

## Zawartość makro- i mikroelementów w szpilkach *Pinus sylvestris* L. i *Pinus nigra* J.F. Arn. w zespole *Cladonio-Pinetum* Słowińskiego Parku Narodowego

The macro- and microelemental content of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus nigra* J.F. Arn. needles in *Cladonio-Pinetum* habitat of the Słowiński National Park

Agnieszka Parzych<sup>1✉</sup>, Zbigniew Sobisz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Akademia Pomorska, Instytut Biologii i Ochrony Środowiska, Zakład Chemii Środowiskowej, ul. Arciszewskiego 22b, 76–200 Słupsk, <sup>2</sup> Akademia Pomorska, Instytut Biologii i Ochrony Środowiska, Zakład Botaniki i Genetyki, ul. Arciszewskiego 22b, 76–200 Słupsk,

✉ Tel: +48 59 84 05 347; parzycha1@op.pl

**Abstract.** The study of pine needles was carried out in 2005 within the confines of the Słowiński National Park (SNP). In soil from *Cladonio-Pinetum* habitat, most macro- and microelements accumulate in the organic sub-horizons (Ol and Ofh), however the nutrient content of the mineral horizons was very low. Needles of *Pinus sylvestris* (*Ps*) were characterized by higher content of N, P, K, Ca, and Fe in comparison to needles of *Pinus nigra* (*Pn*); whereas needles of *Pn* were higher in content of Mg, Zn, Cu and Mn than those of *Ps*. Two-year-old needles contained on average more Ca, Mn, Cu, Fe than one-year-old needles for both species. A Mann Whitney test confirmed statistically-significant differences in the dynamics of P, K, Mg, Zn and Mn concentrations both in 1-year-old and 2-year-old needles examined in *Cladonio-Pinetum*. The greatest differences between research forests stands of *Pinus sylvestris* and *Pinus nigra* were in the sum contents of elements accumulated in the needles. In the needles of *Pinus nigra* there was notably higher accumulation of P, K, Ca, Mg and Mn than in the needles of *Pinus sylvestris*.

**Key words:** *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*, needles, accumulation of elements.

### 1. Wstęp

Funkcjonowanie ekosystemów leśnych wyraża się głównie w jakości drzewostanów, o której decydują zarówno żyzność siedliska, stopień jego degradacji, jak również oddziaływanie różnego rodzaju stresów: klimatycznych, żywieniowych czy antropogenicznych (Ostrowska et al. 2006). Sosna zwyczajna, podobnie jak sosna czarna, absorbują z gleby i powietrza szereg składników chemicznych niezbędnych do podtrzymania procesów życiowych (Migaszewski 1997).

Pobieranie większości pierwiastków przez roślinność jest procesem regulowanym metabolicznie (Pugnaire et Chapin 1993), a ich kumulacja może być związana z zachodzącymi w niej procesami rozwoju i starzenia się (Malzahn 2002; Ostrowska et Porębska 2002) oraz z dostępnością danego pierwiastka w glebie. Skład chemiczny igliwia sosny cechuje określona zmienność, wynikająca z naturalnej żyzności siedliska, czynników warunkujących pobieranie składników glebowych i ich transport (Ostrowska et al. 2006). Koncen-

tracja składników pokarmowych w aparacie asymilacyjnym drzew wskazuje na ich stan odżywienia (De Vries et Heij 1991; Schachtman et al. 1998), a niedobory obserwowane zwłaszcza na siedliskach borowych, są odzwierciedleniem ich niedostatecznej ilości w glebie (Prescott et al. 1992; Wang et Klinka 1997).

Do prawidłowego funkcjonowania roślin niezbędne są podstawowe makroskładniki – N, P, K, Ca, Mg, jak również w niewielkich ilościach mikroskładniki – Fe, Zn, Cu, Mn, które stanowią naturalny składnik ekosystemów (Wilk et Gworek 2009). Jednakże nadmierna koncentracja składników pokarmowych w środowisku jest szkodliwa, a przy odpowiednio wysokim stężeniu zaburzą one funkcjonowanie ekosystemów, stwarzając zagrożenie dla roślin, zwierząt i człowieka (Gruca-Królikowska et Waclawek 2006; Malzahn 2009; Nagajyoti 2010). Metale ciężkie podlegają bioakumulacji w tkankach roślinnych i zwierzęcych, wskutek czego zagrożenie zatruciem tymi składnikami wzrasta w kolejnych ogniach łańcucha troficznego, na którego szczycie znajduje się człowiek. Poszczególne gatunki

roślin w różny sposób reagują na podwyższone stężenia metali ciężkich. W przypadku znacznego zanieczyszczenia środowiska roślinność może pobierać wiele składników chemicznych w ilości przekraczającej jej zapotrzebowanie (Roo-Zielińska 2004; Ostrowska et al. 2006). *Pinus nigra* w porównaniu z innymi gatunkami drzew szpilkowych wykazuje dużą tolerancję na zmiany pH gleby (Arsova 1999).

Zarówno sosna zwyczajna, jak i sosna czarna, są wykorzystywane do badań bioindykacyjnych. W Polsce oraz w wielu krajach Europy do oceny stopnia zanieczyszczenia powietrza, oprócz 1-letniego i 2-letniego igliwia tych gatunków, używa się także ich kory (Molski et al. 1983; Pavlova et al. 1991; Dmuchowski et Bytniewicz 1995; Migaszewski et Gałuszka 1997; Čeburnis et Stennes 2000; Sawidis et al. 2001; Lamppu et Huttunen 2002; Yilmaz et Zengin 2003; Aboal et al. 2004; Piccardo et al. 2005; Świercz 2003, 2006; Lehndorff et Schwarz 2008).

*Pinus nigra* jest gatunkiem obcym dla flory Słowińskiego Parku Narodowego i obecnym tu wyłącznie w wyniku sadzenia. Masowe nasadzenia sosny zwyczajnej i sosny czarnej na wydmach ruchomych Mierzei Łebskiej miały miejsce w latach 1920–1938, o czym świadczą ich obecny wiek i powierzchnia zajęta przez poszczególne gatunki: sosnę zwyczajną – 230 ha, i sosnę czarną – 64 ha (Schechtel 1984; Piotrowska 1997; Kluczynski et Kreft 2003).

Celem podjętych badań było porównanie zdolności akumulacji biogenów oraz wybranych metali ciężkich przez igliwie sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) i sosny czarnej (*Pinus nigra* J.F. Arn.) rosnących na siedlisku boru suchego (Bs), poza zasięgiem wód gruntowych, na terenie Słowińskiego Parku Narodowego. Zawartość makro- i mikropierwiastków w igliwiu przeanalizowano rozpatrując każdy składnik oddzielnie oraz w sposób zintegrowany – porównując zapotrzebowanie na składniki odżywcze. W badaniach uwzględniono wiek igliwia oraz zasobność gleb w składniki chemiczne.

## 2. Materiały i metody badań

### Obszar badań

Badania przeprowadzono w 2005 r. w Słowińskim Parku Narodowym (SPN). SPN położony jest w północnej części Polski, na terenie będącym pod bezpośrednim wpływem Morza Bałtyckiego, stosunkowo wolnym od przemysłowych zanieczyszczeń powietrza. Średnia roczna temperatura powietrza na terenie Parku to 7,3°C, a średnia roczna suma opadów – 700 mm (Matuszkiewicz 2002). Do badań wybrano bór suchy (Bs) znajdujący się w centralnej części Parku (17°15'E,

54°45'N). W skład drzewostanu badanego zespołu *Cladonio-Pinetum* wchodziła 105-letnia sosna zwyczajna oraz 105-letnia sosna czarna. *Cladonio-Pinetum* zajmujący teren na wzniesieniu ok. 14 m n.p.m, poza zasięgiem wód gruntowych, porastał gleby inicjalne luźne: O, AC, C, wytworzone z głębokich piasków wydmych.

Badane gatunki drzew charakteryzowały się jednakową średnią wysokością (10 m) oraz zbliżonym rozmiarem pierśnicy, co wynika z wartości wskaźnika zdolności produkcyjnej (bonitacji – V) (tab. 1). Mimo jednakowych warunków wzrostu drzewostan sosny zwyczajnej posiadał ponad dwukrotnie większy zapas drewna niż drzewostan sosny czarnej.

**Tabela 1. Charakterystyka badanego drzewostanu**

Table 1. Characteristics of examined stands

Wyszczególnienie Specification	<i>Pinus sylvestris</i> L.	<i>Pinus nigra</i> J.F. Arn.
Wiek [lata] Age [years]	105	105
Średnia wysokość Average height [m]	10	10
Średnia pierśnica Average dbh [cm]	19	18
Zadrzewienie Stand density index	0,7	-
Zasobność Growing stock per ha [m <sup>3</sup> /ha]	65	30
Bonitacja Site index (stand quality)	V	V

Źródło / Source: Operat Ochrony Ekosystemów Leśnych, 2002.

### Metodyka badań

Na 0,5 ha powierzchni badawczej wykonano 3 odkrytki glebowe, na podstawie których scharakteryzowano budowę profilu. Taksonomię gleb opisano na podstawie Systematyki Gleb Polski PTG (1989). Oznaczenie podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych gleby wykonano w maju 2005 roku, pobierając próbki za pomocą świdra ze wszystkich poziomów genetycznych do głębokości 75 cm ze względu na główną masę korzeni drzew. Materiał roślinny pochodził z kilkunastu losowo wybranych drzew *Pinus sylvestris* i *Pinus nigra*. Igły do badania zbierano od marca do października 2005 roku, z siódmego okółka. Z pozyskanego materiału roślinnego przygotowywano próbki zbiorcze o masie od 10–20 g, uwzględniając różnorodność gatunkową i wiek igliwia (oddzielnie igły 1-letnie i igły 2-letnie), według zaleceń ICP Manual Forest (Rautio et al. 2010). Po przywiezieniu do laboratorium

igłowie starannie myto w wodzie dejonizowanej, następnie suszono w temperaturze 65°C i homogenizowano w młynku. Próbkę po wysuszeniu przechowywano w szczelnie zamkniętych pojemnikach polietylenowych.

W próbkach glebowych oznaczono gęstość właściwą metodą piknometryczną, pH(H<sub>2</sub>O) i pH(KCl) – metodą potencjometryczną, wilgotność – metodą wagową oraz zawartość materii organicznej poprzez określenia strat prażenia w piecu muflowym w temp. 550°C. W przygotowanym materiale roślinnym oznaczono powszechnie stosowanymi metodami: azot ogólny (T–N) i fosfor ogólny (T–P), według Ostrowskiej et al. (2001) po wcześniejszej mineralizacji w mieszaninie H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Wybrane metale: K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn i Fe w próbkach igłowie oraz gleby oznaczono po mineralizacji w mieszaninie stężonego HNO<sub>3</sub> i 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (ASA, Aanalyst 300, Perkin Elmer) według Ostrowskiej et al. (1991). Oznaczenia wykonano zgodnie z oryginalnymi wzorami (Merck KGaA, 1 g/1000 ml).

### Opracowanie wyników

W celu scharakteryzowania wybranych makro- i mikropierwiastków i porównania ich koncentracji w badanych szpilkach i glebie wyliczono wartości średnie, minimalne, maksymalne oraz odchylenia standardowe. Istotność zróżnicowania zawartości makro- i mikropierwiastków w igłowie sosny zwyczajnej i sosny czarnej zweryfikowano za pomocą testu U Manna Whitneya. Do obliczeń wykorzystano program Statistica (7.1). Zapotrzebowanie *Pinus sylvestris* i *Pinus nigra* na składniki pokarmowe opisano za pomocą metody ANE (*Accumulation Nutrient Elements*) (Ostrowska 1987; Ostrowska et al. 2006). Sumę składników (*Y*) w mmol<sub>c</sub>·kg<sup>-1</sup> wyliczono ze wzoru:

$$Y = \sum_{i=1}^i \frac{Z}{z}$$

gdzie:

*Z* – zawartość pierwiastka w mg·kg<sup>-1</sup>,

*z* – masa atomowa / wartościowość jonu.

Po obliczeniu *Y*, wyliczono procentowy udział (*X*) każdego pierwiastka w tej sumie:

$$X = \frac{Z \div z \cdot 100}{Y}$$

Zawartość makro- i mikropierwiastków w szpilkach 1-letnich i 2-letnich przeanalizowano, rozpatrując każdy składnik oddzielnie oraz w sposób zintegrowany – porównując zapotrzebowanie na składniki odżywcze. Dodatkowo wyliczono współczynniki wzbogacenia (*enrichment factor*, EF) szpilek *Ps* i *Pn* w metale ciężkie (Zn, Cu, Fe, Mn):

$$EF_{Zn} = C_{z(Zn)} \div C_{g(Zn)}$$

gdzie:

*EF*<sub>Zn</sub> – współczynnik wzbogacenia w cynk,

*C*<sub>z(Zn)</sub> – zawartość cynku w liściach,

*C*<sub>g(Zn)</sub> – zawartość cynku w glebie.

### 3. Wyniki badań i dyskusja

*Pinus sylvestris* i *Pinus nigra* porastały gleby inicjalne luźne (Ol, Ofh, AC, C), wytworzone z głębokich piasków wydmy. Najmniejszą gęstość właściwą miał słabo wykształcony poziom próchniczny (AC: 2,50 g·cm<sup>-3</sup>). Wraz z głębokością profilu glebowego gęstość właściwa nieznacznie wzrastała, osiągając maksymalną wartość w poziomie skały macierzystej (2,53–2,58 g·cm<sup>-3</sup>) (tab. 2). Badane gleby miały odczyn silnie kwaśny, który malał wraz z głębokością. Największą wilgotnością charakteryzował się poziom organiczny. Wilgotność poziomów mineralnych była wielo-

**Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne badanej gleby (średnia± odchylenie standardowe)**

Table 2. Physicochemical properties of researched soil (average± standard deviation)

Poziom genetyczny Soil genetic horizon	Głębokość Depth cm	Miąższość poziomu Thickness of soil cm	Gęstość właściwa Specific density g·cm <sup>-3</sup>	pH <sub>(H<sub>2</sub>O)</sub>	pH <sub>(KCl)</sub>	Wilgotność gleby	Materia organiczna
						Humidity of soil %	Organic matter %
Ol	5–3	2	-	4,3±0,4	3,9±0,2	47,5±7,1	96,1
Ofh	3–0	3	-	3,8±0,6	2,9±0,4	46,4±8,2	52,6
AC	0–11	11	2,50	4,1±0,5	3,5±0,5	6,7±4,1	0,44
C <sub>1</sub>	11–30	19	2,53	4,2±0,5	3,9±0,4	5,8±4,5	0,24
C <sub>2</sub>	30–50	20	2,55	4,3±0,5	4,1±0,4	4,5±5,6	0,19
C <sub>3</sub>	50–75	25	2,58	4,4±0,6	4,2±0,4	4,3±5,8	0,18

Ol – **podpoziom surowinowy** / fresh forest litter subhorizon, Ofh – **podpoziom detrytusowy** / detritus subhorizon, AC – **poziom próchniczny (słabo wykształcony)** / humic horizon (poorly trained), C – **skała macierzysta** / parent rock

krotnie mniejsza, malała w głąb profilu, osiągając w poszczególnych poziomach średnią wartość od 6,7 do 4,3%. Tak mała wilgotność gleby jest związana z niskim zalegającym poziomem wód gruntowych. Największa ilość materii organicznej zgromadzona była w podpo-

ziomach organicznych: surowinowym (Ol) – 96,1%, oraz fermentacyjno-humusowym (Ofh) – 52,6%. Poziomy mineralne zawierały bardzo małe ilości materii organicznej (0,18–0,44%) (tab. 2).

**Tabela 3. Właściwości chemiczne badanej gleby (średnia±odchylenie standardowe)**

Table 3. Chemical properties of researched soil (average±standard deviation)

Parametr Parameter	Poziom genetyczny Soil genetic horizon					
	Ol	Ofh	AC	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
T-N, %	0,920±0,15	0,700±0,09	0,290±0,06	0,285±0,02	0,250±0,01	0,245±0,01
T-P, %	0,0207±0,02	0,0131±0,03	0,0014±0,001	0,001±0,0004	0,001±0,00	0,001±0,00
Corg, %	53,5±1,2	36,6±1,0	0,32±0,02	0,20±0,01	0,20±0,00	0,12±0,00
K, mg·kg <sup>-1</sup>	609±47	253,5±33	45,5±8	71,7±9	43,2±10	42,0±10
Ca, mg·kg <sup>-1</sup>	2884±136	719,0±90	103,1±8	115,2±10	128,6±11	125,1±9
Mg, mg·kg <sup>-1</sup>	1126,0±167	471,5±45	423,0±40	91,1±23	113,4±25	120,2±26
Zn, mg·kg <sup>-1</sup>	62,8±0,03	58,1±0,03	2,11±0,04	2,76±0,04	1,97±0,03	1,88±0,02
Fe, mg·kg <sup>-1</sup>	81,4±0,03	101±0,04	61,0±0,06	65,0±0,10	64,9±0,11	62,0±0,05
Cu, mg·kg <sup>-1</sup>	7,0±0,001	7,1±0,002	0,7±0,002	0,73±0,002	0,71±0,002	0,70±0,002
Mn, mg·kg <sup>-1</sup>	165,1±0,04	168±0,02	5,9±0,02	6,0±0,02	6,2±0,02	6,1±0,02

**Tabela 4. Zawartość makro- i mikroelementów w igliwiu sosny zwyczajnej i sosny czarnej**

Table 4. Macro- and microelements contents in needles of *Pinus sylvestris* and *Pinus nigra*

Parametr Parameter	<i>Pinus sylvestris</i> L.		<i>Pinus nigra</i> J.F. Arn.	
	1-roczone 1-year	2-letnie 2-year	1-roczone 1-year	2-letnie 2-year
	średnia ± odchylenie standardowe / average ± standard deviation minimum – maksimum / minimum – maximum			
T-N, %	1,194±0,16 1,050–1,270	1,061±0,12 0,910–1,150	0,737±0,08 0,650±0,800	0,678±0,07 0,600±0,740
T-P, %	0,0925±0,01 0,086–0,097	0,0943±0,01 0,087–0,098	0,087±0,01 0,075–0,090	0,078±0,01 0,070–0,085
K, mg·kg <sup>-1</sup>	3289±0,014 3281–3293	2952±0,06 2932–2983	3463±0,167 3375–3542	2151±0,300 2106–2398
Mg, mg·kg <sup>-1</sup>	1492±0,017 1484–1506	1169±0,012 1166–1172	1703±0,016 1696–1712	1608±0,033 1591–1623
Ca, mg·kg <sup>-1</sup>	2025±0,09 1992–2080	2770±0,02 2681–2876	1734±0,097 1679–1774	2285±0,136 2206–2325
Zn, mg·kg <sup>-1</sup>	62,5±0,02 60,7–64,0	60,3±0,01 59,0–62,1	58,9±0,02 56,7–60,7	77,0±0,024 75,0–78,1
Cu, mg·kg <sup>-1</sup>	6,6±0,00 6,6–6,6	6,9±0,002 6,8–7,1	6,6±0,001 6,6–6,7	7,3±0,001 7,2–7,4
Mn, mg·kg <sup>-1</sup>	181,3±0,013 178,0–186,0	264,1±0,024 261,0–266,0	226,1±0,05 221,0–232,1	256,9±0,034 253,0–260,0
Fe, mg·kg <sup>-1</sup>	98,0±0,004 96,0–102,4	134,0±0,002 132,1–136,8	82,0±0,004 77,0–86,0	106,0±0,003 105,0–111,0



Gleba pod drzewostanem sosnowym wytworzona z głębokich piasków wydmywych okazała się bardzo mało zasobna w składniki pokarmowe. Największa ilość badanych składników zgromadzona była w podpoziomach organicznych (Ol i Ofh). W poziomach mineralnych, w których znajdowała się główna masa korzeni, zawartość makro- i mikroskładników była bardzo uboga (tab. 3).

Zasobność igliwia w badane składniki była ściśle związana z wiekiem igliwia (tab. 4). U sosny zwyczajnej największą koncentrację azotu stwierdzono w igłach jednorocznych, średnio o 11% wyższą niż w igłach dwuletnich. W przypadku sosny czarnej zawartość azotu wynosiła średnio 0,737% w igłach 1-letnich i 0,678% w igłach 2-letnich. Zawartość fosforu w szpilkach *Pinus sylvestris* mieściła się w przedziale 0,086–0,098%, a w przypadku *Pinus nigra* 0,070–0,090%. Wartości te są uznawane przez Centrum Koordynacji do spraw aparatu asymilacyjnego, działającego w ramach ICP-Forest (Forest Foliar Condition in Europe 1997) za niewystarczające. W szpilkach *Ps* i *Pn* stwierdzono niedobór azotu (<1,3%) i fosforu (<0,1%), przejawiający się między innymi ograniczonym wzrostem roślin (Starck 2006), czego dowodem jest niewielka wysokość drzewostanu, średnio około 10 m (tab. 1). W przypadku igliwia *Pn* zawartość azotu wyniosła <1%, co – według Gawlińskiego (1991), należy uznać za znaczny niedobór tego składnika. Niższą od średniej w kraju zasobność w makropierwiastki drzewostanów sosnowych Krainy Bałtyckiej potwierdzają wyniki badań przedstawione przez Małachowską et al. (2006).

W szpilkach *Ps* stwierdzono średnio większą zawartość K i Ca niż w szpilkach *Pn*, odpowiednio o 11% i 19%. Mimo to, w żadnej z badanych szpilek zawartość tych składników nie była na poziomie pozwalającym określić zaopatrzenie sosny w te makroskładniki jako optymalne, zgodnie ze standardami Ostrowskiej i Porębskiej (2002): 0,54% K oraz 0,25% Ca. W przypadku potasu badania wykazały skrajny niedobór tego pierwiastka w szpilkach zarówno w przypadku *Ps*, jak i *Pn*. Według standardów porównawczych podawanych przez Ostrowską i Porębską (2002) oraz Malzahn (2002) igliwie badanych sosen okazało się wystarczająco zasobne w związki magnezu, przy czym większa była zawartość Mg w szpilkach *Pn* niż w *Ps*.

Koncentracja cynku utrzymywała się na poziomie od 59,0 do 64,0 mg·kg<sup>-1</sup> w igliwii *Ps* oraz od 56,7 do 78,1 mg·kg<sup>-1</sup> w igliwii *Pn* (tab. 4) i była podobna jak w szpilkach *Ps* na innych terenach Polski: od 35 do 99 mg·kg<sup>-1</sup> w Świętokrzyskim Parku Narodowym (Migaszewski 1997) oraz od 31 do 99 mg·kg<sup>-1</sup> w Stalowej Woli (Samecka-Cymerman et al. 2006).

W igłach *Ps* i *Pn*, spośród badanych metali najmniej było miedzi. Jej zawartość utrzymywała się na prawie

stałym poziomie przez cały sezon wegetacyjny (6,6–7,3 mg·kg<sup>-1</sup>, tab. 4), co potwierdza małą ruchliwość tego pierwiastka w roślinach (Kabata-Pendias et Pendias, 1999). Niewielka zawartość Cu w szpilkach *Ps* i *Pn* wystarcza jedynie na pokrycie ich potrzeb fizjologicznych. Na terenie Świętokrzyskiego Parku Narodowego, koncentracja Cu w szpilkach sosny zwyczajnej była zbliżona i utrzymywała się na poziomie 3–9 mg·kg<sup>-1</sup> (Migaszewski 1997).

Zawartość manganu w igłach *Pinus sylvestris* SPN wynosiła od 178,0 do 226,0 mg·kg<sup>-1</sup>, a w przypadku *Pinus nigra* od 221,0 do 260,0 mg·kg<sup>-1</sup> (tab. 4). Zauważono, iż igliwie 2-letnie zawiera większe ilości Mn niż igliwie 1-letnie. Koncentracja Mn w roślinności na terenach będących poza bezpośrednim wpływem zanieczyszczeń wg Malzahn (2009) wynosi najczęściej 340–1339 mg·kg<sup>-1</sup>, a wg Grodzińskiej (1980) – 180–300 mg·kg<sup>-1</sup>.

Zawartość żelaza w szpilkach sosny zwyczajnej i sosny czarnej w sezonie wegetacyjnym 2005 była różna. Największą zawartością Fe charakteryzowały się szpilki *Pinus sylvestris*, w których koncentracja żelaza utrzymywała się na poziomie od 98,0 do 134,0 mg·kg<sup>-1</sup>. Zawartość żelaza w szpilkach *Ps* w Słowińskim Parku Narodowym była nieco niższa od stwierdzonej przez Samecką-Cymerman et al. (2006) w Stalowej Woli – 64–270 mg·kg<sup>-1</sup> oraz zbliżona do stwierdzonej przez Staszewskiego et al. (2009) w Kampinoskim Parku Narodowym.

Koncentracja mikroskładników w igliwii badanych sosen była stosunkowo niska (tab. 4), co jest skutkiem niewielkiej zawartości tych metali w glebie (tab. 3) oraz stosunkowo czystego środowiska Słowińskiego Parku Narodowego (Grodzińska 1980). Szpilki *Pinus nigra* charakteryzowały się większą zawartością cynku, miedzi i manganu niż szpilki *Pinus sylvestris*. W szpilkach sosny zwyczajnej stwierdzono średnio więcej N, P, K, Ca, i Fe niż w szpilkach sosny czarnej. Igliwie 2-letnie wykazywały większe ilości Ca, Mn, Cu i Fe niż igliwie 1-letnie, zarówno w przypadku *Ps*, jak i *Pn*, co znajduje potwierdzenie w badaniach Ostrowskiej et al. (2006).

Wyniki nieparametrycznego testu U Manna Whitneya wykazały istotne statystycznie różnice ( $p < 0,05$ ) między igliwem *Ps* a igliwem *Pn*, zarówno 1-letnim jak i 2-letnim, pod względem zawartości fosforu, potasu, magnezu, cynku i manganu w sezonie wegetacyjnym 2005, w *Cladonio-Pinetum* w obrębie Słowińskiego Parku Narodowego.

Szpilki sosny zwyczajnej akumulowały od 1100,0 do 1193,0 mmol·kg<sup>-1</sup> wszystkich analizowanych składników, przy czym najniższą wartością sumy zakumulowanych składników cechowało się igliwie 2-letnie *Ps*. Skład jonowy sumy składników w 1-letnich i 2-letnich szpilkach *Pinus sylvestris* był zbliżony. Udział azotu

**Tabela 5. Średnia akumulacja składników\* w igliwiu sosny zwyczajnej i sosny czarnej**Table 5. Average accumulation of elements\* in needles of *Pinus sylvestris* and *Pinus nigra*

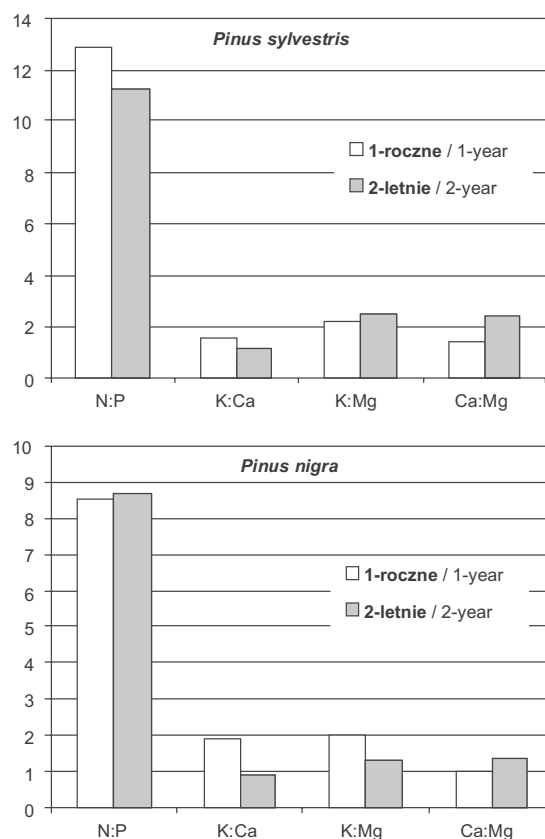
Składnik Elements	<i>Pinus sylvestris</i> L.		<i>Pinus nigra</i> J.F. Arn.	
	1-roczone 1-year	2-letnie 2-year	1-roczone 1-year	2-letnie 2-year
Σ makro [mmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> ]:	1193,0	1100,0	872,0	813,0
% N	71,5	68,9	60,4	59,6
% P	2,5	2,8	3,2	3,1
% K	7,1	6,9	10,2	6,8
% Ca	8,5	8,8	9,9	14,0
% Mg	10,4	12,6	16,3	16,5
Σ mikro [mmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> ]:	14,0	19,0	15,0	17,7
% Zn	13,8	9,9	12,2	13,5
% Cu	1,5	1,3	1,5	1,3
% Mn	47,2	50,6	54,8	52,8
% Fe	37,5	38,2	29,5	32,4

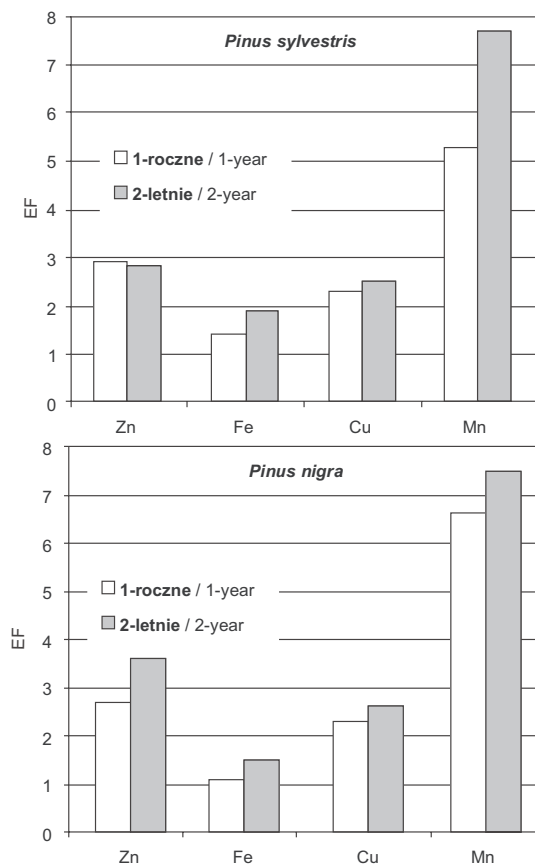
\* Wyrażona w postaci sumy składników i ich udziału w tej sumie

Expressed as a form of an amount of these components and their participation in the total.

wynosił 68,5–71,5% tej sumy, fosforu 2,5–2,8%, potasu 6,9–7,1%, magnezu 10,4–12,6%, wapnia 8,5–8,7%, a mikroelementy łącznie stanowiły 1,2%. Szpilki *Pn* akumulowały w porównaniu do sosny zwyczajnej znacznie mniejsze ilości analizowanych składników (1-roczone: 813,0 mmol<sub>c</sub>·kg<sup>-1</sup>; 2-letnie: 872,0 mmol<sub>c</sub>·kg<sup>-1</sup>). Skład jonowy sumy składników w 1-roczyznym i 2-letnich szpilkach *Pinus nigra* był zbliżony. Udział azotu wynosił 59,6–60,4%, fosforu 3,1–3,2%, potasu 6,8–10,2%, wapnia od 9,9–14,0%, magnezu 16,3–16,5%, a mikroelementy łącznie stanowiły od 1,7–2,1% (tab. 5). Duży udział manganu i żelaza w sumie mierzonych składników świadczy o nadmiernym pobieraniu ich z gleby przez badane drzewostany, czemu sprzyja silnie kwaśne środowisko glebowe boru suchego (tab. 2). Igliwie jednoroczne badanych sosen gromadziło więcej azotu, fosforu, potasu i miedzi, a igliwie dwuletnie więcej wapnia, magnezu i manganu. Podobne relacje pomiędzy ilością mierzonych składników w igliwiu sosny zwyczajnej wykazali Ostrowska i in. (2006).

Stosunek N:P w szpilkach *Pinus sylvestris* wynosił od 11,2 do 12,9, a w szpilkach *Pinus nigra* od 8,5 do 8,7 w zależności od wieku igliwia (ryc. 1). Według Güsewell i Koerselman (2002), stosunek N:P w roślinności na stanowiskach naturalnych utrzymuje się najczęściej od 12 do 13, a zgodnie z badaniami Malzahn (2002) optymalne zaopatrzenie drzew w azot i fosfor ma miejsce przy stosunku 7–10. Według Zhiguo i in. (2007) maksymalny wzrost roślin i maksymalne zaopatrzenie w biogeny występuje przy N:P zbliżonym do 9,5. Według Güsewell (2004), w okresie wegetacyjnym stosunek N:P może przyjmować wartości od 10 do 20, a według Commission Advice Forest Fertilization (1990) stosunek

**Rycina 1. Stosunki pomiędzy makroskładnikami w szpilkach sosny zwyczajnej i sosny czarnej**Figure 1. Ratios between macroelements in needles of *Pinus sylvestris* and *Pinus nigra*



Rycina 2. Wartości współczynników wzbogacenia igliwia w metale ciężkie EF

Figure 2. Enrichment factors *EF* calculated for the average concentrations of heavy metals in needles

N : P > 12 w igliwii sosny oznacza wartość krytyczną, przekroczenie której stanowi zagrożenie stanu zdrowotnego lasu. Wcześniejsze badania Parzych (2010) prowadzone w borach suchych, świeżych i wilgotnych SPN wykazują, iż stosunek N : P w szpilkach sosny zwyczajnej utrzymuje się zazwyczaj od 9,3 do 11,1, w zależności od wieku igliwia i zasobności zespołu leśnego.

Średni stosunek K : Ca w igliwii 1-letnim wynosił 1,6 (*Ps*) oraz 1,9 (*Pn*), a w igliwii 2-letnim odpowiednio 1,1 oraz 0,9 (ryc. 1). W żadnej z badanych próbek igliwia nie przekroczył on wartości progowej (K : Ca = 2), oznaczającej według Commission Advice Forest Fertilization (1990) niebezpieczeństwo dla stanu zdrowotnego lasu. Nieco mniejsze wartości K : Ca w szpilkach sosny Kampinoskiego Parku Narodowego otrzymali Staszewski et al. (2009): 0,8–1,3 w igliwii jednorocznym oraz 0,6 w igliwii dwuletnim.

Stosunek K : Mg w szpilkach *Ps* mieścił się w przedziale 2,2–2,5, przy czym większą wartość miał w przypadku igliwia 2-letniego, a w szpilkach *Pn* wynosił 1,3–2,0 i większy był w przypadku igieł 1-letnich

(ryc. 1). Według Burga (1990) optymalne zaopatrzenie sosny w potas i magnez ma miejsce przy stosunku K : Mg wynoszącym 2,2–6,4. Wyniki badań igliwia uzyskane w Słowińskim Parku Narodowym wskazują na braki w zaopatrzeniu igliwia *Pinus nigra* w związku potasu. Większy stosunek K : Mg (3,45–6,02) w szpilkach sosny Kampinoskiego Parku Narodowego otrzymali Staszewski et al. (2009).

W badanych szpilkach stosunek wapnia do magnezu w igliwii 1-letnim wynosił średnio 1,4 (*Ps*) i 1,0 (*Pn*) i był niższy niż w igliwii 2-letnim, w którym osiągał wartość odpowiednio 1,4 i 2,4. W trakcie sezonu wegetacyjnego dolna granica wartości optymalnych stosunku Ca : Mg, wynosząca 2,5 (Burg 1990), nie została przekroczona.

Niewielka zawartość Zn, Cu, Mn i Fe w glebie i szpilkach *Ps* i *Pn* boru suchego przekłada się na niewielką wartość współczynnika wzbogacenia (*EF*, *Enrichment Factor*; ryc. 2). Najmniejszy współczynnik wzbogacenia był w przypadku żelaza ( $EF < 1,9$ ), nieco większy w przypadku miedzi ( $EF < 2,6$ ), cynku ( $EF < 3,6$ ) i manganu ( $EF < 7,7$ ). Wartości te wskazują, iż spośród badanych metali największe właściwości akumulacyjne ma Mn, co potwierdza również procentowy udział manganu w sumie składników mineralnych (tab. 5).

Według Kłosa (2009) wartość współczynnika *EF* wskazuje na napływowy charakter zanieczyszczeń lub na glebę jako źródło pochodzenia metali. Silne zakwaszenie gleby sprzyja uwalnianiu jonów manganu do roztworu glebowego i pobieraniu ich przez roślinność. Uzyskane wartości współczynników *EF* należy traktować jednak orientacyjnie, gdyż zostały wyznaczone na podstawie całkowitych stężeń metali w glebie, przy czym rośliny akumulują jedynie biodostępne formy tych pierwiastków.

#### 4. Podsumowanie

Drzewostan *Pinus sylvestris* i *Pinus nigra* stanowiący część zespołu *Cladonio-Pinetum* SPN porastał gleby inicjalne luźne wytworzone z głębokich piasków wydmych. Gleba ta charakteryzowała się silnym zakwaszeniem, zarówno poziomów organicznych, jak i mineralnych. Ponadto była uboga w składniki pokarmowe. Największe ilości makro- i mikroelementów zgromadzone były w podpoziomach organicznych (Ol i Ofh). W poziomach mineralnych, w których występuje główna masa korzeni, zawartość makro i mikroelementów była bardzo mała.

Szpilki sosny zwyczajnej charakteryzowały się większą zawartością azotu, fosforu, potasu, wapnia i żelaza niż szpilki sosny czarnej, a szpilki *Pn* wykazywały większe zawartości magnezu, cynku, miedzi

manganu niż szpilki *Ps*. Igliwie 2-roczone zawierało średnio więcej Ca, Mn, Cu i Fe niż igliwie 1-roczone, zarówno w przypadku *Ps*, jak i *Pn*. Wyniki testu U Manna Whitneya wykazały istotne statystycznie różnice ( $p < 0,05$ ) zawartości P, K, Mg, Zn i Mn zarówno w igliwiu 1-rocznym, jak i 2-letnim badanych sosen w *Cladonio-Pinetum* w obrębie Słowińskiego Parku Narodowego.

Różnice między badanym igliwem sosny zwyczajnej i sosny czarnej uwidaczniały się przede wszystkim w wartościach sumy akumulowanych w nim składników. W szpilkach *Pinus nigra* stwierdzono znacznie większą akumulację P, K, Ca, Mg i Mn niż w szpilkach *Pinus sylvestris*, co może wskazywać, iż sosna czarna ma znacznie lepszą kondycję biologiczno-hodowlaną i ma szansę na dłuższe życie osobników tego gatunku w sytuacji niekorzystnych warunków glebowych i klimatycznych panujących na Mierzei Łebskiej. Wartości współczynników wzbogacenia wskazują, iż największe są właściwości wzbogacenia igliwia w odniesieniu do manganu.

## Literatura

- Aboal J.R., Fernandez J.A., Carballeira A. 2004. Oak leaves and pine needles as biomonitors of airborne trace elements pollution. *Environmental and Experimental Botany*, 51: 215–225.
- Arsova A. 1999. Adaptability of *Pinus nigra* Arn. depending on soil pH. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 25 (1–2): 16–25.
- Burg J. Van den, 1990. Foliar analysis for determination of tree nutrient status – a compilation of literature data. 2. Literature 1985–1989. “De Dorschkamp”, Wageningen, The Netherlands, Institute for Forestry and Urban Ecology, Rapport 591.
- Čeburnis D., Stennes E., 2000. Conifer needles as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: comparison with mosses and precipitation, role of the canopy. *Atmospheric Environment*, 34: 4265–4271.
- Commission Advice Forest Fertilization. 1990. Final Report Commission Advice Forest fertilization. Report 1990–11. Ministry of Agriculture, Nature Conservation and Fishery. pp. 63
- De Vries W., Heij G.J. 1991. Critical loads and critical levels for the environment effects of air pollutants. w: Acidification Research in the Netherlands: Final Report of the Dutch priority programme on acidification (red. G.J. Heij, T. Schneider). Amsterdam, Elsevier: 205–2014. ISBN 9780444888310
- Dmuchowski W., Bytnerowicz A. 1995. Monitoring environmental pollution in Poland by chemical analyses of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. *Environmental Pollution*, 87: 87–104.
- Forest Foliar Condition in Europe. 1997. Forest Foliar Coordinating Centre in cooperating with the Australian Federal Forest Research Centre, EC-UN/ECE-FBV A, Brussels, Geneva, Vienna.
- Gawliński S. 1991. Wpływ nawożenia mineralnego na wegetację i chemizm sosny zwyczajnej, Prace habilitacyjne i doktorskie. *Instytut Ochrony Środowiska*, Warszawa.
- Grodzińska K. 1980. Zanieczyszczenie polskich parków narodowych metalami ciężkimi. *Ochrona Przyrody*, 43, 9–27.
- Gruca-Królikowska S., Waclawek W. 2006. Metale w środowisku. Cz. II. Wpływ metali ciężkich na rośliny. *Chemia - Dydaktyka - Ekologia - Metrologia*, 11, 1–2: 41–56.
- Güswell S., Koerselman W. 2002. Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants. *Perspectives in Ecology, Evolution and Systematics*, 5: 37–61.
- Lampu J., Huttunen S. 2002. Relations between Scott pine needle element concentrations and decreased needle longevity along pollution gradients. *Environmental Pollution*, 122: 119–126.
- Lehndorff E., Schwarz L. 2008. Accumulation histories of major and trace elements on pine needles in the cologne conurbation as function of air quality. *Atmospheric Environment*, 42: 833–845.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. 1999. Biogeochemia pierwiastków śladowych, Warszawa, PWN, ISBN. 83-01-11257-3.
- Kluczyński B., Kreft A. 2003. Ilościowy oraz biologiczny stan starodrzewów sosnowych (*Pinus sylvestris* L.) w Słowińskim Parku Narodowym. *Parki Narodowe i Rezerwaty Przyrody*. 22, 2: 197–226.
- Kłos A. 2009. Zastosowanie współczynnika wzbogacenia (EF) do interpretacji wyników badań biomonitoringowych. *Chemia – Dydaktyka – Ekologia – Metrologia*, 14, 1–2: 49–55.
- Malzahn E. 2002. Igły sosny zwyczajnej jako bioindykator zagrożeń środowiska leśnego Puszczy Białowieskiej. *Biuletyn Monitoringu Przyrody*, 1 (3): 19–31.
- Malzahn E. 2009. Biomonitoring środowiska leśnego Puszczy Białowieskiej. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 40: 439–447.
- Małachowska J., Wawrzyniak J., Kluziński L., Hildebrand R., Lucia M., Wójcik J. 2006. Monitoring lasów. Ocena stanu zdrowotnego lasów w latach 1991–2005. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, Inspekcja Ochrony Środowiska. ISBN 8372172919.
- Matuszkiewicz J. M. 2002. Zespoły leśne Polski. Warszawa, PWN. ISBN 83-01-13401-1.
- Migaszewski Z.M. 1997. Skład chemiczny igieł sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. w regionie świętokrzyskim. *Wiadomości Botaniczne*, 42, (3/4): 79–91.
- Migaszewski Z.M., Gałuszka A. 1997. Wykorzystanie sosny do badań bioindykacyjnych. *Przegląd Geologiczny*, 4: 403–407.
- Molski B., Bytnerowicz A., Dmuchowski W. 1983. Analiza chemiczna igieł sosny zwyczajnej jako metoda oceny zanieczyszczenia Środowiska w Polsce. w: J. Fabiszewski (red.) Bioindykacja skażeń przemysłowych i rolniczych. Warszawa, PAN: 143–148.
- Nagajoti P. C., Lee K.D., Sreekanth T.V.M. 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 8: 199–216.
- Operat Ochrony Ekosystemów Leśnych na lata 2002–2021. 2002. T. 9/1 Opis taksacyjny lasu – Obręb ładowy. Od-



- działy 1–63. Obwód Ochronny Smółdziński las. Jeleniogórskie Biuro Planowania i Projektowania.
- Ostrowska A. 1987. Application of ANE value and shares of individual elements in this value for determining the difference between various plant species. w: Genetic aspects of plant mineral nutrition. 27–43, Dordrecht (Netherlands), Martinus Nijhoff Pub. (*Plant and Soil*). ISBN 90-247-3494-0. p. 27–43.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z. 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Katalog. Warszawa, Instytut Ochrony Środowiska.
- Ostrowska A., Porębska G. 2002. Skład chemiczny roślin, jego interpretacja i wykorzystanie w ochronie środowiska. Warszawa, Instytut Ochrony Środowiska. ISBN 83-85805-81-8.
- Ostrowska A., Porębska G., Sienkiewicz J., Borzyszkowski J., Król H., Gawliński S. 2001. Właściwości gleb leśnych i metody ich oznaczania. Warszawa, Instytut Ochrony Środowiska.
- Ostrowska A., Porębska G., Sienkiewicz J., Borzyszkowski J., Król H. 2006. Właściwości gleb i roślin w monitoringu środowiska leśnego. Warszawa, Instytut Ochrony Środowiska. ISBN 83-60312-45-1.
- Parzych A. 2010. Azot, fosfor i węgiel w roślinności leśnej Słowińskiego Parku Narodowego w latach 2002–2005. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 43, 45–64.
- Pavlova E., Malinova L., Milushev I. 1991. An attempt to evaluation of the content of heavy metals in plantations of black pine trees (*Pinus nigra* Arn.). *Forest Science* (Bulgarian Academy of Science), 2, 51–54.
- Piccardo M.T., Pala M., Bonaccorso B., Stella A., Redaelli A., Paola G., Valerio F. 2005. *Pinus nigra* and *Pinus pinaster* needles as passive samplers of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental Pollution* 133: 293–301.
- Piotrowska H. 1997. Przyroda Słowińskiego Parku Narodowego. Poznań–Gdańsk, Bogucki Wyd. Naukowe, s. 320. ISBN 83-86001-47-X.
- Prescott C.E., Corbin I.P., Parkinson D. 1992. Availability of nitrogen and phosphorus in the forest floor of Rocky Mountain coniferous forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 22: 593–600.
- Pugnaire F.I., Chapin F.S.III 1993. Controls over nutrient resorption from leaves of evergreen mediterranean species. *Ecology*, 74: 124–129.
- Rautio P., Fürst A., Stefan K., Raitio H., Bartels U. 2010. Sampling and analysis of needles and leaves. w: Manual and methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects to air pollution on forests. Hamburg, UNECE ICP Forest Programme Co-ordinating Centre.
- Roo-Zielińska E. 2004. Fitoindykacja jako narzędzie oceny środowiska fizycznogeograficznego: podstawy teoretyczne i analiza porównawcza stosowanych metod. Warszawa, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN. ISBN 83-87954-53-5.
- Samecka-Cymerman A., Kosior G., Kempers A.J. 2006. Comparison of the moss *Pleurozium schreberi* with needles and bark of *Pinus sylvestris* as biomonitors of pollution by industry in Stalowa Wola (southeast Poland). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 65: 108–117.
- Sawidis T., Chettri M.K., Papaioannou A., Zaccariadis G., Stratis J. 2001. A study of metal distribution from lignite fuels using trees as biological monitors. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 48: 27–35.
- Schachtman D.P., Reid R.J., Ayling S.M. 1998. Phosphorus Uptake by Plants: from Soil to Cell. *Plant Physiology*, 116: 447–453.
- Schechtel A. 1984. Plan Urządzenia Gospodarstwa Leśnego na okres 1.I.1983 do 31.XII.1992. I. Część ogólna planu. BULiGL o/Szczecinek, Słowiński Park Narodowy.
- Starck Z. 2006. Różnorodne funkcje węgla i azotu w roślinach. *Kosmos*, 55, 2–3 (271–272): 243–257.
- Staszewski T., Kubisa P., Łukasik W., Uziębło A. 2009. Reakcja borów sosnowych na antropopresję w różnych typach siedlisk w Kampinoskim Parku Narodowym. w: Andrzejewski A., Lubański A. (red.). Trwałość i efektywność ochrony przyrody w polskich parkach narodowych. Izabelin, Kampinoski Park Narodowy. 289–298, ISBN 978-83-7585-070-3.
- Systematyka gleb Polski. 1989. *Roczniki Gleboznawcze*, 40 (3/4) 1–62.
- Świercz A. 2003. Zawartość pierwiastków metalicznych w glebie, igliwii i korze sosny po zmniejszeniu emisji alkalicznej. *Regionalny Monitoring Przyrodniczy*, 4: 107–113.
- Świercz A. 2006. Suitability of pine bark to evaluate pollution caused by cement-lime dust. *Journal of Forest Science*, 52: 93–98.
- Wang G.G., Klinka K. 1997. White spruce foliar nutrient concentrations in relation to tree growth and soil nutrients amounts. *Forest Ecology Management*, 98: 89–99.
- Wilk M., Gworek B. 2009. Metale ciężkie w osadach ściekowych. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 39: 40–59.
- Yilmaz S., Zengin M. 2003. Monitoring environmental pollution in Erzurum by chemical analysis of Scott pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. *Environment International*, 29: 1041–1047.
- Zhiguo X., Baixing Y., He Y., Changchun S. 2007. Nutrient limitation and wetland botanical diversity in northeast China: can fertilization influence on species richness? *Soil Science*, 172 (1): 86–93.

