

METODY STOSOWANE W BIOINDYKACJI ŚRODOWISKA LEŚNEGO
PUSZCZY BIAŁOWIESKIEJ

Elżbieta Malzahn¹, Józef Wójcik²

¹Institut Badawczy Leśnictwa, Europejskie Centrum Lasów Naturalnych,
Park Dyrekcyjny 6, 17-230 Białowieża
e-mail: emalzahn@las.ibl.bialowieza.pl

²Institut Badawczy Leśnictwa, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Sękocin Stary
Zamiejscowy Wydział Leśny Politechniki Białostockiej, ul. Piłsudskiego 8, 17-200 Hajnówka

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodykę stosowaną w monitoringu biologicznym, prowadzonym od 1994 roku w celu oceny poziomu i kierunku zmian intoksykacji środowiska leśnego Puszczy Białowieskiej. Metoda bioindykacyjna polega na analizie składu chemicznego wybranego bioindykatora roślinnego: mchu rokitnika pospolitego *Pleurozium schreberi*, zbieranego corocznie w sieci powierzchni bioindykacyjnych. Zawartość metali ciężkich (Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd) w próbkach mchu jest oznaczana metodą optycznej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-OES). Podano błąd analityczny zastosowanej metody dla poszczególnych pierwiastków oraz limity detekcji oraz granice oznaczalności metali ciężkich dla procedury badawczej PB-07. Przedstawiono ocenę poziomów i trendów zmian oraz rozkładu przestrzennego kumulacji metali ciężkich przez mech na obszarze Puszczy Białowieskiej w latach 1994-2009.

Słowa kluczowe: Puszcza Białowieska, monitoring biologiczny, metale ciężkie, spektrometria emisyjna

WSTĘP

Stan obecny i przyszłość lasów zależą od największego zagrożenia naszych czasów – zanieczyszczenia środowiska, którego poziom warunkują siły przyrody i działalność człowieka. Skazanie środowiska ocenia się zwykle metodami fizykochemicznymi, określając stężenia pierwiastków lub ich związków w powietrzu, wodzie i glebie. Obecnie na szeroką skalę do obiektywnej oceny stanu środowiska są wykorzystywane metody bioindykacyjne (m.in. Grodzińska i in. 2003, Suchara i in. 2007).

Stały wzrost tempa eksploatacji i zużycia metali prowadzi do ciągłych zmian

w proporcji między ich uruchamianiem i wprowadzaniem do środowiska biologicznego a ponownym odkładaniem w utworach geologicznych. Metale ciężkie mogą być przenoszone na dalekie odległości razem z gazami i aerozolami. W lasach narażonych na silne oddziaływanie zanieczyszczeń stwierdzono, że o ilości metali ciężkich (szczególnie Pb i Cd) w roślinach i na ich powierzchni decyduje głównie atmosferyczna depozycja sucha i mokra (m.in. Szarek, Braniewski 1996).

Uzupełnieniem monitoringu wprowadzanych do środowiska naturalnego zanieczyszczeń powinien być monitoring biologiczny, który jest uznaną miarą odpowiedzi żywych organizmów na zmiany zachodzące w ich środowisku (Grodziński, Yorks 1981). Monitoring zanieczyszczeń powietrza i uzupełniający go monitoring biologiczny jest prowadzony od 1986 roku w jednym z najcenniejszych obiektów przyrodniczych Europy, w Puszczy Białowieskiej (Malzahn 1999).

MATERIAŁ I METODY

Wybitnymi akumulatorami metali ciężkich są mchy, które posiadają wiele cech dobrego biowskaźnika. Ważna jest dostępność materiału: wiele gatunków ma szeroki zasięg geograficzny i występuje obficie w różnorodnych siedliskach naturalnych. Mchy nie posiadają kutikuli i epidermy, dzięki temu ich liście są łatwo przepuszczalne dla jonów metali. Są pozbawione korzeni i tkanek przewodzących, więc jony metali ciężkich czerpią głównie z powietrza, co powoduje, że stężenie metali ciężkich w mchach jest funkcją wielkości depozycji suchej i mokrej metali z powietrza (Tyler 1971).

Do oceny poziomu skażenia środowiska leśnego w Puszczy Białowieskiej stosuje się metodę bioindykacyjną, polegającą na analizie składu chemicznego wybranego bioindykatora roślinnego: mchu rokitnika pospolitego *Pleurozium schreberi*, uznanego za dobry biowskaźnik zanieczyszczenia środowiska naturalnego w Polsce i w Europie (Suchara i in. 2007, Dećkowska i in. 2008).

Na 25 powierzchniach bioindykacyjnych w ubogich i mniej wilgotnych typach siedliskowych lasu: Bśw i BMśw każdego roku jesienią (październik) zbierane są próbki mchu z 10 losowo wybranych stanowisk. Próbki te są następnie mieszane i analizowane jako próbka uśredniona dla powierzchni. Lokalizację powierzchni przedstawiono w postaci punktów na rysunku 2. Bezpośrednio po zebraniu w terenie, wszystkie próbki mchu oczyszcza się z martwych części i elementów obcych, następnie suszy w temperaturze 60°C i miele w młynie firmy Frisch. W suchej masie próbek mchu oznaczane są metale ciężkie: Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb i Cd.

Zawartość metali jest oznaczana metodą optycznej spektrometrii emisyjnej z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP-OES) na spektrometrze iCAP 6500 firmy

THERMO SCIENTIFIC, zgodnie z PB-07 ed. 4 z dnia 01.01.2010, po mineralizacji roślin „na mokro” w mieszaninie stężonych kwasów azotowego (V) – (HNO_3) i chlorowego (VII) – (HClO_4) zmieszanych w stosunku 4:1, o znanym błędzie analitycznym (tab. 1).

Tabela 1. Błąd metod analitycznych oznaczania metali ciężkich w mchach ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), stosowanych w monitoringu zanieczyszczeń powietrza (Reimann i in. 2001)

Table 1. Error of analytical methods of determination of heavy metals in mosses ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), used in monitoring of air pollution (Reimann *et al.* 2001)

Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd
15	0,5	1,5	0,25	0,025	0,2	0,4	0,03
ICP-AES	ICP-AES	ICP-AES	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS

Wszystkie badania wykonywane są zgodnie z metodyką europejskiego programu monitoringu lasów (Rautio i in. 2010) w Samodzielnej Pracowni Chemii Środowiska Leśnego Instytutu Badawczego Leśnictwa, posiadającej certyfikat akredytacji nr AB 740 w dziedzinach: badania chemiczne, analityka chemiczna, badania właściwości fizycznych.

Spektrometr iCAP 6500 DUO firmy Thermo Scientific posiada optykę typu Echelle o wysokiej rozdzielczości, umożliwiającą zogniskowanie pełnego, dwuwymiarowego widma spektralnego na nieruchomym, również dwuwymiarowym, opatentowanym, unikalnym detektorze CID. Detektor półprzewodnikowy ze wstrzykiwaniem ładunku umożliwia jednoczesną rejestrację pełnego widma spektralnego, dzięki czemu uzyskuje się:

- dużą szybkość analizy wielopierwiastkowej na poziomie śladowym,
- jednoczesny dostęp do wszystkich niezbędnych linii emisyjnych:
 - analizowanych pierwiastków,
 - pierwiastków stosowanych jako wzorce wewnętrzne,
 - pierwiastków stosowanych do międzypierwiastkowej korekcji interferencji (IEC),
 - tła występującego po obydwu stronach linii analitycznych, w pełnym zakresie widmowym.

W detektorze CID spektrometru ICAP 6500 nie występuje efekt rozprzestrzeniania się ładunku na sąsiadujące elementy fotoczule (blooming), podczas gdy w detektorze CCD, zastosowanym w innych przyrządach, efekt bloomingu może praktycznie uniemożliwić analizę pierwiastków śladowych w obecności dużych ilości pierwiastków głównych.

W spektrometrze iCAP 6500 zastosowano system DUO: w celu uzyskania niskich granic wykrywalności oznaczanych pierwiastków używa się systemu osio-

wej obserwacji obszaru wzbudzenia poziomej plazmy oraz przedłużony palnik plazmowy TraceTech. Dzięki przedłużonej kwarcowej obudowie plazma jest izolowana od niekorzystnego wpływu powietrza atmosferycznego. Jest to szczególnie istotne w przypadku oznaczeń pierwiastków z liniami emisyjnymi o długościach fal poniżej 200 nm. Do analiz bardzo wysokich stężeń służy system pionowej obserwacji obszaru wzbudzenia plazmy.

W spektrometrze iCAP 6500 limit detekcji większości pierwiastków, przy wyborze najbardziej optymalnej linii dla każdego z nich, nie przekracza $1 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($1 \text{ ng}\cdot\text{cm}^{-3}$). Dla procedury badawczej PB-07 ed. 4 z dnia 01.01.2010 obliczono limity detekcji oraz granice oznaczalności metali ciężkich (tab. 2).

Limit detekcji (LOD) oznacza najmniejszą ilość lub najmniejsze stężenie substancji, możliwe do wykrycia za pomocą danej metody analitycznej, z określonym prawdopodobieństwem. Granica oznaczalności (LOQ) oznacza najmniejszą ilość lub najmniejsze stężenie substancji możliwe do ilościowego oznaczenia daną metodą analityczną, z założoną dokładnością i precyzją.

Wszystkie wyniki pomiarów poddawane są analizie statystycznej. W kolejnych latach obliczano wartości średnie z odchyleniami standardowymi (S.D.) i współczynnikami zmienności (CV, %). Istotność trendów zmian wartości badanych parametrów określano obliczając współczynniki korelacji (r) z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego Excel 5.0. Trendy zmian analizowanych parametrów przedstawiono w tekście, podając współczynnik korelacji i poziom ufności P .

Tabela 2. Limity detekcji oraz granice oznaczalności metali ciężkich w mchu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), oznaczanych na spektrometrze emisyjnym ze wzbudzeniem plazmowym iCAP 6500 Thermo Scientific zgodnie z PB-07 ed. 4 z dnia 01.01.2010.

Table 2. Limits of detection (LOD) and limits of quantification (LOQ) for the determination of heavy metals in moss by the analytical procedure PB-07 ed. 4 01.01.2010, using the iCAP 6500 ICP-OES spectrometer

Metal	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Limit detekcji Limit of detection (LOD)	0,04	0,04	0,2	0,8	0,03	0,1	0,5	0,15
Granica oznaczalności Limit of quantification (LOQ)	0,10	0,08	0,6	2,5	0,10	0,2	1,0	0,30

Do oceny rozkładu przestrzennego kumulacji metali przez bioindykator na obszarze Puszczy obliczano sumaryczny indeks zawartości metali ciężkich (Godzik, 1991) w każdym bioindykatorze – S_j wg wzoru:

$$S_j = \sum_{i=1}^s y_{ij} \quad (1) \qquad y_{ij} = \frac{\bar{x}_{ij} - x_i}{x_i} \quad (2)$$

gdzie: S_j – indeks zawartości metali ciężkich, x_{ij} – stężenie i -tego pierwiastka w danym bioindykatorze na j -tej powierzchni, x_i – średnia zawartość i -tego pierwiastka na wszystkich powierzchniach.

Rozkład przestrzenny zawartości metali w mchu na obszarze Puszczy przedstawiono również w postaci map, wykreślanych numerycznie przy pomocy specjalnego oprogramowania – pakietu automatycznego kreślenia map IZOLIN (Molski i in. 1987). Jest to pakiet FORTRAN umożliwiający tworzenie i rysowanie linii konturowych z podanych w postaci funkcji $F(x, y)$ danych z nieregularnej siatki punktów. Podczas stosowania tego oprogramowania należy jednak pamiętać, że mapy reprezentują graficzny obraz wielkości różnic w pełnej puli danych, natomiast różnice pomiędzy strefami mogą być statystycznie nieistotne.

WYNIKI I DYSKUSJA

W mchu rokitniku pospolitym *Pleurozium schreberi* w Puszczy Białowiejskiej w latach 1994-2009 zawartości metali ciężkich mieściły się w granicach zawartości normalnych we wszystkich latach badań (tab. 3), na żadnej powierzchni nie przekraczając wartości uznawanych za toksyczne, pomimo stosunkowo dużej zmienności zawartości poszczególnych metali – od 11 % (Mn) do 42 % (Cr). Kumulacja metali ciężkich w mchu tworzyła szereg malejący: Fe > Mn > Zn > Cr > Pb > Ni > Cu > Cd. Należy jednak pamiętać, że potencjalne skażenie środowiska przez poszczególne metale nie oznacza ich szkodliwości dla organizmów żywych. Toksyczność metali zależy przede wszystkim od ich biochemicznej roli w roślinach oraz od udziału w interakcjach typu synergicznego i antagonicznego z innymi pierwiastkami (Kabata-Pendias, Pendias 1979).

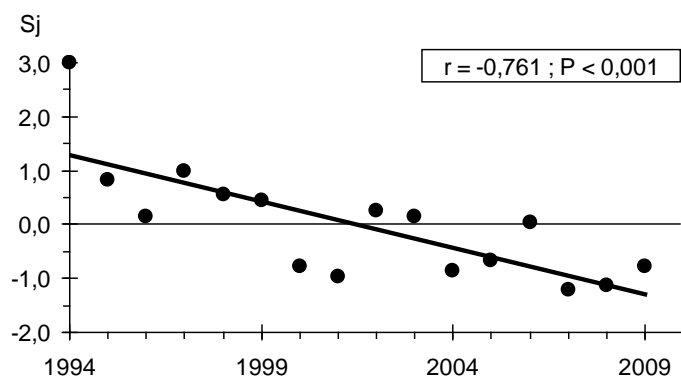
Na mapach skażenia powietrza w Polsce sporządzonych na podstawie zawartości metali ciężkich w mchach w 1990 r. wyznaczono 4 strefy, z których strefa A – relatywnie czysta, objęła północno-wschodnią część kraju (Grodzińska i in. 1994). Mech w tej strefie zawierał w $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ poniżej 1000 Fe, 60 Zn, 12 Cu, 25 Pb i 0,50 Cd. W 2000 r. średnia zawartość metali w mchu *Pleurozium schreberi* w Polsce wynosiła w $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 938 Fe, 49 Zn, 3,1 Cr, 2,7 Ni, 8,6 Cu, 13,7 Pb i 0,49 Cd (Suchara i in. 2007). A więc można uznać, że do 2009 r. Puszcza Białowiejska ciągle znajdowała się na obszarze kraju w strefie relatywnie czystej. Jednak w porównaniu z kumulacją metali przez mech na najmniej skażonych obszarach w Europie np. w Norwegii, gdzie w 1995 r. mech zawierał w $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 170 Fe, 26 Zn, 2,4 Cu, 2,3 Pb i 0,19 Cd (Berg i Steinnes 1997), w Puszczy Białowiejskiej w latach 1994-2009 kumulacja metali ciężkich była około dwukrotnie większa.

Tabela 3. Zawartość metali ciężkich ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) w mchu *Pleurozium schreberi* w Puszczy Białowiejskiej w latach 1994-2009. Sj – sumaryczny indeks zawartości metali w mchu w roku

Table 3. Heavy metals contents ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) in moss *Pleurozium schreberi* in the Białowieża Primeval in the years 1994-2009. Sj – heavy metal contents total index in a year

Rok Year	Metal								Sj
	Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Ni	Pb	Cd	
1994	771,9	316,9	54,5	5,85	21,58	14,74	10,50	0,494	2,99
1995	564,5	284,1	48,4	5,00	10,73	7,60	10,14	0,432	0,84
1996	455,3	359,5	43,1	4,18	8,24	4,78	11,22	0,389	0,14
1997	543,2	317,0	49,4	3,60	13,71	7,71	12,03	0,452	0,98
1998	486,5	376,4	48,4	4,71	8,61	5,82	9,81	0,428	0,55
1999	461,5	370,5	45,9	5,37	8,76	7,55	7,91	0,395	0,45
2000	355,0	356,7	41,5	4,26	9,30	6,04	5,95	0,338	-0,78
2001	405,7	301,7	38,2	4,52	6,80	5,64	6,08	0,313	-0,97
2002	532,5	389,3	44,3	5,02	13,84	8,79	6,15	0,299	0,25
2003	381,7	391,3	41,2	6,41	10,95	7,88	6,09	0,374	0,15
2004	254,9	331,0	51,7	5,72	7,88	5,88	5,24	0,293	-0,85
2005	369,5	297,3	42,6	5,78	9,09	6,07	6,46	0,300	-0,66
2006	357,2	381,4	59,7	7,88	5,84	4,81	5,43	0,315	0,03
2007	320,0	342,3	36,8	5,80	6,33	4,13	5,36	0,293	-1,22
2008	335,8	281,6	40,2	6,94	6,74	4,88	5,19	0,247	-1,13
2009	307,8	321,8	36,3	7,98	5,42	4,69	4,81	0,343	-0,78
Średnia Mean	431,4	338,7	45,1	5,56	9,61	6,69	7,40	0,357	0,00
S.D.	128,4	37,4	6,5	1,26	4,05	2,55	2,47	0,069	1,07
CV, %	29,8	11,0	14,5	22,7	42,2	38,1	33,4	19,5	
Minimum	254,9	281,6	36,3	3,60	5,42	4,13	4,81	0,247	-1,22
Maximum	771,9	391,3	59,7	7,98	21,58	14,74	11,22	0,494	2,99

Wśród ośmiu analizowanych metali w mchu sześć wykazywało istotne prostoliniowe trendy zmian: malała zawartość Pb ($r = -0,878$; $P < ,001$), Cd ($r = -0,834$; $P < ,001$), Fe ($r = -0,804$; $P < ,001$), Cr ($r = -0,648$; $P < ,01$) i Ni ($r = -0,597$; $P < ,05$), natomiast wzrastała zawartość Cu ($r = 0,719$; $P < ,01$). Dwa metale: Mg i Zn wykazywały lekki, nieistotny trend malejący. Wyraźny obraz zmian zawartości metali ciężkich w mchu w latach 1994-2009 przedstawia sumaryczny indeks zawartości metali Sj, który zmieniał się od wartości 2,99 w 1994 r. do -1,22 w roku 2007, co wykazał istotny trend prostoliniowy malejący ($r = -0,761$; $P < ,001$) (rys. 1).



Rys. 1. Trend zmian indeksu zawartości metali Sj w mchu *Pleurozium schreberi* w Puszczy Białowieżskiej w latach 1994-2009

Fig. 1. Trend of change in heavy metal content index Sj in moss *Pleurozium schreberi* in the Białowieża Primeval Forest in the years 1994-2009



Rys. 2. Rozkład przestrzenny indeksu zawartości metali (Sj) w mchu *Pleurozium schreberi* w Puszczy Białowieżskiej w latach 1994-2009

Fig. 2. Spatial distribution of heavy metals contents index (Sj) in moss *Pleurozium schreberi* in the Białowieża Primeval Forest in the years 1994-2009

Podczas analizy rozkładu przestrzennego skażenia obszaru Puszczy, jako powierzchnię o największej zawartości metali w mchu indeks S_j wskazał powierzchnię w Ładzkiej Puszczy, a najmniejszej – powierzchnię na obszarze Białowieskiego Parku Narodowego (rys. 2). Ocena zanieczyszczenia środowiska leśnego metodą bioindykacyjną wskazała istnienie lokalnych źródeł emisji zanieczyszczeń: miasta Hajnówka, miejscowości na Polanie Narewckowskiej (Narewka, Siemianówka, Lewkowo, Planta) i na Polanie Białowieskiej (Białowieża) oraz jedyne go środka komunikacji Białowieży z terytorium kraju – szosy, przechodzącej przez środek Puszczy z zachodu na wschód.

W porównaniu z rozkładem przestrzennym kumulacji metali ciężkich w mchu w Puszczy Białowieskiej w latach 1994-2006 (Malzahn 2009), zmniejszyło się skażenie północno-wschodniej i południowej części Puszczy.

WNIOSKI

1. Zastosowana do oceny zagrożeń środowiska leśnego metoda bioindykacyjna dobrze spełnia rolę wskaźnika skażenia środowiska leśnego Puszczy Białowieskiej, którego poziom jest charakterystyczny dla obszarów relatywnie czystych i w małym stopniu zagrożonych.

2. Zawartości metali ciężkich w mchu *Pleurozium schreberi* nie przekraczały wartości tolerowanych przez rośliny na żadnej powierzchni bioindykacyjnej we wszystkich latach badań monitoringowych. Były jednak wyższe niż w bioindykatorach zebranych na obszarach uznanych w Europie za najmniej zanieczyszczone np. w Finlandii, Norwegii czy w Szwecji.

3. Stwierdzone w latach 1994-2009 istotne trendy obniżania się zawartości pięciu metali ciężkich (Pb, Cd, Fe, Cr, Ni) w mchu *Pleurozium schreberi* świadczą o zmniejszaniu się poziomu skażenia środowiska leśnego Puszczy.

4. Monitoring biologiczny w Puszczy Białowieskiej dostarcza niezbędnych informacji, które są podstawą do działań na rzecz jej ochrony i regeneracji. Mogą także stanowić punkt odniesienia dla silnie zagrożonych obszarów leśnych w kraju i w Europie.

PIŚMIENNICTWO

- Dećkowska A., Pierścieniak M., Gworek B., Maciaszek D., 2008. Wybrane gatunki roślin jako wskaźniki zmian w środowisku. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 37, 128-138.
- Godzik B., 1991. Zanieczyszczenie mchów Gorczańskiego Parku Narodowego metalami ciężkimi. *Ochr. Przyr.*, 49, 1, 87-92.

- Grodzińska K., Frontasyeva M., Szarek-Łukaszewska G., Klich M., Kucharska-Fabiś A., Gundorina S., Ostrovna T.M., 2003. Trace element contamination in industrial regions of Poland studied by moss monitoring. *Environmental and Assessment*, 87, 255-270.
- Grodzińska K., Szarek, G., Godzik B., Braniewski S., Chrzanowska E., 1994. Mapping air pollution in Poland by measuring heavy metal concentration in mosses. In: *Climate and Atmospheric Deposition Studies in Forests*. (eds: J. Solon, E. Roo-Zielińska, A. Bytnerowicz). Conference Papers IGSO PAS, Warszawa, 19, 197-209.
- Grodziński W., Yorks T.P., 1981. Species and ecosystem level bioindicators of airborne pollution: an analysis of two major studies. *Water, Air, Soil Pollut.*, 167, 33-53.
- Kabata-Pendias A., Pendias H., 1979. *Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym*. Wyd. Geol., Warszawa, 1-300.
- Malzahn E., 2009. Biomonitoring środowiska leśnego Puszczy Białowieskiej. *Ochrona środowiska i zasobów naturalnych*, 40, 439-447.
- Malzahn E., 1999. Ocena zagrożeń i zanieczyszczenia środowiska leśnego Puszczy Białowieskiej. *Pr. Inst. Bad. Leśn., Ser. A*, 885, 1-177.
- Molski B., Głębicki C., Dmuchowski W., 1987. Data management computer system of air pollution impact on forest used in the Botanical Garden of the Polish Academy of Sciences and its relation to existing systems in Poland. In: *Forest decline and reproduction: regional and global consequences*. Proc. Workshop, Kraków, Poland, 23-27 March 1987 (eds. L. Kairiukstis, S. Nilsson, A. Straszak), IIASA, Laxenberg, 45-52.
- Rautio P., Fürst A., Stefan K., Raitio H., Bartels U., 2010. Sampling and Analysis of Needles and Leaves. 19 pp. Manual Part XII. In: *Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests*, UNECE, ICP Forests Programme Co-ordinating Centre, Hamburg.
- Reimann C., Niskavaara H., Kashulina G., Filzmoser P., Boyd R., Volden T., Tomilina O., Bogatyrev I., 2001. Critical remarks on the use of terrestrial moss (*Hylocomium splendens* and *Pleurozium schreberi*) for monitoring of airborne pollution. *Environ. Pollut.*, 113, 41-57.
- Suchara I., Florek M., Godzik B., Mankovska B., Rabnec G., Sucharova J., Tuba Z., Kapusta P., 2007. Mapping of main sources of pollutants and their transport In the Visegrad Space. Part I: Eight toxic metals. Export group on bio-monitoring the atmospheric deposition loads in the Visegrad countries. *Vyzkumny ustav, Silva Taroucy pro krajinu a okrasne zahradnictvi, v.v.i., Pruhonice, KLEMO, Zvolen*, 1-127.
- Szarek G., Braniewski S., 1996. Metale ciężkie w opadzie ściółki lasu mieszanego zlewni potoku Ratanica. *Sylwan*, 4, 53-61.
- Tyler G. 1971. Moss analysis – a method for surveying heavy metal deposition. 2-nd Intern. Clean Air Congr., Washington, D.C., Proc, 129-132.

METHODS USED IN THE BIOINDICATION OF THE FOREST ENVIRONMENT IN THE BIAŁOWIEŻA PRIMEVAL FOREST

Elżbieta Malzahn¹, Józef Wójcik²

¹Forest Research Institute, European Centre for Natural Forests,
Park Dyrekcyjny 6, 17-230 Białowieża
Białystok University of Technology, Branch Faculty of Forestry
ul. Piłsudskiego 8, 17-200 Hajnówka
e-mail: emalzahn@las.ibl.bialowieza.pl

²Forest Research Institute, ul. Braci Leśnej 3, 05-090 Sękocin Stary
Białystok University of Technology, Branch Faculty of Forestry, Piłsudskiego 8, 17-200 Hajnówka

Abstract. The work presents the methodology used in the biological monitoring of forests, carried out since 1994 in order to assess the level and trends of changes in pollution of forest environment of Białowieża Primeval Forest. The method relies on chemical analysis of Schreber's big red stem moss *Pleurozium schreberi* as a biological indicator. Moss is collected annually from network of bio-indication plots. The content of heavy metals in the moss (Fe, Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd) is determined by inductively coupled plasma optical emission spectrophotometry (ICP-OES). Analytical error, limits of detection (LOD) and limits of quantification (LOQ) for particular elements determined by the method are given. The level, direction of changes and spatial distribution of the accumulation of heavy metals in *Pleurozium schreberi* in the years of 1994-2009 are presented.

Key words: Białowieża Primeval Forest, bio-monitoring, heavy metals, ICP-OES method