

BARBARA GWOREK\*, MAREK DEGÓRSKI \*\*

## BORÓWKA (*Vaccinium myrtillus*) ORAZ IGLY SOSNY (*Pinus silvestris*) WSKAŹNIKAMI ZANIECZYSZCZEŃ ŚRODOWISKA METALAMI CIĘŻKIMI W WYBRANYCH SIEDLISKACH BOROWYCH NA OBSZARZE POLSKI

\*Katedra Gleboznawstwa SGGW w Warszawie

\*\*Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN

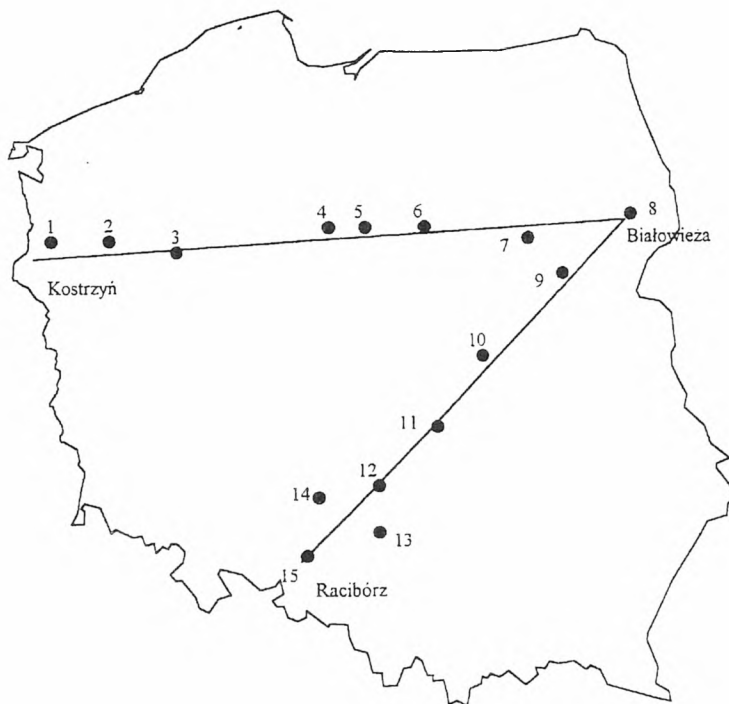
### WSTĘP

W ocenie sanitarnej środowiska przyrodniczego niezwykle ważne jest ustalenie zależności między stężeniem zanieczyszczeń a wymiernymi zmianami w organizmach i całych systemach ekologicznych. Zmiany te mogą zaistnieć w rozmieszczeniu gatunków, w ich morfologii i fizjologii oraz w składzie chemicznym tkanki. Analiza chemiczna materiału biologicznego jest jedną z obiektywnych metod oceny zagrożenia środowiska przyrodniczego metalami ciężkimi. Bioindykatorami mogą być gatunki organizmów roślinnych lub zwierzęcych szczególnie wrażliwych na zmiany zachodzące w środowisku.

Celem pracy było określenie zawartości metali ciężkich w borówce i w igłach sosny w aspekcie zmienności przestrzennej oraz określenie zależności między zawartością wymienionych pierwiastków w analizowanych częściach roślin a ich zawartością w poziomach genetycznych gleb. Wymienione rośliny uznaje się za biowskaźniki zanieczyszczeń środowiska metalami ciężkimi [Little, Martin 1974; Raupach, Clarke 1978; Karweta 1978; Jokinen, Karjalainen, Kumala 1983; Dmuchowski, Molski 1985; Kazimierczakowa 1988; Dmuchowski, Bytnerowicz 1993]. Ponadto rośliny te mają szeroki zasięg geograficzny, a ich występowanie ma charakter zonalny, czyli są one charakterystyczne dla strefy klimatyczno-glebowo-roślinnej, w jakiej położona jest Polska.

### OBIEKT I METODY BADAŃ

Badania przeprowadzono w glebach dwóch transektów (rys. 1). Pierwszy wyznaczony zgodnie z przebiegiem gradientu klimatycznego Polski na linii zachód-wschód nazwany jest w pracy transektem I, drugi zaś przebiegający z południowo-zachodniej części kraju (najbardziej uprzemysłowionej) do północno-wschodnich regionów uznanych w Polsce za niezanieczyszczone, oznaczono jako transekt II (rys. 1). Powierzchnie badawcze wytypowano na podstawie kryteriów glebowych i fitosocjologicznych. Były one zlokalizowane na siedli-



RYSUNEK 1. Lokalizacja powierzchni badawczych  
 FIGURE 1. Localization of the research area

skach o warunkach stosunkowo jednorodnych pod względem morfolitologicznym i glebowym. Wszystkie spośród badanych gleb należały do rzędu bielico-ziemnych [Degórski 1998b], wykształconych z piasków fluwiogłajalnych o składzie granulometrycznym piasku luźnego i słabogliniastego [Degórski 1998a]. Zbiorowiska roślinne na wszystkich powierzchniach badawczych należały do związku *Dicrano-Pinion* [Degórski 1997]. Gleby charakteryzowały się natomiast bardzo kwaśnym i kwaśnym odczynem (pH 3,8–4,2 w poziomach mineralno- -próchnicznych i około 4,8–5,2 w skałach macierzystych) oraz niskim stopniem wysycenia zasadami kompleksu sorpcyjnego gleb, który w najżyźniejszych siedliskach nie przekracza 30% [Degórski 1998b].

Z każdej powierzchni badawczej (40 m<sup>2</sup>) pobrano do badań część nadziemną borówki (liście i pędy) oraz dwuletnie igły sosny. Analizowana próbka była średnią mieszaną pobraną z 10 miejsc na każdej powierzchni badawczej.

Materiał roślinny po wysuszeniu i zmieleniu spalono w temperaturze 480°C, a następnie popiół rozpuszczono w 20% HCl. W tak przygotowanych mineralizatach metale ciężkie oznaczono techniką AAS.

Do obliczeń statystycznych wykorzystano również wyniki oznaczeń zawartości metali ciężkich w glebach podane w pracy Gworka i Degórskiego [1997].

Korelację między zawartością metali ciężkich w borówce i igłach sosny a ich zawartością w poziomach genetycznych gleb obliczono stosując metody statystyczne numerycznych technik obliczeniowych Programów Quatro-Pro i Harvard Graphics.

## WYNIKI

Zawartość żelaza w borówce wahała się w granicach 104,0–950,0 ( $\bar{x} = 432,4$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. w roślinach transektu I, a w transekcje II w granicach 104,0–2540,0 ( $\bar{x} = 623,0$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 1). W igłach sosny zawartość żelaza wynosiła odpowiednio 280,0–1446,0 ( $\bar{x} = 568,6$ ) i 221,0–958,0 ( $\bar{x} = 623,0$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 2).

Analiza statystyczna nie wykazała zależności między zawartością żelaza w borówce a jego zawartością w poziomach genetycznych gleb (tab. 3). Natomiast stwierdzono dodatnią korelację między zawartością żelaza w igłach sosny a jego zawartością w poziomach A, Bhfe i C badanych gleb (tab. 4).

Zawartość manganu w borówce rosnącej na powierzchniach transektu I wahała się w granicach 380,3–2489,0 ( $\bar{x} = 1542,2$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 1) W igłach sosny stwierdzono od 332,0 do 1402,1 ( $\bar{x} = 944,0$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. Natomiast mniej manganu odnotowano w igłach sosny na transekcje II, a jego zawartość wynosiła 289,6–860,0 ( $\bar{x} = 485,6$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 2).

Obliczenia statystyczne wykazały dodatnią korelację między zawartością manganu w borówce a jego zawartością w poziomie ściółki leśnej O, Bhfe i C (tab. 3). Dodatkowo korelację stwierdzono również między zawartością Mn w poziomach akumulacyjnych gleb O i A<sub>1</sub>, Ees, Bhfe i C a jego zawartością w igłach sosny (tab. 4).

Zawartość cynku w borówce pobranej z powierzchni badawczych transektu I wynosiła od 34,2 do 56,9 ( $\bar{x} = 47,2$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. W borówce z transektu II stwierdzono wyższą zawartość Zn, wynoszącą od 43,8 do 107,8 ( $\bar{x} = 70,5$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 1). Podobne zależności odnotowano w igłach sosny. Zawartość cynku w igłach sosny z transektu I wahała się w granicach 35,0–56,2 ( $\bar{x} = 46,1$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m., a z transektu II w zakresie 36,1–138,8 ( $\bar{x} = 76,6$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 2).

Obliczenia statystyczne wykazały dodatnią korelację między zawartością cynku w borówce i igłach sosny a jego zawartością tylko w poziomie organicznym O gleb (tab. 3, 4).

Zawartość miedzi w borówce występującej w transekcje I zawierała się w granicach 5,8–7,0 ( $\bar{x} = 6,4$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m., a w transekcje II od 4,3 do 8,1 ( $\bar{x} = 6,6$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. W igłach sosny z transektu I ilość omawianego pierwiastka wahała się w zakresie 4,8–9,4 ( $\bar{x} = 7,9$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m., a z transektu II od 4,8 do 15,1 ( $\bar{x} = 7,5$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 1).

Analiza statystyczna nie wykazała zależności między zawartością miedzi w borówce i igłach sosny a jej zawartością w badanych poziomach genetycznych gleb (tab. 3 i 4). Wyjątek stanowi zależność pomiędzy zawartością Cu w borówce a jej zawartością w poziomie organicznym O gleb (tab. 3).

Zawartość ołowiu w borówce pobranej z powierzchni badawczych transektu I wynosiła 2,9–14,6 ( $\bar{x} = 6,9$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. Wyższą zawartość ołowiu stwierdzono w borówce rosnącej w transekcje II. Wahała się ona od 2,5 do 29,2 ( $\bar{x} = 8,2$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 1). Podobne zależności odnotowano w igłach sosny. Zawartość tego pierwiastka w igłach z transektu I wahała się od 2,1 do 5,8 ( $\bar{x} = 3,5$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m., a z transektu II od 2,8 do 20,3 ( $\bar{x} = 8,8$ )  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m. (tab. 2).

Obliczenia statystyczne wykazały istotną korelację między zawartością ołowiu w borówce a jego ilością w analizowanych poziomach organicznych O i organo-mineralnych A gleb (tab. 3). Otrzymano również wysoce istotną dodatnią

TABELA 1. Zawartość metali ciężkich w borówce (*Vaccinium myrtillus*)  
 TABLE 1. Content of trace elements in bilberry (*Vaccinium myrtillus*)

Nr pow. No of plot	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Cr
	[mg · kg <sup>-1</sup> s.m.– mg · kg <sup>-1</sup> d.m.]						
Transekt I – route I							
2	251,0	2242,0	50,3	6,9	2,9	8,5	2,3
3	262,0	985,9	35,1	5,8	7,8	2,3	2,4
4	950,0	380,3	34,2	5,8	14,6	7,4	8,6
5	758,0	2489,0	56,9	6,1	10,0	9,7	7,2
6	305,0	1785,7	49,5	7,0	5,0	9,4	4,3
7	397,0	1549,6	55,0	6,3	3,4	2,2	2,3
8	104,0	1363,1	49,5	7,0	5,0	9,4	8,6
$\bar{x}$	432,4	1542,2	47,2	6,4	6,9	6,1	5,1
SD	307,7	669,4	8,4	0,5	3,9	3,1	2,7
Transekt II – route II							
8	104,0	1363,1	49,5	7,0	5,0	9,4	8,6
9	126,0	888,4	43,8	7,9	3,6	2,4	śl
10	2540,0	1382,6	61,9	7,2	6,6	7,0	śl
11	190,0	380,5	57,9	4,8	5,7	2,3	śl
12	141,0	1010,7	88,5	4,3	2,5	śl	śl
13	666,0	995,1	107,8	6,8	29,2	3,4	śl
14	595,0	1022,6	84,1	8,1	4,9	śl	śl
$\bar{x}$	623,0	880,4	70,5	6,6	8,2	4,9	
SD	811,8	310,5	21,7	1,4	8,6	3,2	

korelację między zawartością ołowiu w igłach sosny a jego zawartością w poziomie ściółki O (tab. 4).

Ilość niklu w borówce z transektu I wahała się w przedziale 2,5–9,7 ( $\bar{x} = 6,1$ ) mg · kg<sup>-1</sup> s.m., a z transektu II od ilości śladowych do 9,4 ( $\bar{x} = 4,9$ ) mg · kg<sup>-1</sup> s.m. Zawartość Ni w igłach sosny, podobnie jak w borówce jest większa z transektu I i wynosi 3,1–11,8 ( $\bar{x} = 8,9$ ) mg · kg<sup>-1</sup> s.m. Natomiast zawartość Ni w igłach z transektu II wahała się w granicach 1,7–19,0 ( $\bar{x} = 6,0$ ) mg · kg<sup>-1</sup> s.m. (tab. 2).

Obliczenia statystyczne wykazały istotną, dodatnią zależność tylko między zawartością niklu w borówce a jego zawartością w poziomie mineralno-organicznym A (tab. 3). Natomiast nie stwierdzono korelacji między zawartością niklu w igłach sosny a jego zawartością w analizowanych wierzchnich poziomach genetycznych gleb (tab. 4).

W borówce i igłach sosny zawartość Cr była bardzo mała lub wręcz śladowa (tab. 1). Jedynie w borówce z transektu I stwierdzono jego obecność w ilości od 2,3 do 8,6 ( $\bar{x} = 5,1$ ) mg · kg<sup>-1</sup> s.m. (tab. 1).

## DYSKUSJA

Badania wielu autorów dowiodły, że części świeże roślin, jak też materia organiczna ściółki O są dobrymi wskaźnikami zanieczyszczeń środowiska metalami ciężkimi. Mogą one służyć do prognozowania zagrożeń środowiska wzajem-

TABELA 2. Zawartość metali ciężkich w igłach sosny (*Pinus silvestris*)  
 TABLE 2. Content of trace elements in pine needles (*Pinus silvestris*)

Nr pow. No of plot	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni
	[mg · kg <sup>-1</sup> s.m. – mg · kg <sup>-1</sup> d.m.]					
Transekt I – route I						
1	406,0	1328,4	50,3	9,4	5	10,6
2	465,0	1164,4	49,8	8,0	2,8	11,8
3	429,0	332,0	53,1	7,9	2,1	7,2
4	485,0	740,4	35,0	9,0	4,1	7,0
5	1446,0	1000,4	39,4	8,3	5,8	10,6
6	542,0	1402,1	43,9	9,3	2,8	11,0
7	496,0	785,7	41,1	6,4	3,0	9,6
8	280,0	802,6	56,2	4,8	2,8	3,1
$\bar{x}$	568,6	944,0	46,1	7,9	3,5	8,9
SD	339,6	329,9	6,9	1,5	1,2	2,7
Transekt II – route II						
8	280,0	802,6	56,2	4,8	2,8	3,1
9	374,0	428,0	64,2	8,5	3,4	9,5
10	295,0	860,0	54,7	6,0	3,9	6,0
11	221,0	303,7	90,7	5,5	5,1	3,5
12	270,0	397,1	68,1	6,5	17,4	2,8
13	628,0	452,6	138,8	15,1	20,3	19,0
14	230,0	350,3	104,1	7,2	10,1	2,5
15	958,0	289,6	36,1	6,4	7,6	1,7
$\bar{x}$	407,0	485,6	76,6	7,5	8,8	6,0
SD	241,6	207,0	25,4	3,1	6,2	5,4

nie się uzupełniają [Czarnowska, Gworek, Kozanecka 1983; Greszta 1982; Raupach, Clarke 1978; Dmichowski, Bytnerowicz 1993].

Na podstawie otrzymanych zawartości metali ciężkich w badanych roślinach można ustalić ich szeregi ilościowe.

W materiale pochodzącym z transektu I średnie zawartości badanych pierwiastków układają się w następujących szeregach malejących [mg · kg<sup>-1</sup> s.m.]:

– w borówce:

Mn (1542,2) > Fe (432,4) > Zn (47,2) > Pb (6,9) > Cu (6,4) > Ni (6,1) > Cr (5,1)

TABELA 3. Korelacje między ogólną zawartością metali ciężkich w wierzchnich poziomach genetycznych gleb a ich zawartością w borówce

TABLE 3. Correlation between the content of trace elements in bilberry and their content in genetic soil horizons

Pierwiastek Element	Poziom genetyczny – genetic horizon				
	O	A <sub>1</sub>	E <sub>es</sub>	Bh <sub>fe</sub>	C
Fe	-0,259	0,102	0,096	0,017	-0,109
Mn	0,557**	0,214	0,174	0,720**	0,725**
Zn	0,796**	0,065	-0,185	0,019	0,044
Cu	0,396*	0,248	-0,120	-0,003	-0,079
Pb	0,424*	0,825**	0,267	-0,386	0,052
Ni	-0,167	0,308*	0,135	0,137	0,195

TABELA 4. Korelacje pomiędzy ogólną zawartością metali ciężkich w wierzchnich poziomach genetycznych gleb a ich zawartością w igłach sosny  
 TABLE 4. Correlation between the content of trace elements in pine needles and their content in genetic soil horizons

Pierwiastek Element	Poziom genetyczny – genetic horizon				
	O	A <sub>1</sub>	Ees	Bhfe	C
Fe	0,038	0,517*	0,171	0,554*	0,627**
Mn	0,767**	0,560*	0,516*	0,694**	0,554*
Zn	0,833**	-0,214	-0,356	-0,407	-0,140
Cu	-0,230	-0,230	-0,170	-0,145	-0,193
Pb	0,909**	-0,003	0,003	-0,263	-0,067
Ni	0,016	0,016	0,056	-0,045	-0,193

– w igłach sosny:

Mn (944,0) > Fe (568,6) > Zn (46,1) > Pb (3,5) > Cu (7,9) > Ni (8,9)

Średnie zawartości metali ciężkich w materiale pochodzącym z transektu II układają się w następujących szeregach malejących [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  s.m.]:

– w borówce:

Mn (880,4) > Fe (623,0) > Zn (70,5) > Pb (8,2) > Cu (6,6) > Ni (4,9)

– w igłach sosny:

Mn (485,9) > Fe (407,0) > Zn (76,6) > Pb (8,8) > Cu (7,5) > Ni (6,0)

Kolejność pierwiastków w szeregu, jaki ustalono na podstawie ich zawartości w materiale organicznym transektu II, tj. w ściółce, borówce i igłach sosny, jest taka sama, aczkolwiek różna ilościowo [Gworek, Degórski 1997]. Natomiast takiej zależności nie otrzymano w wymienionym materiale organicznym pochodzącym z transektu I (klimatycznego). Zbliżone ilości metali ciężkich w różnych regionach Polski otrzymali i inni autorzy [Duda 1981; Grodzińska 1980; Czarnowska, Gworek, Kozanecka 1983; Dmuchowski, Molski 1985; Molski, Dmuchowski 1990].

Analiza statystyczna wykazała istotne korelacje między ogólną zawartością cynku, manganu, ołowiu i miedzi w borówce a ich ilością w poziomie ściółki. Zależności te dla poszczególnych pierwiastków układają się w szeregu:

Zn ( $r = 0,796^{**}$ ) > Mn ( $r = 0,557^{**}$ ) > Pb ( $r = 0,424^{**}$ ) > Cu ( $r = 0,395^{*}$ )

Natomiast istotnie dodatnie korelacje między zawartością wybranych metali ciężkich w borówce a ich zawartością w poziomie mineralno-organicznym A wystąpiły tylko dla ołowiu ( $r = 0,825^{**}$ ) i niklu ( $r = 0,308^{**}$ ), a także dla manganu w poziomie Bhfe. Istotne dodatnie korelacje między zawartością metali ciężkich w igłach sosny a ich ilością w poziomie ściółki wystąpiły tylko dla ołowiu, cynku oraz manganu i układają się w szereg:

Pb ( $r = 0,909^{**}$ ) > Zn ( $r = 0,833^{**}$ ) > Mn ( $r = 0,767^{**}$ ).

Natomiast istotne dodatnie korelacje między ogólną zawartością metali ciężkich w igłach sosny a ich zawartością w poziomie mineralno-organicznym A wystąpiły tylko dla manganu ( $r = 0,560^{*}$ ) oraz dla żelaza ( $r = 0,517^{*}$ ). Ponadto stwierdzono dodatnią zależność między zawartością manganu w igłach sosny a jego zawartością w poziomie Ees ( $r = 0,516^{*}$ ), w Bhfe ( $r = 0,694^{**}$ ) i poziomie C ( $r = 0,554^{*}$ ). Odnotowano dodatnią korelację między ilością żelaza w igłach

sosny a jego zawartością w poziomach Bhfe i C, która wynosi odpowiednio  $r = 0,554^*$  i  $r = 0,627^{**}$ .

Zawartość metali ciężkich, należących do grupy pierwiastków o dużym potencjalnym zagrożeniu dla środowiska (Zn, Pb), w materiale organicznym świeżym (borówka, igły sosny) i obumarłym (ściółka leśna) była większa na powierzchni transektu II. Wynika to z lokalizacji powierzchni badawczych transektu II, gdzie część z nich (szczególnie obszar południowo-zachodni) jest w zasięgu oddziaływania przemysłu wydobywczego i przetwarzającego rudy metali kolorowych. Podobne zależności związane z oddziaływaniem przemysłu a zawartością metali ciężkich w roślinach otrzymali Greszta [1982] i Karweta [1978].

Bioindykacja zanieczyszczeń przemysłowych w ekosystemach leśnych może być stosowana do prognozy zmian, jednak jeśli będzie ujednoliconą metodyką badań oraz stosowanych będzie kilka testów wzajemnie się kontrolujących. Wówczas bioindykacja będzie odpowiednim uzupełnieniem monitoringu.

## WNIOSKI

1. Zawartość metali ciężkich w borówce wykazała istotnie dodatnią korelację z ich ilością w poziomie ściółki leśnej O dla:  $Zn > Mn > Pb > Cu$ , a w poziomie organiczno-mineralnym A dla Pb i Ni.
2. Wykazano istotną dodatnią zależność między zawartością niektórych metali ciężkich w igłach sosny a następującymi poziomami genetycznymi:  
 $O - Pb > Zn > Mn$ ;  $A - Mn > Fe$ ;  $Ees - Mn$ ;  $Bhfe - Mn > Fe$  i  $C - Fe > Mn$

## LITERATURA

- BREYMEYER A., DEGÓRSKI M., REED D. 1997: Decomposition of pine-litter organic matter and chemical properties of upper soil layers: transect studies. *Environmental Pollution* **98**: 361–367.
- CZARNOWSKA K., GWOREK B., KOZANECKA T. 1983: Zawartość metali ciężkich w glebach i mchu Kampinowskiego Parku Narodowego. Wyd. SGGW-AR, Warszawa: 123–137.
- DEGÓRSKI M. 1997: Geoekologiczne uwarunkowania rozwoju gleb bieliczoziemnych we wschodnio- i północnoeuropejskiej krainie glebowej. Materiały 46 Zjazdu Polsk. Tow. Geogr.: 41–42.
- DEGÓRSKI M. 1998a: Charakterystyka morfolitologiczna siedlisk borów i borów mieszanych na transektach badawczych. W: Bory sosnowe w gradiencie kontynentalizmu i zanieczyszczeń w Europie Środkowej – badania geoekologiczne. *Dokumentacja Geograficzna* **13**: 31–40.
- DEGÓRSKI M. 1998b: Zróżnicowanie fizyko-chemicznych właściwości gleb siedlisk borów i borów mieszanych na transektach badawczych. W: Bory sosnowe w gradiencie kontynentalizmu i zanieczyszczeń w Europie Środkowej – badania geoekologiczne. *Dokumentacja Geograficzna* **13**: 41–53.
- DMUCHOWSKI W., MOLSKI B. 1985: The influence of the forest site and needles age on the processes of sulfur, fluorine and some chosen metals accumulation in Scots pine needles on highly polluted and control areas. Proceedings of the JUFRO S.2.09. Air Pollution Symposium, XIII International Meeting of Specialists in Air Pollution Damages in Forests. Most (Czechoslovakia) 27 August–1 September, 1984: 372–377.
- DMUCHOWSKI W., BYTNEROWICZ A. 1993: Monitoring environmental pollution in Poland by chemical analysis of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. *Environ. Pollut.* 1987: 87–104.
- DUDA S. 1981: Zawartość wybranych metali ciężkich w igliwii sosny pospolitej (*Pinus sylvestris* L.) w rejonie oddziaływania emisji huty miedzi. *Sylwan*, **125**, 119–127.
- GRESZTA J. 1982: Correlation between content of copper, zinc, lead and cadmium in the soil and the content of these metals in seedlings of selected forest tree species. *Fragm. Floris. et Geobot.*, **28**: 29–52.

- GRODZIŃSKA K. 1980: Zanieczyszczenie polskich parków narodowych metalami ciężkimi. *Ochrona Przyrody*, **43**: 9–27.
- GWOREK B., DEGÓRSKI M. 1997: Przestrzenne i profilowe rozmieszczenie pierwiastków śladowych i żelaza w glebach zbiorowisk borowych. *Rocz. Glebozn.* **48**, 1/2: 19–30.
- JOKINEN J., KARJALAINEN R., KUMALA A. 1983: Combined use of biological indicators and dispersion models in air pollution monitoring. *Aquilo Ser. Bt.*, **19**: 292–297.
- KARWETA S. 1978: Bioindykacja skażenia środowiska metalami ciężkimi (Zn i Pb) na podstawie analizy chemicznej szpilek sosny zwyczajnej w rejonie emisji. *Archiwum Ochrony Środowiska*, **2**: 135–138.
- KAZIMIERCZAKOWA R. 1988: Degradation of pine forest *Vaccinio myrtilli – Pinetum* vegetation under the influence of zinc and lead smelter. *Studia Naturae Ser. A.*, **31**: 29–80.
- LITTLE P., MARTIN M.H. 1974: Biological monitoring of heavy metal pollution. *Environ. Pollut.*, **6**: 1–19.
- MAKOMASKA M. 1978: Heavy metal contamination of pinewoods in the Niepołomice Forest. *Bull. Acad. Pol. Sci.* **26**: 679–685.
- MOLSKI B., DMUCHOWSKI W. 1990: Distribution and movement of selected elements in Poland using pine needles analysis. In *Ecological Risks – Perspectives from Poland and the United States*. National Academy Press. Washington. D.C.: 215–231.
- RAUPACH M., CLARKE A.R.P. 1978: Soil - trace relationship in a forest of *Pinus radiata* in relation to foliar nutrient levels. *Aust. J. Soil Res.*, **16**: 121–135.

Barbara Goworek\*, Marek Degórski\*\*

## BILBERRY (*VACCINIUM MYRTILLUS*) AND PINE NEEDLES (*PINUS SILVESTRIS*) AS INDICATORS OF ENVIRONMENTAL POLLUTION BY HEAVY METALS IN SOME PINE FORESTS IN POLAND

\*Department of Soil Science, Warsaw Agricultural University,

\*\*Institute of Geography and Spatial Management, PAS

### SUMMARY

The aim of the present work was to determine the relationship between concentration of selected heavy metals in bilberry and pine needles and their concentration in the soil horizons. The spatial variability of heavy metal concentration was done too. The study was carried out along two transects in Poland. Transect I was associated with the continentality gradient in Poland (west-east line). Transect II ran from the south-west (most industrialized part of the country) to the north-east regions of Poland considered unpolluted. On the basis of the contents of heavy metals, a quantitative series was established in the studied soil horizons. Also was determined the significant correlation between the content of some heavy metals in bilberry and organic horizon O for: Zn>Mn>Pb>Cu; and organic-mineral horizon A for: Pb>Ni>. Also the significant correlation was determined between content of some heavy metals in pine needles and soil horizons, as: O – Pb>Zn>Mn; A – Mn>Fe; Ees – Mn; Bhfe – Mn>Fe; C – Fe>Mn.

*Praca wpłynęła do redakcji w listopadzie 1998 r.*

Dr hab. B. Goworek – Katedra Gleboznawstwa SGGW  
02-528 Warszawa, ul. Rakowiecka 26/30