

*mchy Pleurozium shreberi,
porosty Hypogymnia physodes,
metale ciężkie, współczynnik porównawczy*

Dominik JERZ¹, Małgorzata RAJFUR, Andrzej KŁOS*

BIOMONITORING WYBRANYCH OBSZARÓW LEŚNYCH

Zbadano stężenia metali ciężkich: Mn, Ni, Cu, Zn, Cd i Pb zakumulowanych w porostach *Hypogymnia physodes* i w mchach *Pleurozium schreberi*, porastających kompleksy leśne Borów Dolnośląskich, Borów Niemodlińskich oraz Puszczy Knyszyńskiej. Stężenia metali oznaczano metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (AAS). Wyniki zinterpretowano za pomocą współczynników porównawczych (CF). Na ich podstawie wykazano, prawdopodobną depozycję Ni, Zn, Cd i Pb na obszarze Borów Dolnośląskich oraz Zn i Pb na terenie Puszczy Knyszyńskiej. Na podstawie współczynników CF nie wykazano depozycji badanych metali na obszarze Borów Niemodlińskich. Stężenia metali zakumulowanych w porostach i w mchach wskazują na względnie duże zanieczyszczenie Mn, Cd i Pb terenu Borów Dolnośląskich oraz Ni, Cu i Zn Borów Niemodlińskich. Najmniej zanieczyszczonym jest teren Puszczy Knyszyńskiej. Różnice w ocenie depozycji i poziomu zanieczyszczenia badanych obszarów mogą wynikać z wtórnego wzbogacania aerozolu atmosferycznego pyłami pochodzącymi z gleby.

1. WSTĘP

Obecnie do oceny jakości środowiska często wykorzystuje się organizmy żywe. Na ich podstawie można określić ilościowe i jakościowe zmiany zachodzące w środowisku. Zarówno organizmy zwierzęce jak i roślinne mogą być wykorzystywane do badania jakości matryc środowiskowych: powietrza, wód oraz gleby [17]. Najczęściej wykorzystywanymi organizmami do oceny zanieczyszczenia aerozolu atmosferycznego są mchy i porosty. W swoich organizmach akumulują duże ilości zanieczyszczeń, m. in. metali ciężkich. Ich analiza umożliwia ocenę zanieczyszczenia badanych obszarów, kierunków rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń oraz wyznaczenie źródeł ich pochodzenia. Mchy i porosty są również

* Uniwersytet Opolski, Samodzielna Katedra Biotechnologii i Biologii Molekularnej, ul. kard. B. Kominka 6, 45-032 Opole, tel. 77 401 60 42, fax 77 401 60 51, dominik.jerz@gmail.com.

wykorzystywane do oceny zanieczyszczenia środowiska wielopierścieniowymi węglowodorami aromatycznymi [2] oraz radionuklidami [8].

Jednymi z pierwszych, którzy wykorzystali mchy do oceny zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi byli Röchling i Tyler [15]. Obecnie mchy i porosty wykorzystywane są na szeroką skalę w biomonitoringu aktywnym i pasywnym ekosystemów leśnych, terenów rolniczych oraz terenów zurbanizowanych. Biomonitoring aktywny polega na ekspozycji, najczęściej na mocno zanieczyszczonych terenach przemysłowych lub miejskich, próbek pobranych z terenów niezanieczyszczonych. Po ściśle określonym czasie w eksponowanych próbkach oznaczane są przyrosty stężeń zanieczyszczeń. Biomonitoring pasywny polega na analizie składu chemicznego próbek pobranych do badań w miejscu ich wegetacji. Takie badania prowadzone są w wielu krajach europejskich [4] oraz w Polsce, m. in. na obszarze Borów Stobrawskich [7].

Celem badań przedstawionych w tym artykule była ocena zanieczyszczenia obszaru Borów Dolnośląskich, Borów Niemodlińskich oraz Puszczy Knyszyńskiej wybranymi metalami ciężkimi: Mn, Ni, Cu, Zn, Cd i Pb. Do badań wykorzystano porosty *Hypogymnia physodes* i mchy *Pleurozium schreberi* pobrane w ich naturalnym środowisku. Wyniki zinterpretowano poprzez wyznaczenie współczynników porównawczy *CF*, wskazujących na możliwą, bieżącą depozycję zanieczyszczeń [7].

2. CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Badania prowadzone były na terenie Borów Dolnośląskich, Borów Niemodlińskich oraz Puszczy Knyszyńskiej. Bory Dolnośląskie są jednym z największych kompleksów leśnych w Polsce, zajmują powierzchnię 172 tys. ha. Większość obszaru Borów Dolnośląskich to tereny równinne, mało zróżnicowane pod względem morfologicznym. W Borach Dolnośląskich dominującym gatunkiem jest sosna. W runie leśnym występuje borówka i wrzos natomiast, w podszyciu występuje żarnowiec oraz jałowiec. Bory Dolnośląskie są pod wpływem emisji niskiej ze źródeł lokalnych oraz emisji odległej, pochodzącej m. in. z Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego oraz z kopalni węgla brunatnego i elektrowni znajdującej się na obszarze obniżenia Żytawsko-Zgorzeleckiego. Oprócz tego w południowej części Borów Dolnośląskich znajduje się duży węzeł kolejowy natomiast w północnej części Borów Dolnośląskich działają poligony wojskowe, które powstały już na przełomie XIX i XX w. [1].

Bory Niemodlińskie jest to kompleks leśny o powierzchni 5 tys. ha znajdujący się na terenie wysoczyzny polodowcowej poprzecinanej dolinami rzecznyymi Odry, Nysy Kłodzkiej i Ścinawy Niemodlińskiej. Drzewostan to głównie lasy gospodarcze z fragmentami lasów naturalnych. Gatunki dominujące to sosna oraz świerk.

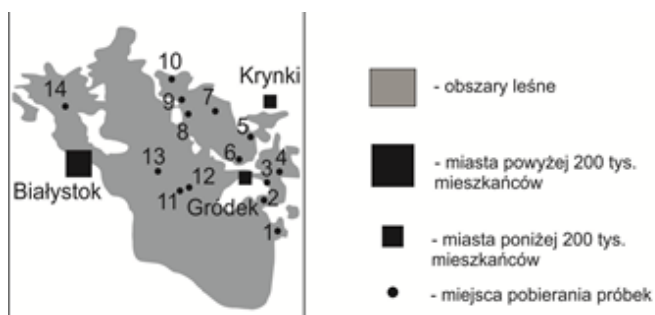
W sąsiedztwie Borów Niemodlińskich zlokalizowane są miasta: Opole oraz Nysa [14].

Puszcza Knyszyńska jest to kompleks leśny znajdujący się w północno-wschodniej części Polski, znajdujący się w granicach mezoregionu fizyko-geograficznego Wysoczyzny Białostockiej. Jest to teren nizinny. Dominującym typem gleb są gleby rdzawe oraz gleby bielcowe. W drzewostanie dominującymi rodzajami są bór mieszany świeży i las mieszany świeży. Na wschód od Puszczy Knyszyńskiej znajduje się miasto Białystok [18].

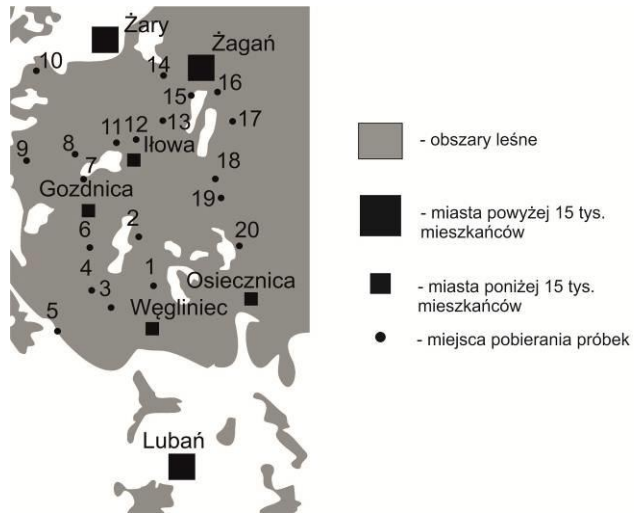
3. METODYKA BADAWCZA

Próbki porostów *Hypogymnia physodes* oraz mchów *Pleurozium shreberi*, pobierane były z 20 miejsc na terenie Borów Dolnośląskich (rys. 1), 10 miejsc na terenie Borów Niemodlińskich (rys. 2) oraz 14 miejsc na terenie Puszczy Knyszyńskiej (rys. 3). Próbki zbierane na terenie Puszczy Knyszyńskiej pobierane były w ramach grantu: Ecosystem stress from the combined effects of Winter climate change and air pollution – how do the impacts differ between biomes, WICLAP, POL-NOR/198571/83/2013.

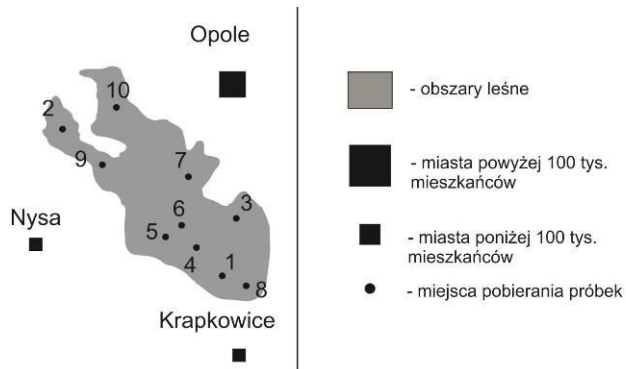
W każdym miejscu porosty pobierane były z jednego drzewa, z gałęzi świerka lub modrzewia, na wysokości od 1,5 do 2,0 m (6 próbek zintegrowanych), natomiast mchy pobierane były z gruntu w 6 miejscach wokół drzewa, z którego pobierano porosty. Po oczyszczeniu z zanieczyszczeń mechanicznych próbki porostów i mchów mineralizowano w mineralizatorze mikrofalowym Speedwave Four firmy Berghof. Mineralizacji poddawano zhomogenizowane 0,4 g próbki. Metale ciężkie: Mn, Ni, Cu, Zn, Cd i Pb oznaczano metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej w aparacie iCE 3500 firmy Thermo Scientific.



Rys. 1. Miejsca pobierania próbek na terenie Puszczy Knyszyńskiej



Rys. 2. Miejsca pobierania próbek na terenie Borów Dolnośląskich



Rys. 3. Miejsca pobierania próbek na terenie Borów Niemodlińskich

3.1. ZAPEWNIENIE I KONTROLA JAKOŚCI

W tabeli 1 przedstawiono granice wykrywalności (*IDL*) oraz granice oznaczalności (*IQL*) charakteryzujące aparat iCE 3500 firmy Thermo Scientific. Do kalibracji aparatu wykorzystano wzorce firmy Analytika Ltd. (CZ) [19].

Tabela 1. Granice wykrywalności (*IDL*) i granice oznaczalności (*IQL*) charakteryzujące aparat iCE 3500 [mg/dm³]

Symbol pierwiastka	Granica wykrywalności (<i>IDL</i>) [mg/dm ³]	Granica oznaczalności (<i>IQL</i>) [mg/dm ³]
Mn	0,0016	0,020
Ni	0,0043	0,050
Cu	0,0045	0,033
Zn	0,0033	0,010
Cd	0,0028	0,013
Pb	0,0130	0,070

W tabeli 2 przedstawiono stężenia metali ciężkich oznaczonych w materiale referencyjnym BCR-482 *lichen* wyprodukowanym przez Institute for Reference Materials and Measurements (BE).

Tabela 2. Porównanie certyfikowanych i zmierzonych wartości stężeń analitów w materiale referencyjnym BCR-482 *lichen*

Metal	BCR-482 <i>lichen</i>		AAS		<i>Dev.</i> **
	Stężenie	± Niepewność	Średnia	± <i>SD</i> *	
	[mg/kg s.m.]				[%]
Mn	33,0	0,5	31,7	0,68	-3,9
Ni	2,47	0,07	2,16	0,32	-13
Cu	7,03	0,19	6,63	0,17	-5,7
Zn	100,6	2,2	95,1	2,3	-5,5
Cd	0,56	0,02	0,53	0,03	-5,3
Pb	40,9	1,4	38,2	1,0	-6,6

* - odchylenie standardowe

** - względna różnica pomiędzy stężeniem zmierzonym i certyfikowanym
 $100\% \cdot (c_z - c_c) / c_c$

4. WYNIKI BADAŃ I ICH INTERPRETACJA

W tabelach 3–5 zebrano wyniki oznaczeń metali ciężkich (mediana, minimum i maksimum, średnia oraz odchylenie standardowe od wartości średniej) w próbkach porostów i mchów pobranych na badanych obszarach.

Na obszarze Borów Dolnośląskich wyznaczone wartości mediany dla stężeń manganu i ołowiu są większe w próbkach mchów niż w próbkach porostów oraz porównywalne dla stężeń niklu, miedzi i kadmu. Tylko w przypadku cynku wartości mediany są większe w próbkach porostów w porównaniu z mchami. Mediany stężeń wszystkich badanych metali w próbkach pobranych na obszarze Borów Niemodlińskich były większe w mchach, szczególnie w przypadku Cu, Zn i Pb. Na obszarze

Puszczy Knyszyńskiej w przypadku cynku wartości mediany są większe w próbkach porostów, w przypadku pozostałych pierwiastków wartości mediany w próbkach porostów i mchów są porównywalne.

Tabela 3. Wartości mediany, wartości minimalne i maksymalne, średnia oraz odchylenie standardowe od wartości średniej (SD) oznaczanych metali w próbkach pobranych na terenie Borów Dolnośląskich [mg/g]

Metal	Matryca	Mediana	Średnia (min-max)	SD
Mn	porosty	5,7	6,1 (0,7–15,6)	3,8
	mchy	7,2	7,5 (2,7–15,5)	4,0
Ni	porosty	0,56	0,61 (0,23–1,07)	0,22
	mchy	0,48	0,48 (0,06–0,96)	0,26
Cu	porosty	0,36	0,37 (0,20–0,63)	0,11
	mchy	0,329	0,338 (0,207–0,539)	0,079
Zn	porosty	1,56	1,65 (0,99–2,94)	0,45
	mchy	0,86	0,86 (0,64–1,23)	0,14
Cd	porosty	< 0,030	0,042 (< 0,030–0,101)	> 0,019
	mchy	< 0,030	0,040 (< 0,030–0,080)	> 0,016
Pb	porosty	< 0,10	0,51 (< 0,10–2,10)	> 0,67
	mchy	0,72	0,74 (< 0,10–1,90)	> 0,55

Tabela 4. Wartości mediany, wartości minimalne i maksymalne, średnia oraz odchylenie standardowe od wartości średniej (SD) oznaczanych metali w próbkach pobranych na terenie Borów Niemodlińskich [mg/g]

Metal	Matryca	Mediana	Średnia (min-max)	SD
Mn	porosty	3,8	3,7 (1,4–6,1)	1,5
	mchy	4,5	4,4 (2,5–6,3)	1,2
Ni	porosty	1,81	1,82 (0,73–2,91)	0,73
	mchy	1,95	2,08 (1,37–3,01)	0,49
Cu	porosty	2,7	2,6 (0,8–3,8)	1,0
	mchy	3,7	3,8 (2,3–5,9)	1,2
Zn	porosty	1,9	2,1 (0,5–3,9)	1,2
	mchy	3,22	3,23 (1,94–4,87)	0,98
Cd	porosty	0,026	0,027 (0,013–0,048)	0,010
	mchy	0,028	0,029 (0,015–0,051)	0,012
Pb	porosty	0,032	0,032 (0,013–0,049)	0,012
	mchy	0,047	0,044 (0,024–0,059)	0,012

Wskaźniki zebrane w tabelach 3–5 wskazują, że poziom akumulacji manganu kadmu i ołowiu w badanych próbkach roślinie w szeregu Puszcza Knyszyńska < Bory Niemodlińskie < Bory Dolnośląskie, natomiast w przypadku niklu, miedzi i cynku poziom akumulacji roślinie zgodnie z szeregiem: Puszcza Knyszyńska < Bory Dolnośląskie < Bory Niemodlińskie.

Tabela 5. Wartości mediany, wartości minimalne i maksymalne, średnia oraz odchylenie standardowe od wartości średniej (SD) oznaczanych metali w próbkach pobranych na terenie Puszczy Knyszyńskiej [mg/g]

Metal	Matryca	Mediana	Średnia (min-max)	SD
Mn	porosty	0,45	0,45 (0,24–0,86)	0,16
	mchy	0,45	0,480 (0,17–0,81)	0,14
Ni	porosty	< 0,031	< 0,031	-
	mchy	< 0,031	< 0,031	-
Cu	porosty	0,00565	0,00540 (0,00444–0,00691)	0,00065
	mchy	0,00590	0,00593 (0,00539–0,00750)	0,00058
Zn	porosty	0,073	0,085 (0,058–0,138)	0,027
	mchy	0,0356	0,0363 (0,0288–0,0494)	0,0053
Cd	porosty	< 0,0008	< 0,0008	-
	mchy	< 0,0008	< 0,0008	-
Pb	porosty	0,0074	< 0,0088	> 0,0053
	mchy	0,0063	< 0,0089	> 0,0063

Tabela 6. Współczynniki *CF* wyznaczone dla badanych metali na obszarze Borów Dolnośląskich

Numer próbki	Mn	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
1	-0,32	0,64	0,19	0,67	> 0,69	< -1,20
2	0,20	0,68	-0,29	0,87	> 0,32	< -1,50
3	0,26	0,97	0,39	0,63	> 0,70	0,00
4	-0,27	1,36	-0,15	0,62	> 0,69	-1,25
5	-0,15	-0,26	-0,38	0,65	0,00	< -1,80
6	0,27	-0,62	-0,17	0,45	< -0,62	< -1,52
7	-0,15	0,50	-0,03	0,45	< -0,91	< -1,75
8	-0,24	0,11	0,35	0,50	> 0,46	< -1,72
9	0,17	0,62	0,54	0,56	-	< -0,48
10	0,03	0,28	-0,01	0,33	-	< -1,36
11	0,05	-0,03	0,09	0,99	-	0,22
12	0,02	-0,13	0,27	0,93	-	0,00
13	-0,66	-0,53	-0,39	0,21	-	-0,86
14	-1,54	0,23	0,24	0,12	0,28	< -0,83
15	0,22	0,17	0,13	0,56	< -0,59	> 1,82
16	-1,18	0,04	0,07	0,40	< -0,56	0,73
17	-0,29	-0,29	0,56	0,54	> 0,10	> 1,78
18	-0,34	0,49	0,02	0,91	-0,34	-0,85
19	0,08	1,66	0,25	1,07	-	-0,56
20	-0,75	0,79	0,40	0,68	0,44	0,52

W celu oceny bieżącej depozycji metali ciężkich na badanych terenach wyznaczono współczynnik porównawczy (*Comparison Factor – CF*):

$$CF = \frac{2 \cdot (c_{i(p)} - c_{i(m)})}{c_{i(p)} + c_{i(m)}} \quad (1)$$

gdzie: $c_{i(p)}$ – stężenie i -tego analitu w porostach, $c_{i(m)}$ – stężenie i -tego analitu w mchach. Wartość współczynnika $CF > 0,62$ może wskazywać na bieżącą depozycję i -tego analitu [2].

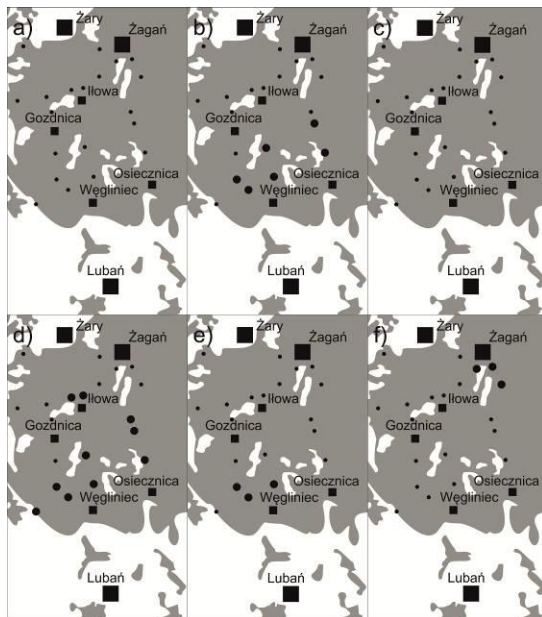
W tabelach 6–8 zebrano obliczone wartości współczynników CF dla metali oznaczonych w próbkach mchów i porostów pobranych do badań na obszarze Borów Dolnośląskich, Borów Niemodlińskich i Puszczy Knyszyńskiej.

Tabela 7. Współczynniki CF wyznaczone dla badanych metali na obszarze Borów Niemodlińskich

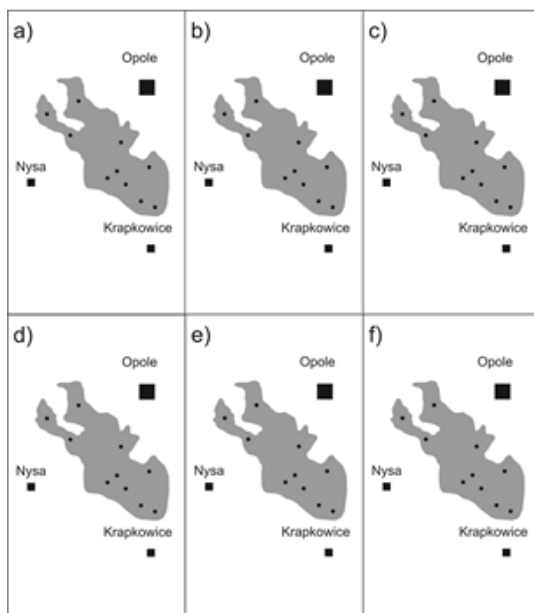
Numer próbki	Mn	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
1	-0,26	0,54	-0,07	-0,41	0,10	-0,08
2	-0,69	-0,80	-0,16	-0,62	-0,23	-0,87
3	-0,54	-0,16	-0,70	-0,17	-0,30	-0,10
4	0,35	-0,88	-1,00	-1,18	0,26	-1,19
5	0,23	0,17	0,36	0,43	-0,36	0,26
6	-0,29	-0,05	-0,84	-1,16	0,06	0,30
7	0,10	0,09	-0,73	-1,33	0,49	-0,60
8	0,14	-0,70	-0,25	0,39	0,19	0,24
9	-0,25	0,11	-0,95	-0,24	-0,66	-0,80
10	-0,82	-0,17	0,27	-0,77	-0,23	-0,43

Tabela 8. Współczynniki CF wyznaczone dla badanych metali na obszarze Puszczy Knyszyńskiej

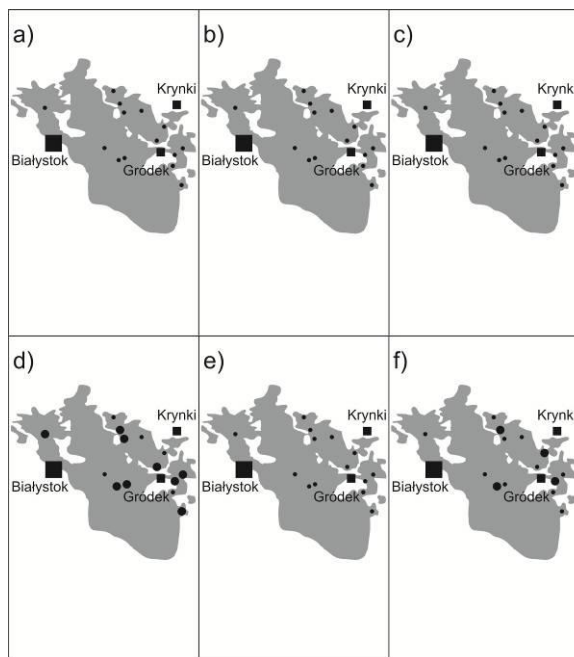
Numer próbki	Mn	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
1	-0,11	-	0,05	0,64	-	0,22
2	0,03	-	-0,09	0,54	-	-0,20
3	0,20	-	0,07	0,87	-	0,77
4	-0,46	-	0,12	0,78	-	-0,34
5	-0,47	-	-0,20	0,34	-	> 0,89
6	-0,29	-	0,10	0,65	-	< -0,44
7	-0,66	-	-0,39	0,48	-	-
8	0,10	-	-0,20	0,83	-	> 0,08
9	-0,08	-	0,03	1,27	-	> 0,82
10	-0,12	-	-0,18	0,50	-	0,32
11	0,23	-	-0,35	1,08	-	1,02
12	0,40	-	-0,20	0,98	-	> 0,32
13	0,45	-	0,05	0,60	-	-1,35
14	0,14	-	-0,15	1,13	-	< -1,33



Rys. 4. Obszary prawdopodobnej depozycji: a) Mn, b) Ni, c) Cu, d) Zn, e) Cd i f) Pb na terenie Borów Dolnośląskich wyznaczone na podstawie współczynników $CF > 0,62$



Rys. 5. Obszary prawdopodobnej depozycji: a) Mn, b) Ni, c) Cu, d) Zn, e) Cd i f) Pb na terenie Borów Niemodlińskich wyznaczone na podstawie współczynników $CF > 0,62$



Rys. 6. Obszary prawdopodobnej depozycji: a) Mn, b) Ni, c) Cu, d) Zn, e) Cd i f) Pb na terenie Puszczy Knyszyńskiej wyznaczone na podstawie współczynników $CF > 0,62$

Na mapach na rys. 4–6 zaznaczono miejsca, dla których obliczone wartości współczynników CF były większe od 0,62.

Wartości współczynników CF wskazują, że na południe od miejscowości Żagań występują miejsca prawdopodobnej depozycji ołowiu, co może mieć m. in. związek ze zlokalizowanymi tam poligonami wojskowymi. W przypadku Ni, Zn i Cd wartości $CF > 0,62$ odnotowano na obszarze położonym na północ od miejscowości Węgliniec, gdzie znajduje się duży węzeł kolejowy i stacja przeładunkowa.

Wartości współczynników CF wyznaczonych dla obszaru Borów Niemodlińskich nie wykazują depozycji badanych metali na tym obszarze. Duże stężenia niklu, miedzi i cynku w próbkach mchów i porostów mogą być wynikiem wtórnego zanieczyszczenia aerozolu atmosferycznego pyłami pochodzącymi z gleby na skutek transportu eolicznego.

Na terenie Puszczy Knyszyńskiej wartości współczynników $CF > 0,62$ odnotowano dla Zn i Pb. Prawdopodobnym źródłem emisji tych metali jest miasto Białystok. Pomimo to na obszarze Puszczy Knyszyńskiej odnotowano najmniejsze stężenia badanych metali zakumulowanych w mchach i w porostach.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Metody biomonitoringowe skutecznie konkurują z tradycyjnymi technikami oceny zanieczyszczenia środowiska. W porównaniu z klasycznym monitoringiem zanieczyszczenia powietrza, jest to prosty i tani sposób oceny źródeł zanieczyszczeń oraz kierunków ich rozprzestrzeniania.

Przeprowadzone badania wskazują, że potencjalnymi głównymi źródłami zanieczyszczeń na obszarze Borów Dolnośląskich jest miasto Węgliniec, a na obszarze Puszczy Knyszyńskiej położony na jej obrzeżach Białystok. Nie wykazano pierwotnej depozycji na obszarze Borów Niemodlińskich.

Udział w projekcie systemowym: „Stypendia doktoranckie - inwestycja w kadre naukową województwa opolskiego” realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki.

LITERATURA

- [1] BORUSIEWICZ B., *Plan urządzenia lasu dla Nadleśnictwa Żagań na okres od 1 stycznia 2011 r. do 31 grudnia 2020 r.*, Taxus SI, Warszawa 2011.
- [2] CIESIELCZUK T., OLSZOWSKI T., PROKOP M. I KŁOS A., *Application of mosses to identification of emission sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)*, Ecological Chemistry and Engineering, 2012, Vol. 19, No. 4, 585–595.
- [3] CZARNOTA P., *Porosty jako indykatory zanieczyszczenia środowiska - Przegląd metod lichenoidykacyjnych*, Przegląd Przyrodniczy, 1998, Vol. 9, No. 1/2, 55–72.
- [4] HARMENS H., NORRIS D.A., STEINNES E., KUBIN E., PIISPANEN J., ALBER R., ALEKSIAYENAK Y., BLUM O., COŞKUN M., DAM M., DE TEMMERMAN L., FERNÁNDEZ J.A., FROLOVA M., FRONTASYEVA M., GONZÁLEZ-MIQUEO L., GRODZIŃSKA K., JERAN Z., KORZEKWA S., KRMAR M., KVIETKUS K., LEBLOND S., LIIV S., MAGNÚSSON S.H., MAŃKOVSKÁ B., PESCH R., RÜHLING Å., SANTAMARIA J.M., SCHRÖDER W., SPIRIC Z., SUCHARA I., THÖNI L., URUMOV V., YURUKOVA L., ZECHMEISTER H.G., *Mosses as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: Spatial patterns and temporal trends in Europe*, Environmental Pollution, 2010, Vol. 158, 3144–3156.
- [5] KŁOS A., *Porosty w biomonitoring środowiska*. Wydawnictwo Uniwersytetu Opolskiego, Opole 2009.
- [6] KŁOS A., RAJFUR M., ŠRÁMEK I., WACŁAWEK M., *Mercury concentration in lichen, moss and soil samples collected on the forest areas of Praded and Glacensis Euroregions (Poland and Czech Republic)*, Environmental Monitoring Assess, 2012, Vol. 184, No. 11, 6765–74.
- [7] KŁOS A., RAJFUR M., ŠRÁMEK I., WACŁAWEK M., *Use of lichen and moss in assessment of forest contamination with heavy metals in Praded and Glacensis Euroregions (Poland and Czech Republic)*, Water, Air, and Soil Pollution, 2011, Vol. 222, No. 1-4, 367-376.
- [8] KŁOS A., RAJFUR M., WACŁAWEK M. I WACŁAWEK W., *¹³⁷Cs transfer from local particulate matter to lichens and mosses*, Nukleonika, 2009, Vol. 54, No. 4, 297–303.
- [9] KŁOS A., RAJFUR M., WACŁAWEK M., WACŁAWEK W., *Biomonitoring Borów Stobrawskich*, Chemia, Dydaktyka, Ekologia, Metrologia, 2008, Vol. 13, No. 1–2, 95–99.

- [10] KURZAWA J., BRYK B., *Program ochrony środowiska i plan gospodarki odpadami dla gminy i miasta Węglińiec na lata 2005–2008 z perspektywą na lata 2009-2012*, BBF Sp. z o.o., Poznań 2005.
- [11] MALZAHN E., *Biomonitoring środowiska leśnego Puszczy Białowieskiej. Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 2009, Vol. 40, 439–447.
- [12] MIKOŁAJCZYK A., OSTRYCHARZ D., ŻYNIWICZ Ś., *Ocena poziomów substancji w powietrzu oraz wyniki klasyfikacji stref województwa dolnośląskiego za 2010 rok*, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska we Wrocławiu, Wrocław 2011.
- [13] PAWLACZYK P., JERMACZEK A., STAWARCZYK T., *Natura 2000. Standardowy formularz danych dla obszarów specjalnej ochrony, dla obszarów spełniających kryteria obszarów o znaczeniu wspólnotowym i dla specjalnych obszarów ochrony*. 2008.
- [14] PODGÓRSKA B., GÓRNIAK J., SYNOWIEC P., JANOWSKA M., STELMACH M., ORZECZOWSKI M., *Aktualizacja programu ochrony środowiska dla miasta i gminy Niemodlin na lata 2009-2012 z perspektywą na lata 2013–2016*, Albeko, Opole 2009.
- [15] RAJFUR M., KŁOS A., GAWLIK D., HYŠPLEROVA L., WACŁAWEK M., *Akumulacja metali ciężkich w mchach *Pleurozium schreberi* eksponowanych w pobliżu toru wyścigów samochodowych w Kamieniu Śląskim*, Proceedings of ECOpole, 2010, Vol. 4, No. 2, 477–482.
- [16] SZCZEPANIAK K. I BIZIUK M., *Aspects of biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution*, Environmental Research, 2003, Vol. 93, 221–230.
- [17] TRACZEWSKA T., *Biologiczne metody oceny skażenia środowiska*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2011.
- [18] ZIEMBLICKI R., *Program gospodarczo-ochronny leśnego kompleksu promocyjnego Puszcza Knyszyńska*, Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych w Białymstoku, Białystok 2013.
- [19] *Instrukcja obsługi aparatu AAS iCE 3000 firmy Thermo Scientific*, Spectro-Lab, Warszawa 2013.

BIOMONITORING OF SELECTED FOREST AREAS

Heavy metal Mn, Ni, Cu, Zn, Cd and Pb concentrations were determined in lichens (*Hypogymnia physodes*) and mosses (*Pleurozium schreiberi*) samples, growing in the areas of Dolnoslaskie Forest, Niemodlinskie Forests, Knyszynska Forest. Concentrations of the metals were determined with Atomic Absorption Spectrometry (AAS). The results were interpreted using the calculated comparison factor (CF). On the CF basis possible deposition of Ni, Zn, Cd and Pb in the area of the Dolnoslaskie Forest and Zn and Pb in the area of the Knyszynska Forest has been shown. The CF factors shown that deposition of analyzed metals in the Niemodlinskie Forest does not occur. Concentration of metal accumulated in lichens and mosses show a relatively high contamination with Mn, Cd, Pb in the area of Dolnoslaskie Forest and Ni, Cu, Zn in the area of Niemodlińskie Forest. The differences in assessment of the pollution and deposition levels in the areas studied may result from secondary enrichment of atmospheric aerosol with dust coming from the soil.