

Michał MARCINIAK<sup>1</sup>, Andrzej KŁOS<sup>1</sup> i Małgorzata RAJFUR<sup>1</sup>

## BIOMONITORING PASYWNY TERENÓW LEŚNYCH W GMINIE TWARDOGÓRA

### PASSIVE BIOMONITORING OF FOREST AREAS IN TWARDOGORA COMMUNE

**Abstrakt:** Celem przeprowadzonych badań była ocena poziomu zanieczyszczenia wybranymi metalami ciężkimi: Zn, Ni, Cd i Pb terenów leśnych gminy Twardogóra. Miasto Twardogóra położone jest w północno-wschodniej części województwa dolnośląskiego, lasy stanowią 44% całej powierzchni gminy. Porosty *Hypogymnia physodes* oraz mchy *Pleurozium schreberi* pobrane zostały z 32 miejsc zlokalizowanych w pobliżu wsi Gola, Goszcz, Grabowno Wielkie oraz Sosnowka. Wybrane metale ciężkie (Ni, Zn, Cd i Pb) oznaczono metodą absorpcyjnej spektroskopii atomowej. Wyniki badań zinterpretowano, wykorzystując m.in. współczynnik porównawczy CF, będący różnicą w stężeniach analitu zakumulowanego w porostach i w mchach, odniesioną do jego średniej zawartości w porostach i w mchach. Otrzymane wyniki wskazują na niejednorodną depozycję metali ciężkich na badanym obszarze, szczególnie Zn, Pb i Cd, co potwierdzają m.in. wyznaczone wartości CF. Wykazano, że mchy oraz porosty mogą być ważnym źródłem informacji o zanieczyszczeniu środowiska.

**Słowa kluczowe:** mchy *Pleurozium schreberi*, porosty *Hypogymnia physodes*, biomonitoring pasywny, współczynnik porównawczy CF

### Wprowadzenie

W ostatnich dekadach instrumentalne metody oceny zanieczyszczenia środowiska coraz częściej uzupełniane są przez metody biomonitoringowe [1, 2], polegające na ocenie zmian anatomicznych, morfologicznych i fizjologicznych zachodzących w roślinach pod wpływem zanieczyszczeń emitowanych do środowiska. Wśród biomonitorów wyróżnia się tzw. biomonitory akumulacji, mające zdolność do gromadzenia zanieczyszczeń [3, 4]. Jednymi z najczęściej wykorzystywanych są mchy i porosty, które substancje odżywcze, ale również zanieczyszczenia, pobierają całą swoją powierzchnią. O popularności tych metod świadczy fakt, że są one z powodzeniem wykorzystywane w większości krajów europejskich, także w Polsce. Przykładem są badania realizowane od 1990 r. w ramach *ICP Vegetation - International Cooperative Programme on Effects of Air Pollution on Natural Vegetation and Crops*, polegające na pomiarach stężeń metali ciężkich zakumulowanych w mchach [5, 6]. W 2010 r. w programie brało udział 29 państw [6]. Wielu informacji dostarczają badania prowadzone lokalnie, np. przy szlakach komunikacyjnych [7], wokół zakładów przemysłowych [8] czy terenów miejskich. Umożliwiają one ocenę depozycji zanieczyszczeń oraz kierunki ich rozprzestrzeniania [9].

Celem przeprowadzonych badań była ocena zanieczyszczenia metalami ciężkimi (Ni, Zn, Cd i Pb) obszarów leśnych gminy Twardogóra (województwo dolnośląskie). W 2015 r. tereny te były narażone na niekontrolowaną emisję zanieczyszczeń uwolnionych w wyniku 2 pożarów (lipiec i sierpień) w fabryce uszczelek położonej w miejscowości Twardogóra.

<sup>1</sup> Zakład Bioanalitiky, Samodzielna Katedra Biotechnologii i Biologii Molekularnej, Uniwersytet Opolski, ul. kard. B. Kominka 6, 45-032 Opole, tel. 77 401 60 42, fax 77 401 60 50, email: michal.marciniak0991@gmail.com, aklos@uni.opole.pl, mrajfur@o2.pl

Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole' 16, Zakopane, 5-8.10.2016

Do badań wykorzystano mchy *Pleurozium schreberi* i porosty *Hypogymnia physodes* [10-14].

### Obszar badań

Twardogóra to gmina miejsko-wiejska położona w północno-wschodniej części województwa dolnośląskiego, około 46 km od Wrocławia (południowo-zachodnia Polska) (rys. 1). Powierzchnia gminy wynosi 168 km<sup>2</sup>, z czego użytki rolne to 45,3%. Lasy stanowią około 44% całej powierzchni gminy. Teren gminy Twardogóra jest położony wśród Wzgórz Twardogórskich, tzw. Gór Kocich, należących do makroregionu Wału Trzebnickiego (wschodnie pasmo) [15, 16]. Północna część gminy wchodzi w skład Parku Krajobrazowego „Dolina Baryczy”. Ponadto na terenie gminy wytyczone są obszary NATURA 2000 [17]. Przez gminę przebiega droga wojewódzka nr 448 (Milicz-Syców), 15 dróg gminnych oraz trasa kolejowa Wrocław-Warszawa [18].

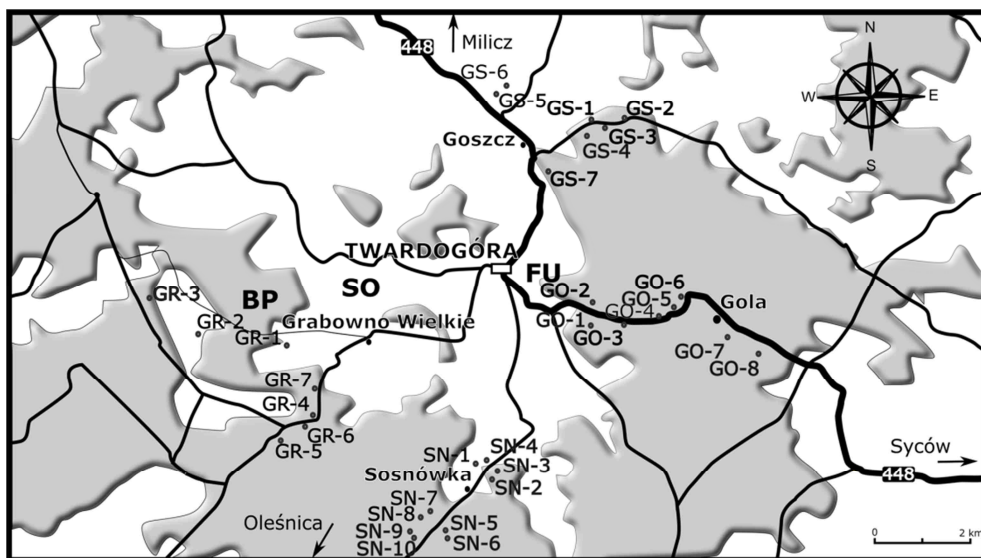


Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań

Fig. 1. Location of the study area

### Metodyka badań

Do badań wykorzystano mchy *Pleurozium schreberi* oraz porosty *Hypogymnia physodes* zebrane z 32 miejsc pomiarowych na terenie gminy Twardogóra (województwo dolnośląskie). Na rysunku 2 przedstawiono lokalizację miejsc pomiarowych oraz potencjalnych źródeł zanieczyszczeń: FU - fabryka uszczelek, SO - składowisko odpadów, BP - baza paliw.



Rys. 2. Miejsca pobierania próbek mchów i porostów

Fig. 2. Sites of moss and lichens collection

Pobrane próbki mchów i porostów oczyszczono z zanieczyszczeń mechanicznych i suszono w temperaturze nieprzekraczającej 303 K do uzyskania suchej masy. Tak przygotowane próbki były przechowywane w szczelnie zamkniętych pojemnikach polietylenowych. Reprezentatywne (uśrednione) próbki mchów i porostów o masie  $0,400 \pm 0,001$  g s.m. (s.m. - sucha masa) były mineralizowane w mieszaninie kwasu azotowego(V) i nadtlenku wodoru ( $\text{HNO}_3$  65% :  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% = 5:3) w mineralizatorze mikrofalowym Speedwave Four firmy Berghof, Niemcy. Proces mineralizacji prowadzono w temperaturze  $190^\circ\text{C}$ . Roztwory sporządzano, wykorzystując odczynniki firmy MERCK. Metale ciężkie (Ni, Zn, Cd i Pb) w zmineralizowanych próbkach oznaczono metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (AAS), wykorzystując aparat iCE 3500 firmy Thermo Electron Corporation (USA). W tabeli 1 podano granice wykrywalności oraz granice oznaczalności metali ciężkich, charakteryzujące spektrometr iCE 3500 [19]. Do kalibrowania aparatu wykorzystano wzorce firmy ANALYTIKA Ltd. (CZ).

Tabela 1

Granice wykrywalności (*IDL*) oraz granice oznaczalności (*IQL*)  
charakteryzujące spektrometr iCE 3500 [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ] [19]

Table 1

The instrumental detection limits (*IDL*) and instrumental quantification limits (*IQL*)  
for the spectrometer iCE 3500 [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ] [19]

Metal	Granica wykrywalności [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ]	Granica oznaczalności [ $\text{mg}/\text{dm}^3$ ]
Ni	0,0043	0,050
Zn	0,0033	0,010
Cd	0,0028	0,013
Pb	0,0130	0,070

Wartości największych stężeń wzorców użytych do kalibracji ( $2,0 \text{ mg/dm}^3$  dla Cd oraz  $5,0 \text{ mg/dm}^3$  dla Zn, Ni i Pb) przyjęto za granicę liniowej zależności sygnału od stężenia [19].

W tabeli 2 przedstawiono stężenia metali ciężkich oznaczone w certyfikowanym materiale referencyjnym BCR-482 *lichen*, wytwarzanym przez *Institute for Reference Materials and Measurements*, Belgia.

Tabela 2

Porównanie zmierzonych i certyfikowanych wartości stężeń analitów w BCR-482 *lichen*

Table 2

Comparison of measured and certified concentrations in BCR-482 *lichen*

Metal	BCR-482 <i>lichen</i>		AAS		Dev. **
	Stężenie	±Niepewność	Średnia	±SD*	
	[mg/kg s.m.]				[%]
Ni	2,47	0,07	2,16	0,32	-13
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  $100\% \cdot (c_r - c_c) / c_c$

### Sposób interpretacji wyników

W celu określenia prawdopodobnej depozycji metali ciężkich na badanym terenie wyznaczono współczynnik porównawczy (*Comparison Factor* -  $CF_i$ ) [10]:

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

gdzie  $c_{i(p)}$  - stężenie  $i$ -tego analitu w porostach,  $c_{i(m)}$  - stężenie  $i$ -tego analitu w mchach.

Wartość współczynnika  $CF_i > 0,62$  może wskazywać na depozycję  $i$ -tego analitu [10].

### Wyniki badań i ich omówienie

Badania biomonitoringowe przeprowadzono od 2.10.2015 do 15.10.2015 r. W tabeli 3 przedstawiono stężenia metali ciężkich oznaczanych w próbkach mchów *Pleurozium schreberi* oraz porostów *Hypogymnia physodes*.

Tabela 3

Stężenia analitów w próbkach mchów i porostów [mg/kg s.m.]

Table 3

The concentrations of analytes in moss and lichen samples [mg/kg d.m.]

Nr miejsca pomiarowego	GOLA (GO)							
	MCHY				POROSTY			
	Zn	Ni	Pb	Cd	Zn	Ni	Pb	Cd
1	49,3	< 1,25	9,92	< 0,33	98,7	1,28	32,8	< 0,33
2	89,8	2,31	< 1,75	0,51	88,5	1,35	11,0	0,75
3	48,3	4,04	13,0	< 0,33	90,7	1,48	5,24	0,76
4	83,8	3,11	4,24	< 0,33	92,3	< 1,25	3,16	< 0,33
5	33,3	1,81	< 1,75	< 0,33	88,6	< 1,25	5,01	< 0,33
6	36,4	< 1,25	< 1,75	< 0,33	68,7	1,42	< 1,75	0,83

GOLA (GO)								
Nr miejsca pomiarowego	MCHY				POROSTY			
	Zn	Ni	Pb	Cd	Zn	Ni	Pb	Cd
7	26,9	1,43	< 1,75	< 0,33	85,5	< 1,25	5,89	< 0,33
8	36,1	< 1,25	< 1,75	< 0,33	95,4	< 1,25	5,24	< 0,33
<i>Mediana</i>	42,35	1,62	< 1,75	< 0,33	89,65	1,27	5,24	< 0,33
<i>Średnia</i>	50,49	2,06	< 4,49	< 0,35	88,55	1,32	< 8,76	< 0,50
<i>SD</i>	23,66	1,04	> 4,46	> 0,06	9,04	0,09	> 10,07	> 0,23
GOSZCZ (GS)								
Nr miejsca pomiarowego	MCHY				POROSTY			
	Zn	Ni	Pb	Cd	Zn	Ni	Pb	Cd
1	18,9	3,46	< 1,75	< 0,33	25,5	3,44	< 1,75	< 0,33
2	16,6	3,23	< 1,75	< 0,33	24,7	2,94	< 1,75	< 0,33
3	15,2	3,08	< 1,75	< 0,33	27,6	3,07	< 1,75	0,36
4	12,5	2,76	< 1,75	< 0,33	27,8	2,89	< 1,75	< 0,33
5	17,2	2,61	< 1,75	< 0,33	26,3	2,69	< 1,75	< 0,33
6	21,8	2,86	< 1,75	< 0,33	25,5	3,74	< 1,75	< 0,33
7	24,4	3,92	2,36	< 0,33	33,1	3,92	< 1,75	< 0,33
<i>Mediana</i>	17,20	3,08	< 1,75	< 0,33	26,30	3,07	< 1,75	< 0,33
<i>Średnia</i>	18,09	3,13	< 1,84	< 0,33	27,21	3,24	< 1,75	< 0,33
<i>SD</i>	4,02	0,45	> 0,23	-	2,83	0,46	-	> 0,01
GRABOWNO WIELKIE (GR)								
Nr miejsca pomiarowego	MCHY				POROSTY			
	Zn	Ni	Pb	Cd	Zn	Ni	Pb	Cd
1	51,8	6,24	< 1,75	< 0,33	46,9	6,26	2,88	< 0,33
2	81,2	6,40	6,66	< 0,33	68,2	6,44	16,4	0,59
3	43,8	6,28	< 1,75	< 0,33	104	6,34	5,52	0,66
4	33,5	6,79	2,27	< 0,33	54,8	6,30	13,7	0,95
5	43,6	10,6	< 1,75	< 0,33	75,1	8,80	8,54	0,63
6	48,3	6,18	< 1,75	< 0,33	82,7	6,59	< 1,75	0,56
7	42,8	6,81	4,14	< 0,33	67,8	6,17	5,15	< 0,33
<i>Mediana</i>	43,80	6,40	< 1,75	< 0,33	68,20	6,34	5,52	0,59
<i>Średnia</i>	49,29	7,04	< 2,87	< 0,33	71,36	6,70	< 7,71	< 0,58
<i>SD</i>	15,16	1,59	> 1,89	-	18,72	0,94	> 5,51	> 0,21
SOSNOWKA (SN)								
Nr miejsca pomiarowego	MCHY				POROSTY			
	Zn	Ni	Pb	Cd	Zn	Ni	Pb	Cd
1	52,5	8,50	17,5	0,58	76,2	8,99	15,0	0,53
2	24,4	7,77	9,62	1,03	64,0	8,95	20,4	0,67
3	33,2	8,30	3,93	< 0,33	73,7	8,81	8,12	0,76
4	41,8	9,09	7,35	< 0,33	108	9,24	22,2	0,65
5	33,5	8,12	17,6	< 0,33	87,6	8,23	28,3	0,52
6	38,6	8,20	9,93	< 0,33	103	7,99	15,3	0,50
7	46,7	8,13	5,86	< 0,33	73,1	8,49	17,6	0,72
8	35,6	7,67	4,47	< 0,33	55,6	8,04	21,3	0,40
9	37,1	7,55	13,5	< 0,33	102	9,07	20,3	0,52
10	36,7	7,41	6,47	0,43	77,0	8,75	9,10	0,53
<i>Mediana</i>	36,90	8,13	8,49	< 0,33	76,60	8,78	18,95	0,53
<i>Średnia</i>	38,01	8,07	9,62	< 0,44	82,02	8,66	17,76	0,58
<i>SD</i>	7,73	0,50	5,04	> 0,22	17,56	0,44	6,13	0,11

W tabeli 4 zebrano obliczone wartości współczynników *CF* dla metali oznaczonych w próbkach mchów i porostów pobranych do badań na terenie gminy Twardogóra.

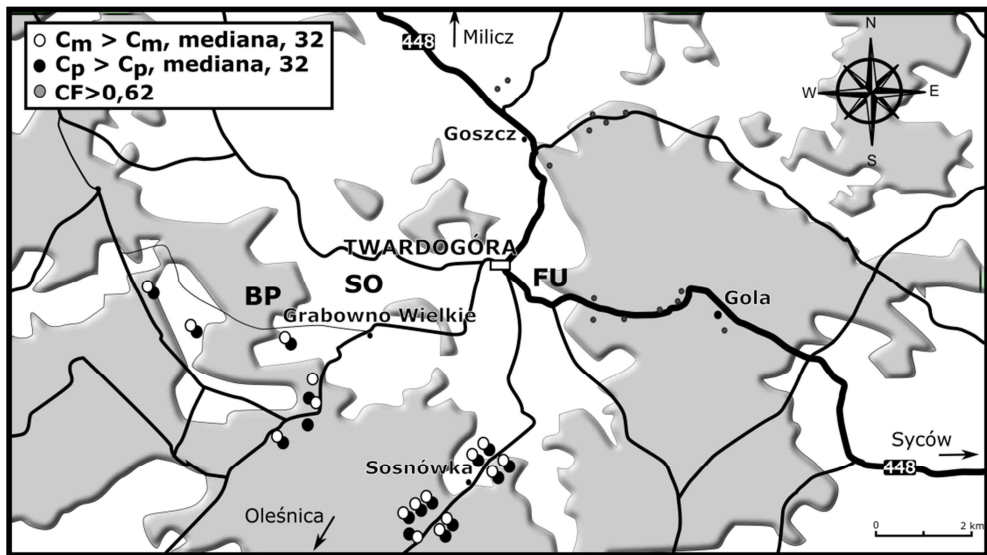
Tabela 4

Wartości współczynników  $CF$  wyznaczonych dla badanych metali

Table 4

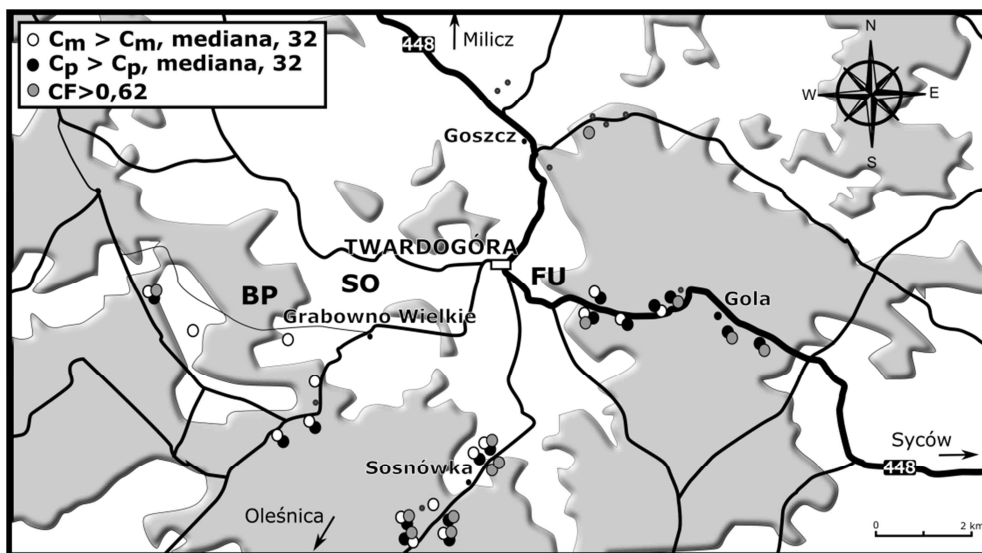
The designated  $CF$  values for studied metals

GOLA (GO)	Numer miejsca									
	1	2	3	4	5	6	7	8		
Ni	> 0,03	< 0	< 0	< 0	< 0	> 0,13	< 0	-		
Zn	0,67	< 0	0,61	0,10	0,91	0,61	1,04	0,90		
Cd	-	0,37	> 0,80	-	-	> 0,87	-	-		
Pb	1,07	> 1,45	< 0	< 0	> 0,96	-	> 1,08	> 1,00		
GOSZCZ (GS)	Numer miejsca									
	1	2	3	4	5	6	7			
Ni	< 0	< 0	0,00	0,05	0,03	0,27	0,00			
Zn	0,30	0,39	0,58	0,76	0,42	0,16	0,30			
Cd	-	-	0,09	-	-	-	-			
Pb	-	-	-	-	-	-	< 0			
GRABOWNO WIELKIE (GR)	Numer miejsca									
	1	2	3	4	5	6	7			
Ni	0,00	0,01	0,01	< 0	< 0	0,06	< 0			
Zn	< 0	< 0	0,82	0,48	0,53	0,53	0,45			
Cd	-	> 0,58	> 0,67	> 0,98	> 0,64	> 0,54	-			
Pb	0,49	0,85	> 1,04	1,43	> 1,32	-	0,22			
SOSNÓWKA (SN)	Numer miejsca									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ni	0,06	0,14	0,06	0,02	0,01	< 0	0,04	0,05	0,18	0,17
Zn	0,37	0,9	0,76	0,88	0,89	0,91	0,44	0,44	0,93	0,71
Cd	< 0	< 0	> 0,80	> 0,66	> 0,45	> 0,42	> 0,76	> 0,21	> 0,47	0,21
Pb	< 0	0,72	0,70	1,00	0,47	0,42	1,00	1,31	0,40	0,34



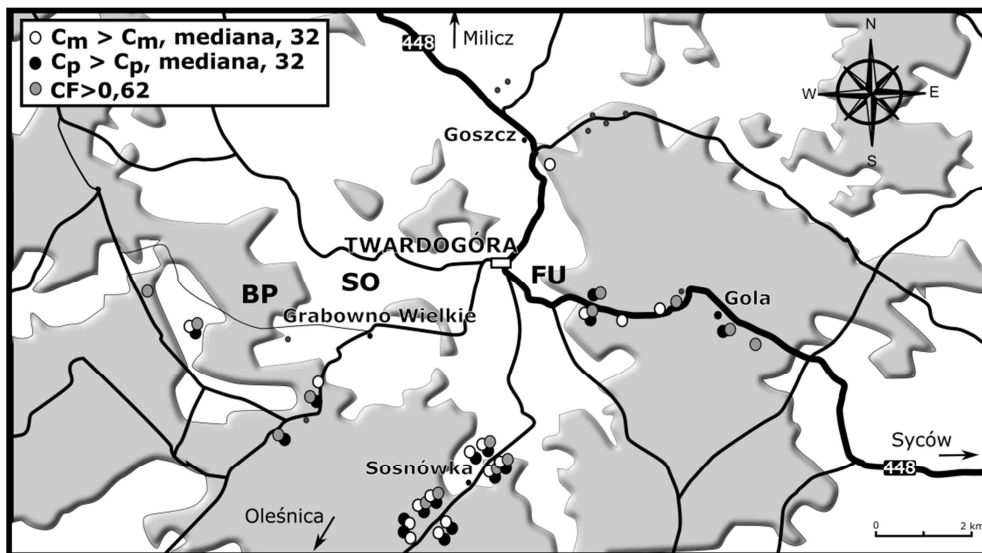
Rys. 3. Miejsca o zwiększonej depozycji Ni na terenie gminy Twardogóra

Fig. 3. Sites with an increased deposition of Ni on the Twardogóra commune area



Rys. 4. Miejsca o zwiększonej depozycji Zn na terenie gminy Twardogóra

Fig. 4. Sites with an increased deposition of Zn on the Twardogora commune area

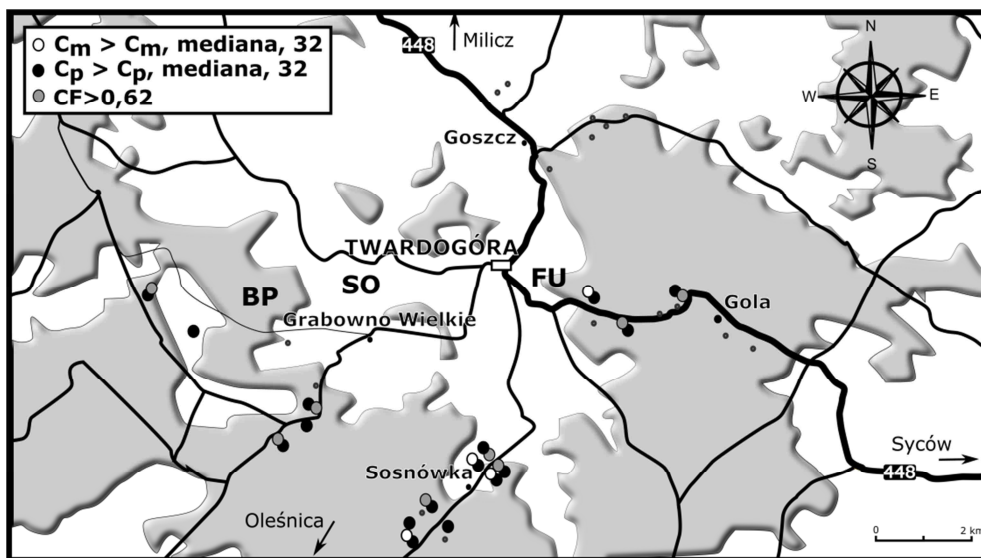


Rys. 5. Miejsca o zwiększonej depozycji Pb na terenie gminy Twardogóra

Fig. 5. Sites with an increased deposition of Pb on the Twardogora commune area

Na rysunkach 3-6 zaznaczono miejsca zwiększonej depozycji badanych metali. W odniesieniu do mchów (m) i porostów (p) charakteryzują je wartości stężeń większe od

wartości mediany wyznaczonej dla całego obszaru badań ( $c > c_{\text{mediana},32}$ ) oraz wartości  $CF > 0,62$ .



Rys. 6. Miejsca o zwiększonej depozycji Cd na terenie gminy Twardogóra

Fig. 6. Sites with an increased deposition of Cd on the Twardogóra commune area

Największe stężenia niklu zakumulowanego w mchach i w porostach oznaczono w próbkach pobranych w rejonie wsi Sosnówka i Grabowno Wielkie, na południe i południowy wschód od miejscowości Twardogóra. Wartości  $CF < 0,62$ , wyznaczone dla niklu, wskazują, że głównym źródłem zanieczyszczenia aerozolu atmosferycznego tym metalem może być emisja wtórna z gleby.

Na podstawie przyjętych wskaźników ( $c_m > c_{m,mediana,32}$ ,  $c_p > c_{p,mediana,32}$  i  $CF > 0,62$ ) można stwierdzić, że największe zanieczyszczenie Zn, Cd i Pb występuje na południe od Twardogóry, w pobliżu wsi Gola, Sosnówka i Grabowno Wielkie. Przyczyną może być emisja lokalna (np. [20]), ale też zanieczyszczenie tych terenów może być wynikiem pożarów w fabryce uszczeltek. Źródła lokalne podają, że podczas pożarów wiał wiatr z północnego zachodu i z północy.

Najmniej zanieczyszczone badanymi metalami są rejony w pobliżu wsi Goszcz, położone w kierunku północnym od miejscowości Twardogóra. W próbkach mchów i porostów pobranych w 7 miejscach w tym rejonie tylko w jednym przypadku odnotowano przekroczenie przyjętych wskaźników ( $CF_{Zn} > 0,62$ ). Polaryzacja rozkładu zanieczyszczeń na obszarze o powierzchni nieco ponad 100 km<sup>2</sup> wskazuje, że głównym źródłem zanieczyszczenia tego obszaru metalami ciężkimi jest emisja lokalna.

### Podsumowanie i wnioski

Zaprezentowane wyniki są przykładem możliwości wykorzystania mchów i porostów do oceny poziomu zanieczyszczenia oraz źródeł i kierunków rozprzestrzeniania się



zanieczyszczeń. Przeprowadzone badania wykazały niejednorodny rozkład stężeń badanych metali ciężkich zakumulowanych w mchach i w porostach pobranych na badanym obszarze, co wskazuje na emisję lokalną jako główne źródło ich pochodzenia.

## Literatura

- [1] Macedo-Miranda G, Avila-Pérez P, Gil-Vargas P, Zarazúa G, Sánchez-Meza JC, Zepeda-Gómez C, et al. Accumulation of heavy metals in mosses: a biomonitoring study. SpringerPlus. 2016;5:715-720. DOI: 10.1186/s40064-016-2524-7.
- [2] Canha N, Almeida-Silva M, Freitas MC, Almeida SM, Wolterbeek HTh. Lichens as biomonitors at indoor environments of primary schools. J Radioanal Nucl Chem. 2012;291:123-128. DOI: 10.1007/s10967-011-1259-8.
- [3] Markert B, Wünschmann S, Diatta J, Chudzińska E. Innowacyjna obserwacja środowiska - bioindykatory i biomonitoring: definicje, strategie i zastosowania. Ochr Środ Zasob Natur. 2012;53:115-152.
- [4] Markert B. Definitions and principles for bioindication and biomonitoring of trace metals in the environment. J Trace Elem Med Biol. 2007;21(S1):77-82. DOI: 10.1016/j.jtemb.2007.09.015.
- [5] Harmens H, Norris DA, Sharps K, Mills G, Alber R, Aleksiyayenak Y, et al. Heavy metal and nitrogen concentrations in mosses are declining across Europe whilst some "hotspots" remain in 2010. Environ Pollut. 2015;(200):93-104. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.01.036
- [6] Harmens H, Mills G, Hayes F, Sharps K, Frontasyeva M. Air Pollution and Vegetation ICP Vegetation, Annual Report 2015/2016. Bangor, UK: Centre Ecol Hydrol. Natural Environ Res Council. 2016. [https://www.researchgate.net/publication/308514162\\_Air\\_Pollution\\_and\\_Vegetation\\_ICP\\_Vegetation\\_Annual\\_Report\\_20152016](https://www.researchgate.net/publication/308514162_Air_Pollution_and_Vegetation_ICP_Vegetation_Annual_Report_20152016).
- [7] Niemelä M, Piispanen J, Poikolainen J, Perämäki P. Preliminary study of the use of terrestrial moss (*Pleurozium schreberi*) for biomonitoring traffic-related Pt and Rh deposition. Archives Environ Contamin Toxicol. 2007;52(3):347-354. DOI: 10.1007/s00244-006-0028-0.
- [8] Samecka-Cymerman A, Kosior G, Kempers AJ. Comparison of the moss *Pleurozium Schreberi* with needles and bark of *Pinus sylvestris* as biomonitors of pollution by industry in Stalowa Wola (south-east Poland). Exotoxicol Environ Saf. 2006;65:108-117. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2005.05.009.
- [9] Kłos A, Rajfur M, Waclawek M, Waclawek W, Wünschmann, Markert B. Quantitative relations between different concentrations of micro- and macroelements in mosses and lichens: the region of Opole (Poland) as an environmental interface in between Eastern and Western Europe. Int J Environ Health. 2010;4:98-119. DOI: 10.1504/IJENVH.2010.033702.
- [10] Kłos A. Porosty w biomonitoringu środowiska. Opole: Wyd Uniwersytetu Opolskiego; 2009.
- [11] Wójciak H. Porosty, mszaki, paprotniki. Warszawa: MULTICO Ofic Wyd; 2007.
- [12] Wardencki W, redaktor. Bioanalitka w ocenie zanieczyszczeń środowiska. Gdańsk: CEFAM; 2004.
- [13] Suoranta T, Niemelä M, Poikolainen J, Piispanen J, Nadeem S, Bokhari H, et al. Active biomonitoring of palladium, platinum, and rhodium emissions from road traffic using transplanted moss. Environ Sci Pollut Res. 2016;23:16790-16801. DOI: 10.1007/s11356-016-6880-1.
- [14] Klimek B, Tarasek A, Hajduk J. Trace element concentrations in lichens collected in the Beskidy Mountains, the Outer Western Carpathians. Bull Environ Contam Toxicol. 2015; 94:532-536. DOI: 10.1007/s00128-015-1478-8.
- [15] Uroki Twardogóry i okolic. Twardogóra: Gmina Twardogóra; 2003.
- [16] Światoń J, Szyndera D. Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego, załącznik nr 1 do uchwały nr xii/66/07 rady miejskiej w Twardogórze z dnia 26 października 2007 r. Tekst ujednolicony po zmianie. Gmina Twardogóra; 2007. [http://pl.twardogora.pl/index.php/zagospodarowanie-przestrzenne/doc\\_download/87-pena-tre-studium-uwarunkowa-i-kierunkow-](http://pl.twardogora.pl/index.php/zagospodarowanie-przestrzenne/doc_download/87-pena-tre-studium-uwarunkowa-i-kierunkow-)
- [17] Strategia rozwoju gminy Twardogóra na lata 2014-2020. Dolnośląskie centrum rozwoju lokalnego. Twardogóra-Wrocław: Gmina Twardogóra; 2013. [http://pl.twardogora.pl/index.php/dokumenty-strategiczne/doc\\_download/208-strategia-rozwoju-gminy-twardogora-na-lata-2014-2020](http://pl.twardogora.pl/index.php/dokumenty-strategiczne/doc_download/208-strategia-rozwoju-gminy-twardogora-na-lata-2014-2020)
- [18] Stanisławska M. Program ochrony środowiska dla gminy Twardogóra na lata 2016-2020. Twardogóra: Integrated Management Services Sp. z o.o.; 2016. [http://pl.twardogora.pl/index.php/ochrona-srodowiska/doc\\_download/102-program-ochrony-rodowiska](http://pl.twardogora.pl/index.php/ochrona-srodowiska/doc_download/102-program-ochrony-rodowiska)
- [19] Instrukcja obsługi aparatu AAS ICE 3500 firmy Thermo Scientific. Warszawa: Spectro-Lab; 2013.

- [20] Olszowski T, Bożym M. Pilot study on using an alternative method of estimating emission of heavy metals from wood combustion. *Atmos Environ.* 2014;94:22-27. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.05.011.

## PASSIVE BIOMONITORING OF FOREST AREAS IN TWARDOGÓRA COMMUNE

Department of Bioanalytics, Chair of Biotechnology and Molecular Biology  
University of Opole

**Abstract:** The aim of the study was the assessment of level of contamination with selected heavy metals: Zn, Ni, Cd and Pb of forest areas in Twardogóra commune. The Twardogóra town is located in the north-eastern part of Lower Silesia Province, forests account for 44% of the total area of the commune. *Hypogymnia physodes* lichens and *Pleurozium schreberi* moss were collected from 32 sites located near Gola, Goszcz, Grabowno Wielkie and Sosnówka villages. Selected heavy metals (Ni, Zn, Cd and Pb) were determined using atomic absorption spectrometry method. The results were interpreted using, among others, Comparison Factor *CF*, which is a difference in concentrations of analyte accumulated in lichens and moss, relative to its average content in lichens and moss. The results indicate a non-uniform deposition of heavy metals on the studied area, especially Zn, Pb and Cd, which is confirmed by the designated *CF* values. It has been shown, that moss and lichens can be an important source of information about environmental contamination.

**Keywords:** moss *Pleurozium schreberi*, lichen *Hypogymnia physodes*, passive biomonitoring, comparison factor *CF*