji czystych. Pomimo obniżenia się koncentracji siarki w porostach nie można natomiast zaliczyć do terenów czystych Stacji Bazowej w Storkowie. Nadal pozostają zanieczyszczone dwutlenkiem siarki Stacje Bazowe: Pożary, Św. Krzyż i Szymbark.

Słowa kluczowe: Stacje Bazowe ZMŚP, zanieczyszczenie powietrza, metale ciężkie, SO₂, *Hypogymnia physodes*.
Key words: Base Stations, air pollution, heavy metals, SO₂, *Hypogymnia physodes*.

Katarzyna Sawicka-Kapusta, Marta Zakrzewska, Gabriela Bydłoń, Joanna Hajduk, Instytut Nauk o Środowisku UJ, Gronostajowa 7, 30-387 Kraków, e-mail: katarzyna.sawicka-kapusta@uj.edu.pl

1. Wprowadzenie

Bioindykacja, od angielskiego słowa *bioindication*, to biologiczna metoda oceny stanu środowiska – zarówno jego odkształcenia, zanieczyszczenia czy degradacji, jak również zachodzących w nim pozytywnych zmian. Bioindykatorami mogą być organizmy roślinne, zwierzęce, a także porosty, symbiotyczny związek grzyba i glonu. Od wielu lat porosty są stosowane w biomonitoringu jako bardzo dobre wskaźniki zanieczyszczenia powietrza dwutlenkiem siarki, metalami ciężkimi, związkami organicznymi, np. wielopierścieniowymi węglowodarami aromatycznymi. Porosty są uniwersalnymi biowskaźnikami, ponieważ mogą być równocześnie akumulatorami i indykatorami, tzn. mogą gromadzić w swoich tkankach zanieczyszczenia i/lub wskazywać na ich obecność w powietrzu uszkodzeniami plechy. Porosty można zbierać z naturalnego środowiska lub transplantować z terenów czystych do zanieczyszczonych (De Wit 1983; Burton 1986; Puckett 1988; Conti, Cecchetti 2001; Kranner i wsp. 2002; Nash 2008).

Od 2001 roku na Stacjach Bazowych ZMŚP oceniane jest zanieczyszczenie powietrza metalami ciężkimi i dwutlenkiem siarki z zastosowaniem metody bioindykacji. Jako biowskaźnik stosuje się, występujący powszechnie na terenie całej Polski, epifityczny porost *Hypogymnia physodes* (Sawicka-Kapusta i wsp. 2005a; 2006; 2007a). Co dwa lata z terenu Stacji Bazowych, na stanowiskach wybranych w 2001 roku, zbierane są próby porostu *H. physodes*. Próby zebrano dotychczas czterokrotnie: w 2001, 2003, 2005 i 2007 roku (Sawicka-Kapusta, Zakrzewska 2003, Sawicka-Kapusta i wsp. 2005b, Sawicka-Kapusta i wsp. 2007b, Sawicka-Kapusta i wsp. 2008). Porównując koncentracje metali ciężkich i siarki w plechach porostów w kolejnych, dwuletnich cyklach, można prześledzić trendy zmieniającego się zanieczyszczenia powietrza.

Celem niniejszej pracy była ocena zanieczyszczenia powietrza Stacji Bazowych ZMŚP w 2009 roku, a także porównanie zmian zanieczyszczenia na terenach tych stacji w latach 2001–2009 dla kadmu, ołowiu, miedzi, cynku, żelaza i dwutlenku siarki, a w latach 2005–2009 dla chromu i niklu.

2. Metody

W lipcu 2009 roku z obszaru siedmiu Stacji Bazowych zebrano, z naturalnego środowiska, 62 próby porostu *Hypogymnia physodes*. Na terenie Stacji Biała

Góra 5 prób, Storkowo 11, Puszcza Borecka 16, Wigry 8, Pożary 10, Św. Krzyż 7 i Szymbark 5. Dodatkowo z trzech stacji zebrano 21 prób porostów na obrzeżach zlewni (Puszcza Borecka 4, Wigry 12 i Pożary 5). W sumie ze wszystkich Stacji Bazowych zebrano i zanalizowano 83 próby.

Ocenę zanieczyszczenia powietrza Stacji Bazowych wykonano na podstawie koncentracji metali ciężkich (Cd, Pb, Cu, Zn, Fe, Ni, Cr) i siarki w plechach porostu *Hypogymnia physodes*, zebranych z naturalnego środowiska. Metale ciężkie, po uprzedniej mineralizacji prób porostów w mieszaninie spektralnie czystych stężonych kwasów $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ w stosunku 4:1 (Pilegaard 1979, Sawicka-Kapusta, Rakowska 1993), oznaczane były metodą AAS. Dla kadmu, ołowiu, miedzi, niklu i chromu stosowano spektrofotometr Perkin Elmer Analyst 800 z kuetwą grafitową, a dla cynku i żelaza spektrofotometr Perkin Elmer Analyst 200 z płomieniem gazowym acetylen-powietrze. Analizowano również materiał referencyjny CRM 482. Odzysk wynosił od 94,9 do 110%. Siarkę ogólną oznaczono metodą turbidymetryczną Buttersa-Chenry'ego (Nowosielski 1968, Białońska, Dayan 2005). Wszystkie wyniki podano w $\mu\text{g g}^{-1}$ suchej masy.

3. Wyniki

Najwyższe, nieróżniące się statystycznie między sobą, średnie koncentracje kadmu wykazano w plechach *Hypogymnia physodes* zebranych z terenu Stacji Bazowych Św. Krzyż, Pożary i Szymbark (odpowiednio 0,88; 0,84 i 0,81 $\mu\text{g g}^{-1}$). Najniższe stężenie (0,40 $\mu\text{g g}^{-1}$), stwierdzone w porostach ze Stacji Biała Góra, różniło się statystycznie tylko od wartości najwyższej, wykazanej w próbach zebranych na Stacji Św. Krzyż. Drugą z kolei Stacją o stosunkowo niskiej (0,53 $\mu\text{g g}^{-1}$) zawartości kadmu w porostach było Storkowo. Wartość ta nie różniła się statystycznie ani od stwierdzonej w Białej Górze, ani od wykazanych na pozostałych Stacjach Bazowych. Poziom kadmu w porostach zebranych na terenie Stacji Wigry i Puszcza Borecka był praktycznie identyczny (tab. 1). W przypadku ołowiu, najwyższe jego ilości wykazano w plechach *H. physodes* zebranych ze Stacji Św. Krzyż (19,92 $\mu\text{g g}^{-1}$) i Szymbark (16,82 $\mu\text{g g}^{-1}$). Były one istotnie wyższe w stosunku do zawartości najniższych, stwierdzonych w porostach ze Stacji Wigry i Storkowo (5,07 i 6,22 $\mu\text{g g}^{-1}$). Stężenia tego metalu wykazane w próbach ze Stacji Pożary, Biała Góra i Puszcza Borecka miały podobne wartości i były prawie dwukrotnie wyższe od stwierdzonych na Stacji Bazowej Wigry (tab. 1).

Tab. 1. Średnie koncentracje (\pm SE) i zakres ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m.) kadmu, ołowiu i siarki w plechach porostu *H. physodes* zebranych na terenach Stacji Bazowych ZMŚP w 2009 roku

Tab. 1. Average concentrations (\pm SE) and ranges ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ d.w.) of cadmium, lead and sulphur in *H. physodes* from Base Stations of the Integrated Nature Monitoring System in 2009

Stacja Bazowa Base Station		Stężenie/Concentration ($\mu\text{g g}^{-1}$)		
		Cd	Pb	S
Biała Góra	N = 5	0,40 ¹ \pm 0,05 0,23-0,51	9,90 ^{1,2} \pm 2,40 5,87-19,12	2477 N = 2 1959-2996
P. Borecka	N = 16	0,70 ^{1,2} \pm 0,06 0,27-1,07	10,20 ^{1,2} \pm 1,74 3,66-28,18	834 ¹ \pm 66 417-1336
Wigry	N = 8	0,69 ^{1,2} \pm 0,09 0,47-1,15	5,07 ¹ \pm 0,59 3,23-8,43	988 ^{1,2} \pm 162 391-1758
Storkowo	N = 11	0,53 ^{1,2} \pm 0,05 0,31-0,85	6,22 ¹ \pm 0,91 2,25-10,37	1162 ^{1,2} \pm 113 458-1752
Požary	N = 10	0,84 ^{1,2} \pm 0,16 0,42-1,96	9,13 ^{1,2} \pm 0,68 6,78-13,16	1424 ² \pm 169 851-2313
Św. Krzyż	N = 7	0,88 ² \pm 0,08 0,54-1,19	19,92 ² \pm 3,82 10,59-37,49	1412 ^{1,2} \pm 223 716-2419
Szymbark	N = 5	0,81 ^{1,2} \pm 0,13 0,45-1,20	16,82 ² \pm 2,19 9,51-22,59	1487 ^{1,2} \pm 204 699-1840

1, 2 – różnymi cyframi oznaczono statystycznie istotne różnice w stężeniach pierwiastków między stacjami, $p < 0,05$

1, 2 – different numbers indicate statistical differences in levels of elements between Stations, $p < 0,05$

Najwyższą koncentrację miedzi stwierdzono w porostach ze Stacji Storkowo ($7,1 \mu\text{g g}^{-1}$), różniła się ona statystycznie istotnie tylko od koncentracji wykazanej dla prób zebranych w Puszczy Boreckiej. W pozostałych Stacjach stężenie miedzi w plechach porostów wahało się od $5,4 \mu\text{g g}^{-1}$ na Św. Krzyżu do $6,7 \mu\text{g g}^{-1}$ w Szymbarku. Wartości te nie różniły się statystycznie między sobą (tab. 2). Najwyższe stężenie cynku odnotowano w plechach ze Stacji Św. Krzyż i Pożary (odpowiednio 121 i $116 \mu\text{g g}^{-1}$). Wartości te były istotnie wyższe od stwierdzonych na Stacjach Biała Góra ($56 \mu\text{g g}^{-1}$) i Puszcza Borecka ($61 \mu\text{g g}^{-1}$) (tab. 2). Najwyższe stężenie żelaza stwierdzono w porostach ze Stacji Szymbark ($675 \mu\text{g g}^{-1}$) i było ono istotnie wyższe od wartości najniższych wykazanych dla Stacji Storkowo ($292 \mu\text{g g}^{-1}$) i Wigry ($338 \mu\text{g g}^{-1}$). Poziom żelaza w pozostałych Stacjach Bazowych wahał się w zakresie od $361 \mu\text{g g}^{-1}$ na Stacji Puszcza Borecka do $406 \mu\text{g g}^{-1}$ na Stacji Pożary. Wartości te nie różniły się statystycznie między sobą (tab. 2). Średnie koncentracje chromu w plechach porostów mieściły się w zakresie od $0,73 \mu\text{g g}^{-1}$, w próbach zebranych ze Stacji Storkowo, do $2,03 \mu\text{g g}^{-1}$, w porostach ze Stacji Szymbark, i te wartości różniły się istotnie między sobą. Na

Stacjach Św. Krzyż i Pożary stężenia tego metalu były identyczne i wynosiły $1,17 \mu\text{g g}^{-1}$ (tab. 3). Średnie stężenia niklu mieściły się w zakresie od $1,04 \mu\text{g g}^{-1}$, w porostach zebranych na Stacji Wigry, do $2,54 \mu\text{g g}^{-1}$, w próbach ze Stacji Bazowej Biała Góra. Nie wykazano statystycznie istotnych różnic w koncentracji niklu w porostach zebranych ze wszystkich Stacji Bazowych (tab. 3). Średnie koncentracje siarki w plechach *Hypogymnia physodes* były najniższe na Stacji Puszcza Borecka i Wigry (odpowiednio 834 i $988 \mu\text{g g}^{-1}$). Najwyższą zawartość siarki stwierdzono w dwóch próbach z Białej Góry ($2477 \mu\text{g g}^{-1}$). Na pozostałych Stacjach poziomy siarki mieściły się w zakresie od $1162 \mu\text{g g}^{-1}$, w próbach ze Storkowa, do $1487 \mu\text{g g}^{-1}$, w porostach ze Stacji Szymbark (tab. 1).

W trzech Stacjach Bazowych: Puszcza Borecka, Wigry i Pożary porosty zebrano zarówno z terenu zlewni, jak i z jej obrzeży. Na Stacji Puszcza Borecka wyższe stężenia

wszystkich pierwiastków z wyjątkiem kadmu stwierdzono w porostach zebranych poza terenem stacji. Szczególnie dotyczy to siarki, której koncentracja poza stacją była znacznie wyższa (tab. 4). W przypadku Stacji Bazowej Wigry nieco wyższe koncentracje Pb, Fe, Cr i Ni stwierdzono w porostach zebranych poza stacją; stężenia pozostałych pierwiastków kształtowały się na podobnym poziomie zarówno na terenie stacji, jak i poza jej terenem (tab. 4). W porostach ze Stacji Pożary nieco wyższe stężenie niklu i chromu stwierdzono w porostach zebranych poza stacją. Koncentracje pozostałych pierwiastków, z wyjątkiem ołowiu, były wyższe na terenie stacji (tab. 4).

Na terenie Stacji Bazowej Puszcza Borecka zwiększono ilość punktów zbioru porostów i w związku z tym w 2009 roku ilość zebranych prób wzrosła do 16. Jest to o 10 stanowisk więcej, co z całą pewnością stanowi obecnie reprezentatywną próbę dla obszaru zlewni. Wśród dodatkowych 10 stanowisk znalazły się próby o zróżnicowanej koncentracji badanych pierwiastków. Porównując średnie koncentracje dla każdego z badanych pierwiastków wyliczone dla 6 prób i dla 16, należy zauważyć, że z wyjątkiem kadmu, ołowiu i cynku są one bardzo podobne. W przypadku tych trzech

Tab. 2. Średnie koncentracje (\pm SE) i zakres ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m.) miedzi, cynku i żelaza w plechach porostu *H. physodes* zebranych na terenach Stacji Bazowych ZMŚP w 2009 roku

Tab. 2. Average concentrations (\pm SE) and ranges ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ d.w.) of copper, zinc and iron in *H. physodes* from Base Stations of the Integrated Nature Monitoring System in 2009

Stacja Bazowa Base Station		Stężenie/Concentration ($\mu\text{g g}^{-1}$)		
		Cu	Zn	Fe
Biała Góra	N = 5	6,3 ^{1,2} \pm 0,7 4,8-8,5	56 ¹ \pm 7 37-75	367 ^{1,2} \pm 69 216-607
P. Borecka	N = 16	5,6 ¹ \pm 0,2 4,1-7,2	61 ¹ \pm 5 38-91	361 ^{1,2} \pm 40 183-802
Wigry	N = 8	6,4 ^{1,2} \pm 0,4 4,5-8,2	81 ^{1,2} \pm 7 52-121	338 ¹ \pm 32 216-466
Storkowo	N = 11	7,1 ² \pm 0,3 5,6-8,9	85 ^{1,2} \pm 9 57-159	292 ¹ \pm 22 187-407
Požary	N = 10	5,7 ^{1,2} \pm 0,3 4,5-7,6	116 ² \pm 15 56-197	406 ^{1,2} \pm 46 277-720
Św. Krzyż	N = 7	5,4 ^{1,2} \pm 0,5 3,4-7,3	121 ² \pm 11 95-172	381 ^{1,2} \pm 44 234-595
Szymbark	N = 5	6,7 ^{1,2} \pm 0,4 5,8-8,0	100 ^{1,2} \pm 18 64-167	675 ² \pm 103 336-921

1, 2 – objaśnienia pod tabelą 1

1, 2 – description see Table 1

Tab. 3. Średnie koncentracje (\pm SE) i zakres ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m.) chromu i niklu w plechach porostu *H. physodes* zebranych na terenach Stacji Bazowych ZMŚP w 2009 roku

Tab. 3. Average concentrations (\pm SE) and ranges ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ d.w.) of chromium and nickel in *H. physodes* from Base Stations of the Integrated Nature Monitoring System in 2009

Stacja Bazowa Base Station		Stężenie/Concentration ($\mu\text{g g}^{-1}$)	
		Cr	Ni
Biała Góra	N = 5	1,18 ^{1,2} \pm 0,35 0,26-2,24	2,54 ¹ \pm 0,98 0,87-6,23
P. Borecka	N = 16	0,92 ^{1,2} \pm 0,07 0,48-1,50	1,44 ¹ \pm 0,08 1,04-2,15
Wigry	N = 8	0,80 ¹ \pm 0,09 0,51-1,27	1,04 ¹ \pm 0,10 0,72-1,57
Storkowo	N = 11	0,73 ¹ \pm 0,07 0,46-1,15	1,23 ¹ \pm 0,13 0,63-1,93
Požary	N = 10	1,17 ^{1,2} \pm 0,12 0,77-2,00	1,47 ¹ \pm 0,11 1,12-2,16
Św. Krzyż	N = 7	1,17 ^{1,2} \pm 0,10 0,84-1,56	1,28 ¹ \pm 0,32 0,74-3,16
Szymbark	N = 5	2,03 ² \pm 0,28 0,95-2,54	1,92 ¹ \pm 0,29 0,94-2,72

1, 2 – objaśnienia pod tabelą 1

1, 2 – description see Table 1

metali średnie wyliczone z większej ilości danych są nieco wyższe.

Na podstawie porównania koncentracji metali ciężkich i siarki w plechach *Hypogymnia physodes* zebranych z terenów Stacji Bazowych ze stężeniami tych pierwiastków w porostach zebranych z terenu kontrolnego – Borów Tucholskich wynika, że żadna z nich nie może być zaliczona do terenów czystych pod względem poziomu wszystkich analizowanych metali (tab. 1–3). Najbardziej do tego tytułu pretendują stacje położone na północy Polski. Są to Biała Góra i Storkowo ze względu na niską koncentrację kadmu. Wigry i Storkowo z uwagi na najniższe zawartości ołowiu, żelaza, chromu i niklu. Biała Góra i Puszcza Borecka ze względu na niskie stężenie cynku. Natomiast pod względem zawartości siarki w plechach porostów do czystych można zaliczyć tylko Puszcę Borecką i Wigry. Na pozostałych Stacjach Bazowych

koncentracje siarki przewyższają jej poziom stwierdzony w Borach Tucholskich, co oznacza, że stężenia dwutlenku siarki w powietrzu na obszarach tych stacji są wyższe niż w kontroli. Jeśli chodzi o analizowane metale ciężkie, to należy podkreślić, że na większości Stacji ich stężenia przekraczają te wykazane w Borach Tucholskich (tab. 1–3). Stacje Bazowe położone na południu Polski są zdecydowanie bardziej zanieczyszczone. Porosty zebrane na ich terenie zawierają wyższe poziomy kadmu, znacznie wyższe koncentracje ołowiu i siarki; również poziomy cynku i chromu są wyższe niż na terenie kontrolnym. Najwyższe stężenia ołowiu, cynku i żelaza, w stosunku do Borów Tucholskich, stwierdzono w porostach zebranych na Św. Krzyżu i w Szymbarku. We wszystkich położonych na południu Stacjach Bazowych koncentracja siarki w plechach *Hypogymnia physodes* przewyższała poziom stwierdzony w próbach z Borów Tucholskich.

4. Podsumowanie

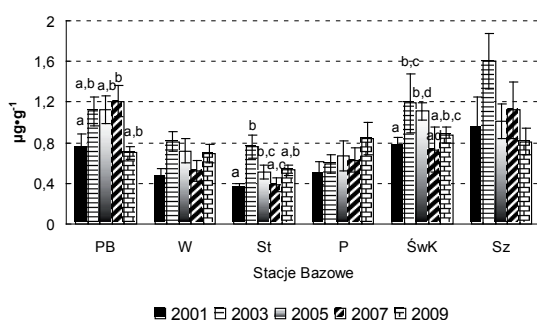
Porównując koncentracje metali ciężkich w plechach porostów zebranych na terenach Stacji Bazowych w 2009 roku z poziomami stwierdzonymi w 2007 roku wykazano pewne różnice w zależności od

Tab. 4. Średnie koncentracje ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ s.m.) metali ciężkich siarki w plechach porostu *H. physodes* zebranych na Stacjach Bazowych i poza ich granicami w 2009 roku

Tab. 4. Average concentrations ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ d.w.) of heavy metals in *H. physodes* from Base Stations and outside the Stations in 2009

Stacja Bazowa Base Station		Stężenie/Concentration ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)							
		Cd	Pb	Cu	Zn	Fe	Cr	Ni	S
P. Borecka Stacja ZMŚP Base Station	N = 20	0,67	10,34	5,9	62	410	1,20	1,53	938
	N = 16	0,70	10,20	5,6	61	361	0,92	1,44	834
	N = 4	0,54	10,90	7,1	65	607	2,31	1,87	1356
Wigry Stacja ZMŚP Base Station	N = 20	0,65	5,81	6,1	75	380	0,98	1,15	982
	N = 8	0,69	5,07	6,4	81	338	0,80	1,04	988
	N = 12	0,63	6,30	5,8	71	407	1,09	1,23	978
Pożary Stacja ZMŚP Base Station	N = 15	0,74	9,15	5,3	109	403	1,32	1,75	1305
	N = 10	0,84	9,13	5,7	116	406	1,17	1,47	1424
	N = 5	0,54	9,19	4,4	95	397	1,62	2,31	1066

pierwiastka (Sawicka-Kapusta i wsp. 2008). Na terenie Stacji Bazowej Puszcza Borecka i Szymbark wykazano obniżenie zawartości kadmu w stosunku do poprzedniego okresu badawczego (odpowiednio o 42% i 28%). Na pozostałych czterech stacjach stwierdzono wyższe, w stosunku do 2007 roku, koncentracje kadmu w plechach, świadczące o wzroście zanieczyszczenia powietrza tym toksycznym metalem (ryc. 1).



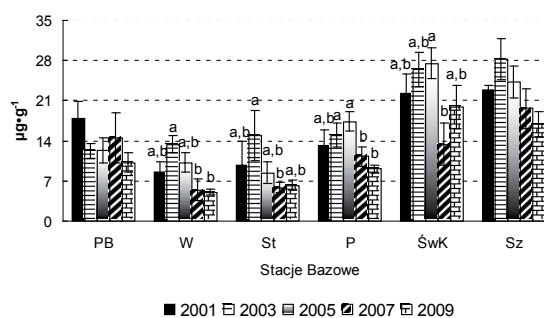
Ryc. 1. Koncentracja ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) **kadmu** w plechach porostu *Hypogymnia physodes*

Fig. 1. Concentration ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) of **cadmium** in *Hypogymnia physodes thalli*

a, b, c, d – różne litery oznaczają różnice statystycznie istotne w stężeniu pierwiastka pomiędzy latami badawczymi

a, b, c, d – different letters indicate statistical differences in levels of element between investigated years

W przypadku ołowiu na Stacjach Bazowych: Wigry, Szymbark, Pożary i Puszcza Borecka wystąpiło, w stosunku do 2007 roku, obniżenie zawartości ołowiu w porostach od 6 do 30%, co świadczy o mniejszym zanieczyszczeniu powietrza tym metalem. Natomiast na terenie dwóch Stacji Bazowych zarejestrowano wzrost koncentracji ołowiu w porostach, niewielki w Storkowie i aż o 50% na Św. Krzyżu (ryc. 2). Zawar-



Ryc. 2. Koncentracja ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) **ołowiu** w plechach porostu *Hypogymnia physodes*

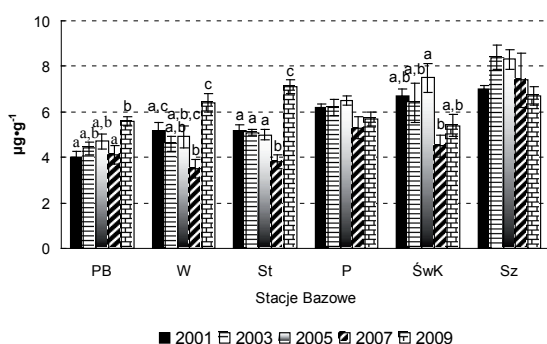
Fig. 2. Concentration ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) of **lead** in *Hypogymnia physodes thalli*

a, b – objaśnienia pod ryciną 1
a, b – description see Figure 1

tość miedzi i cynku wzrosła na terenie prawie wszystkich Stacji Bazowych. W przypadku miedzi wzrost ten był zróżnicowany i wynosił od 7% w Pożarach do 46% w Storkowie (ryc. 3). W przypadku cynku był on bardziej wyrównany – od 13% na Św. Krzyżu do 33% w Szymbarku (ryc. 4). Na obszarze wszystkich Stacji Bazowych w 2009 roku zmniejszyła się koncentracja żelaza, chromu i niklu w porostach w stosunku do 2007 roku (ryc. 5, 6, 7). Najbardziej obniżyła się ilość niklu od 23% w Szymbarku do 62% w na Św. Krzyżu (ryc. 7). Stężenie żelaza zmniejszyło się od 11% w Storkowie do 42% w Pożarach (ryc. 5). W podobnym zakresie zmniejszyła się zawartość chromu (ryc. 6).

W 2009 roku na wszystkich Stacjach Bazowych z wyjątkiem Św. Krzyża zmniejszyło się zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem siarki (ryc. 8). Na północy kraju średnio o 33%, w Pożarach znacznie mniej – o 14%, a w Szymbarku tylko o 6%. Na Stacji Bazowej Św. Krzyż zaobserwowano wzrost zanieczyszczenia SO_2 o 5% (ryc. 8).

Ocena zanieczyszczenia powietrza na terenie Stacji Bazowych ZMŚP metodą bioindykacyjną, na podstawie zawartości metali ciężkich i siarki w porostach, jest prowadzona od 2001 roku. Jest to jedyny program, który w cyklu dwuletnim dostarcza pełnych informacji o tendencjach i zmianach zanieczyszczenia powietrza metalami ciężkimi i dwutlenkiem siarki. Ocena przeprowadzona w lipcu 2009 roku jest już piątą, co oznacza możliwość przeanalizowania zmian zanieczyszczenia powietrza Stacji Bazowych w okresie ośmioletnim (Sawicka-Kapusta i wsp. 2005a, Sawicka-Kapusta i wsp. 2005b; Sawicka-Kapusta i wsp. 2006; Sawicka-Kapusta i wsp. 2007b; Sawicka-Kapusta i wsp. 2008).



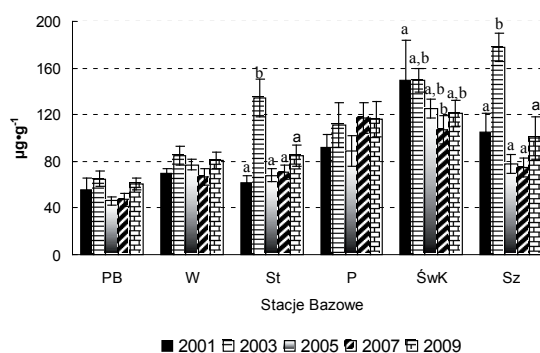
Ryc. 3. Koncentracja ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) **miedzi** w plechach porostu *Hypogymnia physodes*

Fig. 3. Concentration ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) of **copper** in *Hypogymnia physodes thalli*

a, b, c – objaśnienia pod ryciną 1
a, b – description see Figure 1

W Polsce od 1990 roku stopniowo następowało obniżenie emisji zanieczyszczeń (pyłowych i gazowych) z głównych emitorów kraju. Szczególnie jest to widoczne w przypadku dwutlenku siarki, tlenków azotu czy pyłu. Emisja pyłu w latach 2000–2007 utrzymywała się na podobnym poziomie i wynosiła w 2000 roku 464 tys. ton, a w 2007 roku 436 tys. ton, natomiast dwutlenku siarki zmniejszyła się z 1511 tys. ton w 2000 roku do 1131 tys. ton w 2007 roku (Ochrona Środowiska 2009). Obniżenie dotyczyło również całkowitej emisji metali ciężkich, takich jak: arsen, kadm, ołów, miedź, cynk, chrom, nikiel czy rtęć. W przypadku metali drastyczne obniżenie emisji dotyczyło dziesięciolecia 1990–2000, natomiast na przestrzeni ostatnich siedmiu lat (2000–2007) tempo spadku było zróżnicowane w zależności od pierwiastka. I tak między rokiem 2006 a 2007 wzrosła emisja miedzi, ołowiu i cynku, nie zmieniła się ilość emitowanego niklu i chromu, a obniżyła nieznacznie kadmu (Ochrona Środowiska 2009). W omawianym okresie nastąpiła bardzo istotna restrukturyzacja przemysłu, podjęto również szereg działań proekologicznych. Implementacja prawa unijnego zmusza nas do przestrzegania przepisów dotyczących ochrony środowiska, co między innymi odzwierciedliło się w zmniejszeniu emisji zanieczyszczeń do powietrza. Działania te powinny w ewidentny sposób wpłynąć na zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza na obszarze całego kraju, w tym również na stan powietrza na terenie Stacji Bazowych ZMŚP.

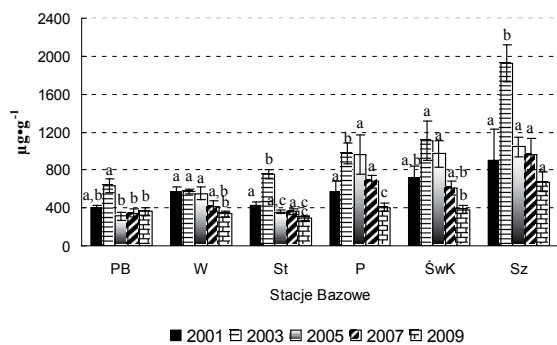
Wyniki uzyskane w 2009 roku na Stacjach Bazowych porównano z danymi otrzymanymi w 2001 roku – dla Cd, Pb, Cu, Zn i Fe, i w 2005 roku – dla Ni i Cr. W świetle tego porównania wyraźnie widać poprawę



Ryc. 4. Koncentracja ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) **cynku** w plechach porostu *Hypogymnia physodes*

Fig. 4. Concentration ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) of **zinc** in *Hypogymnia physodes thalli*

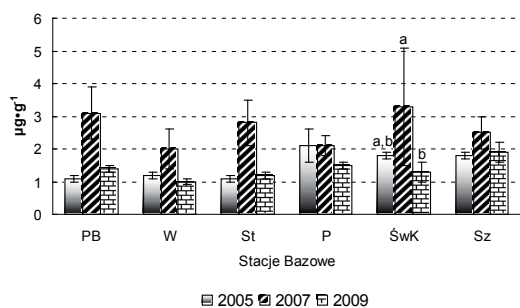
a, b – objaśnienia pod ryciną 1
a, b – description see Figure 1



Ryc. 5. Koncentracja ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) **żelaza** w plechach porostu *Hypogymnia physodes*

Fig. 5. Concentration ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) of **iron** in *Hypogymnia physodes thalli*

a, b, c – objaśnienia pod ryciną 1
a, b, c – description see Figure 1

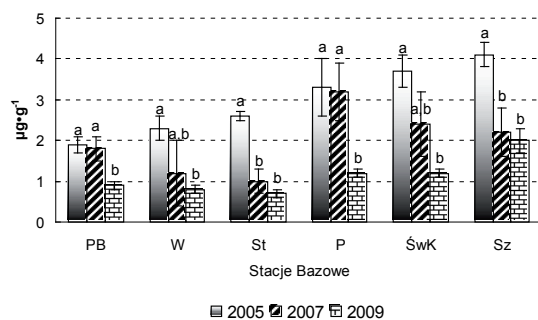


Ryc. 7. Koncentracja ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) **niklu** w plechach porostu *Hypogymnia physodes*

Fig. 7. Concentration ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) of **nickel** in *Hypogymnia physodes thalli*

a, b – objaśnienia pod ryciną 1
a, b – description see Figure 1

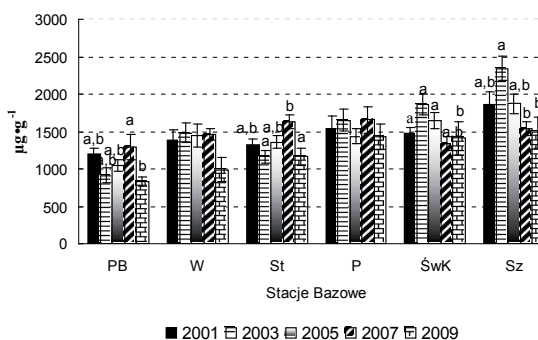
jakości powietrza, zróżnicowaną jednak na poszczególnych stacjach. Przede wszystkim, na wszystkich sześciu stacjach, zmniejszyło się zanieczyszczenie powietrza ołowiem, żelazem i chromem. Zanieczyszczenie kadmem nie zmieniło się na Stacji Bazowej Puszcza Borecka i Szymbark, wzrosło natomiast na Wigrach, w Storkowie, Pożarach i Św. Krzyżu. Zanieczyszczenie cynkiem wzrosło na Wigrach, w Storkowie, Pożarach i nieznacznie w Puszczy Boreckiej, zmniejszyło się na Św. Krzyżu i nie zmieniło się w Szymbarku. Zanieczyszczenie miedzią wzrosło w Puszczy Boreckiej, Storkowie i na Wigrach, nieznacznie zmniejszyło się na Stacji Św. Krzyż, w Pożarach i Szymbarku. Zanieczyszczenie powietrza nikiem zmniejszyło się na Wigrach, w Pożarach i na Św. Krzyżu, a nieznacznie wzrosło w Puszczy Boreckiej, Storkowie i w Szymbarku.



Ryc. 6. Koncentracja ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) **chromu** w plechach porostu *Hypogymnia physodes*

Fig. 6. Concentration ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) of **chromium** in *Hypogymnia physodes thalli*

a, b – objaśnienia pod ryciną 1
a, b – description see Figure 1



Ryc. 8. Koncentracja ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) **siarki** w plechach porostu *Hypogymnia physodes*

Fig. 8. Concentration ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) of **sulphur** in *Hypogymnia physodes thalli*

a, b – objaśnienia pod ryciną 1
a, b – description see Figure 1

Zmniejszyło się zanieczyszczenie wszystkich sześciu Stacji Bazowych dwutlenkiem siarki. Puszcza Borecka i Wigry mogą być na podstawie danych z 2009 roku zaliczone do terenów czystych, natomiast pomimo obniżenia się koncentracji siarki w porostach nie można zaliczyć do takich terenów Stacji Bazowej w Storkowie. Natomiast nadal pozostają zanieczyszczone dwutlenkiem siarki Stacje Bazowe: Pożary, Św. Krzyż i Szymbark.

Zastosowana metoda bioindykacyjna wykazała nadal zróżnicowane zanieczyszczenie powietrza badanych Stacji Bazowych ZMŚP. Podsumowując, należy stwierdzić, że stacje położone na północy kraju są znacznie mniej zanieczyszczone metalami ciężkimi i SO_2 , aniżeli stacje położone na południu Polski. Generalne obniżenie zanieczyszczenia powietrza Stacji

Bazowych ZMŚP jest zgodne ze zmniejszonymi emisjami do powietrza podawanymi przez Główny Urząd Statystyczny (Ochrona Środowiska 2009). Zanieczyszczenie powietrza dwutlenkiem siarki, wskazywane przez porosty, pozostaje w zgodności ze zmierzonym stężeniem SO₂ na Stacjach Bazowych Puszcza Borecka, Pożary i Św. Krzyż. Należy pamiętać, że obecnie problemem zanieczyszczenia powietrza w Polsce nie jest emisja przemysłowa, ale tzw. niska emisja pochodząca z indywidualnych gospodarstw, która jest bardzo trudna do oceny, a także zmniejszona, ale nadal występujący, napływ transgraniczny.

5. Literatura

- Białońska D., Dayan F.E., 2005:** *Chemistry of the lichen Hypogymnia physodes transplanted to an industrial region*. J. Chem. Ecol., 31: 2975–2991.
- Burton M.A.S., 1986:** *Biological monitoring of environmental contaminants*. MARC Rep. 32, Monitoring and Assessment Research Centre, King's College London, University of London, London.
- Conti M.E., Cecchetti G., 2001:** *Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment - a review*. Environ. Pollut., 114: 471–492.
- De Wit T., 1983:** *Lichens as indicators for air quality*. Environ. Monit. and Assessment, 3: 273–282.
- Kranner I., Beckett R.P., Varma A.K., (eds.), 2002:** *Protocols in lichenology. Culturing, biochemistry, ecophysiology and use in biomonitoring*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- Nash III T. H. (eds.), 2008:** *Lichen biology*. Cambridge University Press.
- Nowosielski O., 1968:** *Metody oznaczania potrzeb nawożenia*. PWRiL. Warszawa.
- Ochrona Środowiska, 2009:** *Informacje i opracowania statystyczne*. GUS. Warszawa
- Pilegaard K., 1979:** *Heavy metals in bulk precipitation and transplanted Hypogymnia physodes and Dicranoweisia cirrata in the vicinity of a Danish steelworks*. Water, Air and Soil Pollut., 11: 77–91.
- Puckett K. J., 1988:** *Bryophytes and lichens as monitors as metal deposition. Lichens, Bryophytes and Air Quality*. Bibliotheca Lichenologica, 30: 231–267.
- Sawicka-Kapusta K., Rakowska A., 1993:** *Heavy metal contaminations in Polish National Parks*. W: W. Slooff, H. de Kruijf (eds.). Proc. of the Second European Conference on Ecotoxicology, 11-15 May 1992, Amsterdam, The Netherlands. Sci. Total Environ., Supplement 1993, Part 1: 161–166.
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., 2003:** *Oce-
na zanieczyszczenia powietrza na Stacjach Bazowych Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego w 2001 roku*. W: W. Bochenek, E. Gil (red.). Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geoeosystemów ze szczególnym uwzględnieniem zjawisk ekstremalnych. IOŚ, BMS: 20–29.
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Gdula-Argasińska J., Bydłoń G., 2005a:** *Oce-
na zanieczyszczenia powietrza w rejonie Stacji Bazowych ZMŚP na podstawie stężenia metali ciężkich i siarki w plechach porostu Hypogymnia physodes w 2003 roku*. W: A. Kostrzewski i R. Kolander (red.). Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie geoeosystemów Polski w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji. PIOŚ, BMS, Poznań: 73–81.
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Gdula-Argasińska J., Bydłoń G., 2005b:** *Air pollution in the base stations of the environmental integrated monitoring system in Poland*. W: C.A. Brebbia (ed.). Air Pollution XIII. WIT Transaction on Ecology and the Environment, WIT Press, Southampton, Boston, 82: 465–475.
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Gdula-Argasińska J. Stochmal M., 2006:** *Porównanie akumulacji metali ciężkich i siarki w plechach Hypogymnia physodes transplantowanych na Stacjach Bazowych ZMŚP w sezonach zimowych*. W: L. Krzysztofiak (red.). Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego. Funkcjonowanie i monitoring geoeosystemów w warunkach narastającej antropopresji. GIOŚ, BMS, Warszawa: 114–120.
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłoń G., 2007a:** *Biological monitoring – the useful method for estimation of air and environment quality*. W: C. Borrego, C.A. Brebbia (eds.). Air Pollution XV. WIT Transaction on Ecology and the Environment, WIT Press, Southampton, Boston, 101: 353–362.
- Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłoń G., 2007b:** *Monitoring zanieczyszczenia powietrza Stacji Bazowych ZMŚP metalami ciężkimi i dwutlenkiem siarki w 2005 roku z zastosowaniem porostu Hypogymnia physodes*. W: A. Kostrzewski i A. Andrzejewska (red.). XVII Ogólnopolskie Sympozjum „Program Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego a zadania ochrony obszarów Natura 2000”. IOŚ, BMS, Warszawa: 217–226.

Sawicka-Kapusta K., Zakrzewska M., Bydłoń G., Pizło A., Marek A., 2008: *Zanieczyszczenie powietrza na terenie Stacji Bazowych ZMŚP w 2007 roku na podstawie koncentracji metali ciężkich i siarki w plechach porostu Hypogymnia physodes.* Monitoring Środowiska Przyrodniczego 9: 69–75.

ESTIMATION OF AIR POLLUTION IN THE BASE STATIONS OF THE INTEGRATED NATURE MONITORING SYSTEM BY HEAVY METALS AND SULPHUR DIOXIDE IN 2001–2009 USING LICHEN *HYPOGYMNI*A *PHYSODES*

Summary

Air pollution by heavy metals and sulphur dioxide in the Base Stations of the Integrated Nature Monitoring System was estimated using the lichen *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. as a bioindicator. In July 2009 lichen samples from the natural environment were collected in seven Base Stations (Biała Góra, Storkowo, Puszcza Borecka, Wigry, Pożary, Św. Krzyż, Szymbark). In the lichen samples were determined the concentrations of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn, Fe, Ni, Cr)

using the AAS method and the concentrations of sulphur using the turbidimetric Butters-Chenry's method. Different air contamination by heavy metals and SO₂ in the investigated Base Stations was found. Similar highest cadmium concentrations were determined in Św. Krzyż, Szymbark and Pożary Base Stations, the lowest in Biała Góra Base Station. The highest lead concentrations were found in the South of Poland in Św. Krzyż and Szymbark, the lowest in Storkowo and Wigry. Copper contamination was similar in all Base Station with exception for Storkowo, where the highest level was noticed. Low zinc concentrations were found in the North of the country, the lowest in Biała Góra and Puszcza Borecka. Generally in the North of the country were determined lower heavy metals concentrations, and in the South higher one. Only in two Base Stations (Puszcza Borecka and Wigry) located on the North the lowest SO₂ air pollution was found. It was much higher in the rest of the investigated Base Stations. Air contamination by lead and iron in all Base Stations was reduced in 2009 comparing to 2001. Although the sulphur concentration in lichens was lower when compare to the previous time, only two Base Stations (Puszcza Borecka and Wigry) belong to the clean one. Stations located in the South of Poland (Pożary, Św. Krzyż, Szymbark) are still contaminated by sulphur dioxide.