

AGNIESZKA BĄBELEWSKA

## Zastosowanie biotestów kory sosnowej i plech *Hypogymnia physodes* do oceny oddziaływania zanieczyszczeń przemysłowych na zbiorowiska leśne

Application of Scots pine bark and *Hypogymnia physodes* thallus tests in assessing the impact of industrial contamination in forest communities

### ABSTRACT

Bąbewska A. 2014. Zastosowanie biotestów kory sosnowej i plech *Hypogymnia physodes* do oceny oddziaływania zanieczyszczeń przemysłowych na zbiorowiska leśne. Sylwan 158 (4): 251-257.

The aim of the research was to indicate the most useful bioindicator for monitoring the industrial contamination degree in forest communities, mainly polluted with heavy metals and sulphur. The *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. lichen has proved higher ability to accumulate industrial contamination in Scots pine-dominated forest communities comparing to the pine bark.

### KEY WORDS

bioindication, bark, lichen, heavy metals

### ADDRESSES

Agnieszka Bąbewska – e-mail: a.babelewska@ajd.czyst.pl

Zakład Botaniki i Ekologii Roślin, Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie;  
al. Armii Krajowej 13/15; 42-200 Częstochowa

### Wstęp

Ilościowa ocena stanu obciążenia zbiorowisk leśnych zanieczyszczeniami przemysłowymi, tj. metalami ciężkimi czy zanieczyszczeniami siarkowymi, jest możliwa dzięki zastosowaniu metod biologicznych z wykorzystaniem wyselekcjonowanych organizmów żywych – bioindykatorów o zdolnościach biokumulacyjnych. Organizmy akumulujące zanieczyszczenia stanowią jedną z wielu grup bioindykatorów stosowanych do oceny różnych parametrów zbiorowisk leśnych. Poziom nagromadzenia zanieczyszczeń w bioindykatorach typu akumulującego podlega instrumentalnej ocenie, wynikiem której są wskazania stężeń badanych polutantów.

W monitoringu powszechnie stosowane są biokumulatory, tj. mchy [Grodzińska, Szarek-Łukaszewska 2001; Suchara i in. 2007; Sucharová i in. 2008; Harmens i in. 2008], grzyby zlicenizowane [Branquinho i in. 1999; Conti, Cecchetti 2001; van Dobben i in. 2001; Garty 2001; Rusu i in. 2006] oraz różne gatunki drzew. Jednym z najczęściej wykorzystywanych gatunków drzew jest sosna zwyczajna *Pinus sylvestris* (L.), z uwagi na możliwość użycia prawie wszystkich jej organów wegetatywnych i generatywnych jako narzędzi określających poziom zanieczyszczenia środowiska – np. igieł [Malzahn 2002; Zabłocki, Podlasińska 2002; Yilmaz, Zengin 2004], drewna [Braniewski 1993] i kory [van Dobben i in. 2001; Laureysens i in. 2004; Rusu i in. 2006].

Większość zanieczyszczeń dopływających do zbiorowisk leśnych pochodzi z aglomeracji miejskich. Emisje z miast są wypadkową zanieczyszczeń pochodzących z procesów technologicznych

w zakładach przemysłowych, z procesów grzewczych w sektorze komunalnym i spalania paliw w transporcie samochodowym. Zanieczyszczenia typu przemysłowego to głównie pyły wiążące na swoich powierzchniach znaczne ilości metali ciężkich oraz tlenki siarki i azotu. Szczególnie szkodliwe w oddziaływaniu na organizmy żywe są takie metale ciężkie jak Cd, Hg, Pb, Cu, Zn, Cr i Sn, których udział w procesach biochemicznych nie jest potwierdzony. Związki siarki wpływają na zakwaszenie materiału biologicznego.

Zbiorowiska leśne północnej części województwa śląskiego podlegają stałemu oddziaływaniu zanieczyszczeń wyemitowanych z największych obszarów przemysłowych, z GOP-u oraz sąsiednich województw: łódzkiego (od strony północnej), a w szczególności ze znajdującego się w jego granicach powiatu bełchatowskiego z Elektrownią „Bełchatów”, opolskiego (od strony zachodniej) czy leżącego dalej województwa małopolskiego (od strony południowo-wschodniej). Powyższe województwa (a szczególnie łódzkie i małopolskie) stanowią czołówkę regionów emitujących największe ilości zanieczyszczeń pyłowych i gazowych w Polsce. Transport zanieczyszczeń odbywa się wraz z wiatrami o przewadze napływu z kierunków zachodniego i południowo-zachodniego.

Celem podjętych badań było wskazanie bioindykatora typu akumulującego najbardziej przydatnego w badaniach monitoringowych stopnia obciążenia zbiorowisk leśnych zanieczyszczeniami przemysłowymi, głównie metalami ciężkimi i siarką.

### Charakterystyka analizowanych bioindykatorów

Do badań wybrano najczęściej wykorzystywane bioindykatory zbiorowisk leśnych: korę *Pinus sylvestris* (L.) i plechy *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. Powyższe bioindykatory cechuje odmienna biologia (martwa tkanka okrywająca i żywy grzyb zlichenizowany), a co za tym idzie odmienny mechanizm gromadzenia zanieczyszczeń. Oba bioindykatory wykazują jednak pewne podobieństwa pozwalające na analizy porównawcze – dotyczą one faktu bezpośredniej kumulacji zanieczyszczeń z atmosfery na drodze depozycji suchej i mokrej (epifityczny porost i kora pnia sosny) oraz możliwości prowadzenia monitoringu ciągłego.

Kora sosny zwyczajnej jest martwą tkanką okrywającą, stale obecną i osiagającą na drzewach w wieku powyżej 60 lat najlepsze parametry do badań bioindykacyjnych (odpowiednią grubość, szorstkość). Średnia kwasowość kory sosny wynosi 3,3 pH. Największe ilości zanieczyszczeń gromadzone są w najbardziej zewnętrznej części kory drzewa – na głębokości do około 3 mm [Grodzińska 1978]. O przydatności bioindykacyjnej kory drzew świadczą: wysoka odporność na zanieczyszczenia gazowe i pyłowe emitowane w sposób ciągły (uwarunkowana obecnością grubej martwicy korkowej); zdolność do długotrwałej kumulacji zanieczyszczeń w obrębie kory z uwagi na jej stałą obecność w trakcie wzrostu drzewa; całkowity brak przemiany materii w tej tkance i brak możliwości wydalania zbędnych produktów; możliwość kumulacji zanieczyszczeń różnego pochodzenia: z depozycji mokrej (związków rozpuszczonych w wodzie opadowej) oraz z depozycji suchej; absorpcja zanieczyszczeń wprost z atmosfery; gromadzenie ich całą powierzchnią kory drzewa (im bardziej jest ona rozbudowana – chropowata, tym większa jest zdolność kumulacji) oraz przez przetchlinki; łatwa dostępność do badań w ciągu całego roku.

Jednym z najczulszych bioindykatorów zmian zachodzących w środowisku są porosty (grzyby zlichenizowane). Są to organizmy powstałe w wyniku wspólnoty życiowej autotroficznego glonu (fotobionta) – najczęściej zielenic i heterotroficznego grzyba (mykobionta), głównie z klasy workowców. O przydatności *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. do badań bioindykacyjnych decyduje powszechność występowania (jest on najpospolitszym porostem listkowatym na terenie Polski); duża wrażliwość na zanieczyszczenia wynikająca z braku barier ochronnych; szybkość

reakcja na zanieczyszczenia wynikająca ze skomplikowanej przemiany materii symbiotycznego organizmu oraz małej ilości chlorofilu na jednostkę suchej masy; możliwość kumulacji związków na drodze depozycji mokrej i suchej; zdolność do kumulacji związków siarki silnie rozcieńczonych w wodzie opadowej; całoroczna aktywność metaboliczna (monitoring ciągły); brak systemu wydalania (zakumulowane składniki pozostają w plechach).

## Materiał i metody

Korę *P. sylvestris* (L.) oraz plechy *H. physodes* (L.) Nyl. pobrano z obszaru transektu o długości 70 km i szerokości 15 km w północnej części województwa śląskiego. Transekt obejmował lasy VI Krainy Małopolskiej, 8 Dzielnicy – Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej oraz 6 Dzielnicy – Wyżyny Woźnicko-Wieluńskiej, należące do czterech nadleśnictw: Herby, Złoty Potok, Koniecpol i Kłobuck. Przeciętny wiek drzewostanu wynosił 52 lata, ponad połowę powierzchni leśnych zajmował bór świeży i bór mieszany świeży. Gatunkami panującymi były sosna i modrzew (66%). Ponad 95% drzewostanów znajdowało się pod wpływem szkodliwego oddziaływania przemysłu o różnym stopniu nasilenia negatywnych objawów [Informacja... 2004].

Zbierano kilkuletnie rozety plech *H. physodes* o średnicy powyżej 3 cm. Korę *P. sylvestris* pobrano z najbardziej zewnętrznej warstwy pnia o grubości około 3 mm, po wcześniejszym oczyszczeniu jej z glonów i porostów. Okres kumulacji zanieczyszczeń przemysłowych w zewnętrznych warstwach peryderm kory pobieranych do analiz był porównywalny do okresu kumulacji zanieczyszczeń przez kilkuletnie plechy porostów. W transekcie wyznaczono 49 stanowisk jednoczesnego zbioru prób kory sosny i plech porostu. Do analiz na zawartość siarki odważano po 0,05 g sproszkowanej kory sosny i fragmenty plech porostu. Materiał zmineralizowano w piecu wysokotemperaturowym Behr 30 CS w strumieniu tlenu, a następnie kolorymetrycznie zmierzono ilość  $\text{SO}_2$  powstałego w wyniku spopielenia każdej próbki. Otrzymane wyniki przeliczono na siarkę całkowitą. Próby do analizy zawartości metali ciężkich (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Mn, Pb, Zn) wysuszono, rozdrobnilo i sporządzono 2,5-gramowe naważki. Materiał zmineralizowano w mieszaninie kwasów azotowego suprapur ( $\text{HNO}_3$ ) i nadchlorowego ( $\text{HClO}_4$ ), w stosunku 4:1 i spalono. Zawartość metali ciężkich w próbach obu bioindykatorów określono spektrofotometrycznie. Sprawdzone występowanie statystycznie istotnych zależności między stężeniem każdego metalu ciężkiego w korze *P. sylvestris* i plechach *H. physodes*. Siłę związków między poszczególnymi parametrami określono przy pomocy współczynnika korelacji Pearsona.

## Wyniki i dyskusja

Stwierdzono wyższą (średnio 3-krotnie) kumulację siarki w plechach porostu *H. physodes* w porównaniu do kory *P. sylvestris* (tab., ryc.). Średnie stężenie siarki w plechach porostu wynosiło 0,19%, natomiast w korze sosny 0,06%. Powyższy fakt związany był bezpośrednio z budową anatomiczną bioindykatorów oraz ich fizjologią. Zanieczyszczenia siarkowe rozpuszczone w wodzie opadowej mają zdolność wnikania do plech porostu bez ograniczeń, z uwagi na brak barier anatomicznych (typu epiderma, kutykula) oraz barier fizjologicznych (silna higroskopijność plech pozwala porostom korzystać z rosy i pary wodnej jako podstawowych źródeł wody). Kumulacja związków siarki z atmosfery w przypadku badanego gatunku porostu miała charakter głównie pochłaniania ich w postaci związków rozpuszczonych w wodzie opadowej (deszczu, śniegu). Rozpuszczalność  $\text{SO}_2$  w wodzie zwiększa się wraz ze wzrostem stężenia  $\text{SO}_2$  w powietrzu i z obniżeniem temperatury, co jest typowe dla okresu zimowego [Kasina 1981]. Wielu autorów wskazuje na istnienie zależności między dużym stężeniem związków siarki w powietrzu atmosferycznym a wzrostem zawartości siarki w biotestach [Ciepał 1992; Geebelen, Hoffmann 2001]. Woda wraz

Tabela.

Średnie stężenie siarki [%] oraz metali ciężkich [ $\mu\text{g/g}$ ] w korze sosnowej i plechach *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. na stanowiskach położonych na zachód i wschód od Częstochowy

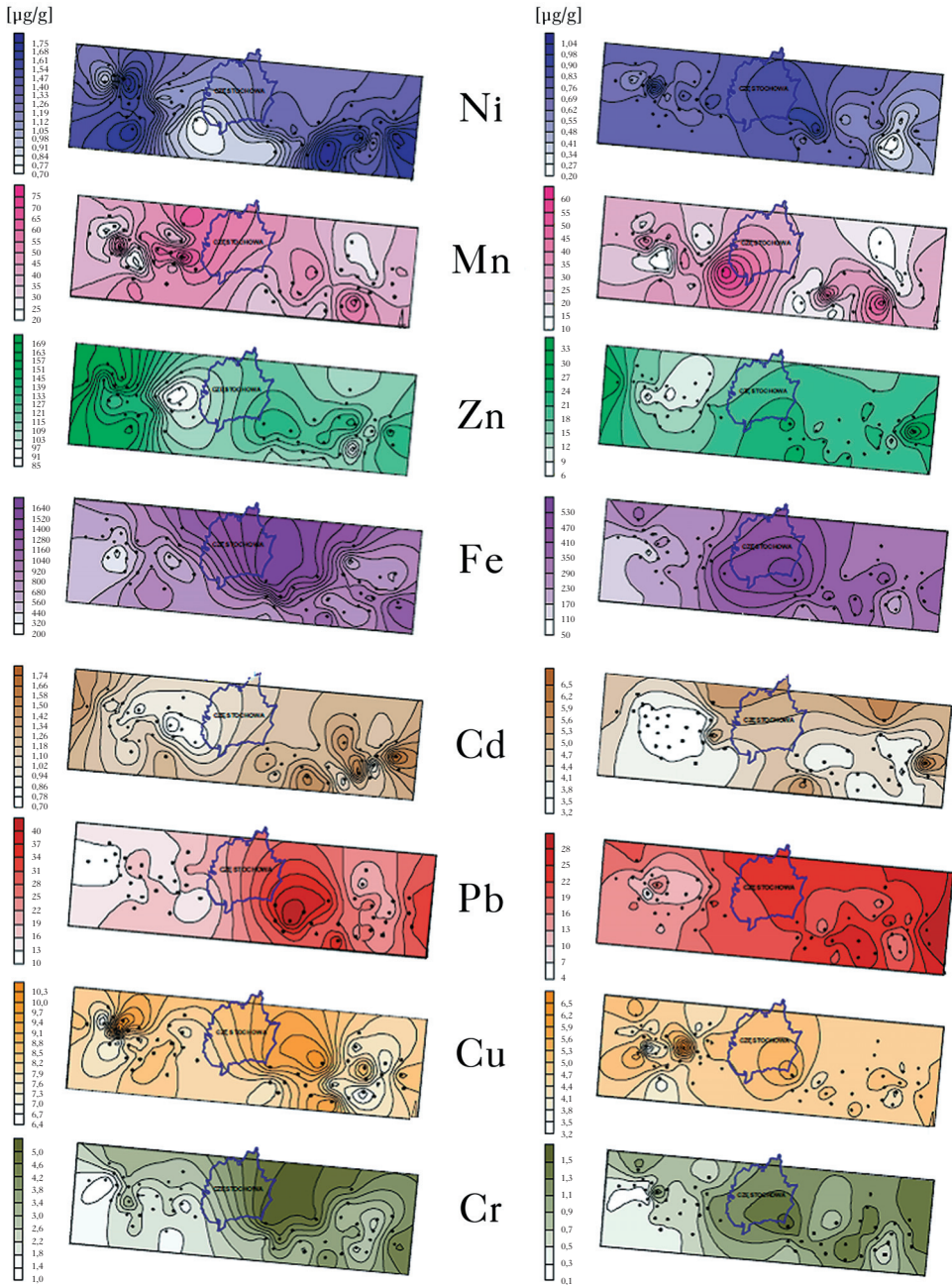
Mean content of sulphur [%] and heavy metals [ $\mu\text{g/g}$ ] in *Hypogymnia physodes* thallus (plecha) and Scots pine bark (kora) westwards and eastwards from Częstochowa

Pierwiastek	Zachód		Wschód		Razem		Różnica [%]
	Kora	Plecha	Kora	Plecha	Kora	Plecha	
S	0,06	0,19	0,05	0,17	0,06	0,18	209
Cd	1,58	0,98	2,64	1,29	2,10	1,13	-46
Pb	14,85	15,07	23,15	28,49	18,91	21,64	14
Cu	4,57	8,11	4,61	7,99	4,59	8,05	75
Cr	0,66	2,22	1,12	3,59	0,88	2,89	227
Ni	0,72	1,32	0,60	1,40	0,66	1,36	106
Mn	26,88	44,20	25,40	39,30	26,16	41,80	60
Zn	13,94	130,37	21,26	118,10	17,53	124,36	609
Fe	243,44	634,91	353,63	999,60	297,41	813,53	174

z zanieczyszczeniami wpływa na przebieg procesów fizjologicznych porostu – fotosynteza i oddychanie ulegają zaburzeniu, co może hamować wzrost oraz rozwój porostów [Brown 1995]. Porosty wykazują zdolność kumulowania związków siarki z roztworów bardzo rozcieńczonych. Największą aktywność fizjologiczną przejawiają przy dużej wilgotności powietrza, a dwutlenek siarki zawarty w wodach opadowych może być przez nie z łatwością kumulowany, aż do wartości toksycznych. W stosunku do roślin wyższych porosty wykazują zmienną wilgotność, a przez to narażone są na znacznie wyższe kumulacje zanieczyszczeń w swoich plechach. W okresach suchych (np. w lecie) woda z łatwością jest odparowywana z plech, a rozpuszczone w niej zanieczyszczenia kumulowane są wewnątrz plechy porostu [Greszta i in. 2002]. Wielu autorów wskazuje na bardzo dużą wrażliwość porostu *H. physodes* na działanie  $\text{SO}_2$  [Siuta 1980; Fabiszewski i in. 1983].

Niższa kumulacja stężeń siarki przez korę *P. sylvestris* na wszystkich stanowiskach badawczych w stosunku do plech *H. physodes* mogła być związana z procesem biernej kumulacji zanieczyszczeń siarkowych (w przeciwieństwie do aktywnej kumulacji w żywych plechach porostu) w martwicy korkowej. W obszarze tej tkanki nie przebiegają żadne procesy fizjologiczne, a przez to kora nie przyswaja tak dużej ilości związków siarki z atmosfery jak porosty. Z uwagi na powyższe właściwości oraz swoją długowieczność posiada ona zdolność gromadzenia i blokowania zanieczyszczeń w pokładach martwicowych przez bardzo długi czas. Kumulacja ta może trwać nawet 100 lat w przypadku drzew użytkowanych gospodarczo, co sprawia, iż utrzymywanie równowagi ekologicznej jest jedną z najważniejszych funkcji lasów. Poziom kumulacji siarki w korze sosny wykazuje wysoki współczynnik korelacji ze stężeniem  $\text{SO}_2$  w atmosferze [Ciepał 1992].

Również w przypadku kumulacji metali ciężkich (z wyjątkiem kadmu) wyższe zdolności kumulacji zanieczyszczeń stwierdzono dla plech *H. physodes* niż dla kory sosny (tab., ryc.). Zdolność porostu do gromadzenia większych ilości prawie wszystkich badanych metali ciężkich tłumaczyć może ten sam mechanizm ich gromadzenia, co w przypadku siarki. Metale ciężkie występują często jako stały składnik zanieczyszczeń, najczęściej na powierzchniach cząstek pyłów. Wraz z pyłami osadzane są na powierzchni plech i kory, tworząc trudno zmywalną skorupę, która ogranicza dostęp światła, powietrza i wody, a w konsekwencji w przypadku porostów skutecznie hamuje proces fotosyntezy i wymiany gazowej. Prowadzi to najpierw do defoliacji plech porostowych, ich deformacji, a w dalszym etapie do całkowitego obumarcia [Lipnicki



Ryc.

Rozkład stężenia metali ciężkich i siarki w plechach *Hypogymnia physodes* (lewo) i korze sosnowej (pravo) w okolicach Częstochowy

Heavy metals and sulphur in *Hypogymnia physodes* thallus (left) and Scots pine bark (right) in surroundings of Częstochowa

2003]. Intensywność procesu przenikania metali śladowych do wnętrza plech związana jest z poziomem zakwaszenia materiału biologicznego. Niższe pH, które jest skutkiem nagromadzenia m.in. zanieczyszczeń siarkowych, ułatwia proces przenikania metali ciężkich do struktur komórkowych plech porostu i wywołuje w pierwszej kolejności zmiany na poziomie fizjologicznym.

### Podsumowanie

Analiza zawartości metali ciężkich (Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb i Zn) w w plechach *H. physodes* oraz w korze *P. sylvestris* wykazała zgodność wskazań obu bioindykatorów co do występowania w tych samych obszarach transektu powierzchni najmniej i najsilniej obciążonych badanymi metalami ciężkimi. Analiza statystyczna wykazała występowanie istotnych zależności między stężeniem większości badanych metali ciężkich zgromadzonych w plechach *H. physodes* i w korze *P. sylvestris*. Najsilniejsze związki istotne statystycznie dotyczyły takich metali ciężkich jak ołów, mangan, chrom i żelazo. Słabszy związek stwierdzono między stężeniem kadmu w obu bioindykatorach. Zawartość poszczególnych metali ciężkich określona w wykorzystywanych w badaniach biowskaźnikach pozwalają na uszeregowanie zgromadzonych przez nie pierwiastków w następującej kolejności: *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.: Fe>Zn>Mn>Pb>Cu>Cr>Ni>Cd, a *Pinus sylvestris* (L.): Fe>Mn>Pb>Zn>Cu>Cd>Ni>Cr.

### Literatura

- Braniewski S. 1993. Zawartość metali ciężkich w drewnie sosny *Pinus sylvestris* i buka *Fagus sylvatica* w Ojcowskim Parku Narodowym. Prądnik – Prace Muzeum Szafera 7/8: 161-163.
- Branquinho C., Catarino F., Brown D. H., Pereira M. J., Soares A. 1999. Improving the use of lichens as biomonitors of atmospheric metal pollution. The Science of the Total Environment 232: 67-77.
- Brown D. H. 1995. Physiological and biochemical assessment of environment stress in bryophytes and lichens. W: Munavar M., Hanninen O., Roy S., Munavar N., Karenlampi L., Brown D. [red.]. Bioindicators of Environmental Health, SPB Academic Publishing, Amsterdam, the Netherlands. 29-44.
- Ciepał R. 1992. Przenikanie S, Pb, Cd, Zn, Cu i Fe do biomasy oraz gleby ekosystemu leśnego (na przykładzie wschodniej części województwa katowickiego). Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego, Katowice. 74-76.
- Conti M. E., Cecchetti G. 2001. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment – a review. Environmental Pollution 114: 471-492.
- van Dobben H. F., Wolterbeek H. T., Wamelink G. W. W., Braak C. J. F. 2001. Relationship between epiphytic lichens, trace elements and gaseous atmospheric pollutants. Environmental Pollution 112: 163-169.
- Fabiszewski J., Brej T., Bielecki K. 1983. Fitoindykacja wpływu huty miedzi na środowisko biologiczne. Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego, Wrocław.
- Garty J. 2001. Biomonitoring atmospheric heavy metals with lichens: theory and application. Critical Review in Plant Sciences 20: 309-371.
- Geebelen W., Hoffmann M. 2001. Evaluation of bioindication methods using epiphytes by correlating with SO<sub>2</sub> – pollution parameters. Lichenologist 33 (3): 249-260.
- Greszta J., Gruszka A., Kowalkowska M. 2002. Wpływ imisji na ekosystem. Wydawnictwo Naukowe „Śląsk”, Katowice.
- Grodzińska K. 1978. Mosses as bioindicators of heavy metal pollution in polish national parks. Water, Air, and Soil Pollution 9: 83-97.
- Grodzińska K., Szarek-Łukaszewska G. 2001. Response of mosses to the heavy metal deposition in Poland – an overview. Environmental Pollution 114: 443-451.
- Harmens H., Norris D. 2008. Spatial and Temporal Trends in Heavy Metal Accumulation in Mosses in Europe (1990-2005). Centre for Ecology & Hydrology, WGE, Bangor.
- Informacja o stanie lasów państwowych w województwie śląskim 1991-1995. 2004. RDLP Katowice.
- Kasina S. 1981. Procesy przemieszczania, transformacji oraz usuwania związków siarki z atmosfery. Krajowa Agencja Wydawnicza, Warszawa.
- Laureysens I., Blust R., Temmerman L., Lemmens C., Ceulemans R. 2004. Clonal variation in heavy metal accumulation and biomass production in a poplar coppice culture. I. Seasonal variation in leaf, wood and bark concentrations. Environmental Pollution 131: 485-494.
- Lipnicki L. 2003. Porosty Borów Tucholskich. Park Narodowy „Bory Tucholskie”, Charzykowy.

- Malzahn E. 2002. Monitoring zagrożeń i zanieczyszczenia środowiska leśnego Puszczy Białowieskiej. Kosmos 51 (4): 435-441.
- Rusu A. M., Jones G. C., Chimonides P. D. J., Purvis O. W. 2006. Biomonitoring using the lichen *Hypogymnia physodes* and bark samples near Zlatna, Romania immediately following closure of a copper ore-processing plant. Environmental Pollution 143: 81-88.
- Siuta J. [red.]. 1980. Siarka w biosferze. PWRiL, Warszawa.
- Suchara I., Florek M., Godzik B., Mańkowska B., Rabnecz G., Sucharová J., Tuba Z., Kapusta P. 2007. Mapping of main sources of pollutants and their transport in the visegrad space. I. Průhonice.
- Sucharová J., Suchara I., Hola M. 2008. Contents of 37 elements in moss and their temporal and spatial trends in the Czech Republic during the last 15 years. Průhonice.
- Yilmaz S., Zengin M. 2004. Monitoring environmental pollution in Erzurum by chemical analysis of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. Environmental International 29: 1041-1047.
- Zabłocki Z., Podlasińska J. 2002. Zmiany w akumulacji siarki i fluoru w igłach sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. oraz mchu *Pleurozjum schreberi* (Brid.) Mittl. na obszarze oddziaływania emisji Zakładów Chemicznych „Police” w latach 1978-2000. W: Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. 267-276.

## SUMMARY

### Application of Scots pine bark and *Hypogymnia physodes* thallus tests in assessing the impact of industrial contamination in forest communities

The aim of the research was to indicate the most useful accumulative bioindicator for monitoring of industrial contamination degree in forest communities, mainly polluted with heavy metals (Cd, Cu, Cr, Ni, Mn, Zn, Fe, Pb) and sulphur (S). Two biologically different bioindicators were used as the material for comparative study: the *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. lichenised fungus and the *Pinus sylvestris* (L.) bark. The research was conducted at 49 research stations selected within the west-east (W-E) transect located in the northern part of Silesia province (70 km long and 15 km wide), specified on forest communities dominated by pine. The *H. physodes* thallus had proved higher ability to accumulate contamination (i.e. S, Pb, Cu, Cr, Ni, Mn Zn and Fe) comparing to the *P. sylvestris* (L.) bark (by ca. 2.5 times; tab.). The results confirmed the usefulness of application of this type of lichenised fungus as a bioindicator. The accumulation levels of respective heavy metals by both bioindicators have been presented in the following series: *H. physodes*: Fe>Zn>Mn>Pb>Cu>Cr>Ni>Cd and *P. sylvestris*: Fe>Mn>Pb>Zn>Cu>Cd>Ni>Cr.