



You have downloaded a document from  
**RE-BUŚ**  
repository of the University of Silesia in Katowice

**Title:** Kumulacja metali ciężkich i siarki w roślinach wybranych gatunków oraz glebie jako wskaźnik stanu skażenia środowiska terenów chronionych województw śląskiego i małopolskiego

**Author:** Ryszard Ciepał

**Citation style:** Ciepał Ryszard. (1999). Kumulacja metali ciężkich i siarki w roślinach wybranych gatunków oraz glebie jako wskaźnik stanu skażenia środowiska terenów chronionych województw śląskiego i małopolskiego. Katowice : Uniwersytet Śląski



Uznanie autorstwa - Użycie niekomercyjne - Bez utworów zależnych Polska - Licencja ta zezwala na rozpowszechnianie, przedstawianie i wykonywanie utworu jedynie w celach niekomercyjnych oraz pod warunkiem zachowania go w oryginalnej postaci (nie tworzenia utworów zależnych).



UNIwersytet ŚLĄSKI  
W KATOWICACH



Biblioteka  
Uniwersytetu Śląskiego



Ministerstwo Nauki  
i Szkolnictwa Wyższego

**Ryszard Ciepał**

**Kumulacja metali ciężkich i siarki  
w roślinach wybranych gatunków oraz glebie  
jako wskaźnik stanu skażenia  
środowiska terenów chronionych  
województw śląskiego i małopolskiego**

**Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego**



**Katowice 1999**



**Kumulacja metali ciężkich i siarki  
w roślinach wybranych gatunków oraz glebie  
jako wskaźnik stanu skażenia  
środowiska terenów chronionych  
województw śląskiego i małopolskiego**

**Prace Naukowe  
Uniwersytetu Śląskiego  
w Katowicach  
nr 1774**

**Ryszard Ciepał**

**Kumulacja metali ciężkich i siarki  
w roślinach wybranych gatunków oraz glebie  
jako wskaźnik stanu skażenia  
środowiska terenów chronionych  
województw śląskiego i małopolskiego**

**Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego**



**Katowice 1999**

**Redaktor serii: Biologia**  
**KRZYSZTOF ROSTAŃSKI**

**Recenzenci**  
**ELŻBIETA LOREK**  
**PIOTR KAROLEWSKI**

N 286/1344



86N 2748

# Treść

<b>1. Wstęp i cel pracy</b>	7
<b>2. Przegląd literatury</b>	9
2.1. Metale ciężkie	9
2.2. Bioindykacja terenów uprzemysłowionych	12
2.3. Badania naukowe w polskich parkach narodowych i rezerwach	13
<b>3. Materiał i metodyka badań</b>	15
3.1. Materiał	15
3.2. Metody laboratoryjne	16
3.3. Metody statystyczno-matematyczne	16
<b>4. Ogólna charakterystyka badanych terenów chronionych i źródła emisji</b>	17
4.1. Charakterystyka przyrodnicza badanych rezerwatów	17
4.2. Ogólna charakterystyka źródeł emisji	18
<b>5. Wyniki</b>	21
5.1. Atmosfera	21
5.2. Gleba	24
5.3. Materiał roślinny	35
<b>6. Dyskusja wyników</b>	85
<b>7. Kierunek i dynamika zmian procesów degradacji zachodzących w badanych rezerwach</b>	108
<b>8. Podsumowanie</b>	115
<b>9. Wnioski</b>	120
<b>Aneks</b>	121
<b>Literatura</b>	151
<b>Summary</b>	160
<b>Zusammenfassung</b>	162





# 1. Wstęp i cel pracy

Parki narodowe i rezerваты przyrody uważa się za najskuteczniejszą formę ochrony przyrody. Impulsem do podjęcia działalności w tym kierunku było utworzenie pierwszego na świecie Parku Narodowego Yellowstone w 1872 roku. Rezerваты przyrody mają wspólny z parkami narodowymi rodowód. Na kontynencie amerykańskim pojawiły się nieco wcześniej, bo w pierwszej połowie XIX wieku. Cele i metody funkcjonowania tych dwóch kategorii ochrony są bardzo zbliżone, różnic można się dopatrywać, choć nie zawsze, w wielkości powierzchni. W praktyce obszarowe formy ochrony przyrody, do których zalicza się parki narodowe i rezerваты, stanowią ochronę rezerwatową. Wspólną cechą tych obszarów jest między innymi to, że wyróżnia się na nich powierzchnie podlegające ochronie ścisłej lub tylko częściowej.

Parki narodowe i rezerваты obejmują z reguły najlepiej zachowane, w dużej części naturalne fragmenty przyrody, ukształtowane i przystosowane do specyfiki środowiska w długim procesie ewolucji. Rezerwat przyrody jest obszarem obejmującym zachowane w stanie naturalnym lub mało zmienione ekosystemy, określone gatunki roślin i zwierząt oraz elementy przyrody nieożywionej (DZIENNIK USTAW, 1991).

Aby ten cel osiągnąć, ogranicza się bezpośrednią ingerencją człowieka w życie rezerwatu (zakaz wycięcia drzew, wypasu, grabienia ściółki itp.). Takie ograniczenie działalności ludzkiej w rezerwach jest stosunkowo proste. W dobie silnego uprzemysłowienia wpływ człowieka na przyrodę staje się coraz częściej wpływem pośrednim, trudniejszym do kontrolowania.

W rejonach zagrożonych, tzn. takich, w których zanieczyszczenia środowiska przez toksyczne metale i gazy kilkakrotnie przekraczają normy dla obszarów chronionych, występuje około 3/4 polskich parków narodowych i ponad 2/3 rezerwatów (BĄDOŁA-CIOŁCZYK, 1992).

Aktualnie ochroną rezerwatową objętych jest 1085 obiektów (OCHRONA ŚRODOWISKA, 1995), co stanowi 0,4% powierzchni kraju. W województwie

śląskim istnieje 48 rezerwatów zajmujących 0,06% jego powierzchni. Pod względem powierzchni obiekty te są niewielkie, liczą 4,3—26,8 ha. Wyjątek stanowią rezerваты „Łęczok” (408,8 ha) oraz „Żubrowisko” (742,6 ha).

Na aktualny stan szaty i gleby obiektów chronionych w województwach śląskim i małopolskim, w tym rezerwatów przyrody, ma wpływ wiele czynników zarówno wewnętrznych (dynamika i sukcesja roślinności), jak i zewnętrznych, takich jak: typ rezerwatu, bezpośrednie otoczenie lub brak otuliny, jego kształt oraz wielkość. Szczególnie zagrożone są rezerваты o małej powierzchni, położone w niewielkiej odległości od zakładów przemysłowych, pozbawione otuliny i narażone na intensywny ruch turystyczny. Innym zagrożeniem jest wpływ zanieczyszczeń przemysłowych, motoryzacyjnych oraz pochodzących z chemizacji rolnictwa.

W województwie śląskim odnotowuje się wielokrotne przekroczenie dopuszczalnych norm formaldehydu, benzo-a-pirenu, tlenków siarki i azotu oraz pyłów zawierających związki metali ciężkich, głównie ołowiu, kadmu i cynku. Efekt ich oddziaływania obserwujemy nie tylko w pobliżu zakładów przemysłowych (emitorów); sięga on znacznie dalej, w przypadku gazów nawet dziesiątki kilometrów.

Celem badań podjętych w niniejszej pracy były:

- ocena stopnia obciążenia zbiorowisk bukowych wybranych terenów chronionych województwa śląskiego przez metale ciężkie i siarkę na tle innych terenów chronionych Polski,
- określenie zmian zawartości badanych pierwiastków w szpilkach i liściach badanych gatunków na przestrzeni kolejnych lat oraz od wyjścia ze stanu spoczynku zimowego do zakończenia wegetacji,
- ocena zależności zachodzących w układzie atmosfera — ekosystem (roślina, gleba).

## 2. Przegląd literatury

### 2.1. Metale ciężkie

W skład żywych organizmów (w tym także roślin) wchodzi wiele pierwiastków chemicznych, z których każdy odgrywa określoną rolę w procesach fizjologiczno-biochemicznych. Niezależnie od powinowactwa chemicznego i właściwości fizycznych stosuje się różne podziały klasyfikacyjne, oparte na specyficznych właściwościach wspólnych dla pewnej grupy pierwiastków: MARKERT (1994); MENGEL, KIRKBY (1983); KABATA-PENDIAS, PENDIAS (1993); ROSS (1994); WOŹNY (1995).

Interesującą próbą określenia roli pierwiastków chemicznych jest biologiczny system pierwiastków MARKERTA (1994). Uwzględniając takie cechy, jak: korelacje pomiędzy poszczególnymi pierwiastkami, ich rolę fizjologiczną czy rozwój ewolucyjny oraz formę w jakiej pierwiastek jest pobierany, B. Markert wyróżnił kilka grup pierwiastków: odgrywające pewną, pozytywną rolę w biologii, potencjalnie oddziałujące pozytywnie lub negatywnie, wpływające negatywnie oraz pierwiastki obojętne dla życia.

W naukach przyrodniczych zajmujących się problematyką skażenia środowiska ksenobiontami używa się również terminu metale ciężkie (w klasyfikacji chemicznej są to pierwiastki o ciężarze właściwym powyżej  $4,5 \text{ g/cm}^3$ ). Najczęściej w pracach biologicznych tym terminem określa się: Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Cd, Pb i Hg. Metale ciężkie są w środowisku bardzo rozpowszechnione. W rudach i skałach górotworu występują na ogół w postaci tlenków; wówczas są mało groźne dla środowiska. Groźne są metale ciężkie w postaci roztworów soli, będących produktami ubocznymi lub odpadami różnych gałęzi przemysłu.

Wśród metali ciężkich, jakie występują w roślinach, można wyodrębnić trzy grupy:

I. Niezbędne dla metabolizmu wszystkich roślin wyższych (Fe, Mn, Cu, Zn, Mo).

II. Pierwiastki, których rola w metabolizmie roślin wyższych nie została jeszcze poznana, jednak w określonych warunkach wykazują działanie stymulujące (As, Ni, Co).

III. Pierwiastki, co do których nie ma pewnych informacji o ich stymulującym wpływie na rośliny, zazwyczaj jednak już w niewielkich dawkach działają one wybitnie toksycznie na rośliny wyższe, mikroorganizmy, a zwłaszcza na zwierzęta kręgowce (Hg, Pb, Cd).

Warunkiem trwałego istnienia każdego ekosystemu jest równowaga głównych procesów przemiany materii, czyli homeostazy. W ekosystemach naturalnych cykle biogeochemiczne odznaczają się najczęściej pewną regularnością. Natomiast w wyniku gospodarczej działalności człowieka mogą one być niepełne i przebiegać acyklicznie, na skutek deficytu jednego lub kilku składników (pola uprawne — nawożenie) lub nadmiernego doprowadzania innych (emisje przemysłowe, wapń, siarka, ołów, cynk itp.).

Stały wzrost czynnej puli pierwiastków śladowych prowadzi do zmian w proporcjach między ich uruchamianiem i wprowadzaniem do środowiska biologicznego a ponownym odkładaniem w utworach geologicznych. Na podstawie tych zależności KABATA-PENDIAS, PENDIAS (1993) wydzielają kilka grup metali o różnym stopniu zagrożenia dla środowiska przyrodniczego:

1. Pierwiastki o bardzo wysokim stopniu zagrożenia: Cd, Hg, Pb, Cu, Zn, Cr, Sn.

2. Pierwiastki o wysokim stopniu potencjalnego zagrożenia: Mo, Mn, Fe, Se.

3. Pierwiastki o średnim stopniu zagrożenia: Ni, Co.

4. Pierwiastki o niskim stopniu potencjalnego zagrożenia: Ta, Nb.

Potencjalne skażenie środowiska przez poszczególne metale ciężkie nie oznacza ich szkodliwości dla organizmów. Toksyczność pierwiastków wynika bowiem nie tylko ze stopnia skażenia środowiska danym metalem, ale przede wszystkim z biochemicznej roli, jaką odgrywają w procesach metabolicznych. Niemniej jednak wszystkie metale wymienione w grupie 1. stwarzają szczególnie duże ryzyko zachwiania równowagi chemicznej w ekosystemach.

Zawarte w atmosferze pyły, w których występują metale ciężkie, dostają się do gleby oraz opadają na nadziemne części roślin. W rezultacie zawartość metali ciężkich w roślinach jest podwyższona. Stopień nasilenia tego procesu zależy od: wielkości emisji, fizycznych właściwości pyłów, warunków meteorologicznych, właściwości środowiska glebowego, pokroju roślin, powierzchni liści oraz ich morfologii. Rośliny pobierają metale ciężkie za pomocą systemu korzeniowego, jak również blaszek liściowych.

Składniki mineralne, w tym metale ciężkie, pobierane są z roztworów glebowych przez strefę włosnikową korzenia, najczęściej w formie jonów

lub cząsteczek chelatowych. Proces pobierania substancji mineralnych przez system korzeniowy zależy od wielu czynników, między innymi od stężenia roztworu w podłożu. Zaobserwowano, że przy niskich stężeniach jonów w glebie pobieranie aktywne jest selektywne, natomiast w przypadku wyższych ilości ujawniają się mechanizmy pobierania jonów, które są mało selektywne. Zwiększa to pobieranie składników przypadkowych; oznacza to, że rośliny pobierają je w innych proporcjach niż te, w jakich znajdują się w roztworach glebowych. Proces pobierania o charakterze akumulacyjnym jest nieodwracalny. Jony, które przedostały się do wnętrza roślin, tylko w nieznacznym stopniu mogą wydobywać się z powrotem do środowiska (za życia rośliny). Chociaż metale ciężkie dostają się do roślin głównie przez korzenie, to wnikanie tych pierwiastków przez części nadziemne, a zwłaszcza liście, nie jest zjawiskiem rzadkim. Metale ciężkie zawarte w pyłach emitowanych przez przemysł wnikają przez liście i szpilki do tkanek roślinnych, powodując wielokrotne przekroczenie poziomów uznawanych za fizjologiczne dla danego pierwiastka.

Naturalne zawartości metali ciężkich w glebach są ściśle związane z występowaniem danego pierwiastka w skałach macierzystych, z rodzajem i typem gleby oraz z poziomem genetycznym. Zawartości tych samych metali w roślinach zależą z kolei od: stężenia w środowisku, klimatu oraz od gatunku, odmiany roślin, organu i stadium rozwojowego.

Tabela 2.1

**Zawartość siarki i metali ciężkich w roślinach i glebie (wg KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 1979, 1993; PIOTROWSKA, 1989; ROSS, 1993)**

Pierwiastek	Gleba naturalna	Gleby skażone	Rośliny z terenów nie skażonych	Rośliny z terenów skażonych
Siarka	0,001—2,1%	do 4,3%	0,2—0,5%	1,8%
Mangan	20—1400 µg/g	do 4500 µg/g	10—300 µg/g	do 650 µg/g
Miedź	1,5—30 µg/g	do 1600 µg/g	5—20 µg/g	do 90 µg/g
Żelazo	0,1—10%		15—800 µg/g	do 25 000 µg/g
Cynk	10—500 µg/g	do 10 000 µg/g	1—100 µg/g	do 6000 µg/g
Ołów	5—100 µg/g	do 4700 µg/g	0,1—10 µg/g	do 3000 µg/g
Kadm	0,1—2 µg/g	do 290 µg/g	0,01—1 µg/g	do 50 µg/g

Wzorując się na następujących pracach: CIEPAŁ (1992); KABATA-PENDIAS (1989); KABATA-PENDIAS, PENDIAS (1979, 1993); KABATA-PENDIAS, PIOTROWSKA (1989); MENGEL, KIRKBY (1983); ROSS (1994); WOŹNY (1995), w tab. 2.1 przedstawiono zawartości wybranych pierwiastków w glebie oraz roślinach.

## 2.2. Bioindykacja terenów uprzemysłowionych

Skażenie środowiska zazwyczaj ocenia się metodami fizykochemicznymi, określając takie parametry, jak: wielkość emisji, zawartość toksycznych pierwiastków i ich związków w powietrzu atmosferycznym, opad pyłów metalonośnych itp. Coraz częściej stosuje się również metody biologiczne. Metody bioindykacyjne oceny stopnia zanieczyszczenia środowiska znalazły szerokie praktyczne zastosowanie. Mają tę zaletę, że organizmy rejestrują działanie i skutki zanieczyszczenia; na przykład rośliny mają dużą zdolność pochłaniania i magazynowania zanieczyszczeń na swojej powierzchni, co może być analizowane zarówno metodami fizycznymi, jak i chemicznymi. Organizmy, takie jak rośliny czy zwierzęta, mogą być używane jako biotesty (fitotesty lub zootesty) do oceny stopnia zanieczyszczenia badanego obszaru. Badania w tym kierunku koncentrują się na poszukiwaniu najbardziej przydatnych roślin wskaźnikowych, czyli fitotestów, oraz reakcji testowych charakteryzujących niektóre procesy fizjologiczne, tzw. fitoreakcji.

Stosowanie biotestów jest metodą oceny stanu funkcjonowania całego ekosystemu; często wcześniej pozwala wykryć zaburzenia w układzie ekologicznym. W testach biologicznych stosuje się organizmy lub organa szczególnie wrażliwe na dany czynnik środowiska (typ skażenia), bądź takie, które mogą go dobrze pochłaniać i akumulować.

O stopniu skażenia środowiska można również wnioskować na podstawie zmian w składzie gatunkowym różnych grup organizmów, zmian morfologicznych, cytologicznych, chemicznych, a również fizjologicznych lub biochemicznych. W celu skażenia środowiska metalami ciężkimi stosuje się tzw. próby kumulatywne, wykorzystując zdolności niektórych organizmów do ich pochłaniania i nagromadzania (GRODZIŃSKA, 1981).

Do najczęstszych, opisanych w literaturze, fitotestów należy zaliczyć: szpilki *Pinus sylvestris* (NIEMTUR, 1980; HUTTUNEN i in., 1985; SARKALA, NUORTEVA, 1991; CIEPAŁ, 1992; SUTINEN i in., 1996 i in.), szpilki *Picea abies* (WENTZEL, 1982; KELLER, 1986; SAWICKA, 1987; KELLER i in., 1993; CIEPAŁ, RYCMAN, 1996; MAGNUSKI i in., 1996 i in.), liście i korę *Fagus sylvatica* (MAŃKOWSKÁ, 1980, 1994; ERNST, 1981; ALBERT, 1992; BRECKLE, KAHLE, 1992; CIEPAŁ, LIPKA, 1995 i in.), rośliny wyższe (CZARNOWSKA, GWOREK, 1987; GRIGAL i in., 1979; FABISZEWSKI, 1983; LOREK, 1993; ROSS, 1994; SZAREK i in., 1992; PANEK i in., 1996; CIEPAŁ, 1996 i in.) oraz mchy i porosty (ARNOLD, 1976; GRODZIŃSKA, 1980a; BIELECKI, 1982; FABISZEWSKI i in., 1983; FARKAS, i in. 1985; MALMERN, 1988; TYLER, 1990; MARKERT, WECKERT, 1993; BORYAGLI i in., 1995 i in.).

Prowadzone w Polsce badania fitoindykacyjne dotyczą najczęściej dużych, pojedynczych emitorów (huty, zakłady chemiczne czy elektrownie) lub wybranych jednostek administracyjnych (miasta, wybrane kompleksy leśne) oraz parków narodowych.

## 2.3. Badania naukowe w polskich parkach narodowych i rezerwatach

Międzynarodowa Unia Ochrony Przyrody i Jej Zasobów precyzyjnie określa zadania stawiane obszarom podlegającym ochronie rezerwatowej. Jednymi z podstawowych są zachowanie różnorodności biocenoz oraz ochrona zasobów genowych roślin i zwierząt. W tym celu od wielu lat w parkach narodowych i rezerwatach przyrody prowadzone są wielokierunkowe badania naukowe. Można je ująć w kilka grup tematycznych: prace botaniczne, faunistyczne, gleboznawcze oraz badania antropogennych przekształceń środowisk chronionych.

Najlichniesze są prace dotyczące badań botanicznych, faunistycznych i glebowych (BALCERKIEWICZ, 1984; BEDNORZ, 1983; BRÓŻ, KAPUŚCIŃSKI, 1990; CAPECKI, ZWOLIŃSKI, 1984; CELIŃSKI, WOJTERSKI, 1983; CICHONŃ, ZAJĄC, 1990; DENISIUK i in., 1991; 1992; FABISZEWSKI, 1985; FALIŃSKA, 1995; FALIŃSKI, 1986; GŁAZEK, 1985; GRODZIŃSKA i in., 1981; HURUK, 1992; KAWECKA, 1992; KIMSA i. in., 1988; KONCA, 1989; KOSTRAKIEWICZ, 1992; LIPIEC, 1989; 1992; MICHALIK, 1981; 1990; MIERZEŃSKA, 1995; MYCZKOWSKI, 1964; PRZYBYLSKA i in., 1995; RASZKA, 1995; SOKOŁOWSKI, 1979; 1992; SZKLARCZYK, 1987; TOKARSKA-GUZIŁ, 1995; ŻARNOWIEC, 1991; ŻARNOWIEC i in., 1997; ŻUREK, 1991). Szacuje się, że na podstawie badań naukowych wykonanych w parkach narodowych i rezerwatach przyrody do roku 1991 ukazało się około 950 publikacji (DENISIUK i in., 1992).

Znacznie mniejszy zasięg mają badania wpływu rekreacji i turystyki na ekosystemy leśne i wodne wybranych rezerwatów i parków narodowych Polski (BERNACKI, NOWAK, 1989; HOLEKSA, HOLEKSA, 1981; KAWECKA, 1969; MIELNICKA, 1991; PIĘKOŚ-MIRKOWA, MIREK, 1982; ZABIEROWSKI, 1982).

Niewiele prac omawia problemy skażenia metalami ciężkimi lub siarką gleb i roślin występujących na terenie parków narodowych czy też rezerwatów przyrody. Większość z nich dotyczy skażenia mchów (BERBEKA, GODZIK, 1982; CZARNOTA, 1995; GODZIK, 1991; GODZIK, GRODZIŃSKA, 1991; GRODZIŃSKA, 1978; 1980a; GRODZIŃSKA i in., 1993; GRUSZECKA, 1996; KOLON i in., 1993; PALOWSKI, 1996; RACHWALD, 1996;



SZAREK, CHRZANOWSKA, 1991). Autorzy na ogół wykorzystują do tego celu dwa gatunki mchów — *Pleurozium schreberi* i *Hylocomium splendens*. Pierwsze próby mszaków pochodzących z parków narodowych pobrano w 1976 roku w 12 parkach, posługując się globalnym wskaźnikiem zanieczyszczenia (suma zawartości 7 metali ciężkich: Cd, Co, Ni, Cr, Cu, Pb i Zn). Wydzielono 3 grupy parków o różnym stopniu skażenia. Do pierwszej grupy zaliczono parki nadmorskie oraz Białowieski i Pieniński Park Narodowy. W grupie trzeciej, najbardziej zagrożonych, znalazły się Babiogórski, Świętokrzyski, Karkonoski oraz Ojcowski Park Narodowy. Stwierdzono, że stopień zanieczyszczenia parków narodowych metalami ciężkimi związany jest z wielkością emisji przemysłowych (GRODZIŃSKA, 1978; 1980b). Aby ocenić zmiany zanieczyszczenia, po 10 latach prowadzono kolejne badania. Na ich podstawie uznano, że skażenie obszarów chronionych uległo znacznym zmianom. W parkach najsilniej zanieczyszczonych w 1976 roku zawartość metali ciężkich znacznie się obniżyła (Ojcowski, Karkonoski i Świętokrzyski), natomiast w Pienińskim, Tatrzańskim i Wielkopolskim Parku Narodowym zanieczyszczenie bardzo wzrosło (GRODZIŃSKA i in., 1990; GODZIK, 1991).

Informacje o zagrożeniu metalami ciężkimi i siarką roślin wyższych i gleby pochodzących z parków narodowych i rezerwatów przyrody można spotkać w nielicznych pracach, np.: CIEPAŁ, RYCMAN (1996) z Roztoczańskiego Parku Narodowego; CIEPAŁ, LIPKA (1995); GASZ, (1996), KIMSA, CIEPAŁ (1996) z rezerwatów w województwie śląskim, NIEMTUR (1995, 1996) z Gorczańskiego Parku Narodowego; MALZAHN (1996) z Białowieskiego Parku Narodowego; SAWICKA (1987) z Babiogórskiego Parku Narodowego; STRZYSZCZ (1991); STRZYSZCZ, MAGIERA (1993); WITKOWSKI (1993) z Bieszczadzkiego Parku Narodowego; ZROSKA (1992) z Babiogórskiego i Gorczańskiego Parku Narodowego.

## 3. Materiał i metodyka badań

### 3.1. Materiał

Do oceny stopnia zagrożenia terenów chronionych województwa śląskiego metalami ciężkimi i siarką wykorzystano liście lub szpilki 16 gatunków roślin reprezentujących różne jednostki fitosocjologiczne, głównie z klasy *Querc-Fagetea* i związku *Fagion sylvaticae*, tzn.: bluszcz pospolity (*Hedera helix* L.), buk zwyczajny (*Fagus sylvatica* L.), brzoza brodawkowata (*Betula pendula* ROTH.), jawor (*Acer pseudoplatanus* L.), konwalia majowa (*Convallaria majalis* L.), konwalijka dwulistna (*Maianthemum bifolium* (L.) F. W. SCHMIDT), kopytnik pospolity (*Asarum europaeum* L.), leszczyna pospolita (*Corylus avellana* L.), malina właściwa (*Rubus idaeus* L.), poziomka pospolita (*Fragaria vesca* L.), przylaszczka pospolita (*Hepatica nobilis* SCHREB.), przytulia wonna (*Galium odoratum* (L.) SCOP.), sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.), szczawik zajęczy (*Oxalis acetosella* L.), świerk pospolity (*Picea abies* (L.) H. KARST.) i żywiec cebulkowy (*Dentaria bulbifera* L.). Nazewnictwo przyjęto za pracą MIREK i in. (1995). Przy doborze roślin wybierano gatunki należące do różnych form życiowych, do różnych rodzin i rodzajów, jednocześnie występujące na wszystkich powierzchniach badawczych. Materiał roślinny zbierano w okresie dwóch sezonów wegetacyjnych — od wiosny 1992 roku do jesieni 1994 roku — ze stałych powierzchni badanych terenów chronionych siedmiu rezerwatów: „Bukowica”, „Góra Chełm”, „Las Murckowski”, „Lipowiec”, „Ostra Góra”, „Segiet” i „Smoleń” oraz jednego parku krajobrazowego (Tenczyński Park Krajobrazowy), położonych na terenie województw śląskiego i małopolskiego. Liście i szpilki zbierano z 10 równomiernie rozmieszczonych drzew każdej powierzchni. Liście roślin pozyskiwano w ilości pozwalającej po wysuszeniu otrzymać 3 g suchej masy. Cechą wspólną badanych obszarów jest to, że występują na nich naturalne lasy bukowe. Jesienią 1994 roku z zewnętrznej warstwy gleby 0—10 cm,

10—20 cm, 20—30 cm zebrano próbki do analiz chemicznych. Pojedyncze próbki pobierano z różnych punktów badanej powierzchni, możliwie równomiernie rozmieszczonych. Mieszana próbka składała się z około 10—15 próbek.

## 3.2. Metody laboratoryjne

Próbki materiału roślinnego myto w wodzie destylowanej, gdyż w ten sposób częściowo usuwa się zanieczyszczenia pyłowe występujące na liściach i szpilkach. Opady deszczu lub śniegu splukują zanieczyszczenia zawierające metale ciężkie (ALCOCK, MORTON, 1981). Gdyby zatem zrezygnowano z mycia materiału roślinnego, termin zbioru przed opadem lub po mógłby być czynnikiem decydującym o wyniku analizy. Z homogenizowanego i wysuszonego w temperaturze 105°C materiału pobierano 1-gramowe naważki i spalano je w tyglach kwarcowych, w temperaturze 480°C, do białości popiołu. Popiół rozpuszczano w 2 *n* HNO<sub>3</sub>. W przesączu metodą absorpcji atomowej na aparacie Varian Techtron AA6 i AAS 1-N (CARL ZEISS-JENA) oznaczano zawartość: Cd, Pb, Zn, Fe, Cu i Mn. Zawartość siarki całkowitej w materiale roślinnym określano za pomocą metody kolorymetrycznej. Stężenie metali ciężkich w glebie oznaczono jako wyciąg w stężonych kwasach siarki metodą nefelometryczną.

Analizowane pierwiastki to zarówno makro-, jak i mikroelementy, bądź przyjmując inne kryteria — niezbędne do życia roślin (S, Mn, Fe, Zn, Cu) oraz uważane za toksyczne (Cd, Pb).

## 3.3. Metody statystyczno-matematyczne

Statystyczno-matematyczna analiza badań obejmuje:

- korelacje między oznaczonymi parametrami gleb a kumulacją w roślinach;
- obliczenie odchyłeń standardowych (*SD*) oraz błędów standardowych (*SE*) dla wykonywanych pomiarów;
- określenia podobieństw między rezerwatami na podstawie analizy dendrytowej [metodą prostych połączeń Lance'a — Williamsa (MAREK, 1989)]; obliczenia wykonywano, stosując program Statistica 5.0.

## **4. Ogólna charakterystyka badanych terenów chronionych i źródła emisji**

### **4.1. Charakterystyka przyrodnicza badanych rezerwatów**

W granicach administracyjnych województw śląskiego i małopolskiego znajduje się 11 rezerwatów przyrody oraz 16 parków krajobrazowych. Zabezpieczają one najwartościowsze przyrodniczo tereny województw. Badaniami objęto 7 rezerwatów przyrody („Bukowica”, „Góra Chełm”, „Las Murckowski”, „Lipowiec”, „Ostra Góra”, „Segiet” i „Smoleń”) oraz jeden park krajobrazowy (Tenczyński Park Krajobrazowy). Rezerваты: „Bukowica”, „Góra Chełm”, „Lipowiec”, „Ostra Góra” i „Smoleń”, oraz Tenczyński Park Krajobrazowy leżą na obszarze Wyżyny Krakowsko-Wieluńskiej, „Las Murckowski” i „Segiet” zlokalizowane są w rejonie Wyżyny Śląskiej, w najbardziej zniszczonej przyrodniczo części województwa. Informacje o badanych rezerwach przyrody zamieszczono w tab. 4.1.

Charakterystyka badanych terenów chronionych

Nazwa rezerwatu	Powierzchnia	Formacje roślinne	Liczba odnotowanych gatunków roślin	
			całkowita	chronione
Bukowica	22,8 ha	buczyna karpacka, 150-letni starodrzew bukowy wśród fitocenoz sosnowych	166	14
Góra Chełm	12,0 ha	buczyna sudecka, drzewostan bukowy z domieszką sosny, świerka, modrzewia, jaworu oraz grabu	243	14
Las Murckowski	106,1 ha	buczyna kwaśna, pomnikowe okazy buków, dębów oraz olsz	212	10
Lipowiec	11,4 ha	buczyna karpacka, drzewostan bukowy z domieszką sosny, grabu, jaworu, sosny, świerka i modrzewia	349	15
Ostra Góra	7,6 ha	buczyna storczykowa, 200-letni drzewostan bukowy, liczne drzewa pomnikowe	223	15
Segiet	24,7 ha	buczyna storczykowa, naturalny las bukowy z domieszką sosny, świerka, brzozy i klonu	127	8
Smoleń	4,3 ha	buczyna sudecka, w drzewostanie dominuje buk z domieszką jaworu, sosny i świerka	276	9
Tenczyński Park Krajobrazowy	2,2 tys. ha na terenie woj. katowickiego	buczyna karpacka		

## 4.2. Ogólna charakterystyka źródeł emisji

W najbliższym sąsiedztwie badanych rezerwatów (1–10 km) znajduje się 8 zakładów należących do grupy 52 najsilniej zagrażających środowisku Polski; są to: Kombinat Metalurgiczny „Huta Katowice”, Huta Cynku „Miasteczko Śląskie”, elektrownie: „Jaworzno III”, „Jaworzno II”, „Siersza”, „Łagisza”, elektrociepłownia „Będzin” oraz cementownia „Wiek”. Odpowiadają one za 13% krajowej emisji  $SO_2$  oraz 2,5% pyłów (OCHRONA ŚRODOWISKA, 1995). Dane o zakładach pochodzą z RAPORTU O STANIE ZAGROŻENIA I OCHRONIE ŚRODOWISKA (1995) oraz z komórek ochrony środowiska wymienionych zakładów.

## **Kombinat Metalurgiczny „Huta Katowice”**

Emisja zanieczyszczeń pyłowych wynosi 29 tys. t/rok (1994), z czego pyły metalurgiczne stanowią 60,6%, natomiast popiół lotny 38,9%. Emisję gazów łącznie szacuje się na 216,6 tys. t/rok, w tym 8,9% to dwutlenek siarki  $\text{SO}_2$ , a 3,6% tlenki azotu ( $\text{NO}_x$ ). Wysokie wartości w roku 1994 osiągnęła emisja toksycznych zanieczyszczeń, w tym: miedzi 14,5 tys. t/rok, cyjanowodoru 87,3 t/rok, siarkowodoru 37,6 tys. t/rok. Zakład nie ma urządzeń redukujących zanieczyszczenia gazowe.

## **Cementownia „Wiek”**

Emisja pyłów z cementowni w 1994 roku osiągnęła 22,8 tys. t/rok, w tym udział pyłów z produkcji cementu stanowił 82,7%. Emisja gazów w tym roku wyniosła 1,8 tys. t/rok, w tym: tlenków azotu 46,4%, dwutlenku siarki 26,9%, tlenku węgla zaś 25,6%. Wśród toksycznych zanieczyszczeń największą emisję w ciągu roku osiągnęły węglowodory alifatyczne — 10,7 t, oraz węglowodory aromatyczne — 9,5 t.

## **Elektrownia „Siersza”**

Elektrownię cechuje znaczna emisja zanieczyszczeń pyłowych, licząca 5,9 tys. t/rok (1994), oraz gazowych — aż 158,1 tys. t/rok, w tym: dwutlenku siarki 74,3%, tlenków azotu 23,2% i tlenku węgla 2,1%. Z zanieczyszczeń szczególnie szkodliwych w roku 1994 wysoką emisję osiągnęły: węglowodory alifatyczne — 477,8 t/rok oraz aromatyczne — 59,7 t/rok.

## **Elektrownia „Łagisza”**

Zakład charakteryzuje duża emisja zanieczyszczeń powietrza o znacznym zasięgu oddziaływania. Emisja pyłów osiągnęła w 1994 roku skalę 10 tys. t/rok, natomiast gazów 52,3 tys. t/rok, z czego aż 92,7% stanowił dwutlenek siarki. Wysoką wartością emisji odznaczały się: węglowodory alifatyczne — 491 t oraz aromatyczne — 61,4 t, a ponadto miedź — 112,8 t i ołów — 8,44 t/rok.

## **Elektrownia „Jaworzno III”**

W roku 1994 z elektrowni tej szczególnie uciążliwa była emisja pyłów, w ilości 11,8 tys. t/rok, oraz gazów wynosząca 146,2 tys. t/rok, w tym głównie dwutlenku siarki — 84,4%. Emisja ołowiu w przeliczeniu na czysty metal liczyła 4,4 t/rok, natomiast emisja chromu — 3,4 t/rok.

## **Elektrownia „Jaworzno II”**

Elektrownia wyemitowała w 1994 roku 37,8 tys. t pyłów oraz 39,8 tys. t gazów; 82% emisji stanowił dwutlenek siarki, a 10% tlenki azotu.

## **Zakłady Górniczo-Hutnicze „Bolesław”**

Emisja zanieczyszczeń pyłowych w 1994 roku wyniosła 121 tys. t/rok, w tym: ołowiu 7,7 t, kadmu 0,5 t, a zanieczyszczeń gazowych 7,5 tys. t/rok (dwutlenek siarki stanowił 70%, natomiast tlenek węgla 24%). Emisja węglowodorów aromatycznych i alifatycznych w tym samym roku osiągnęła 16,2 t, sadzy zaś 2,9 t.

## **Zakłady Chemiczne „Oświęcim”**

Zakład ten charakteryzuje się wysoką emisją pyłów (w roku 1994 — 53,9 tys. t) oraz gazów — 21,4 tys. t, w tym dwutlenek siarki stanowi 56%, tlenki azotu 19,6%, a węglowodory 10,4%.

## **Huta Cynku „Miasteczko Śląskie”**

Z produkcją tego zakładu związana jest uciążliwa emisja gazów (w roku 1994 — 32,8 tys. t, w tym tlenek węgla 87% i dwutlenek siarki 11,6%). Zakład charakteryzuje się również bardzo wysoką emisją pyłów metalonośnych. W przeliczeniu na czysty metal huta emituje 62,9 t ołowiu oraz 0,8 t kadmu.

## **Zakład Koksowniczy „Przyjaźń”**

Koksownię cechuje znaczna emisja zanieczyszczeń pyłowych (w 1994 roku 2 tys. t/rok) oraz gazowych (6,3 tys. t — węglowodory stanowiły 19,8%, a dwutlenek siarki 18,8%). Z zanieczyszczeń szczególnie szkodliwych wysoką emisję w roku 1994 osiągnęły: węglowodory alifatyczne (1,2 tys. t), amoniak (296 t), cyjanowodór (22 t) oraz siarkowodór (22 t).

Niekorzystnym zjawiskiem dla środowiska przyrodniczego badanych obiektów, oprócz wymienionych dużych emitorów, jest również obecność w ich najbliższym sąsiedztwie niewielkich zakładów (około 20).

Zanieczyszczenia emitowane przez każdy z nich z osobna, w porównaniu z zanieczyszczeniami pochodzącymi z huty „Katowice”, są niewielkie, ale łącznie w sposób destrukcyjny wpływają one na środowisko rezerwatów przyrody oraz obszarów chronionych tego regionu.

## 5. Wyniki

### 5.1. Atmosfera

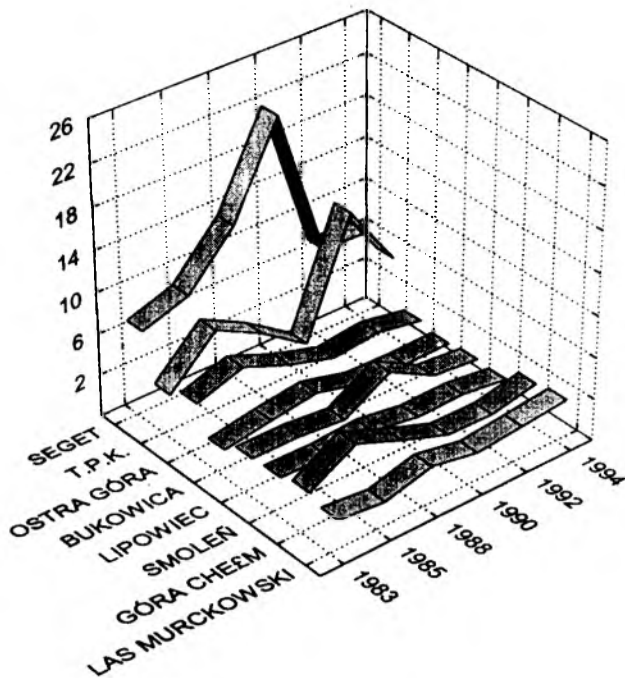
W celu określenia stopnia skażenia atmosfery na terenie objętym badaniami wykorzystano punkty z sieci pomiarowej Sanepidu (oczka tej sieci to kwadraty o boku 2 km). Na podstawie danych z punktów pomiarowych obliczono średnią wartość stężenia  $\text{SO}_2$  oraz opad pyłów zawierających wybrane metale ciężkie. Wartości zanieczyszczeń, oznaczone dla badanego rezerwatu, są uśrednionymi wartościami podawanymi przez roczniki Sanepidu dla punktów sieci pomiarowych położonych w najbliższym sąsiedztwie rezerwatów z lat: 1983, 1985, 1988, 1990, 1992 i 1994.

Tabela 5.1

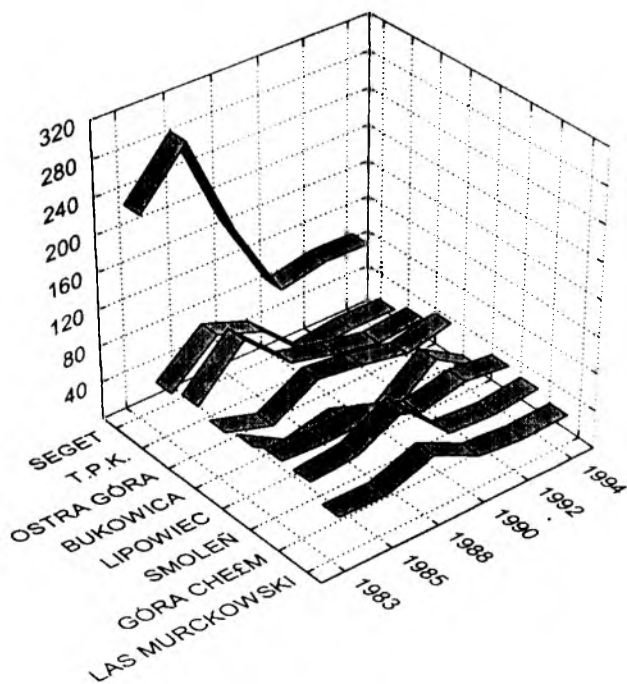
Skażenie atmosfery (średnioroczne) w badanych rezerwach (średnia 1985—1994)  
wg WSSE w Katowicach

Nazwa rezerwatu	Stężenie $\text{SO}_2$ [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Opad pyłu [ $\text{g}/\text{m}^2$ ]	Opad Cd [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]	Opad Pb [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]	Opad Zn [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]	Opad Cu [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]	Opad Mn [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]	Opad Fe [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$ ]
Bukowica	45,3	93,0	1,2	54,0	243,0	12,5	59,0	7,1
Góra Chełm	55,0	143,0	2,6	66,0	360,0	16,3	143,0	10,3
Las Murckowski	49,3	131,0	1,9	52,0	176,0	25,5	108,0	11,1
Lipowiec	45,0	105,0	1,4	45,0	341,0	14,0	119,0	12,6
Ostra Góra	48,0	118,0	3,0	65,2	464,0	25,0	99,0	12,7
Tenczyński Park Krajobrazowy	39,8	76,0	4,1	58,6	262,0	13,3	62,0	8,3
Segiet	68,0	228,0	11,2	170,0	446,0	23,3	196,0	20,4
Smoleń	48,0	146,0	1,7	62,0	282,0	16,3	117,0	7,8



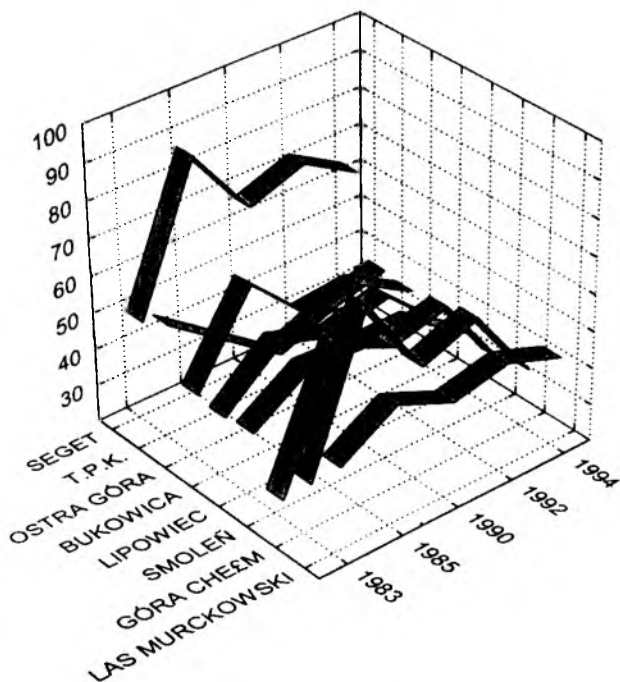
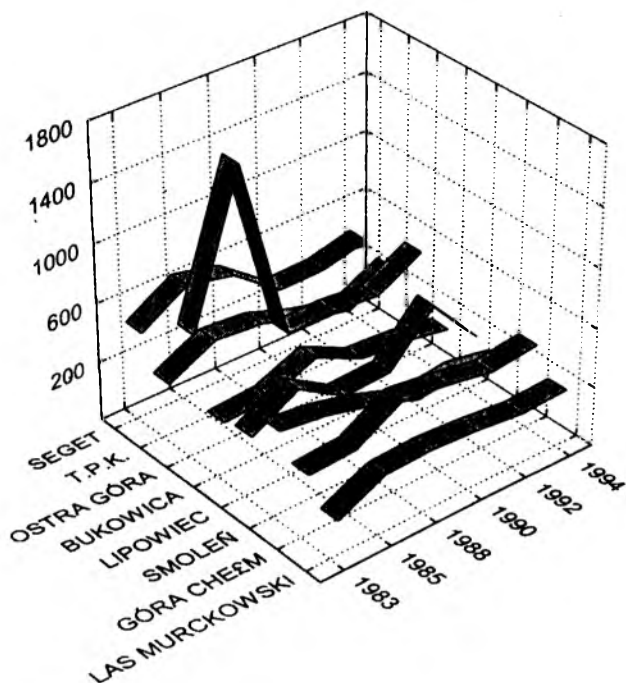


Rys. 1. Zmiany ilości opadającego kadmu [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$  — średnioroczne] w pyłe na przestrzeni lat 1983—1994 w badanych rezerwatach  
T.P.K. — Tenczyński Park Krajo-  
brazowy

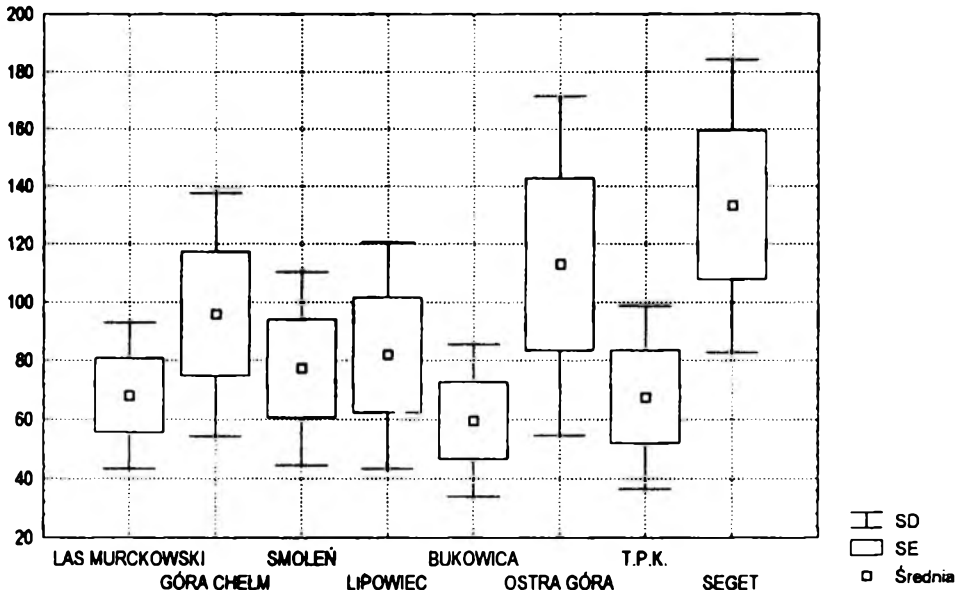


Rys. 2. Zmiany ilości opadającego ołowiu [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$  — średnioroczne] w pyłe na przestrzeni lat 1983—1994 w badanych rezerwatach

Rys. 3. Zmiany ilości opadającego cynku [ $\mu\text{g}/\text{m}^2$  — średnioroczne] w pyłe na przestrzeni lat 1983—1994 w badanych rezerwach



Rys. 4. Zmiany stężenia  $\text{SO}_2$  [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$  — średnioroczne] w atmosferze badanych rezerwatów na przestrzeni lat 1983—1994



Rys. 5. Sumaryczna wartość ksenobiontów (pył + metale ciężkie +  $\text{SO}_2$ ) w atmosferze rezerwatów w latach 1983—1994

W tabeli 5.1 zaprezentowano dane dotyczące skażeń atmosfery notowane dla badanych rezerwatów. Największą zawartość wyznaczanych elementów odnotowano dla rezerwatów „Segiet” i „Ostra Góra”. Rezerwatem o najmniejszym zanieczyszczeniu jest „Bukowica”.

Na rys. 1—4 przedstawiono zmiany zawartości kadmu, ołowiu i cynku w opadającym pyłe oraz stężeń  $\text{SO}_2$  odnotowane w latach 1983—1994 na terenie badanych powierzchni. Największe sezonowe zmiany obserwowano dla dwutlenku siarki (rys. 4). Najwyższe wartości analizowanych ksenobiontów odnotowano w latach osiemdziesiątych. Rysunek 5 prezentuje stan zanieczyszczenia atmosfery notowany w rezerwatach jako wartość łączna:

$$\text{zanieczyszczenie atmosfery} = \text{pył} + \text{metale ciężkie} + \text{SO}_2.$$

## 5.2. Gleba

Szczegółowe wyniki dotyczące stężeń badanych pierwiastków oraz pH zamieszczono w Aneksie w tab. 1—8.

## Kadm

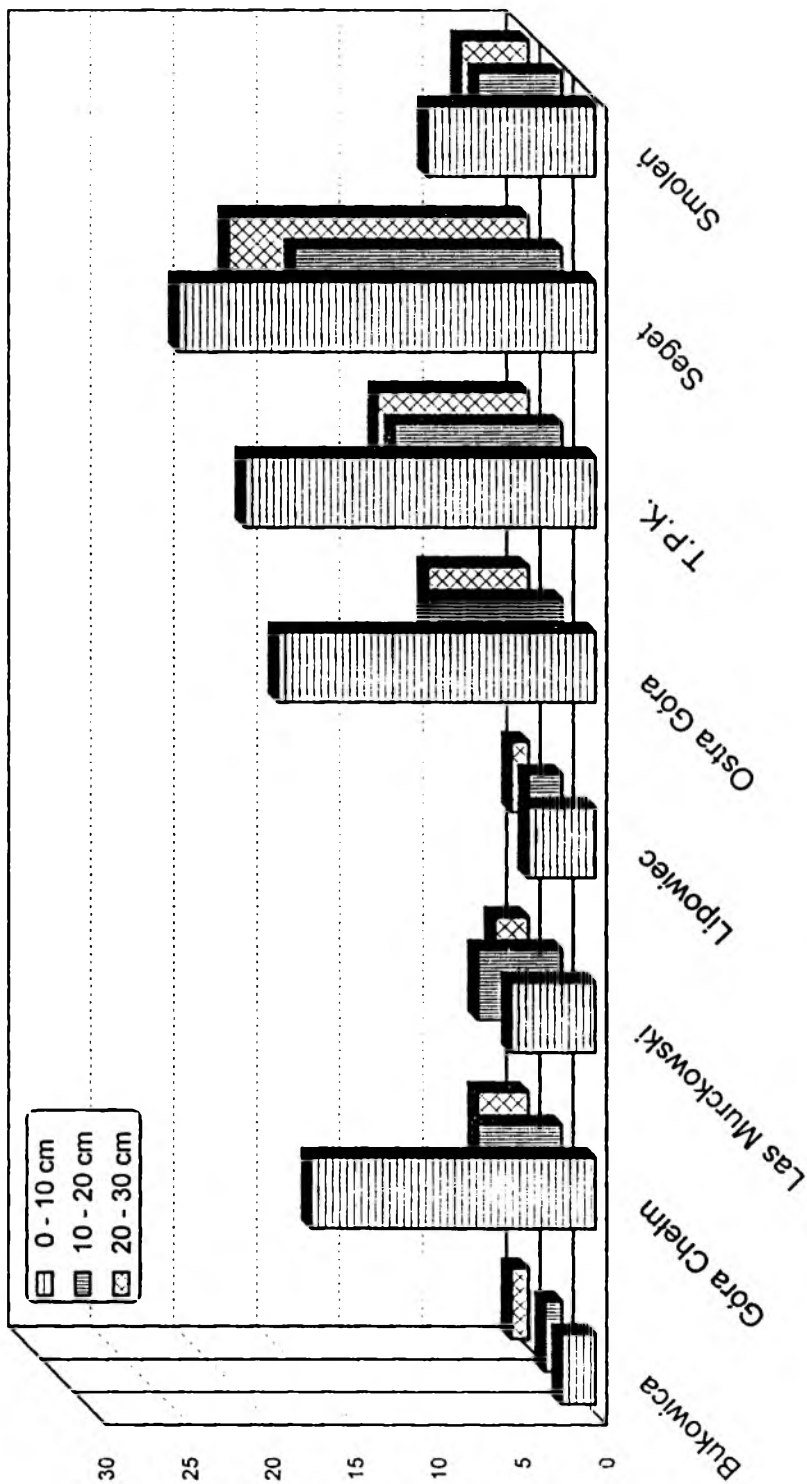
Zawartość kadmu w górnym poziomie gleb (0—10 cm) badanych terenów chronionych wynosiła od 2  $\mu\text{g/g}$  w rezerwacie „Bukowica” do 25  $\mu\text{g/g}$  w rezerwacie „Segiet” (rys. 6; Aneks, tab. 1). Wysoką zawartość Cd odnotowano również w rezerwach „Ostra Góra” i „Góra Chełm” oraz na terenie Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego. W glebie rezerwatu „Segiet” wysoką kumulację tego pierwiastka (18  $\mu\text{g/g}$ ) stwierdzono także na poziomie 20—30 cm.

## Ołów

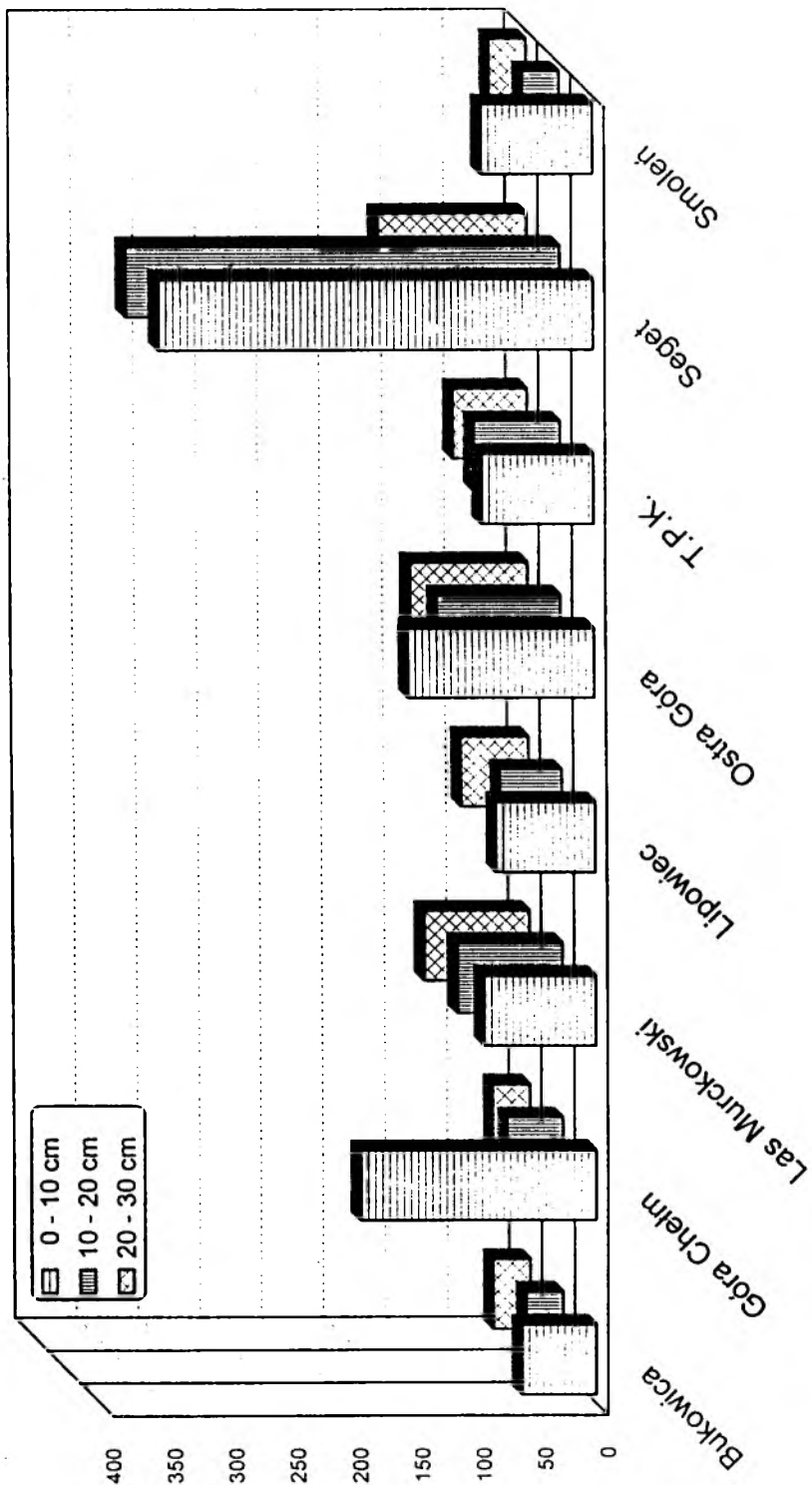
Z zaprezentowanych danych analitycznych dotyczących ilości ołowiu w badanych glebach (rys. 7; Aneks, tab. 2) wynika, że maksymalną zawartość tego metalu stwierdzono w zewnętrznej warstwie gleby w rezerwacie „Segiet” — 350  $\mu\text{g/g}$ . Dwukrotnie mniejsze wartości odnotowano w rezerwach „Ostra Góra” i „Góra Chełm”; w pozostałych punktach zawartość Pb utrzymywała się na poziomie 80—90  $\mu\text{g/g}$ . Najmniejsze wartości ołowiu odnotowano w rezerwacie „Bukowica” — 60  $\mu\text{g/g}$ . Układ pionowego rozmieszczenia Pb wskazuje na jego nagromadzenie się w górnych warstwach wszystkich badanych powierzchni. Interesujący jest fakt, iż zróżnicowanie zawartości ołowiu w rezerwacie „Las Murckowski” jest niewielkie: w warstwie 0—10 cm — 90  $\mu\text{g/g}$ , w warstwie 20—30 cm — 85  $\mu\text{g/g}$ . Koncentracja Pb w poziomie 20—30 cm w rezerwacie „Segiet” — 120  $\mu\text{g/g}$  — przekracza stężenia tego pierwiastka notowane w pozostałych punktach badawczych z poziomu próchniczego (rys. 7).

## Cynk

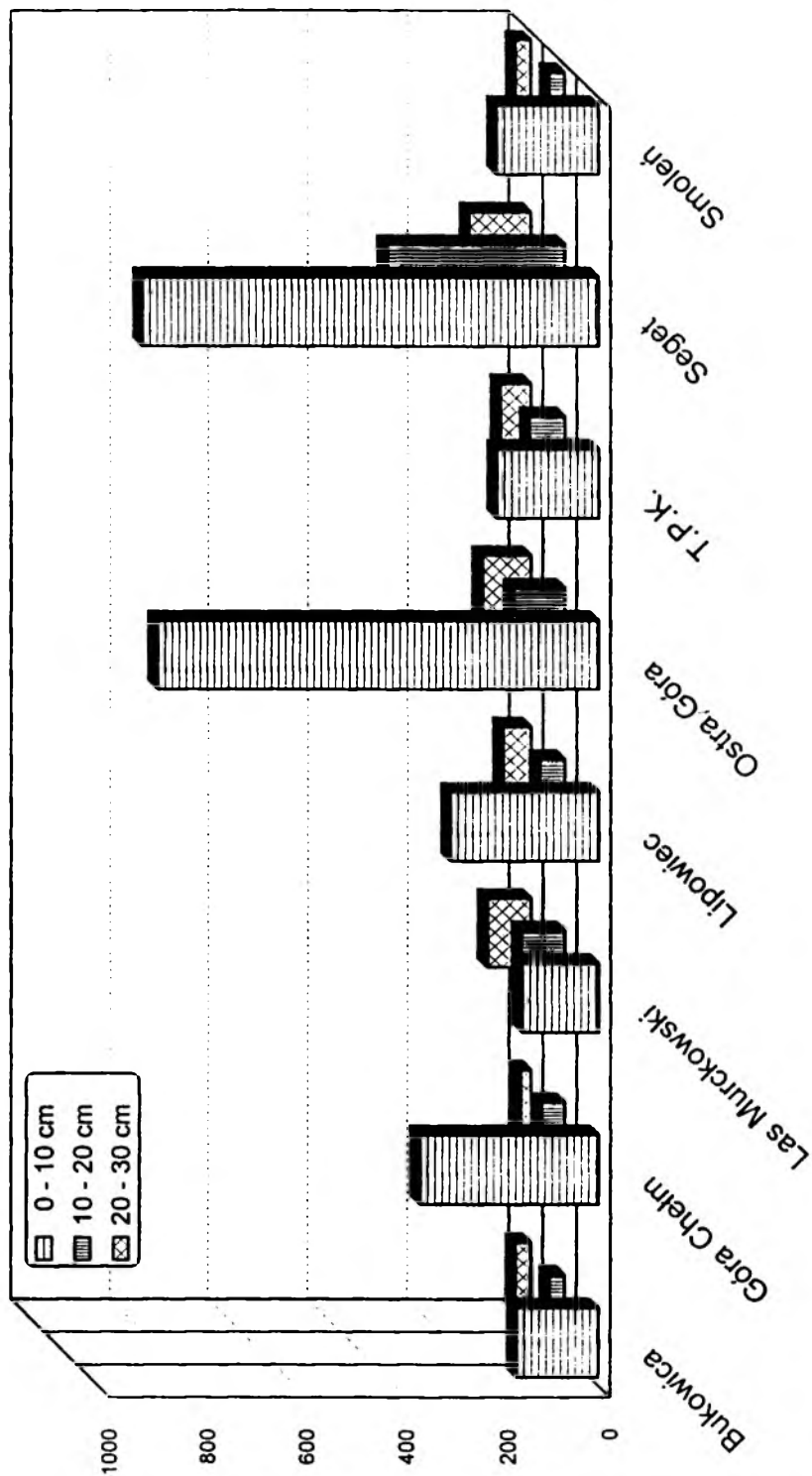
Zawartość cynku w zewnętrznej warstwie gleb analizowanych terenów chronionych jest znacznie zróżnicowana: od 910  $\mu\text{g/g}$  w „Segiecie” oraz 880  $\mu\text{g/g}$  w „Ostrej Górze” do 160  $\mu\text{g/g}$  w rezerwacie „Bukowica” i 150  $\mu\text{g/g}$  w „Lesie Murckowskim” (Aneks, tab. 3; rys. 8). W pozostałych punktach zawartość była zbliżona i kształtowała się w granicach 200  $\mu\text{g/g}$ . Na podkreślenie zasługuje bardzo duży spadek zawartości cynku w niższych poziomach w stosunku do warstwy 0—10 cm, odnotowany we wszystkich rezerwach. Szczególnie widoczne było to w glebie pochodzącej z rezerwatu „Góra Chełm”; w poziomie 0—10 cm oznaczono 350  $\mu\text{gZn/g}$ , a w poziomie najniższym (20—30 cm) — 20  $\mu\text{g/g}$ . W glebie z rezerwatu „Bukowica” stwierdzono spadek stężenia cynku z 160  $\mu\text{g/g}$  (w warstwie 0—10 cm) do 30  $\mu\text{g/g}$  (w warstwie 20—30 cm), a w rezerwacie „Smoleń” — z 200  $\mu\text{g/g}$  do 30  $\mu\text{g/g}$  (rys. 8).



Rys. 6. Zawartość kadmu [µg/g] w górnych warstwach gleb badanych rezerwatów



Rys. 7. Zawartość ołowiu [µg/g] w górnych warstwach gleb badanych rezerwatów



Rys. 8. Zawartość cynku [ $\mu\text{g/g}$ ] w górnych warstwach gleb badanych rezerwatów

## Miedź

Kumulacja metali ciężkich, w tym miedzi, następuje w powierzchniowej warstwie gleby. Zawartość miedzi w zewnętrznych warstwach gleb, podobnie jak w przypadku wcześniej omawianych pierwiastków, była zróżnicowana i zależna od rezerwatu; maksymalną zawartość 25  $\mu\text{g/g}$  odnotowano w „Segiecie” oraz „Ostrej Górze”, natomiast najmniejszą zawartość 5,5  $\mu\text{g/g}$  stwierdzono w glebie pochodzącej z „Lipowca” oraz „Bukowicy” (Aneks, tab. 4; rys. 9). Porównywalne były stężenia omawianego pierwiastka w głębszych warstwach gleby wszystkich analizowanych terenów chronionych (rys. 9).

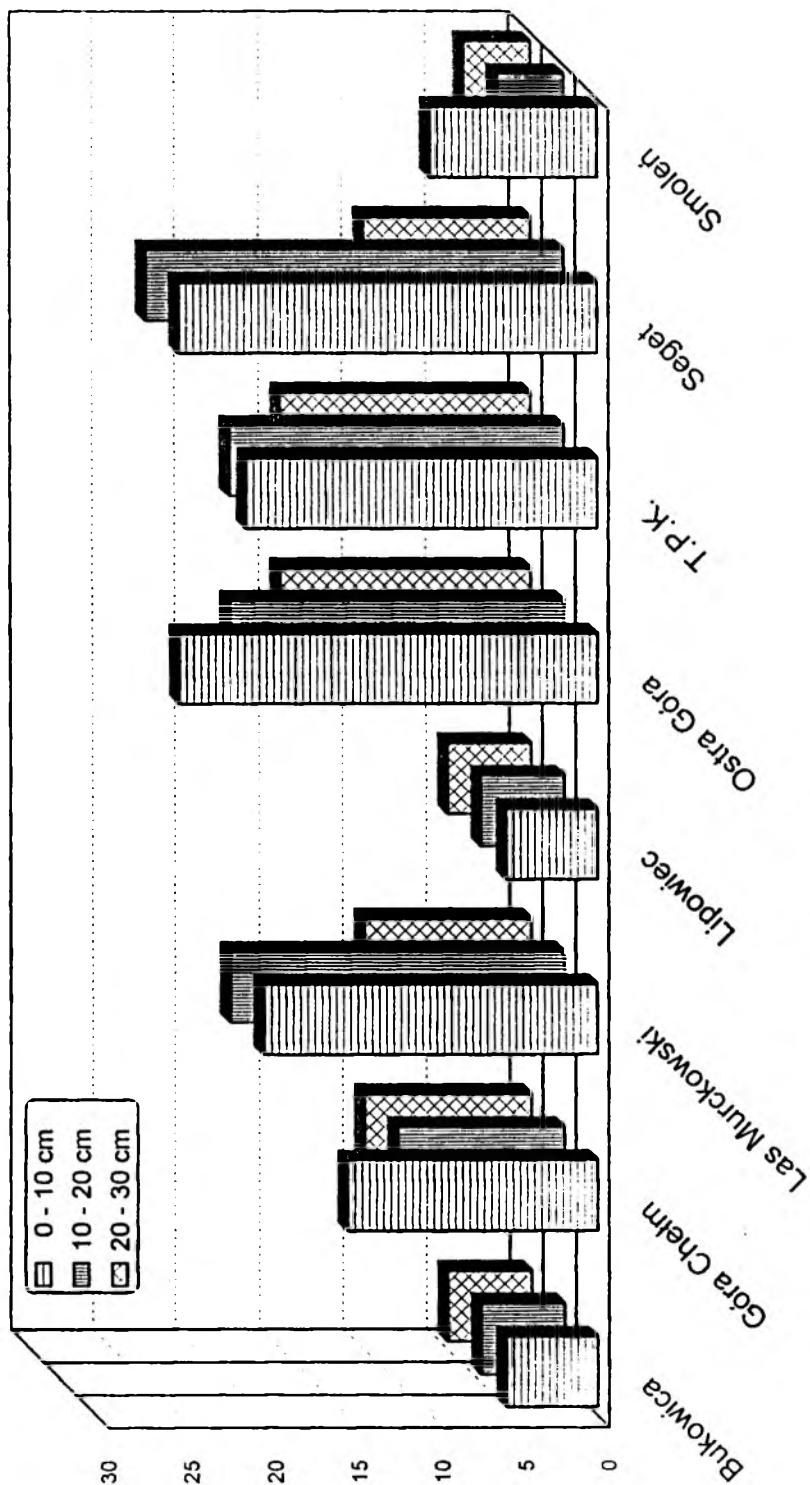
## Żelazo

Stężenie żelaza w górnym poziomie badanych gleb (0—10 cm) wahało się w granicach od 10 550  $\mu\text{g/g}$  w rezerwacie „Segiet” do 1710  $\mu\text{g/g}$  w „Bukowicy” (Aneks, tab. 5). Najwyższą zawartość tego pierwiastka odnotowano w poziomie 10—20 cm w „Segiecie” — 11 200  $\mu\text{g/g}$ , — najniższą — 1550  $\mu\text{g/g}$  — w tym samym poziomie gleby z „Bukowicy”. Układ pionowy rozmieszczenia Fe nie wykazywał zależności typowej dla metali ciężkich — nagromadzenie w warstwie powierzchniowej oraz spadek stężenia w poziomach głębszych (rys. 10). W większości gleb badanych powierzchni zawartość omawianego pierwiastka była porównywalna dla analizowanych poziomów, np. „Las Murckowski”: 7050  $\mu\text{g/g}$  (0—10 cm), 7550  $\mu\text{g/g}$  (10—20 cm) i 7150  $\mu\text{g/g}$  (20—30 cm).

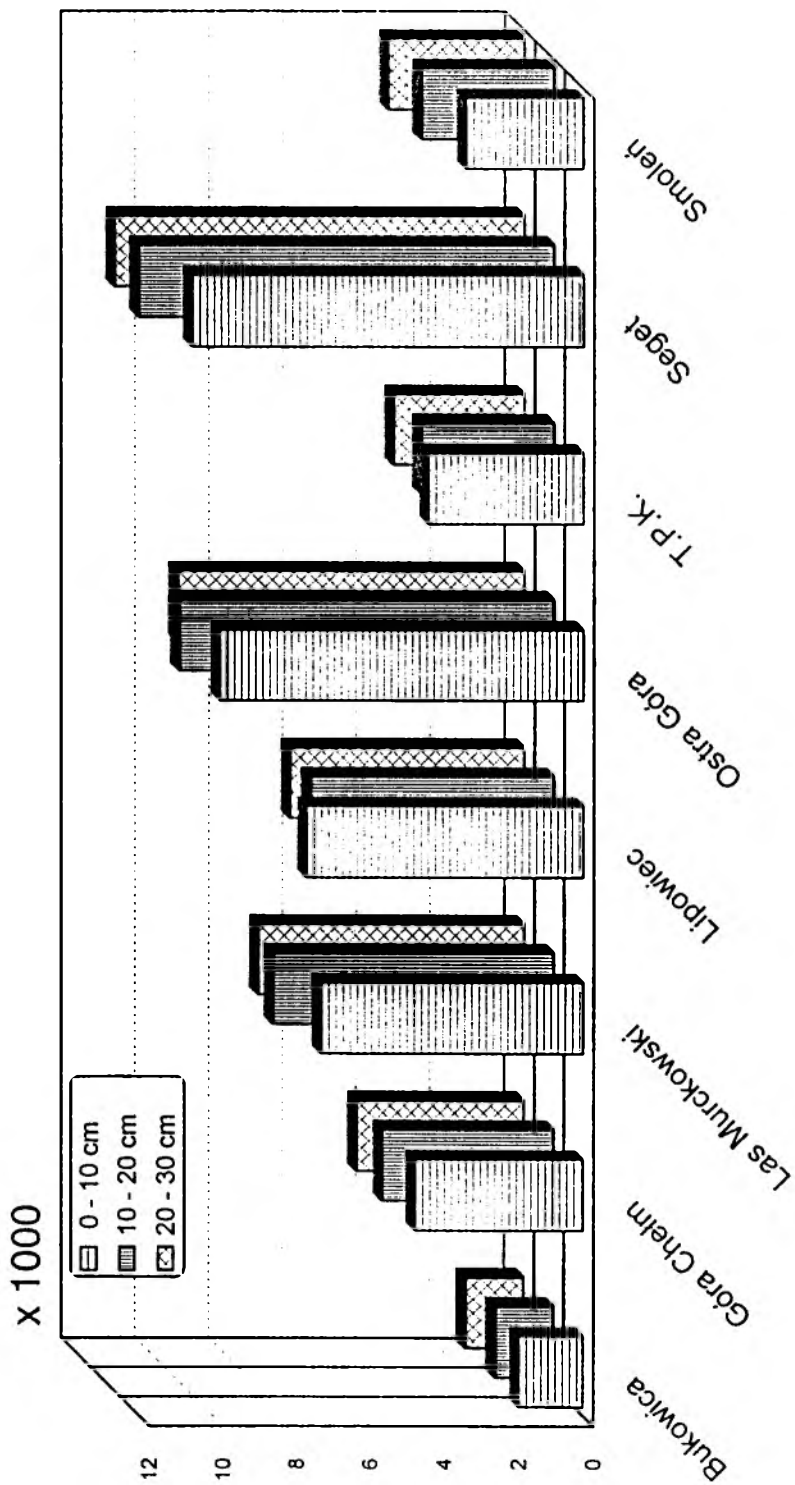
## Mangan

Zawartość manganu w glebie z poziomu 0—10 cm, pochodzącej z badanych terenów chronionych, w większości przypadków wykazywała niewielkie wahania: od 190  $\mu\text{g/g}$  w rezerwacie „Bukowica” do 260  $\mu\text{g/g}$  w „Lipowcu” i „Lesie Murckowskim”. Podobne niewielkie różnice odnotowano w poziomach 10—20 cm oraz 20—30 cm (Aneks, tab. 6; rys. 11). Wyjątek stanowi gleba pochodząca z rezerwatu „Segiet”, w której wcześniej omawiane metale również osiągały swoje maksymalne stężenia. Ekstremalną zawartość tego pierwiastka odnotowano w wierzchniej warstwie — 980  $\mu\text{g/g}$ , a w poziomie 20—30 cm zawartość manganu wynosiła 800  $\mu\text{g/g}$ . Wraz z obniżeniem poziomu poboru gleby obserwowano spadek zawartości w niej manganu (rys. 11).

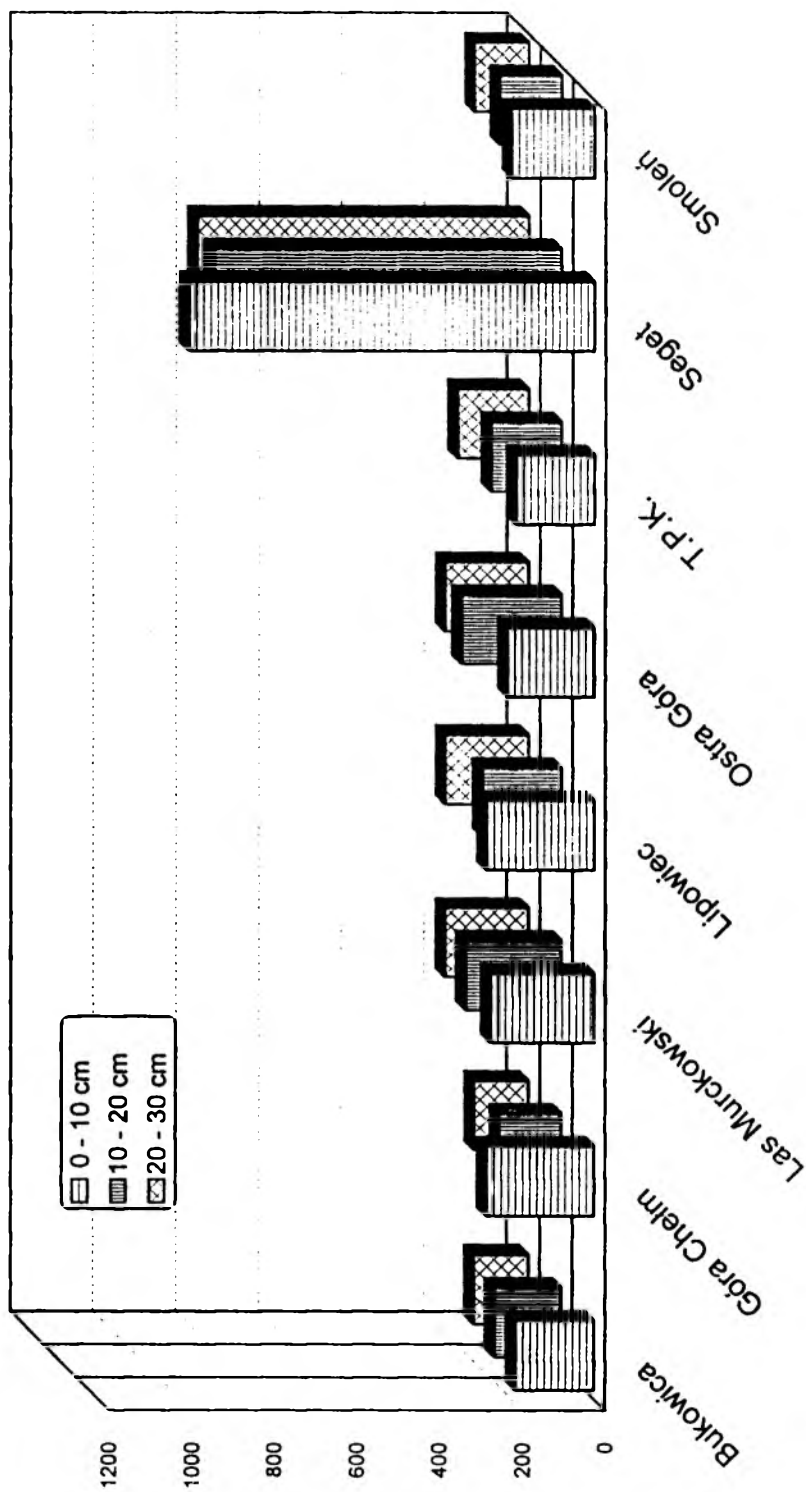




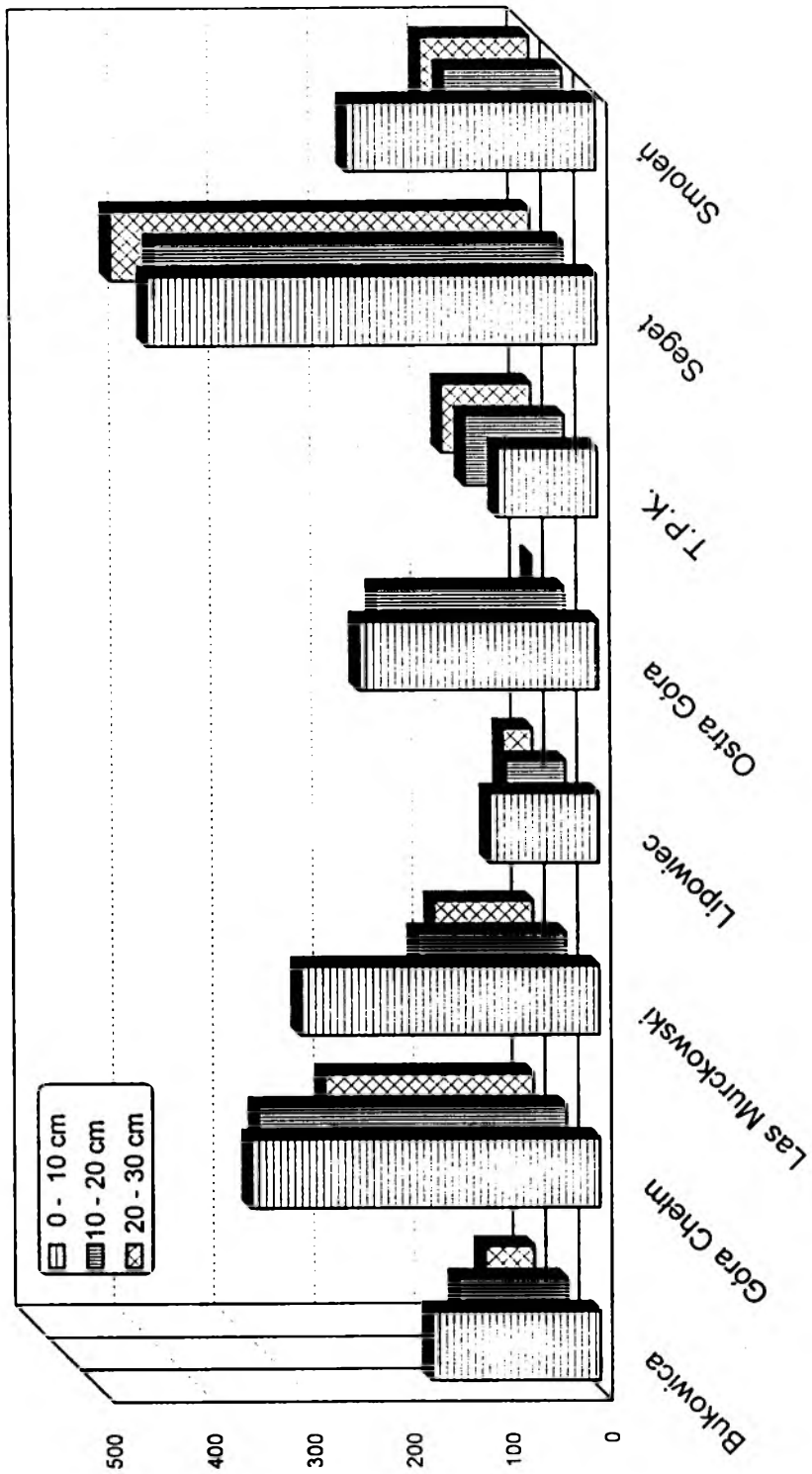
Rys. 9. Zawartość miedzi [µg/g] w górnych warstwach gleb badanych rezerwatów



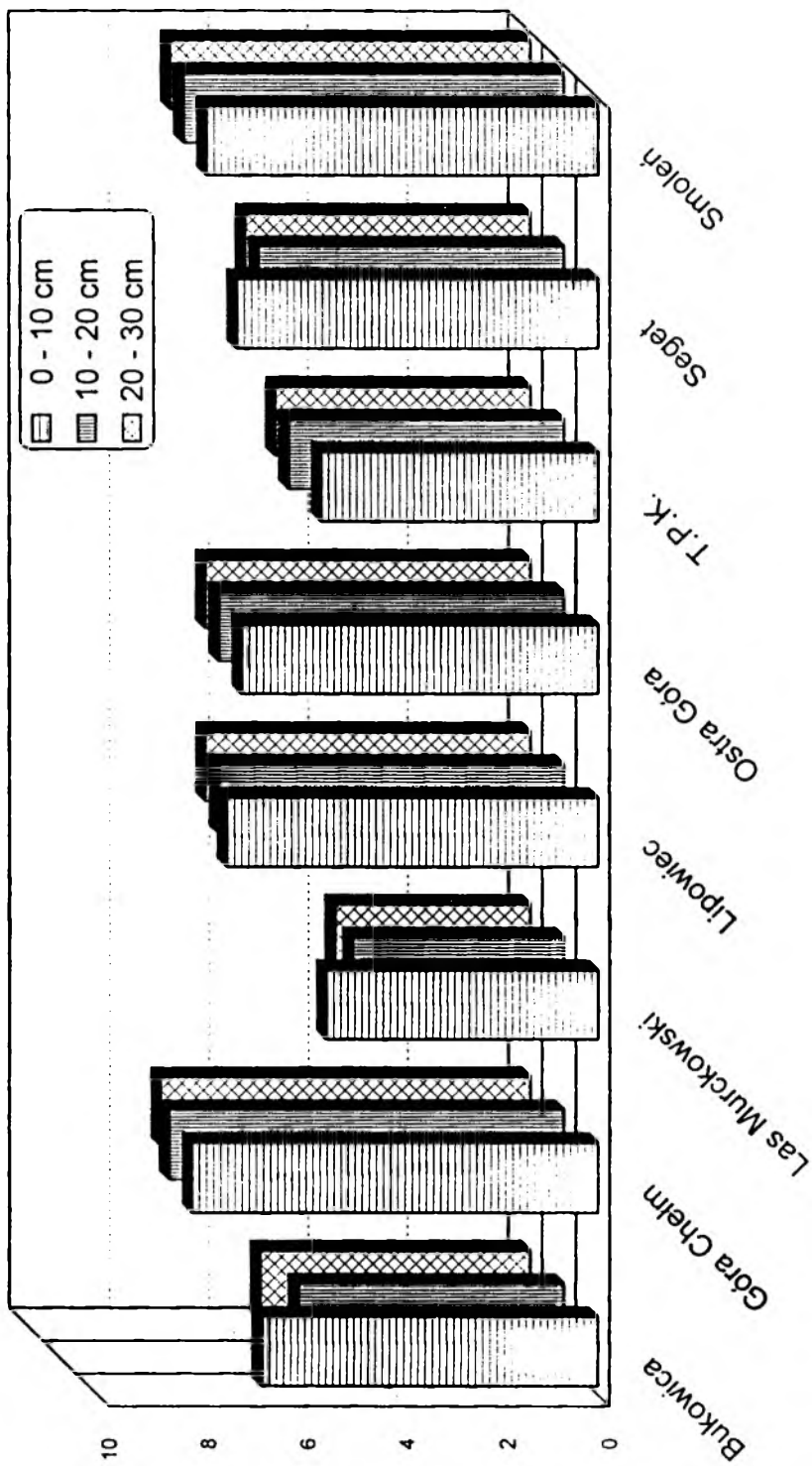
Rys. 10. Zawartość żelaza [ $\mu\text{g/g}$ ] w górnych warstwach gleb badanych rezerwatów



Rys. 11. Zawartość manganu [ $\mu\text{g/g}$ ] w górnych warstwach gleb badanych rezerwatów



Rys. 12. Zawartość siarki [µg/g] w górnych warstwach gleb badanych rezerwatów



Rys. 13. Wartość pH w górnych warstwach gleb badanych rezerwatów

## Siarka

Na badanych powierzchniach maksimum zawartości siarki występowało, podobnie jak w przypadku większości analizowanych wcześniej pierwiastków, w powierzchniowej warstwie gleby. Stężenie S w górnym poziomie gleb badanych terenów chronionych (0—10 cm) wynosiło od 100  $\mu\text{g/g}$  w Tenczyńskim Parku Krajobrazowym do 450  $\mu\text{g/g}$  w rezerwacie „Segiet” (Aneks, tab. 7; rys. 12). Wysoką zawartość siarki odnotowano również w rezerwach „Las Murckowski” i „Góra Chełm”. W glebie rezerwatu „Segiet” wykazano wysoką kumulację tego pierwiastka w poziomie 20—30 cm (420  $\mu\text{g/g}$ ). Stężenie to jest wyższe od notowanych dla górnych warstw gleb pochodzących z pozostałych punktów badawczych (rys. 12). Układ pionowego rozmieszczenia S wskazuje na jej nagromadzenie się w górnych warstwach wszystkich badanych powierzchni. Interesujący jest fakt niewielkiego zróżnicowania zawartości siarki w zależności od poziomu w analizowanej powierzchni w Tenczyńskim Parku Krajobrazowym — 190  $\mu\text{g/g}$  (0—10 cm) i 170  $\mu\text{g/g}$  (0—30 cm). Podobna prawidłowość dotyczy gleby pochodzącej z rezerwatu „Las Murckowski” (rys. 12).

## Odczyn gleby

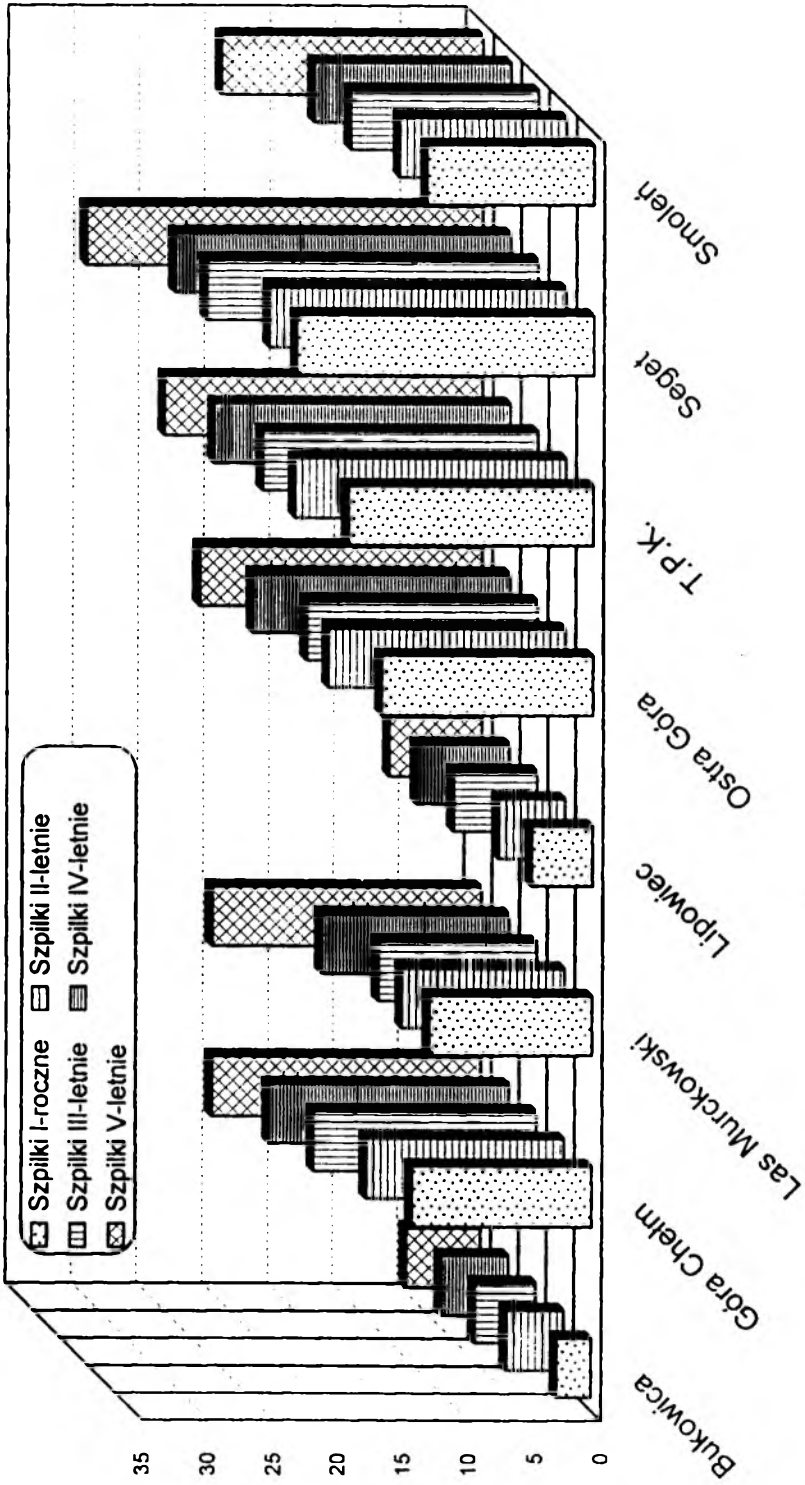
Analiza kwasowości gleb badanych rezerwatów wskazuje, że ich pH jest: zbliżone do 7 jednostek — rezerwaty: „Lipowiec”, „Bukowica”, „Ostra Góra” i „Segiet”; słabo kwaśne — „Las Murckowski” i Tenczyński Park Krajobrazowy, oraz słabo zasadowe — „Góra Chełm” i „Smoleń” (Aneks, tab. 8; rys. 13). Wraz z obniżeniem poziomu gleb zaobserwowano spadek wartości ich pH na wszystkich powierzchniach badawczych.

## 5.3. Materiał roślinny

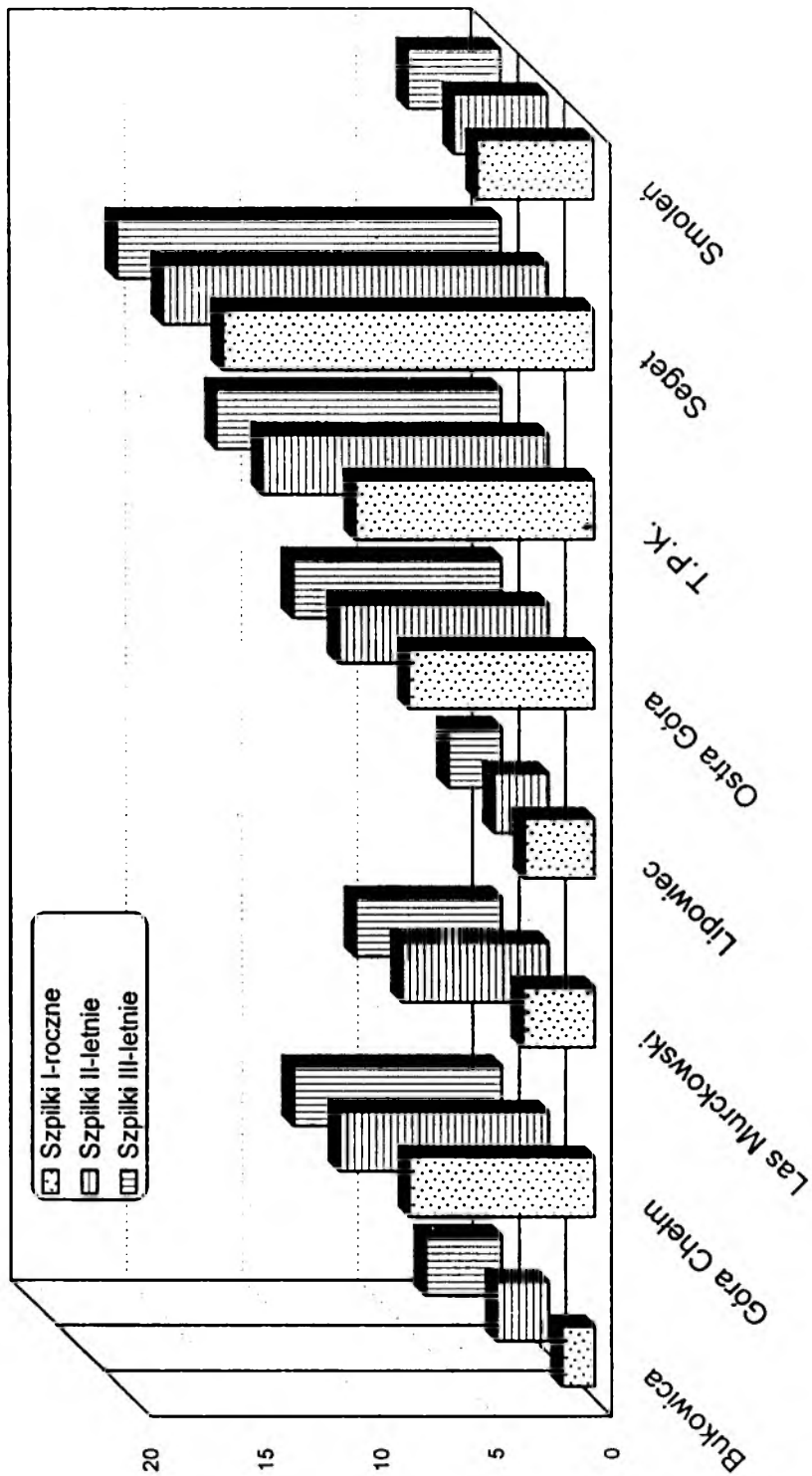
Szczegółowe wartości zawartości badanych pierwiastków w materiale roślinnym pochodzącym z wybranych terenów chronionych województwa śląskiego zamieszczono w Aneksie w tabelach: 9a, b, c; 10a, b, c; 11a, b, c; 12a, b, c; 13a, b, c; 14a, b, c i 15a, b, c.

## Kadm

Zawartość kadmu w szpilkach i liściach badanych gatunków pochodzących z analizowanych terenów przedstawiają Aneks, tab. 9a, b, c oraz rys. 14—18.

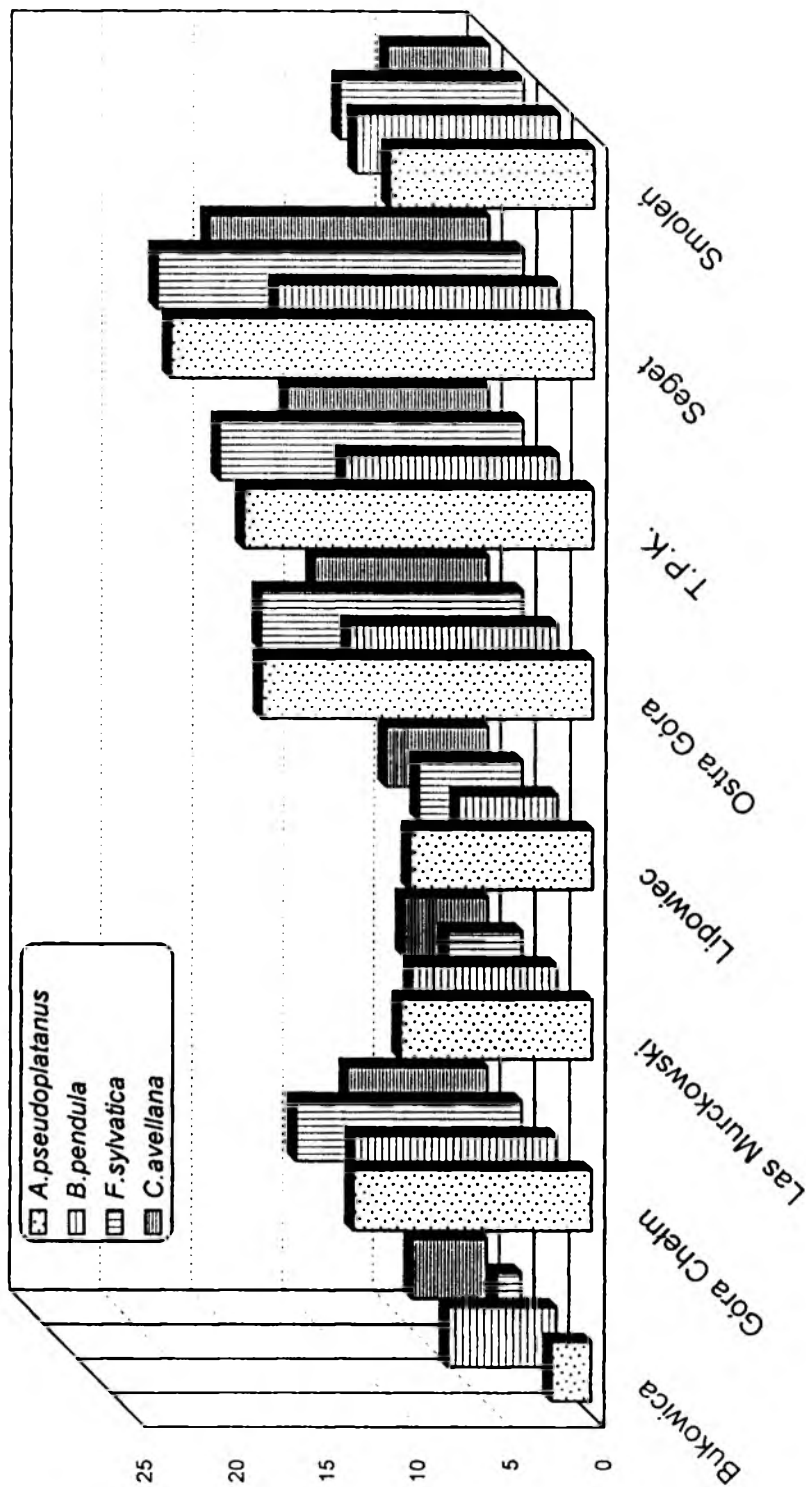


Rys. 14. Zawartość kadmu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach świerka pospolitego (*Picea abies*)

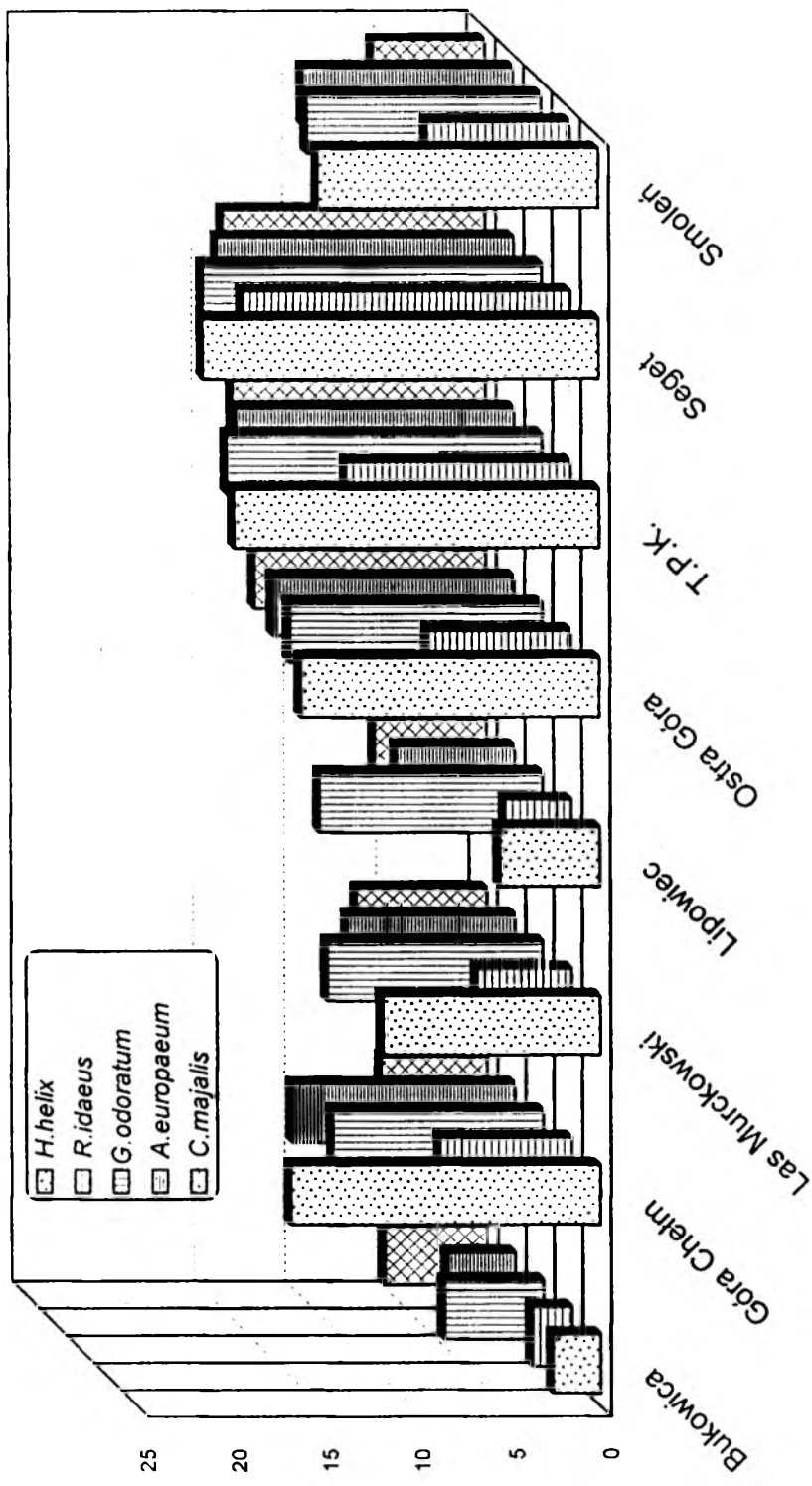


Rys. 15. Zawartość kadmu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*)

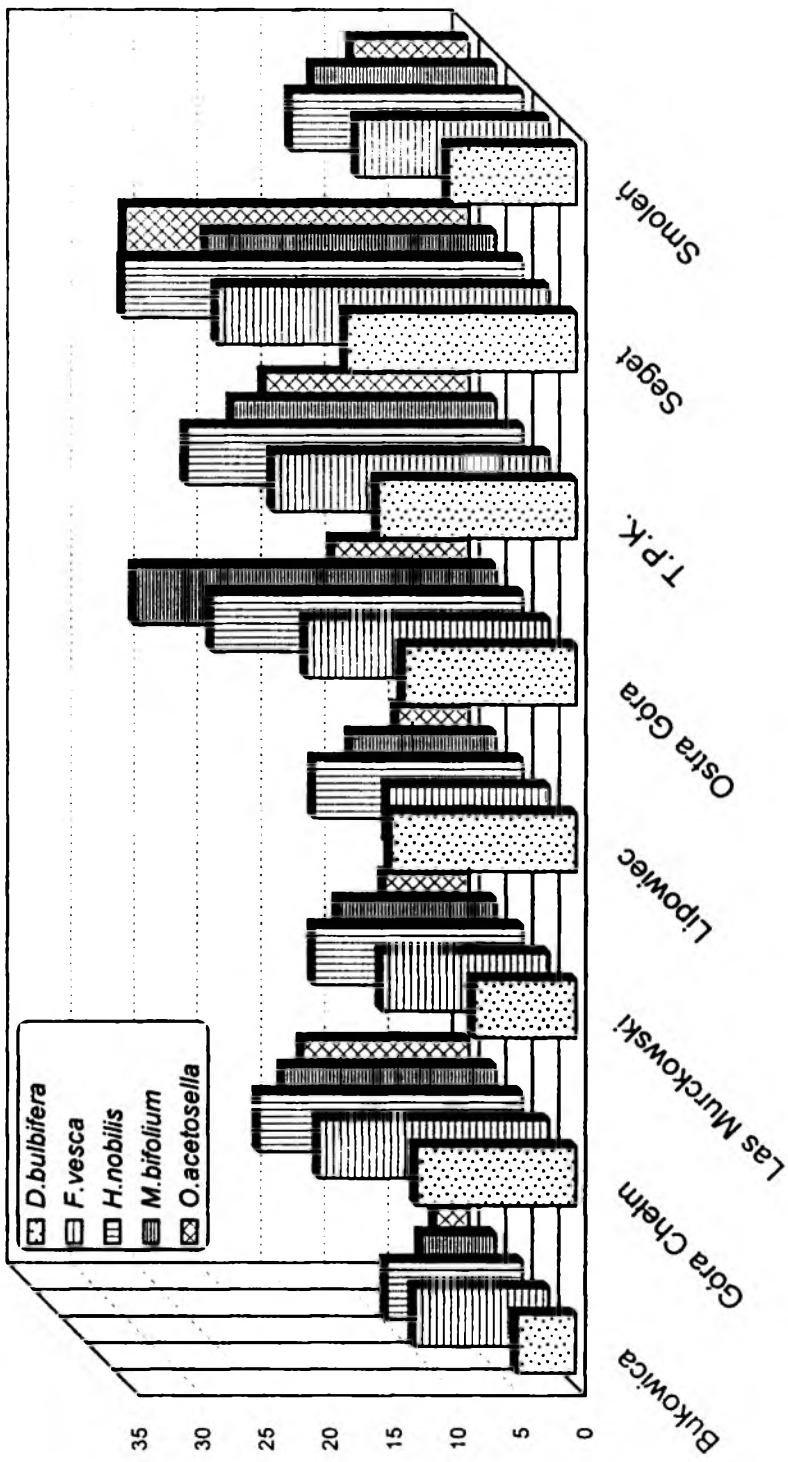




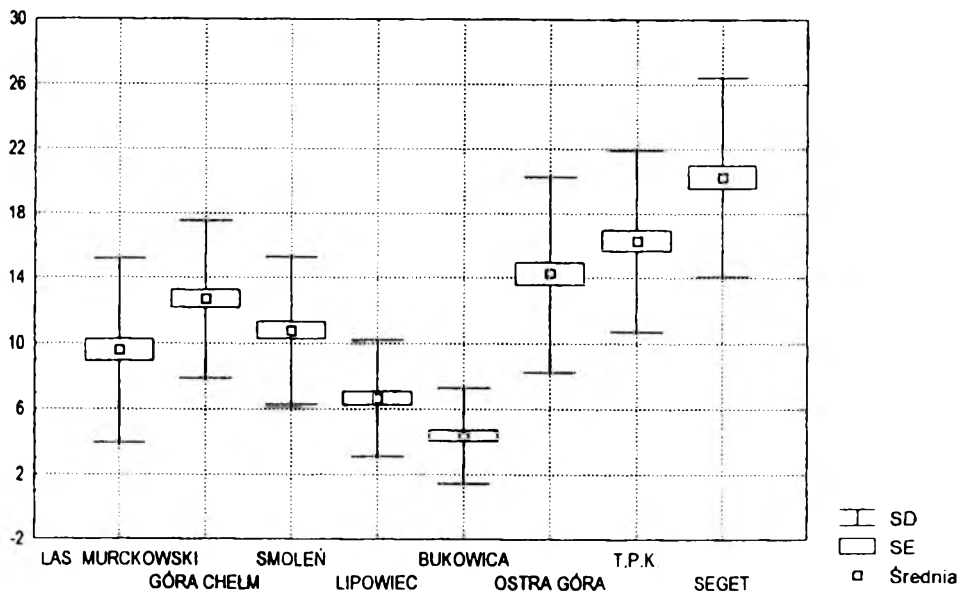
Rys. 16. Zawartość kadmu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach drzew i krzewów



Rys. 17. Zawartość kadmu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach runa



Rys. 18. Zawartość kadmu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach runa



Rys. 19. Średnia zawartość kadmu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w materiale roślinnym pochodzącym z badanych rezerwatów

(Przedstawione na rysunkach wyniki są średnimi wartościami trzech zbiorów materiału: wiosna 1992 oraz wiosna i jesień 1994; dotyczy to wszystkich omawianych pierwiastków). Największą średnią zawartość kadmu stwierdzono w rezerwacie „Segiet” —  $20,3 \mu\text{g/g s.m.}$ , najmniejszą zaś w rezerwacie „Bukowica” —  $4,4 \mu\text{g/g s.m.}$  W przypadku wszystkich analizowanych grup (szpilki i liście drzew oraz rośliny zielne) zawartość kadmu największa była w rezerwacie „Segiet”, a najmniejsza w „Bukowicy”. Na rys. 19 zaprezentowano średnią zawartość kadmu dla materiału roślinnego pochodzącego z badanych terenów chronionych z zaznaczonymi błędem standardowym oraz odchyleniem standardowym.

W szpilkach zawartość badanego metalu wahała się w granicach od  $0,5 \mu\text{gCd/g s.m.}$  dla jednorocznych igieł *Pinus sylvestris* pochodzących z „Bukowicy” do  $19 \mu\text{gCd/g s.m.}$  z „Segietu” oraz odpowiednio: dla trzyletnich igieł od  $2 \mu\text{gCd/g s.m.}$  do  $24 \mu\text{gCd/g s.m.}$  (rys. 15). W szpilkach *Picea abies*, podobnie jak w przypadku sosny, największą zawartość Cd stwierdzono w materiale pochodzącym z rezerwatu „Segiet” (jednoroczne —  $21 \mu\text{gCd/g s.m.}$ , pięcioletnie —  $32 \mu\text{gCd/g s.m.}$ ), a najmniejszą zawartość Cd — w „Bukowicy” ( $2 \mu\text{g/g s.m.}$  i  $5 \mu\text{g/g s.m.}$ ). Wysokie stężenia kadmu odnotowano również w szpilkach drzew z „Góry Chełm”, „Ostrej Góry” oraz Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego (rys. 14).

Wśród badanych gatunków drzew największą zawartość kadmu zaobserwowano w liściach *Acer pseudoplatanus* —  $24 \mu\text{gCd/g s.m.}$  z „Segietu”, oraz *Betula pendula* — od  $6 \mu\text{gCd/g s.m.}$  pochodzących z „Lipowca” i „Bukowicy”

do 19  $\mu\text{gCd/g}$  s.m. w materiale z „Segietu”. Niewielką kumulacją Cd charakteryzowały się liście *Fagus sylvatica* z „Bukowicy” — 0,5  $\mu\text{g/g}$  s.m. wiosną, 1994 roku (rys. 16.).

Porównując kumulację kadmu w pierwszym i drugim roku badawczym, w przypadku większości analizowanych gatunków zmiany są niewielkie (tab. 9a, b). Obserwuje się natomiast wyraźny wzrost zawartości badanego pierwiastka w liściach zebranych jesienią 1994 roku w stosunku do liści zbieranych wiosną 1994 roku (tab. 9b, c), najbardziej wyraźne w szpilkach *Pinus sylvestris*.

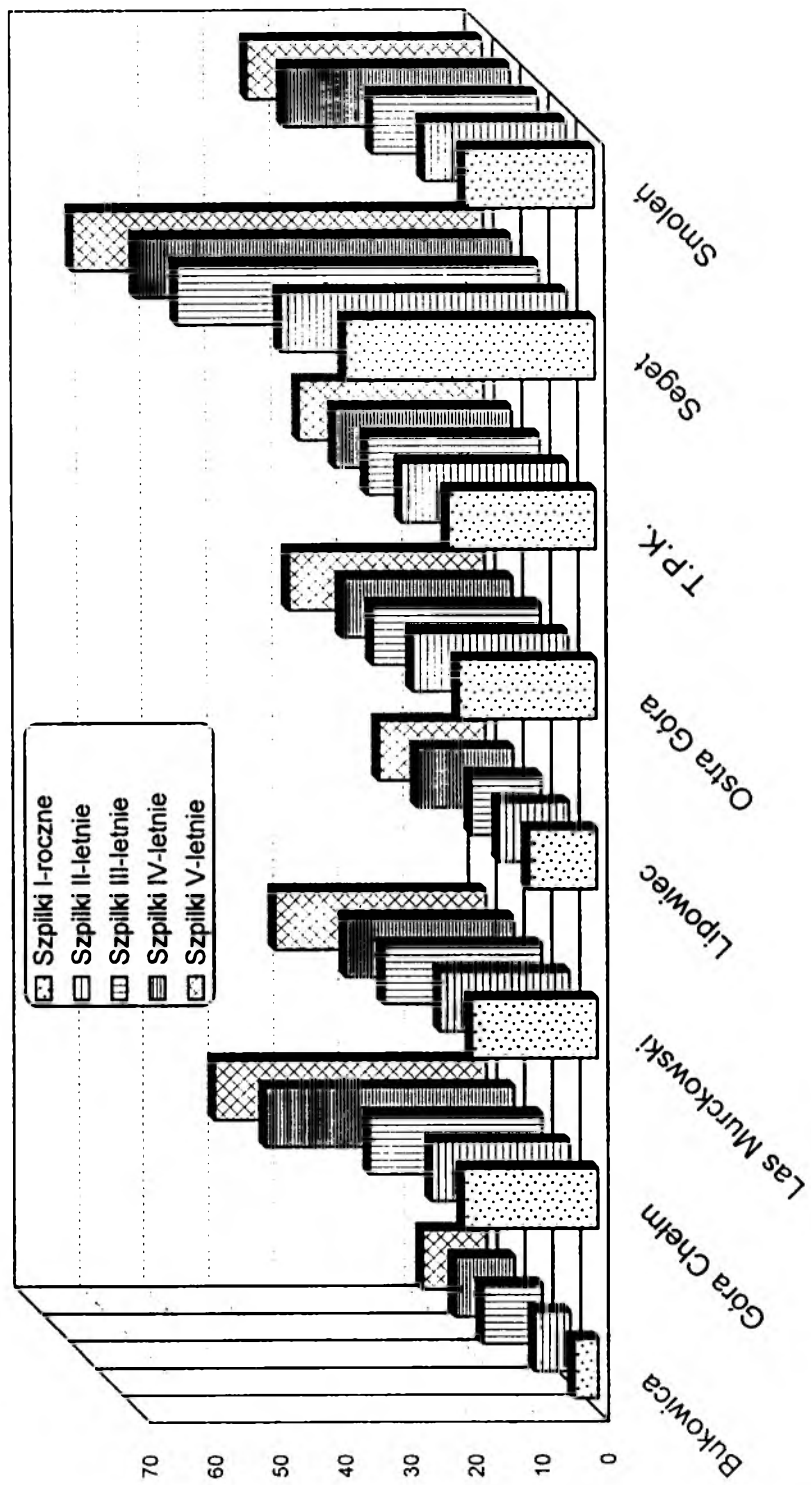
W roślinach zielnych najniższą zawartość kadmu stwierdzono w liściach pochodzących, podobnie jak w przypadku szpilek oraz liści drzew, z rezerwatu „Bukowica”, a znacznie wyższą — w materiale z „Segietu” (rys. 17 i 18). Gatunki charakteryzujące się wysoką zawartością kadmu to *Fragaria vesca* i *Hepatica nobilis* (rys. 18), natomiast w liściach *Oxalis acetosella*, *Rubus idaeus* oraz *Hedera helix* zawartość kadmu była o wiele niższa.

## Ołów

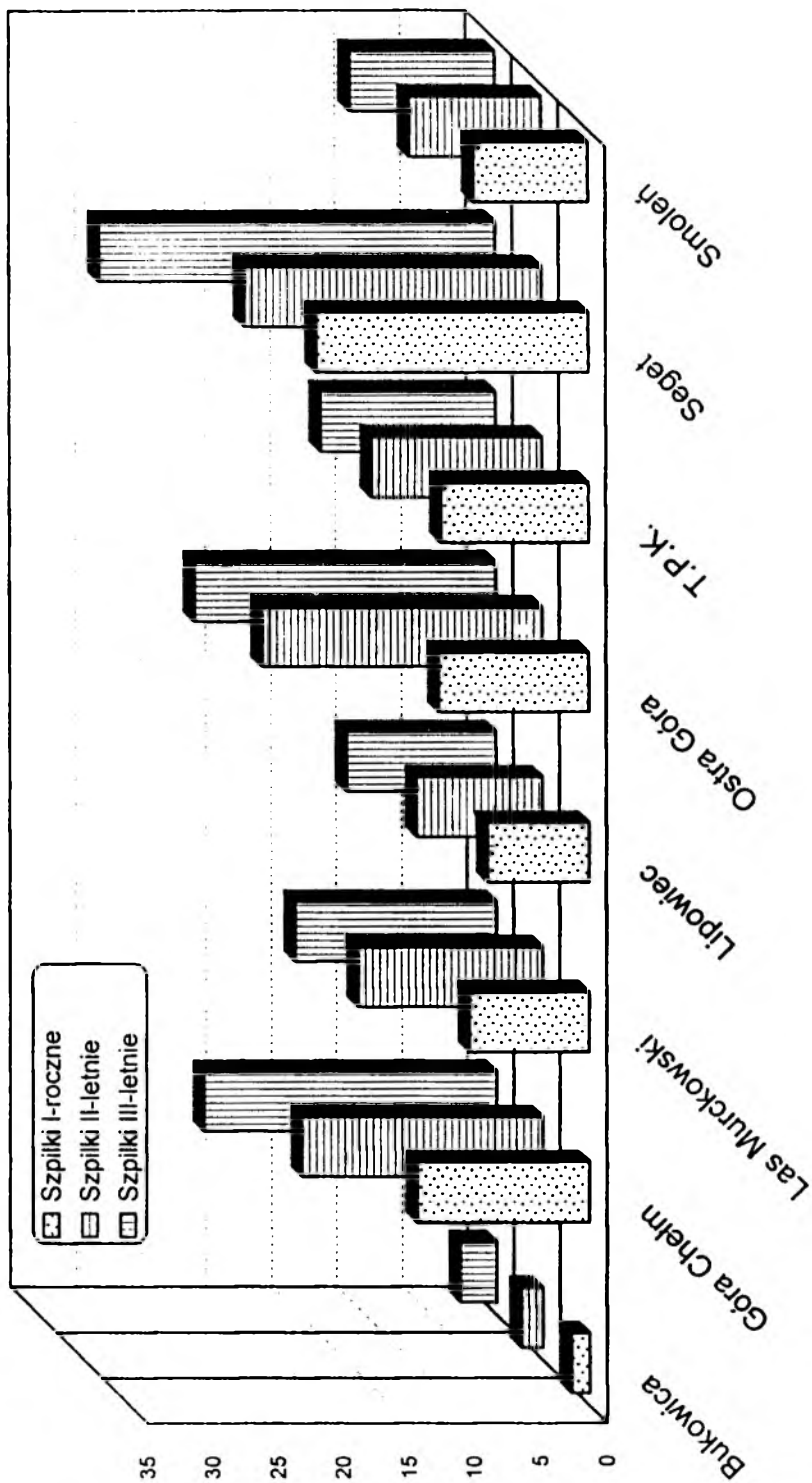
W Aneksie w tab. 10a, b i c oraz na rys. 20—24 przedstawiono zawartość ołowiu w badanym materiale roślinnym. Jednoroczne igły *Pinus sylvestris* zawierały 1—23  $\mu\text{gPb/g}$  s.m., trzyletnie — 3—34  $\mu\text{gPb/g}$  s.m. Zawartość tego pierwiastka w najmłodszych szpilkach *Picea abies* wahała się w granicach 3—41  $\mu\text{gPb/g}$  s.m., natomiast w najstarszych kształtowała się w zakresie 8,5—69  $\mu\text{g/g}$  s.m. (rys. 20—21). Największe ilości ołowiu odnotowano w szpilkach pochodzących z rezerwatu „Segiet”. Wysokie wartości oznaczono również w materiale z „Góry Chełm”, „Ostrej Góry”, „Smolenia” oraz Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego. W igłach sosny i świerka pochodzących z „Bukowicy” zawartość Pb była na najniższym poziomie w grupie analizowanych terenów chronionych.

Zawartość ołowiu w liściach badanych gatunków drzew wahała się od 2,1  $\mu\text{g/g}$  s.m. dla *Acer pseudoplatanus* w „Bukowicy” do 32  $\mu\text{g/g}$  s.m. dla *Fagus sylvatica* z „Segietu”. W liściach drzew pochodzących z rezerwatu „Segiet” odnotowane stężenia Pb były najwyższe. Największe zróżnicowanie pod względem zawartości ołowiu między badanymi powierzchniami zaobserwowano w liściach buka: od 2,3  $\mu\text{g/g}$  s.m. („Bukowica”) do 32  $\mu\text{g/g}$  s.m. („Segiet”); najmniejsze zróżnicowanie odnotowano dla *Betula pendula*: 10  $\mu\text{g/g}$  s.m. („Bukowica”) i 25  $\mu\text{g/g}$  s.m. („Segiet”). Akumulacja Pb w pozostałych gatunkach drzew utrzymywała się na zbliżonym poziomie, uzależnionym jedynie od miejsca poboru materiału (rys. 22).

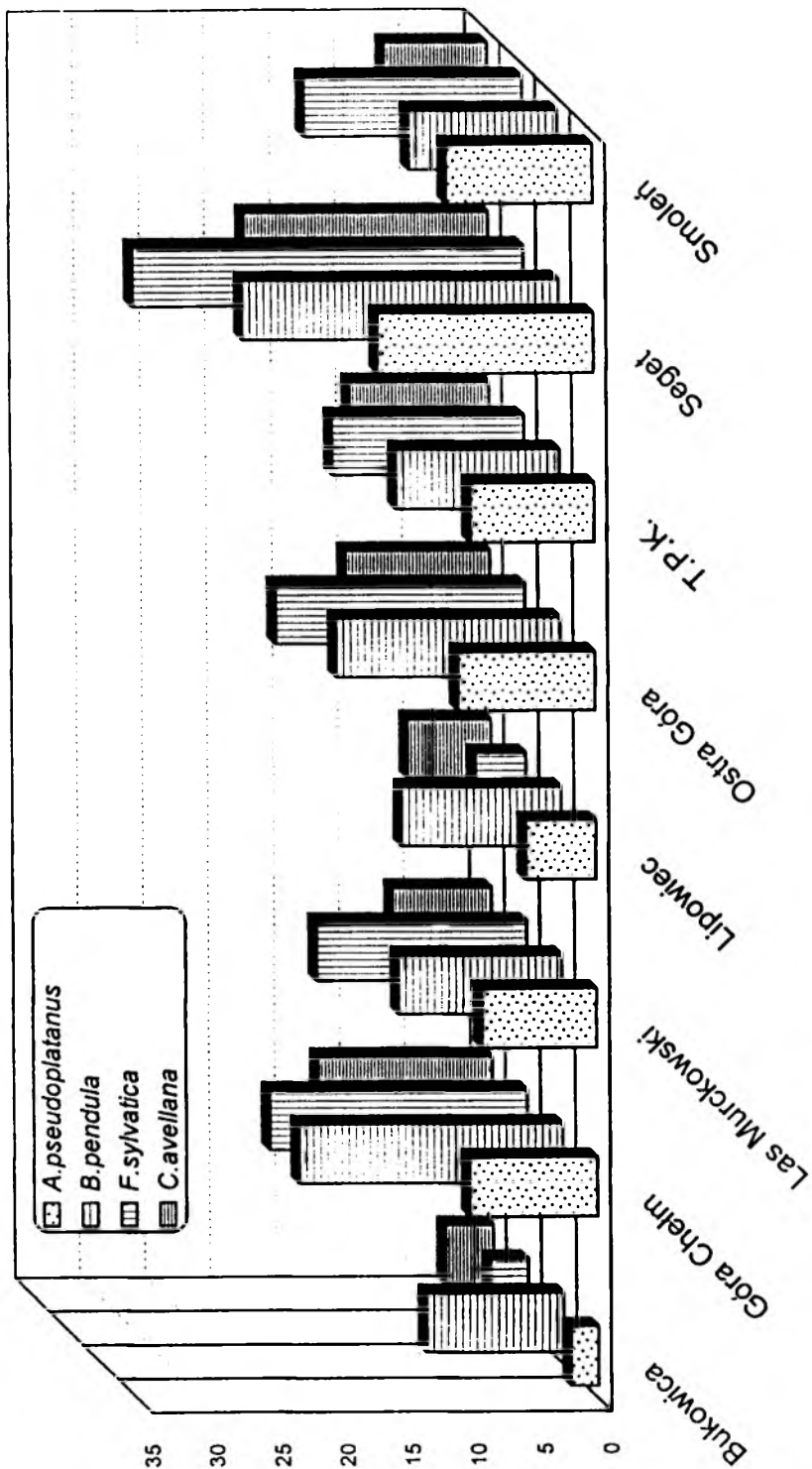
W badanych roślinach zielnych zawartość ołowiu kształtowała się w granicach od 2  $\mu\text{g/g}$  s.m. w liściach *Oxalis acetosella* pochodzących z rezerwatu „Bukowica” do 62  $\mu\text{g/g}$  s.m. Pb w liściach *Convallaria majalis* z „Segietu” i „Góry Chełm”. Liście konwalii majowej charakteryzowały się wysoką



Rys. 20. Zawartość ołowiu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach świerka pospolitego (*Picea abies*)

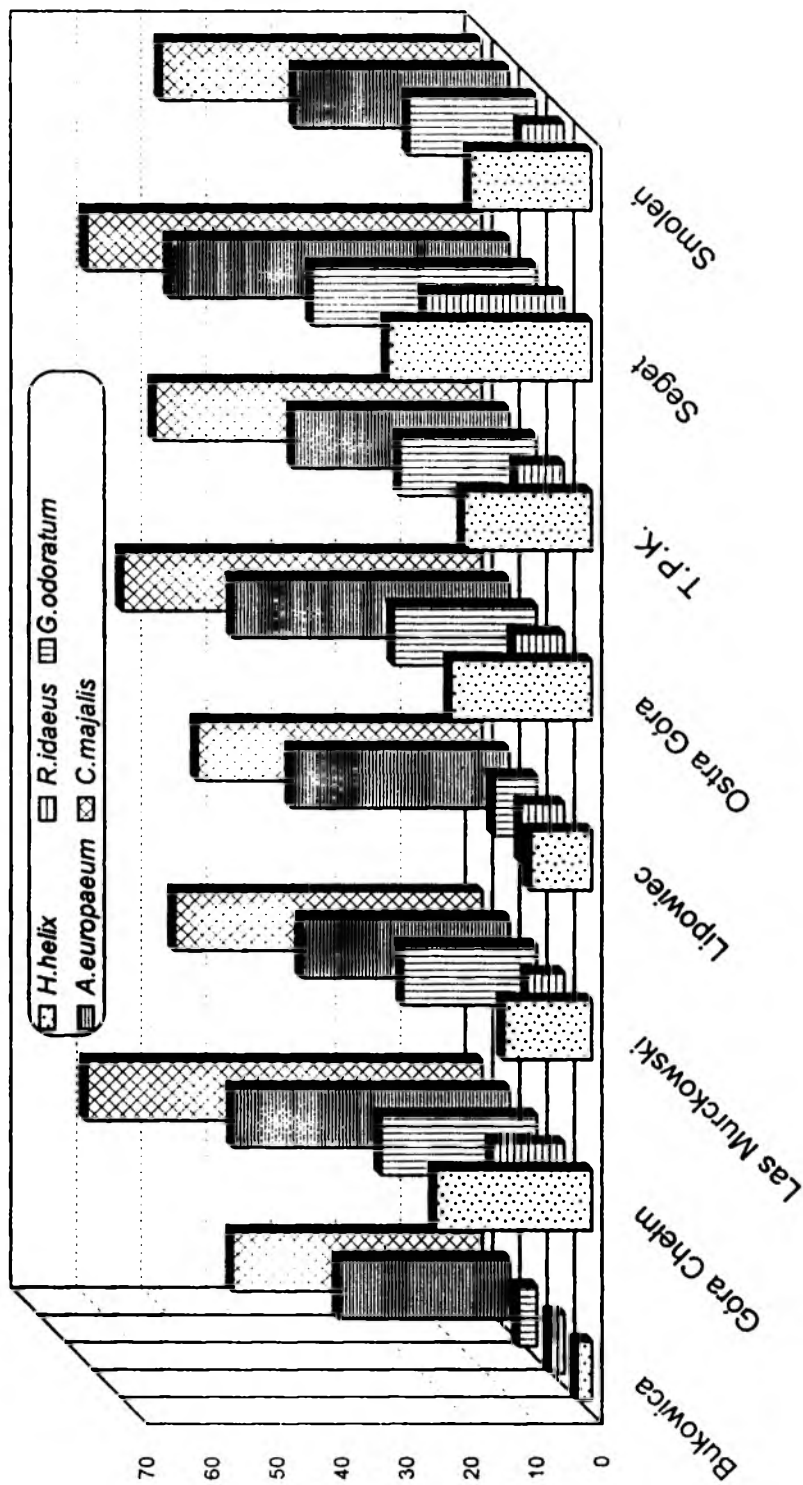


Rys. 21. Zawartość ołowiu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*)

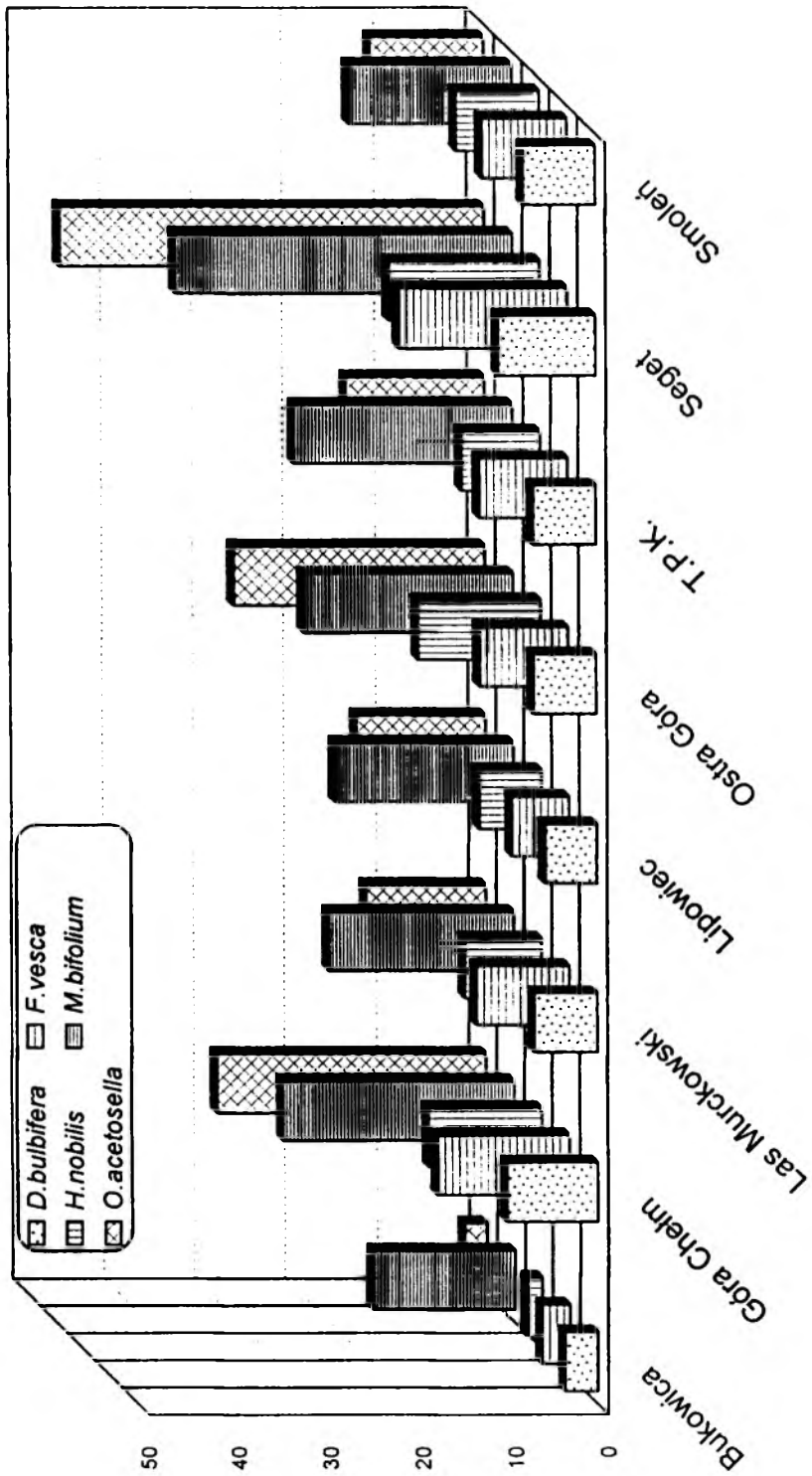


Rys. 22. Zawartość ołowiu [µg/g s.m.] w liściach drzew i krzewów





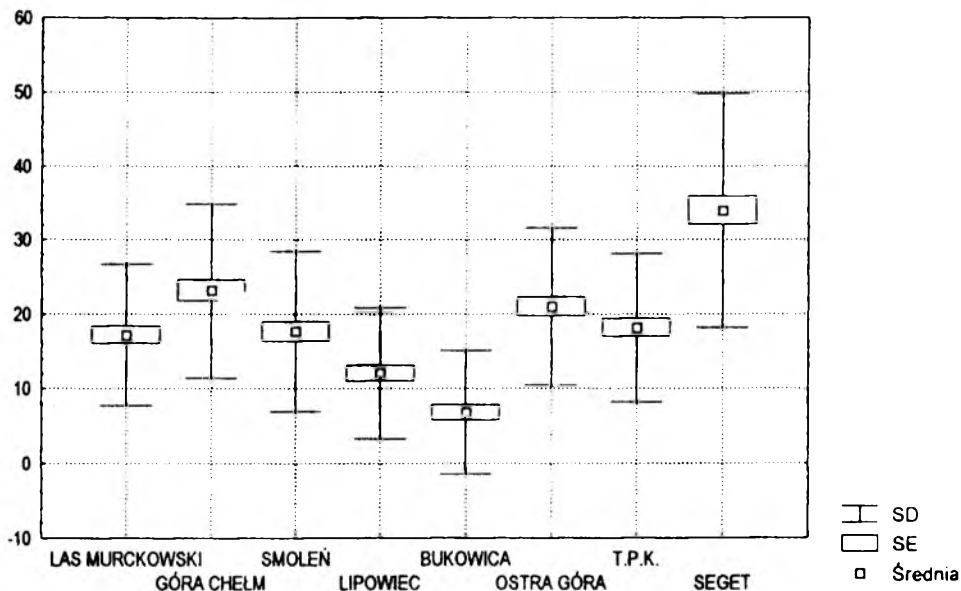
Rys. 23. Zawartość ołowiu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach runa



Rys. 24. Zawartość ołowiu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach runa

zawartością ołowiu we wszystkich badanych punktach, nawet w rezerwacie „Bukowica”, gdzie zawartość Pb w przypadku pozostałych gatunków była niewielka (rys. 23—24). Podobne zależności stwierdzono, analizując liście *Asarum europaeum*. Najmniejsza zawartość Pb charakteryzowała liście *Dentaria bulbifera*: 2  $\mu\text{g/g}$  s.m. („Bukowica”) i 11  $\mu\text{g/g}$  s.m. („Segiet”).

Największą średnią zawartość (jeżeli chodzi o drzewa i rośliny zielne łącznie) ołowiu oznaczono w rezerwacie „Segiet” — 45,3  $\mu\text{g/g}$  s.m., najmniejszą w rezerwacie „Bukowica” — 9,6  $\mu\text{g/g}$  s.m. W pozostałych rezerwach obliczona wartość średnia utrzymywała się w granicach 20  $\mu\text{g/g}$  s.m. Na rys. 25 przedstawiono średnią zawartość ołowiu, obliczoną dla materiału roślinnego pochodzącego z analizowanych obszarów chronionych.



Rys. 25. Średnia zawartość ołowiu [ $\mu\text{g/g}$  s.m.] w materiale roślinnym pochodzącym z badanych rezerwatów

Porównując zawartość ołowiu w pierwszym i drugim roku badań, podobnie jak dla kadmu, w przypadku większości rozpatrywanych gatunków zmiany są niewielkie (Aneks, tab. 10a, b). Obserwuje się natomiast wzrost zawartości tego pierwiastka w liściach i szpilkach pochodzących z jesieni w stosunku do materiału zbieranego wiosną (tab. 10b, c); szczególnie jest to widoczne na przykładzie liści: brzozy (*Betula pendula*), bluszczy (*Hedera helix*) oraz konwalijki (*Maianthemum bifolium*).

## Cynk

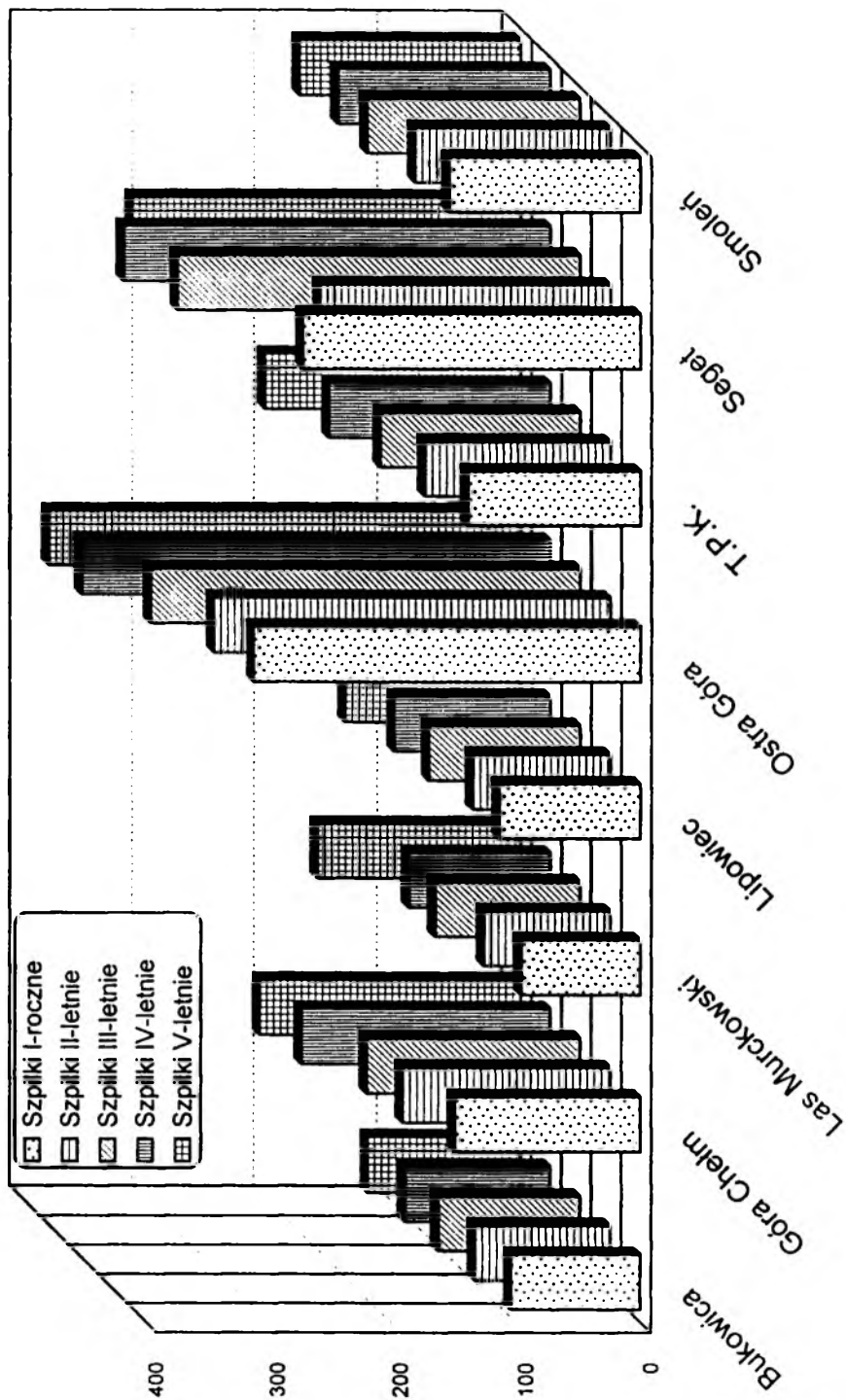
Zawartość cynku w materiale roślinnym pochodzącym z badanych terenów chronionych województwa śląskiego ilustrują Aneks, tab. 11a, b, c oraz rys. 26—30. Największą średnią zawartość cynku stwierdzono w rezerwatach „Ostra Góra” (249,2  $\mu\text{g/g}$  s.m.) i „Segiet” (229,4  $\mu\text{g/g}$  s.m.), najmniejszą zaś w „Bukowicy” (79,3  $\mu\text{g/g}$  s.m.) oraz „Lesie Murckowskim” (87,7  $\mu\text{g/g}$  s.m.). Na rys. 31 przedstawiono średnią zawartość cynku obliczoną dla liści i szpilek roślin pochodzących z badanych terenów chronionych.

Podobnie jak w przypadku wcześniej omawianych metali ciężkich, również zawartość cynku była wyższa w szpilkach *Picea abies* w porównaniu ze szpilkami *Pinus sylvestris*. Jednoroczne igły świerka zawierały od 100  $\mu\text{gPb/g}$  s.m. („Bukowica”) do 25  $\mu\text{gPb/g}$  s.m. („Ostra Góra”), pięcioletnie odpowiednio: 120 i 390  $\mu\text{gPb/g}$  s.m. (rys. 26). Zawartość tego pierwiastka w jednorocznych igłach sosny wahała się w granicach 36—160  $\mu\text{gPb/g}$  s.m., a w szpilkach trzyletnich wynosiła 50—280  $\mu\text{g/g}$  s.m. (rys. 27). Największą zawartość cynku odnotowano w szpilkach pochodzących z rezerwatów „Ostra Góra” oraz „Segiet”. Oprócz rezerwatu „Bukowica” niewielkie koncentracje cynku obserwowano w szpilkach zbieranych w rezerwatach „Las Murckowski”, „Lipowiec” i „Smoleń”. Podobnie jak w przypadku kadmu i ołowiu, stwierdzono wzrost zawartości cynku w szpilkach starszych roczników.

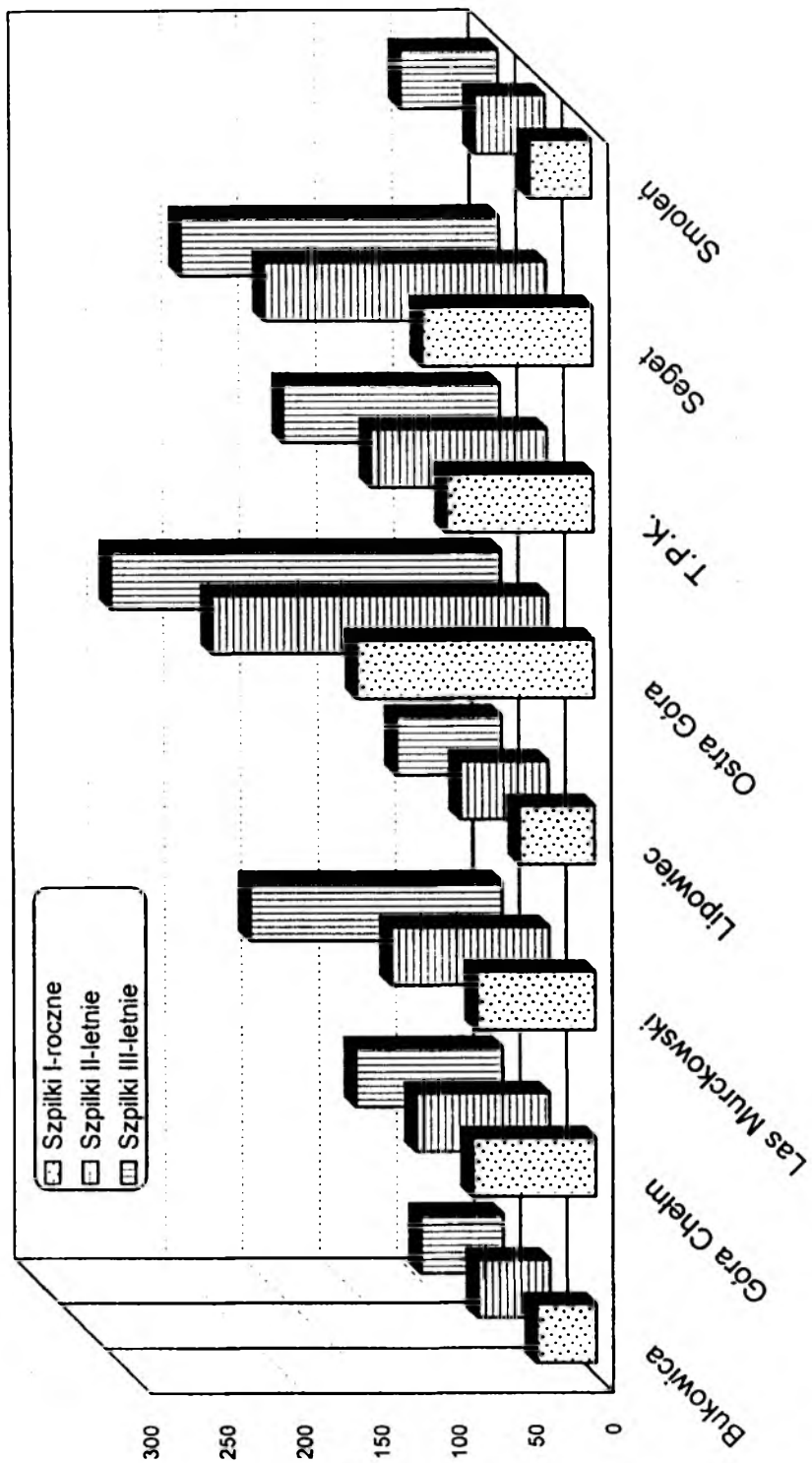
Wśród badanych gatunków drzew największą zawartość cynku zaobserwowano w liściach *Fagus sylvatica* (365  $\mu\text{g/g}$  s.m.) oraz *Acer pseudoplatanus* (310  $\mu\text{g/g}$  s.m.) pochodzących z rezerwatu „Ostra Góra”. Gatunki te wykazywały również znaczną zmienność zawartości cynku, zależną od miejsca zbioru; np. w liściach pochodzących z rezerwatu „Bukowica” odnotowano 40  $\mu\text{g/g}$  s.m., a w materiale z „Ostrej Góry” 365  $\mu\text{g/g}$  s.m. Natomiast w liściach brzozy (*Betula pendula*) zmienność była znacznie mniejsza: od 90  $\mu\text{g/g}$  s.m. („Las Murckowski” oraz Tenczyński Park Krajobrazowy) do 210  $\mu\text{g/g}$  s.m. („Góra Chełm”) i 205  $\mu\text{g/g}$  s.m. („Ostra Góra”) (rys. 28).

W roślinach zielnych najniższą zawartość cynku zaobserwowano podobnie jak w przypadku szpilek i liści drzew z rezerwatów „Bukowica” oraz „Las Murckowski”. W badanych roślinach zielnych zawartość cynku kształtowała się w granicach od 30  $\mu\text{g/g}$  s.m. w liściach żywca (*Dentaria bulbifera*) z „Bukowicy” do 295  $\mu\text{g/g}$  s.m. w liściach *Oxalis acetosella* z „Ostrej Góry”. Wysoką zawartością omawianego metalu charakteryzowały się, oprócz szczawika, liście marzanki (*Asperula odorata*) oraz, podobnie jak w przypadku ołowiu — kopytnika (*Asarum europaeum*) (rys. 29 i 30). Niewielką zawartość Zn oznaczono w liściach poziomki (*Fragaria vesca*) oraz konwalii (*Convallaria majalis*).

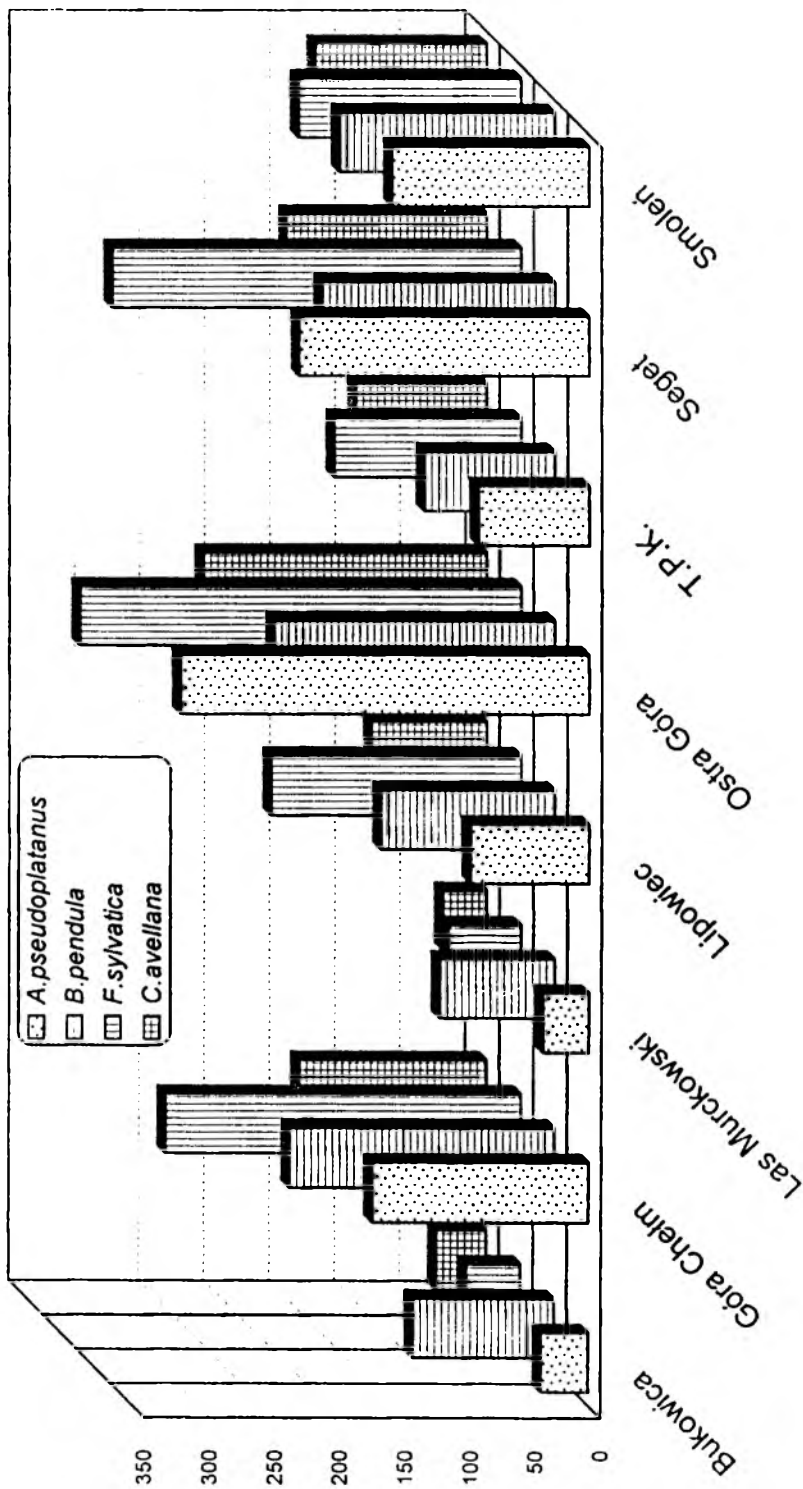
Podobnie jak w przypadku wcześniej omawianych metali ciężkich, porównując zawartość Zn w pierwszym i drugim roku badawczym, stwierdzimy, że



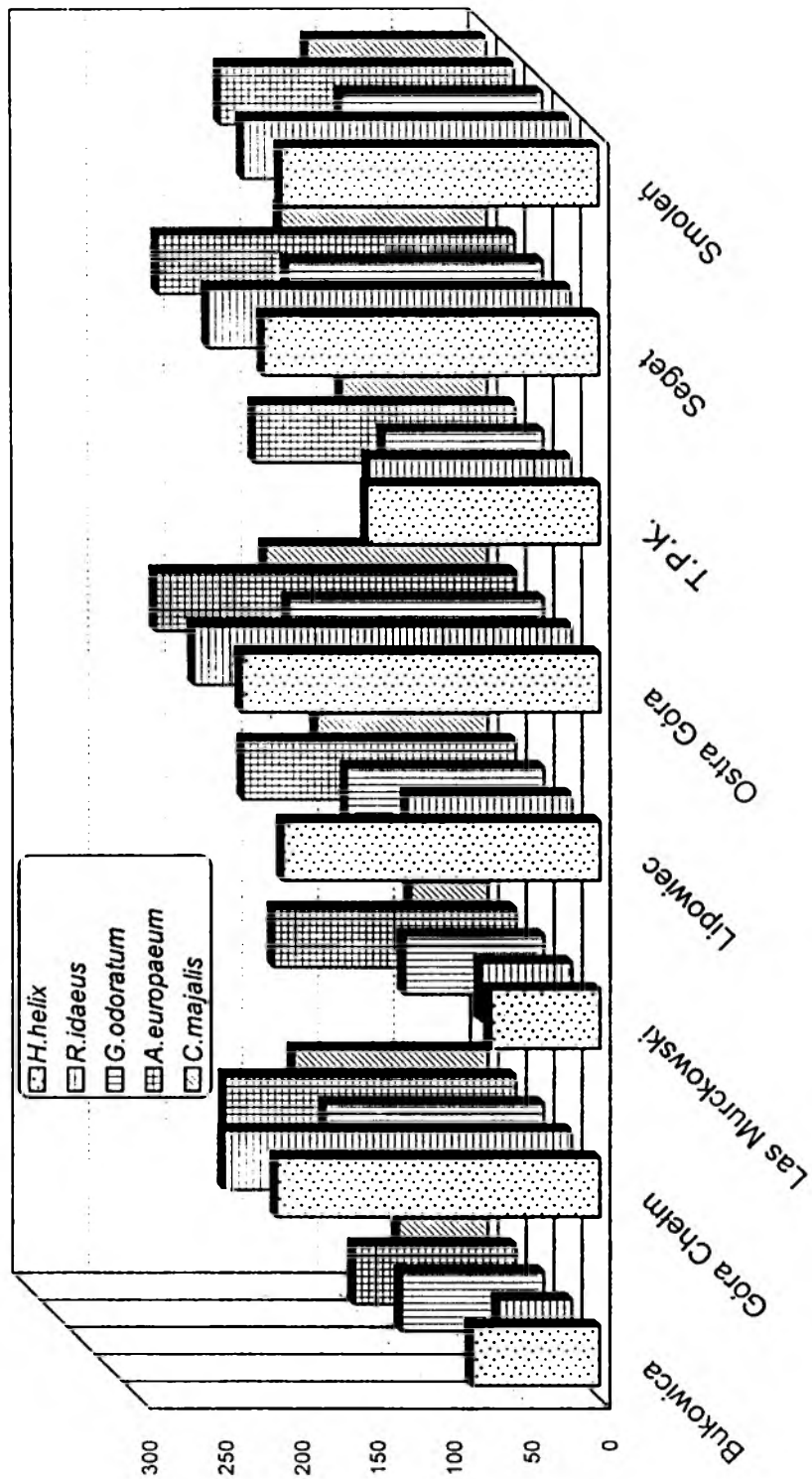
Rys. 26. Zawartość cynku [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach świerka pospolitego (*Picea abies*)



Rys. 27. Zawartość cynku [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*)

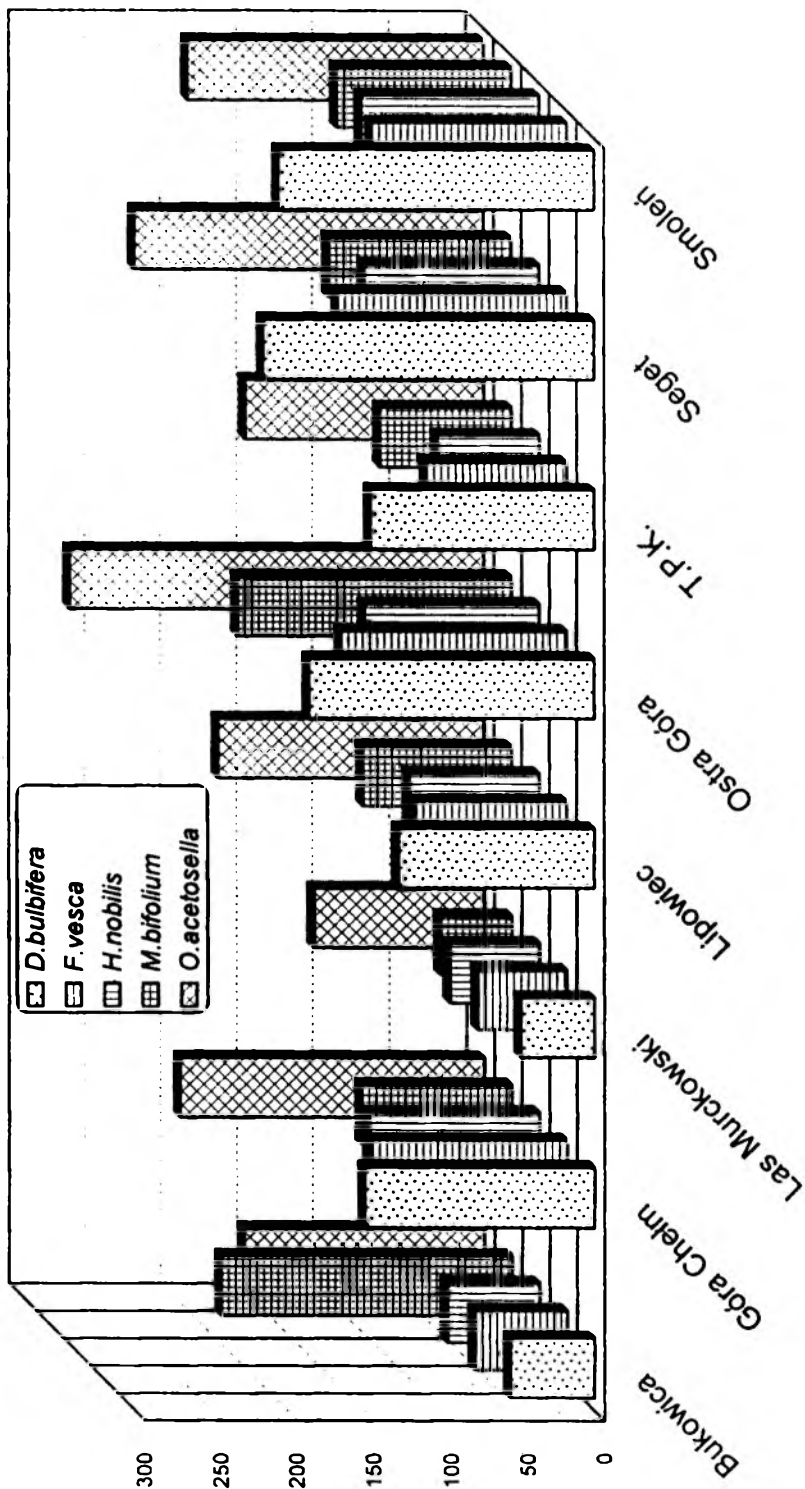


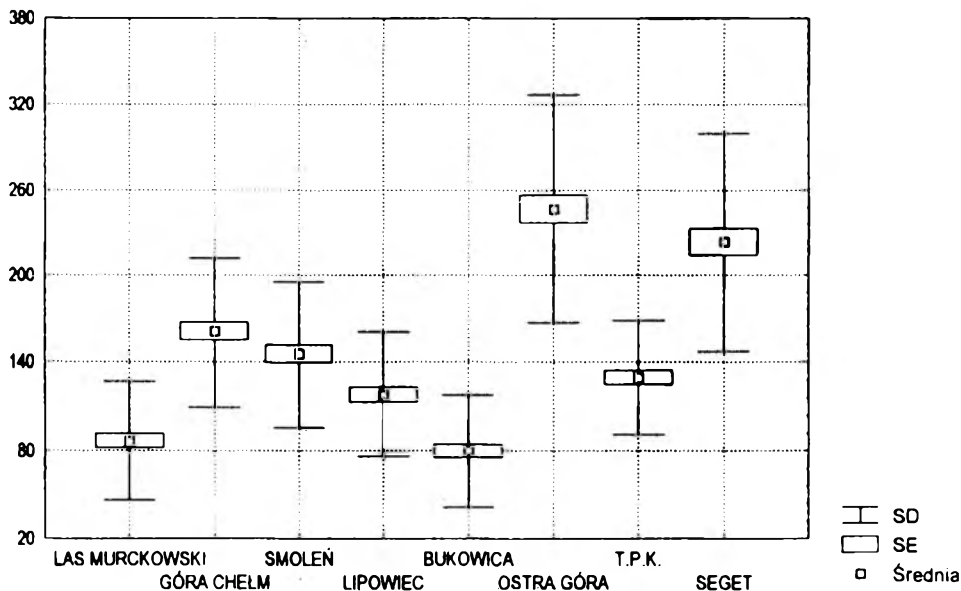
Rys. 28. Zawartość cynku [µg/g s.m.] w liściach drzew i krzewów



Rys. 29. Zawartość cynku [ $\mu\text{g/g}$  s.m.] w liściach runa



Rys. 30. Zawartość cynku [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach runa



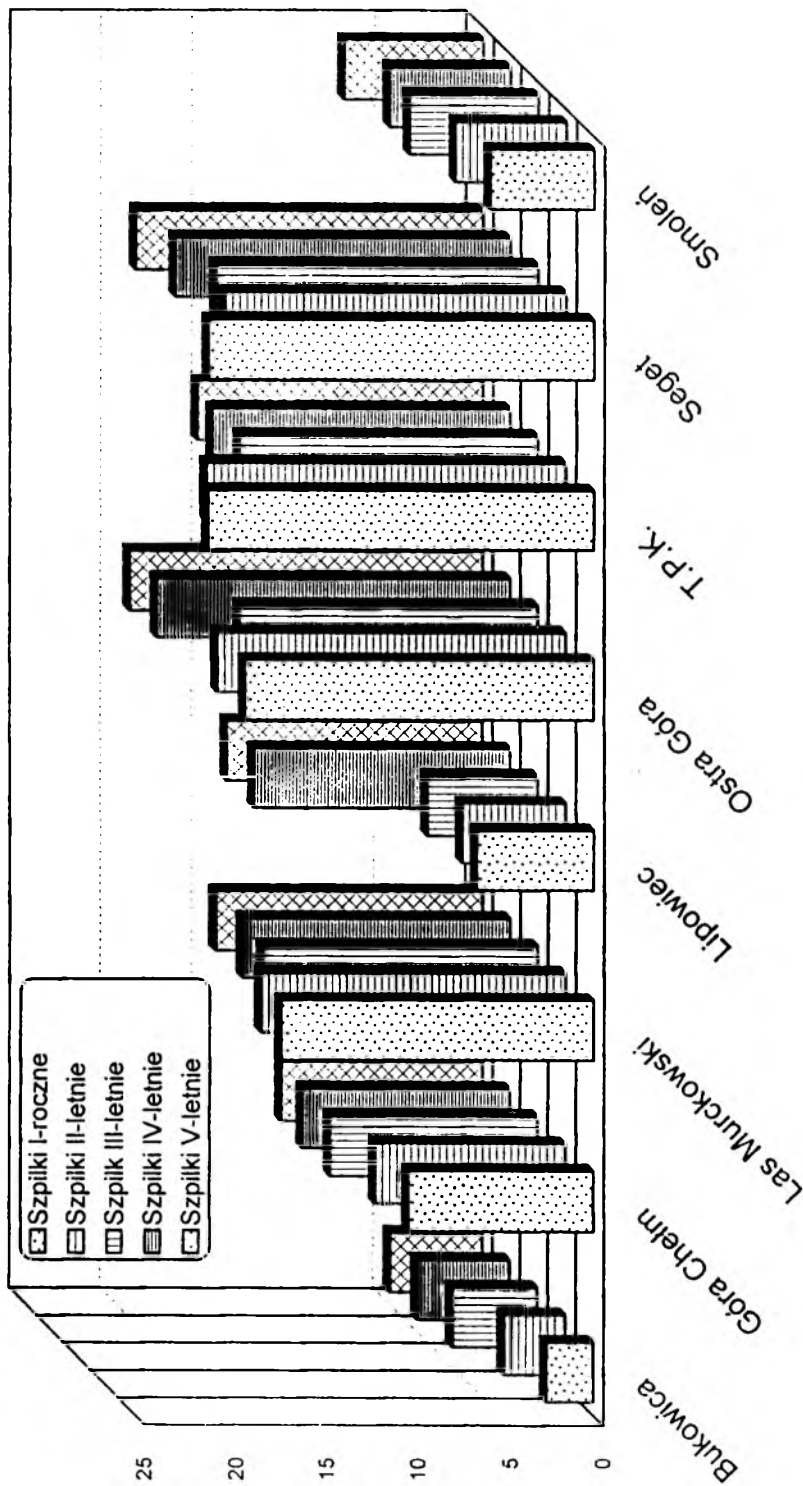
Rys. 31. Średnia zawartość cynku [µg/g s.m.] w materiale roślinnym pochodzącym z badanych rezerwatów

dla większości analizowanych gatunków zmiany te są niewielkie (Aneks, tab. 11a, b). Natomiast obserwuje się wyraźny wzrost zawartości cynku w szpilkach i liściach zebranych jesienią w stosunku do zawartości Zn w materiale zbieranym wiosną (tab. 11b, c).

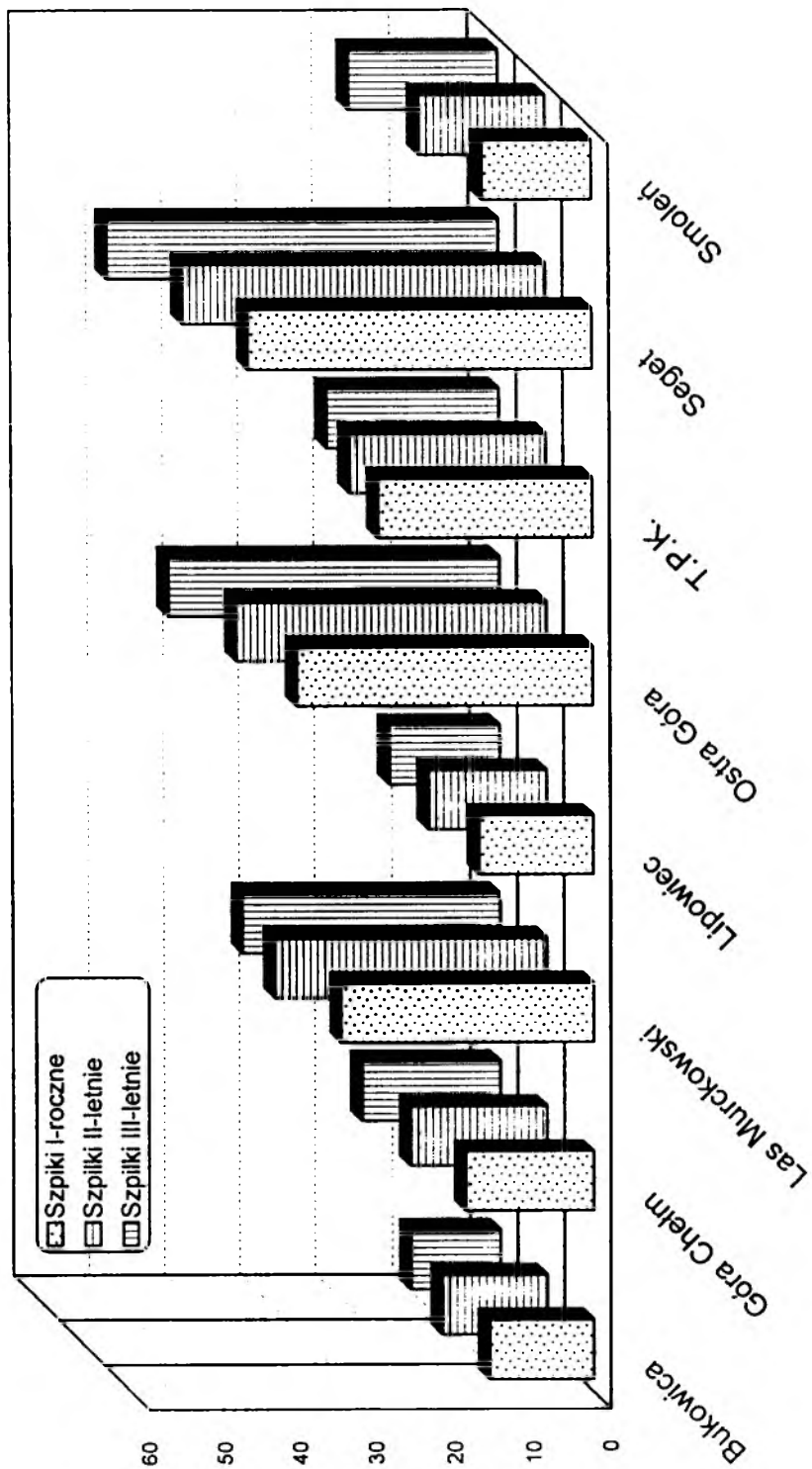
## Miedź

W Aneksie w tab. 12a, b, c oraz na rys. 32—36 przedstawiono zawartość miedzi w szpilkach i liściach analizowanych roślin pochodzących z punktów badawczych. Największą średnią zawartość miedzi stwierdzono w materiale pochodzącym z rezerwatu „Segiet” (26,7 µg/g s.m.), nieco mniej w „Ostrej Górze” (23,8 µg/g s.m.) i „Lesie Murckowskim” (21,1 µg/g s.m.), najmniej zaś w „Bukowicy” (6,9 µg/g s.m.). Na rys. 37 zaprezentowano średnią zawartość miedzi dla materiału roślinnego pochodzącego z badanych terenów chronionych.

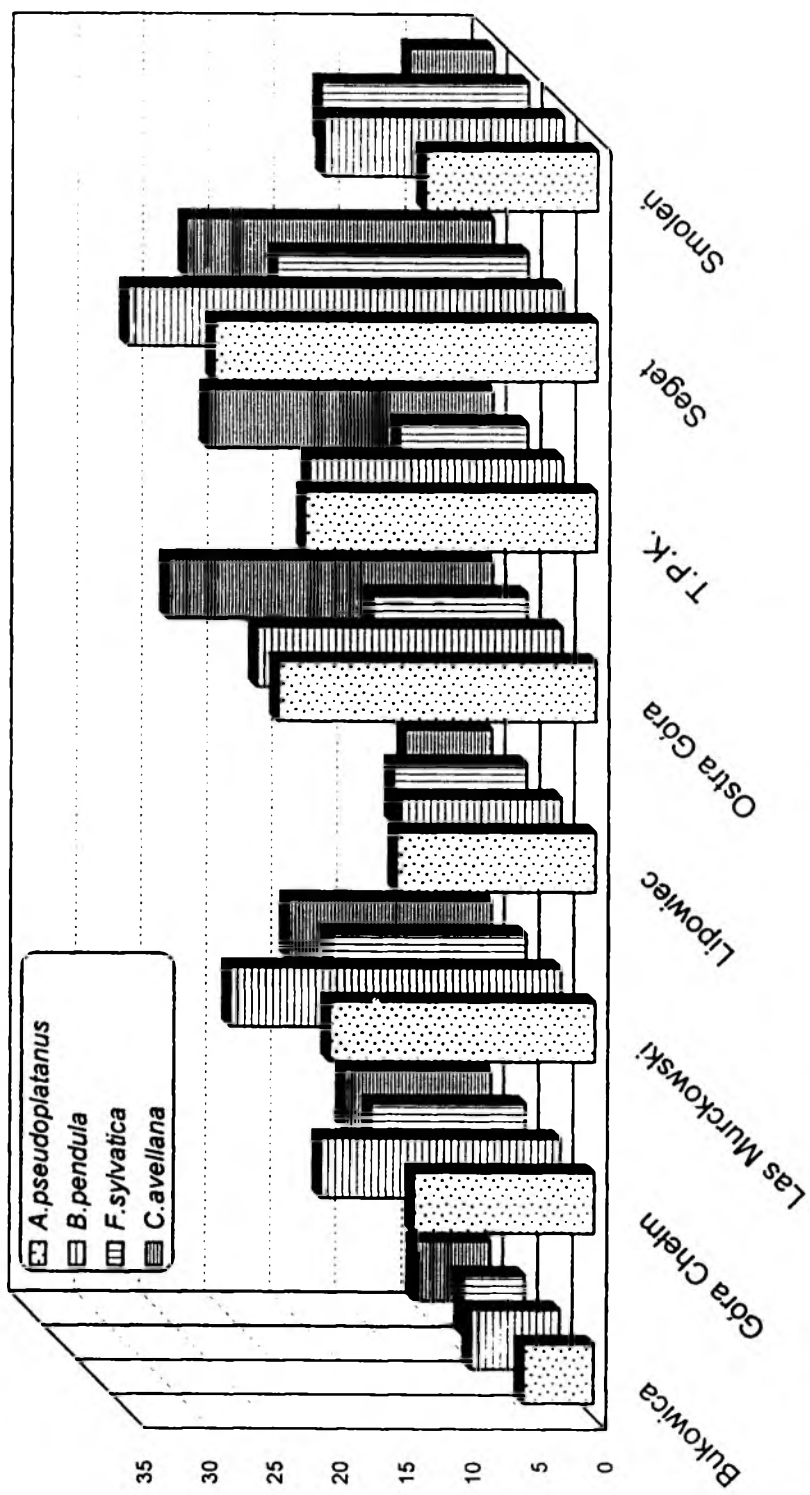
Odwrotnie niż w przypadku kadmu, ołowiu i cynku, zawartość miedzi w szpilkach świerka była niższa niż w szpilkach sosny. Jednoroczne igły *Pinus sylvestris* zawierały od 12 µg Cu/g s.m. („Bukowica”, „Smoleń”) do 48 µg Cu/g s.m. („Segiet”), trzyletnie odpowiednio: 10 µg Cu/g s.m. („Bukowica”, „Lipowiec”) i 56 µg Cu/g s.m. („Segiet”). Zawartość Cu w najmłodszych rocznikach szpilek świerka wahała się w granicach od 4 µg/g s.m. („Bukowica”) do 21 µg/g s.m. („Ostra Góra”, „Segiet”), a w najstarszym roczniku: 4—21 µg Cu/g s.m. Największą ilość miedzi obserwowano w szpilkach



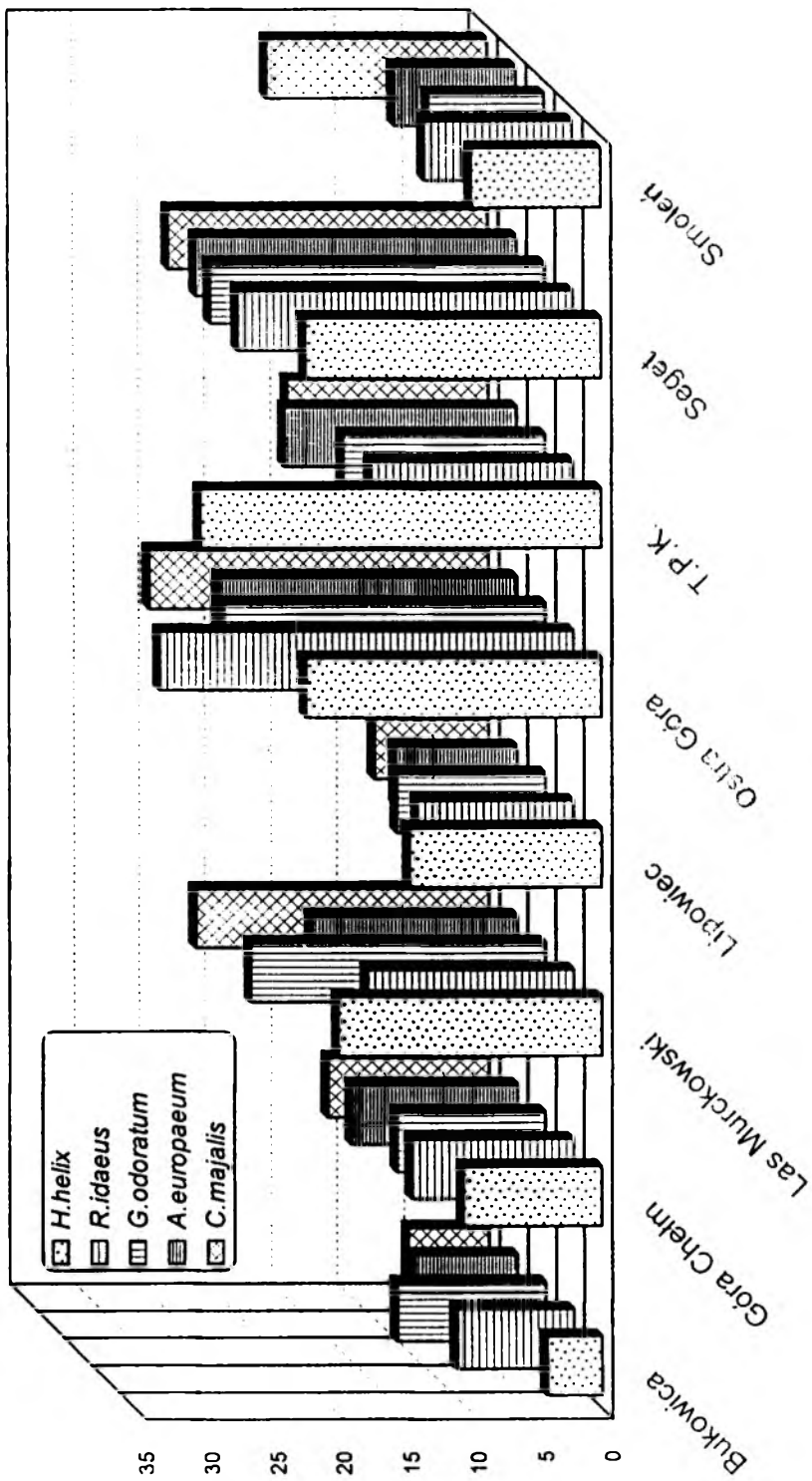
Rys. 32. Zawartość miedzi [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach świerka pospolitego (*Picea abies*)



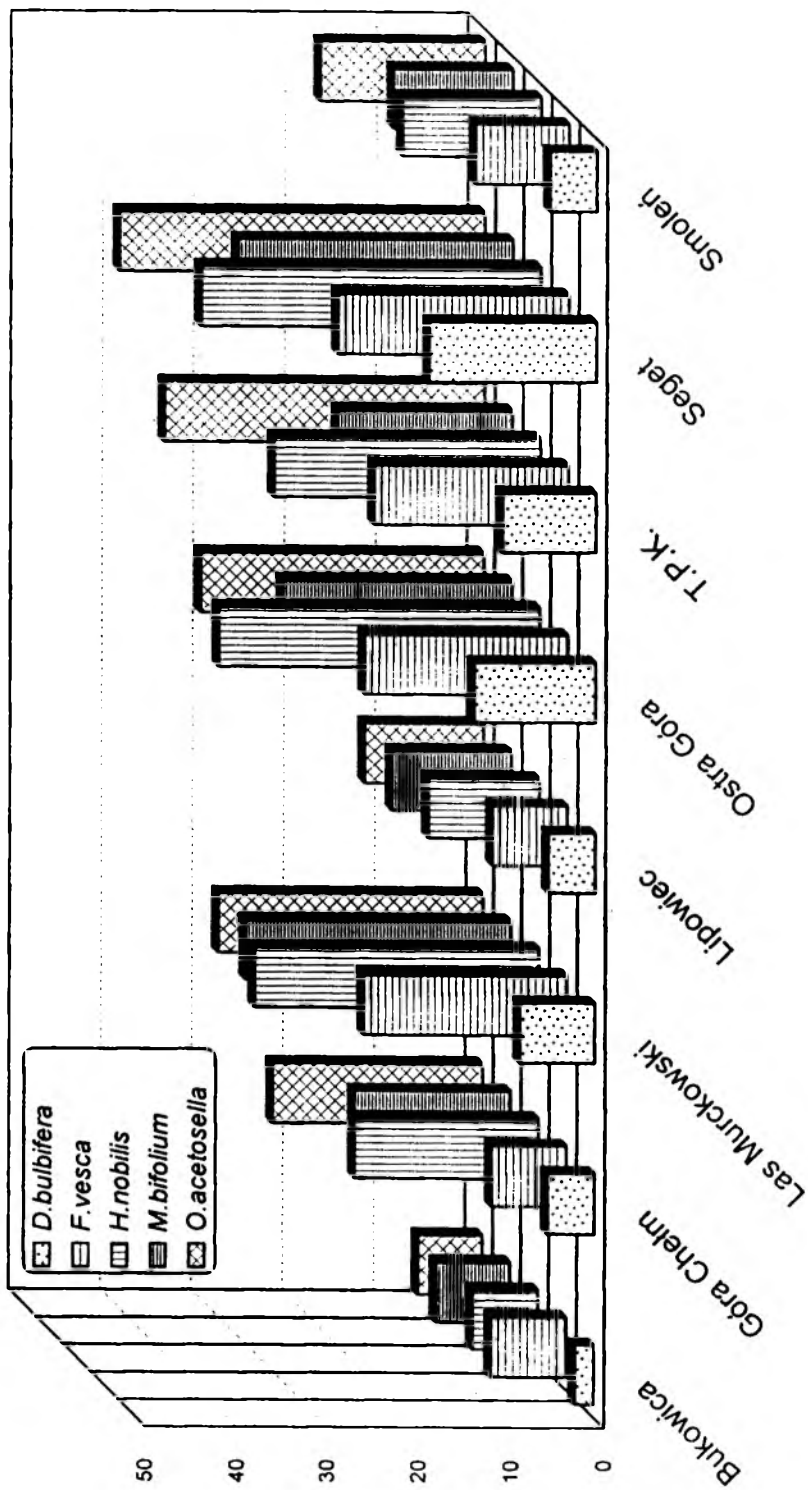
Rys. 33. Zawartość miedzi [ $\mu\text{g/g}$  s.m.] w szpilkach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*)



Rys. 34. Zawartość miedzi [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach drzew i krzewów

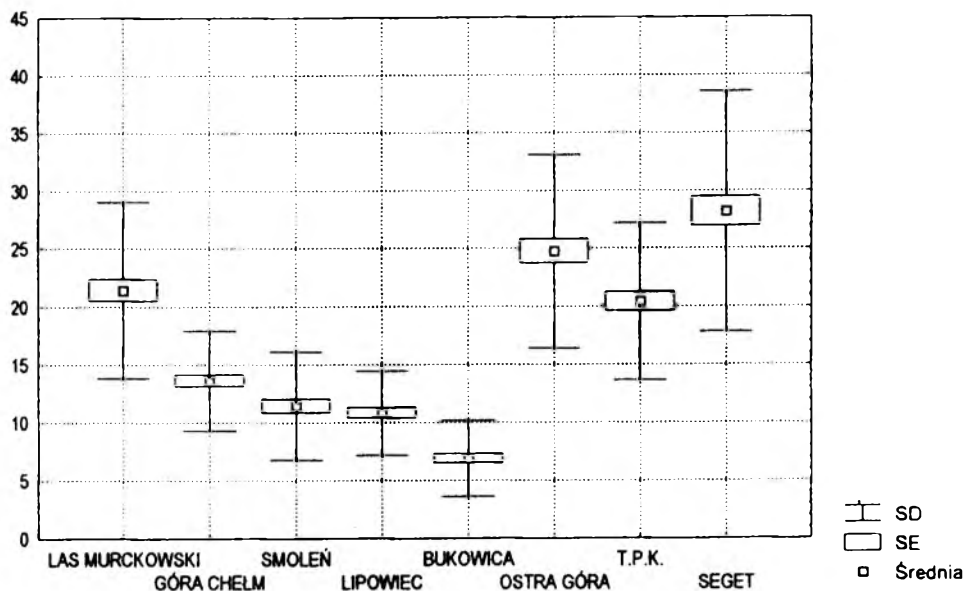


Rys. 35. Zawartość miedzi [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach runa



Rys. 36. Zawartość miedzi [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach runa

pochodzących z rezerwatów „Segiet” i „Ostra Góra” oraz z terenu Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego (rys. 32 i 33).



Rys. 37. Średnia zawartość miedzi [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w materiale roślinnym pochodzącym z badanych rezerwatów

Koncentracja miedzi w liściach drzew wynosiła: 4—24  $\mu\text{g/g s.m.}$  (*Fagus sylvatica*) i 6—38  $\mu\text{g/g s.m.}$  (*Betula pendula*). Jak w przypadku omawianych już szpilek, odnotowana zawartość Cu była najwyższa w materiale rosnącym w „Segiecie”, nieco mniejsza zaś w „Lesie Murckowskim” i „Ostrej Górze” (rys. 34).

W roślinach zielnych badanych gatunków zawartość miedzi kształtowała się w granicach od 2  $\mu\text{g/g s.m.}$  (*Dentaria bulbifera*) do 42  $\mu\text{g/g s.m.}$  (*Oxalis acetosella*). Wysoką zawartością miedzi w liściach, oprócz wymienionego szczawika, charakteryzowały się również: *Asperula odorata*, *Maianthemum bifolium* oraz *Asarum europaeum* (rys. 35—36). Niewielkie zawartości miedzi stwierdzono w liściach *Dentaria bulbifera* i *Hedera helix*. Wszystkie badane gatunki roślin zielnych wykazywały znaczne różnice pod względem zawartości miedzi zależnie od miejsca zbioru materiału.

Porównując zawartości Cu w pierwszym i drugim roku badań zaobserwowano, że w większości badanych różnych roślin zmiany są niewielkie. Dla kilku taksonów obserwuje się spadek zawartości analizowanego metalu w drugim roku badań (Aneks, tab. 12a, b). Obserwuje się natomiast wzrost zawartości miedzi w liściach i szpilkach pochodzących z jesieni, w porównaniu z tym samym materiałem zbieranym wiosną (Aneks, tab. 12b, c).



## Żelazo

Zawartość żelaza w materiale roślinnym pochodzącym z wybranych terenów chronionych województwa śląskiego ilustrują Aneks, tab. 13a, b, c oraz rys. 38—42. Podobnie jak w przypadku miedzi, zawartość żelaza w szpilkach świerka była niższa niż w szpilkach sosny. Jednoroczne igły świerkowe zawierały od 90  $\mu\text{g Fe/g s.m.}$  („Bukowica”, „Smoleń”) do 290  $\mu\text{g Fe/g s.m.}$  („Segiet”), natomiast igły świerkowe pięcioletnie — 90—360  $\mu\text{g Fe/g s.m.}$  (rys. 38). Zawartość tego pierwiastka w jednorocznych szpilkach sosnowych wahała się w granicach 110—380  $\mu\text{g/g s.m.}$  (rys. 39). Największą ilość żelaza odnotowano w materiale pochodzącym z rezerwatu „Segiet”. Nie zaobserwowano zmian w kumulacji Fe w zależności od rocznika szpilek, charakterystycznego w przypadku kadmu i ołowiu.

Zawartość żelaza w liściach drzew mieściła się w granicach 40—230  $\mu\text{g/g s.m.}$  Najwyższa zawartość Fe cechowała liście pochodzące z rezerwatu „Segiet”. W pozostałych rezerwach wartości były zbliżone, zależne jedynie od gatunku (rys. 39).

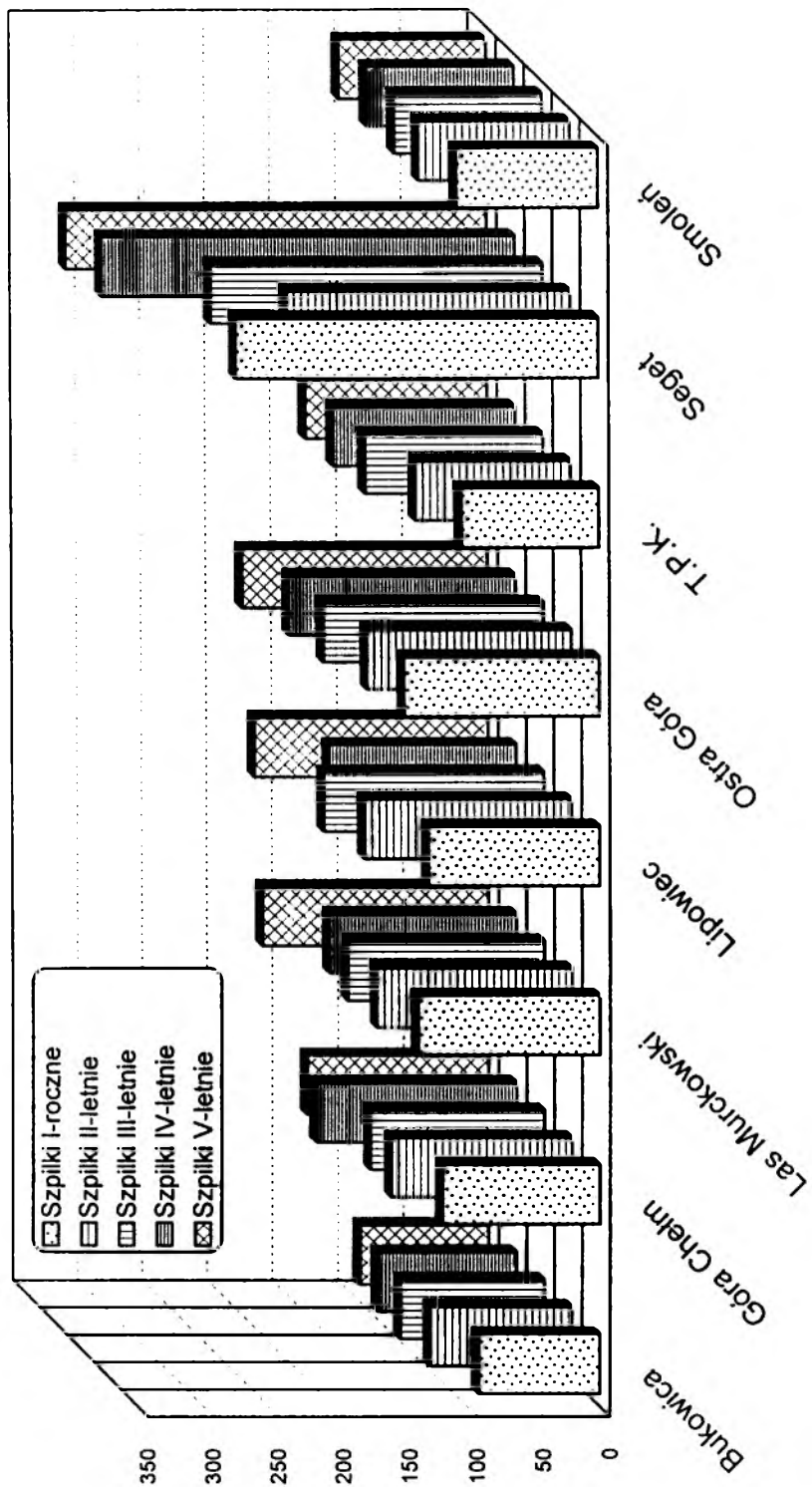
W roślinach zielnych najniższe zawartości żelaza zaobserwowano w liściach roślin pochodzących z rezerwatów: „Smoleń”, „Bukowica” oraz z Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego, natomiast wysoką zawartość odnotowano w materiale pochodzącym z „Ostrej Góry”, „Lipowca” i „Segietu”. Do gatunków charakteryzujących się wyższą zawartością Fe można zaliczyć: *Oxalis acetosella*, *Maianthemum bifolium*, *Dentaria bulbifera* oraz *Galium odoratum* (rys. 41—42).

Największą średnią zawartość żelaza w materiale roślinnym stwierdzono w rezerwacie „Segiet” (232,1  $\mu\text{g/g s.m.}$ ), najmniejszą w „Bukowicy” (94,4  $\mu\text{g/g s.m.}$ ) oraz „Smoleniu” (97,1  $\mu\text{g/g s.m.}$ ). Na rys. 43 przedstawiono średnią zawartość żelaza w szpilkach i liściach roślin pochodzących z rezerwatów oraz parku krajobrazowego.

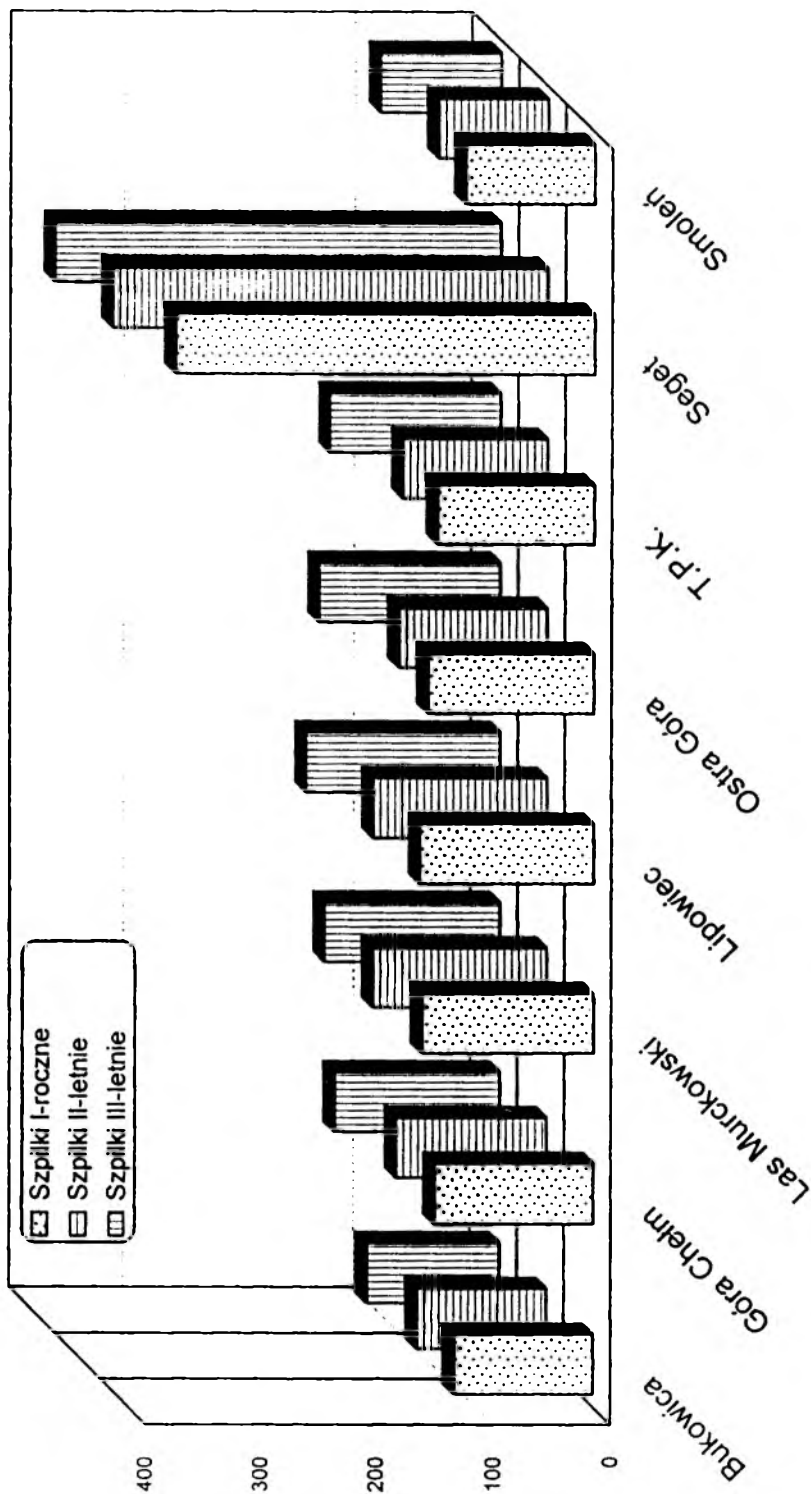
W przypadku większości analizowanych gatunków zmiany w kumulacji Fe w zależności od roku (Aneks, tab. 13a, b) oraz pory zbioru (Aneks, tab. 13b, c) są niewielkie.

## Mangan

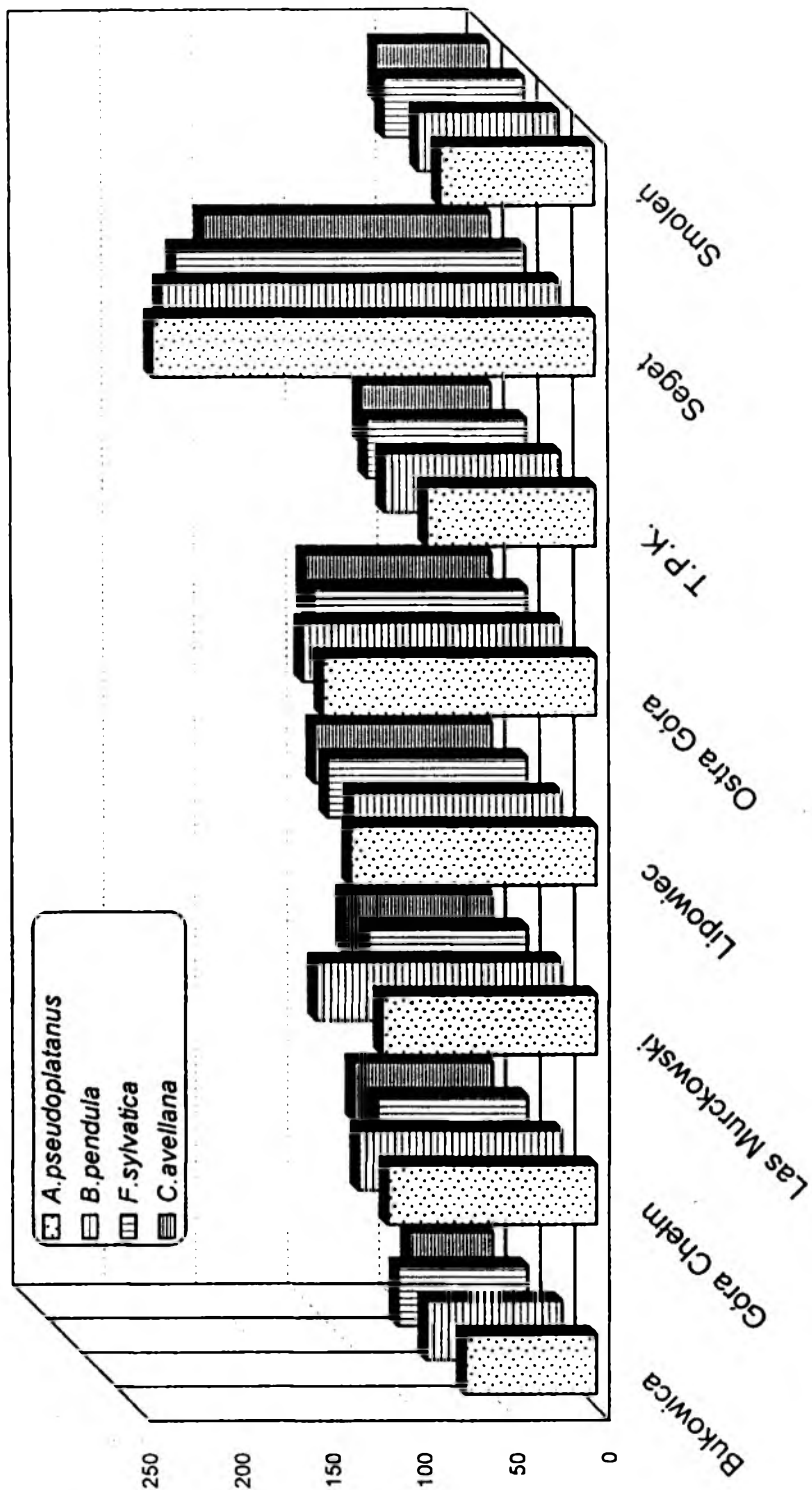
W tab. 14a, b, c oraz na rys. 44—48 przedstawiono zawartości manganu w badanym materiale roślinnym. Średnia zawartość tego pierwiastka w analizowanych roślinach gatunków pochodzących z terenu badań wynosiła około 160—180  $\mu\text{g/g s.m.}$  Rysunek 49 ilustruje średnią zawartość manganu dla materiału roślinnego pochodzącego z badanych terenów chronionych.



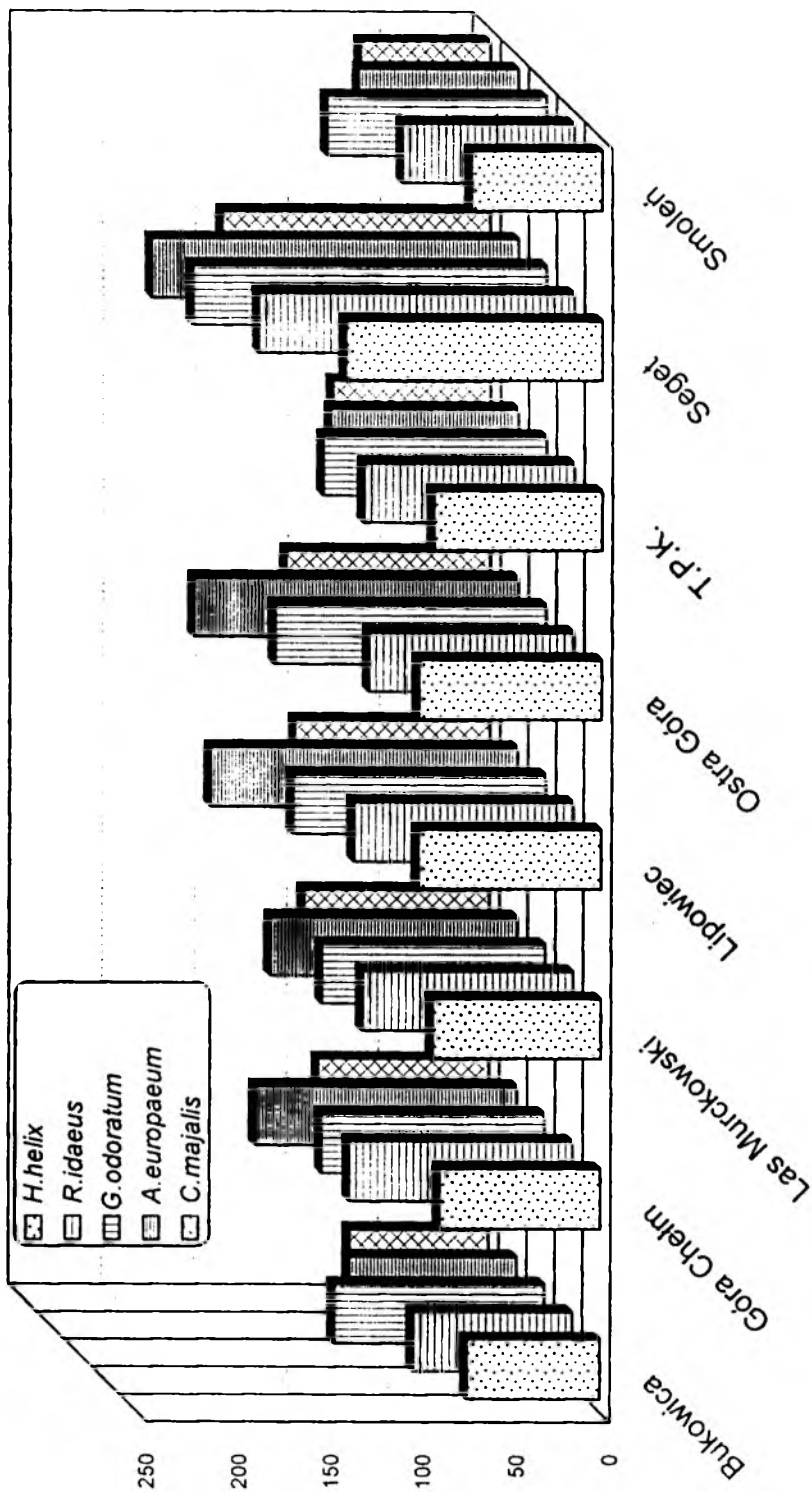
Rys. 38. Zawartość żelaza [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach świerka pospolitego (*Picea abies*)



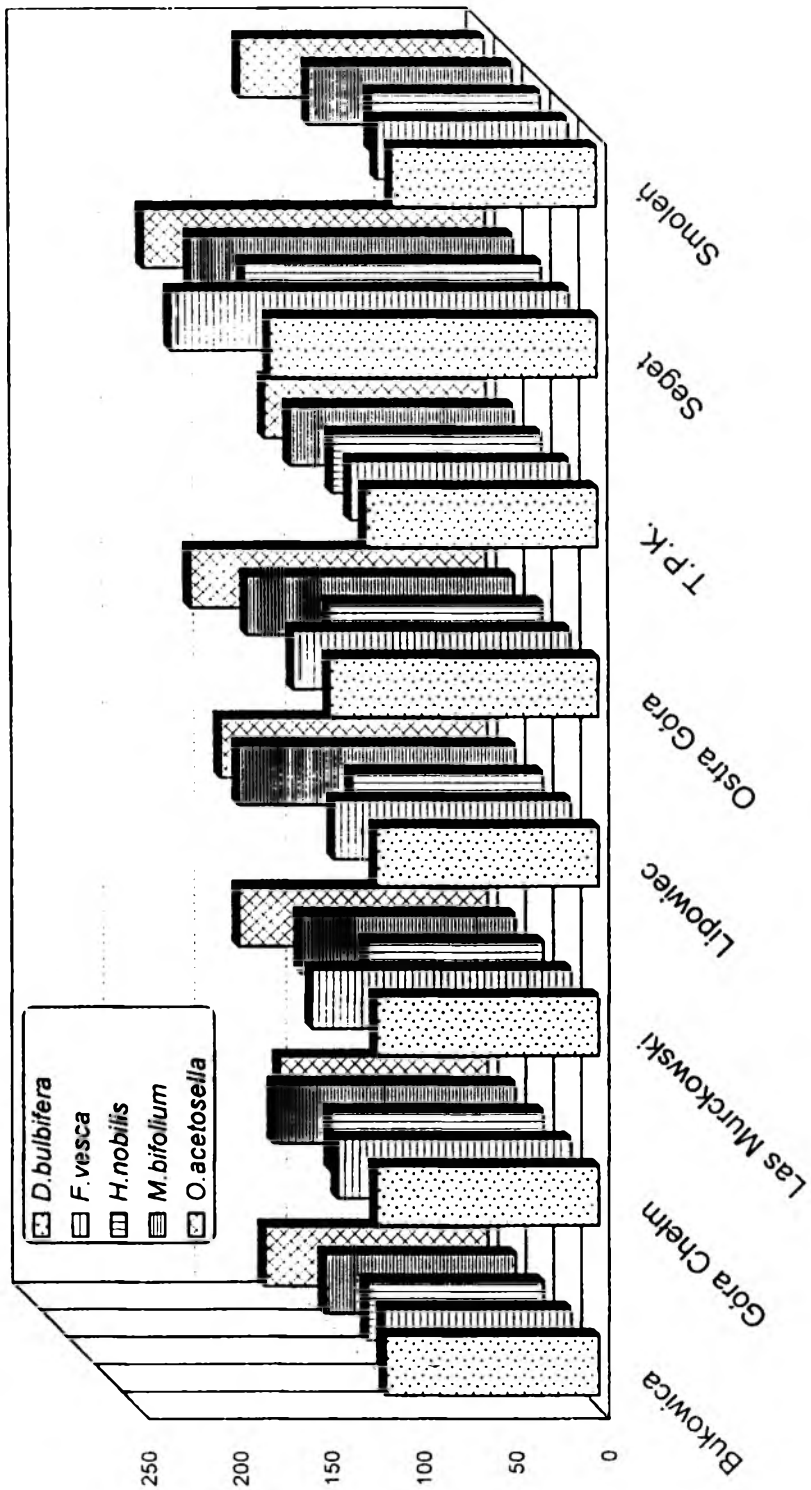
Rys. 39. Zawartość żelaza [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach świerka pospolitego (*Pinus sylvestris*)



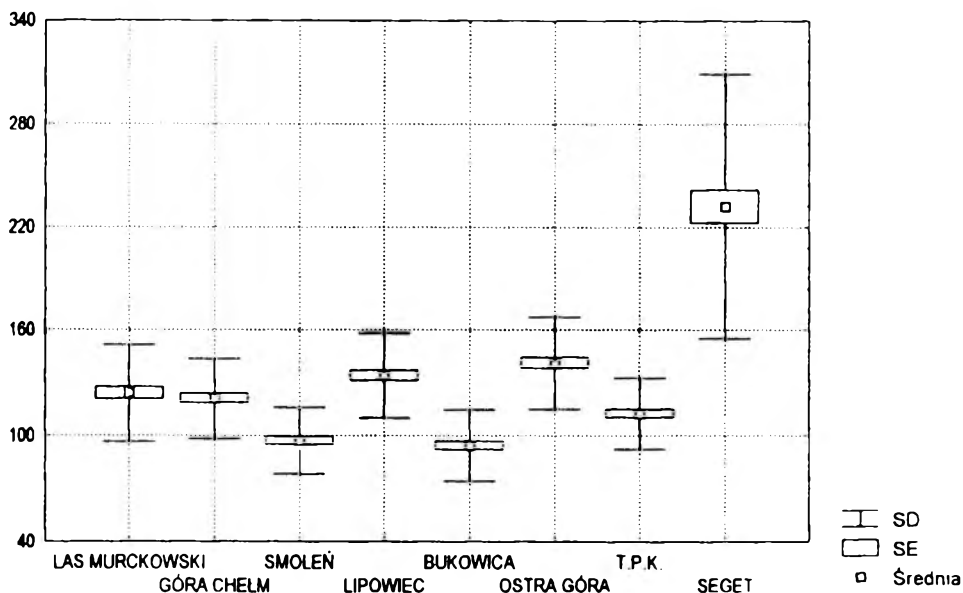
Rys. 40. Zawartość żelaza [µg/g s.m.] w liściach drzew i krzewów



Rys. 41. Zawartość żelaza [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach runa



Rys. 42. Zawartość żelaza [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach runa



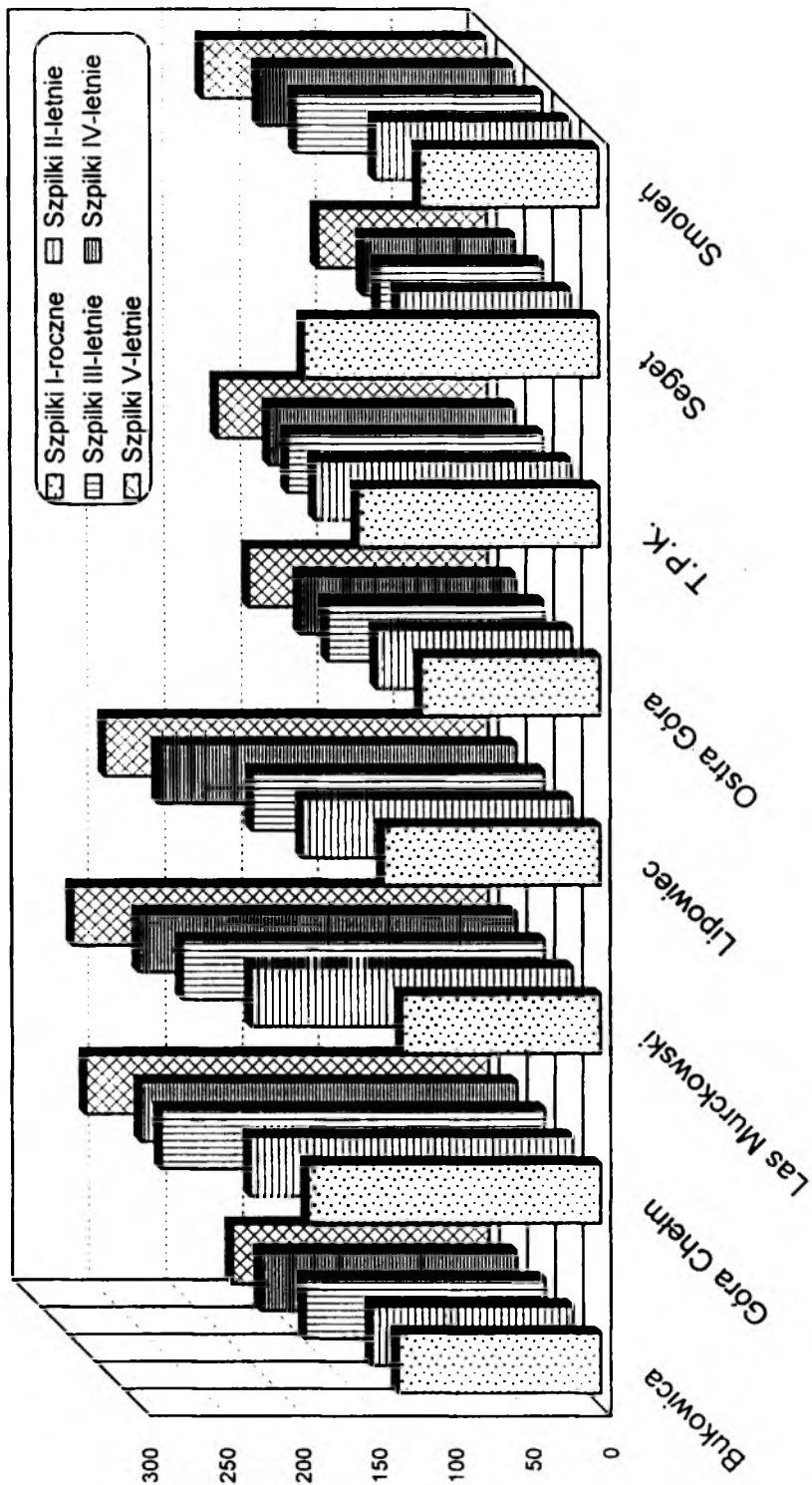
Rys. 43. Średnia zawartość żelaza [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w materiale roślinnym pochodzącym z badanych rezerwatów

Jednoroczne igły *Pinus sylvestris* zawierają od 90  $\mu\text{g Mn/g s.m.}$  w większości rezerwatów do 150  $\mu\text{g Mn/g s.m.}$  („Bukowica”), a igły trzyletnie — 110—60  $\mu\text{gMn/g s.m.}$  (rys. 45). Zawartość tego pierwiastka w najmłodszym roczniku szpilek świerkowych wahała się w granicach od 110  $\mu\text{g/g s.m.}$  w „Smoleniu” i „Lesie Murckowskim” do 200 w rezerwacie „Góra Chełm”, a w najstarszym roczniku — pięcioletnim — od 110  $\mu\text{g/g s.m.}$  („Segiet”) do 280  $\mu\text{g/g s.m.}$  („Las Murckowski”). Porównując zawartość manganu w poszczególnych rocznikach szpilek, można zaobserwować jego wzrost w starszych rocznikach. Wyjątek stanowią szpilki *Picea abies* pochodzące z „Segietu”. W miarę starzenia się szpilek obserwuje się w nich spadek zawartości manganu (rys. 44).

Wśród badanych gatunków drzew największą zawartość manganu stwierdzono w materiale pochodzącym z rezerwatu „Segiet”, najmniejszą w liściach z „Ostrej Góry” oraz Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego. Rośliną, w której odnotowano najniższe wartości Mn w grupie analizowanych, okazała się leszczyna (rys. 46).

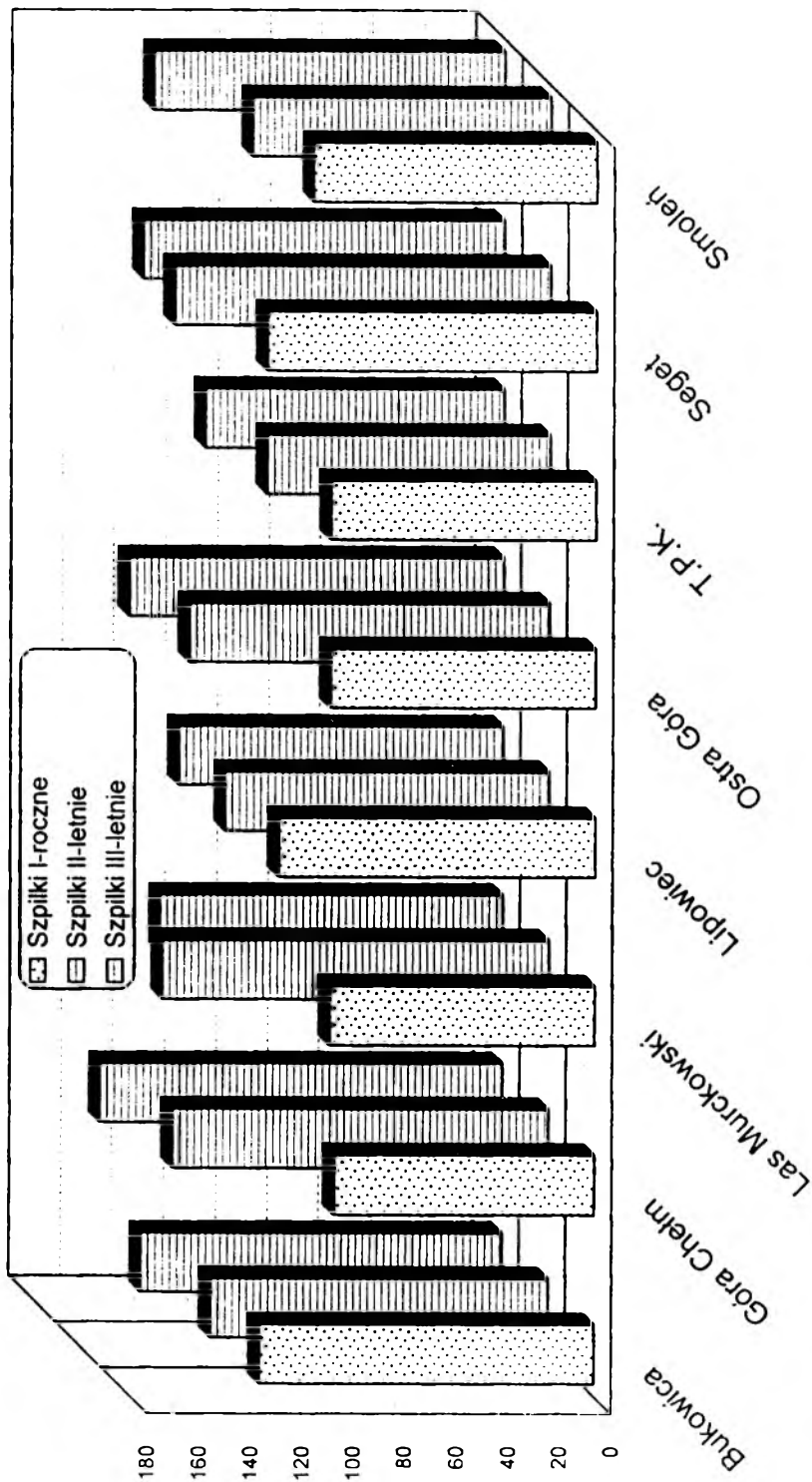
W roślinach zielnych badanych gatunków zawartość manganu zawierała się w przedziale od 70  $\mu\text{g/g s.m.}$  (*Galium odoratum*, *Asarum europaeum*) do 360  $\mu\text{g/g s.m.}$  (*Oxalis acetosella*).

Zawartość manganu w roślinach zielnych nie wykazywała żadnej zależności od miejsca zbioru próbki. Na przykład w liściach *Dentaria bulbifera* z „Bukowicy” stwierdzono 240  $\mu\text{g Mn/g s.m.}$ , a w tym samym materiale z „Segietu” 175  $\mu\text{g Mn/g.}$ , w liściach *Rubus idaeus* odwrotnie — w „Bukowicy” 180  $\mu\text{g Mn/g s.m.}$ , a w „Segiecie” 270  $\mu\text{g Mn/g s.m.}$  (rys. 47—48). Wysoką zawartością

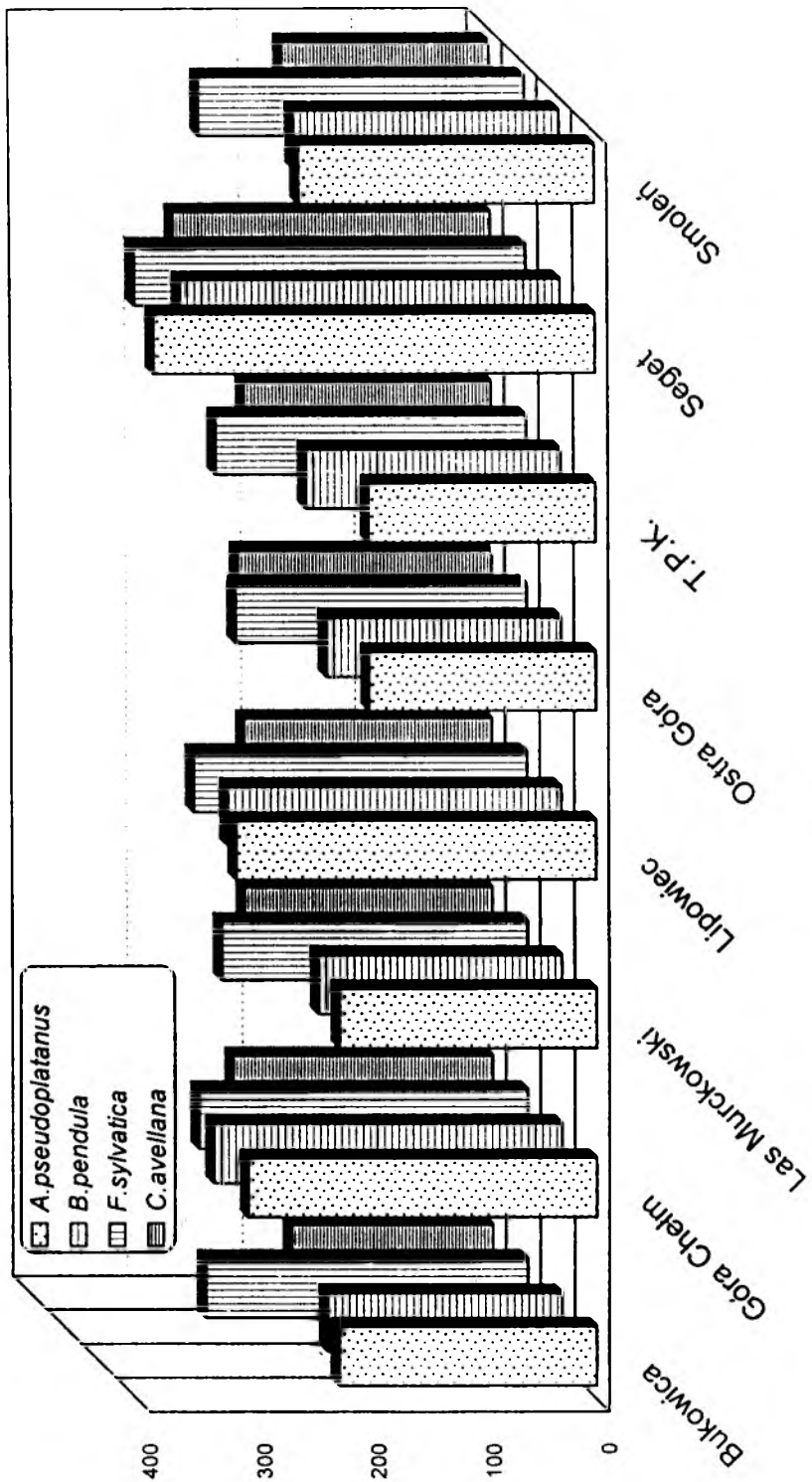


Rys. 44. Zawartość manganu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach świerka pospolitego (*Picea abies*)

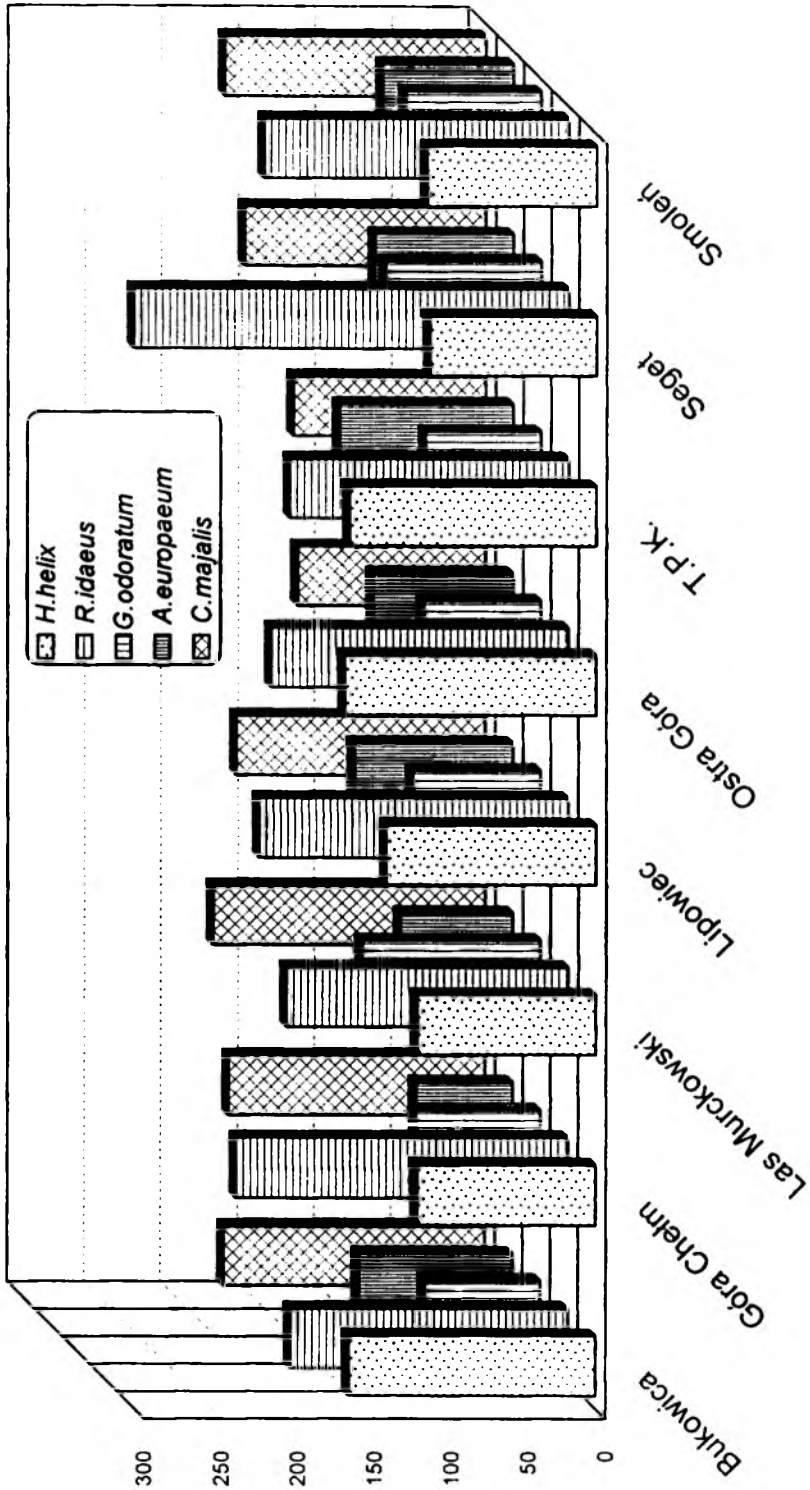




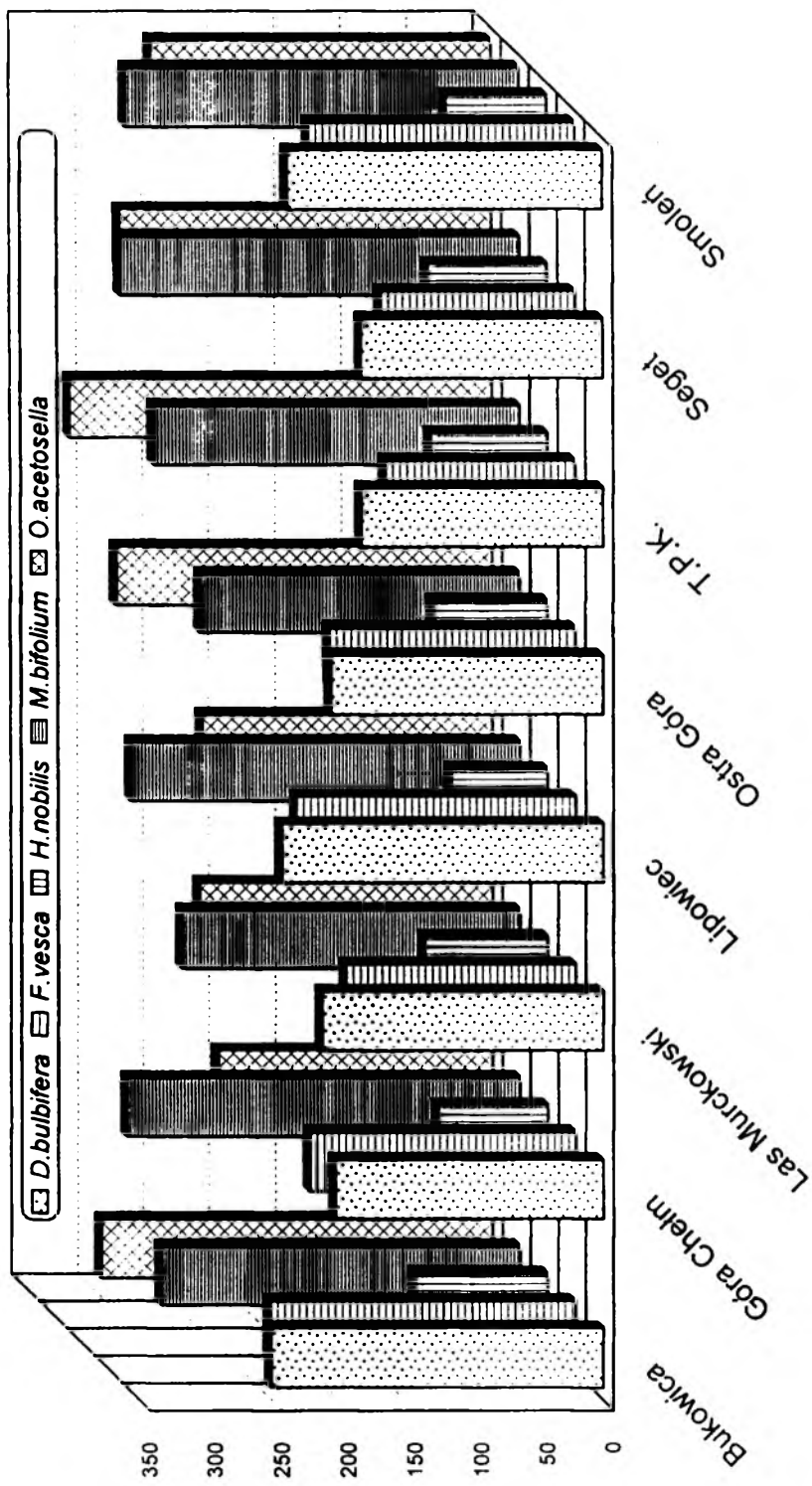
Rys. 45. Zawartość manganu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*)



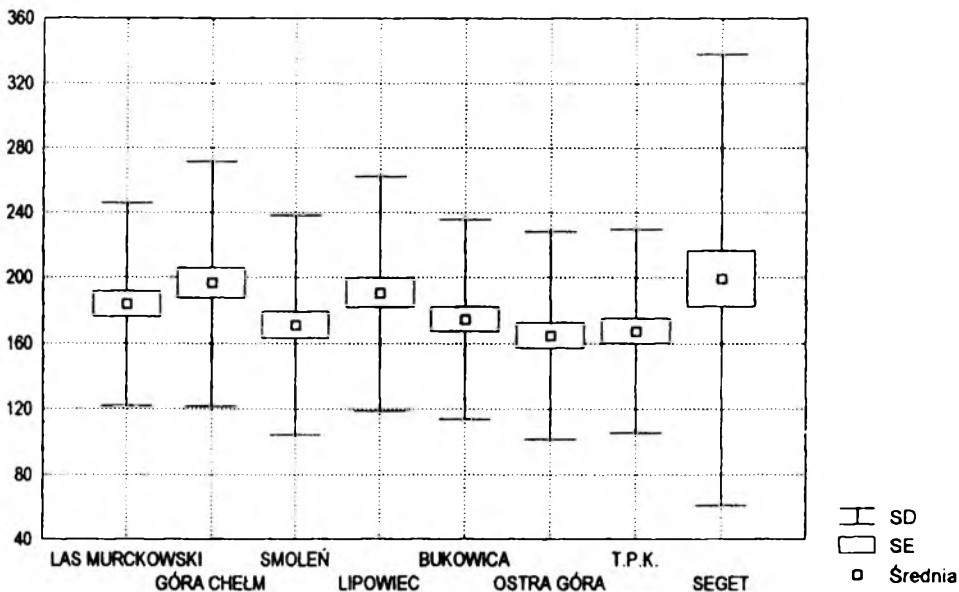
Rys. 46. Zawartość manganu [µg/g s.m.] w liściach drzew i krzewów



Rys. 47. Zawartość manganu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach runa



Rys. 48. Zawartość manganu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach runa



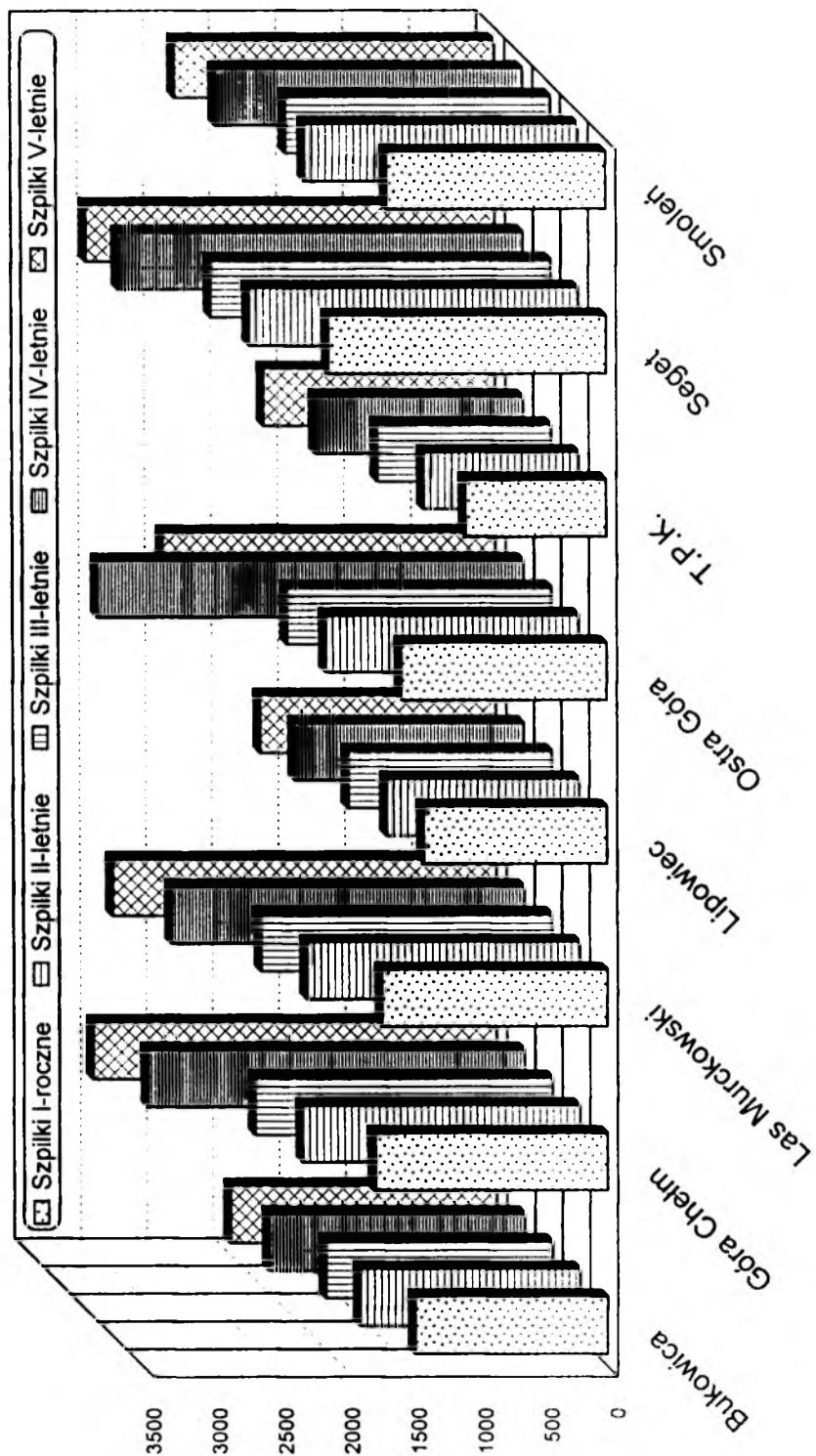
Rys. 49. Średnia zawartość manganu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w materiale roślinnym pochodzącym z badanych rezerwatów

manganu w liściach, oprócz gatunków wcześniej wymienionych, charakteryzowały się również *Oxalis acetosella* i *Maianthemum bifolium*. Niewielkie ilości manganu odnotowano natomiast w liściach *Asperula odorata* oraz *Hepatica nobilis*.

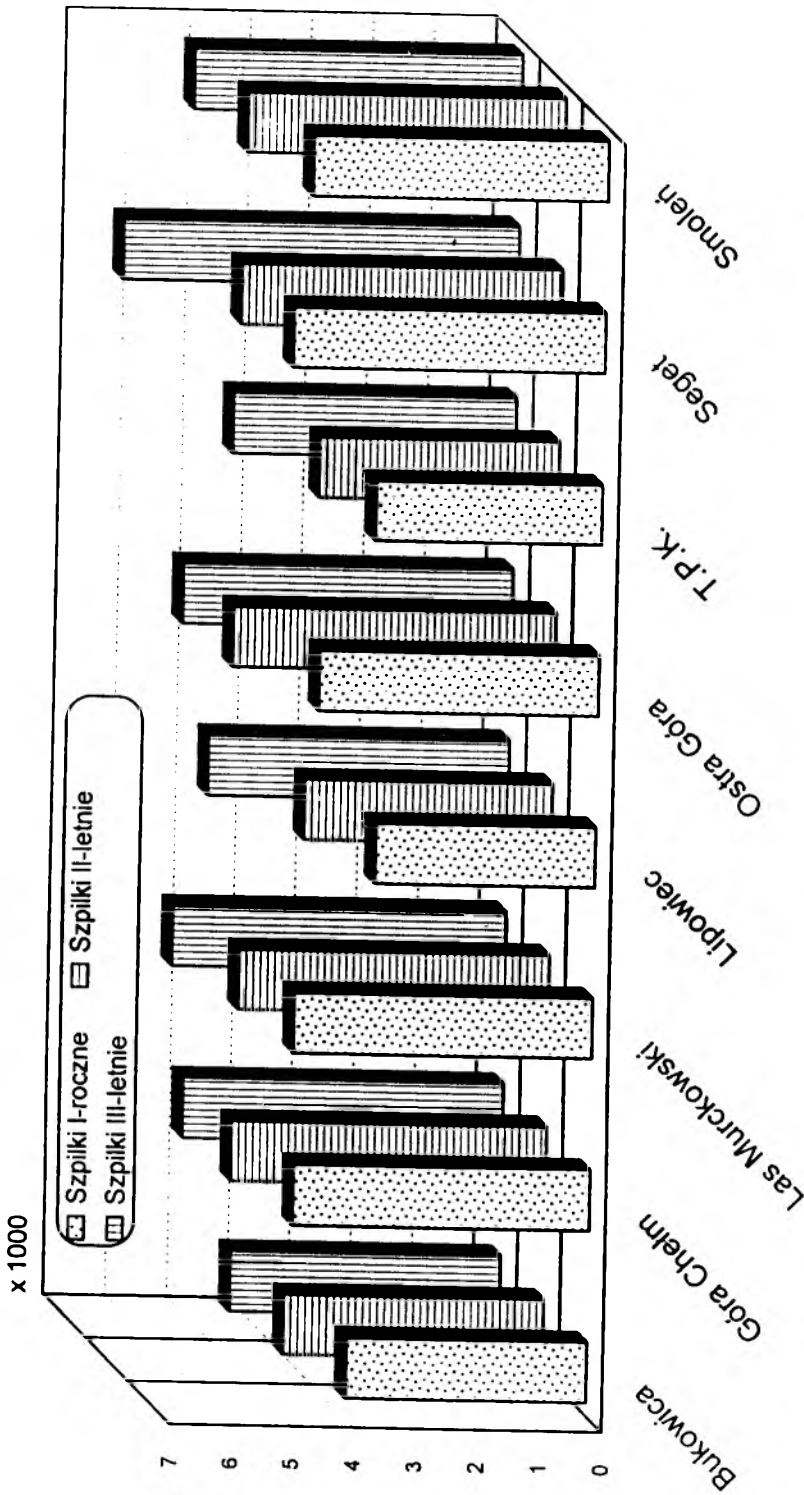
Porównując zawartość manganu w pierwszym i drugim roku badań, w przypadku większości badanych gatunków zmiany są niewielkie; obserwuje się niewielki spadek zawartości w drugim roku badań, głównie w grupie roślin zielnych. W szpilkach i liściach drzew stwierdzono zjawisko odwrotne — wzrost zawartości Mn (Aneks, tab. 14a, b). Odnotowano wzrost zawartości badanego pierwiastka w liściach z jesieni w stosunku do zbieranych wiosną, ale nie jest to regułą. W starszych rocznikach szpilek obserwuje się spadek ilości manganu w miarę starzenia się szpilek (Aneks, tab. 14b, c).

## Siarka

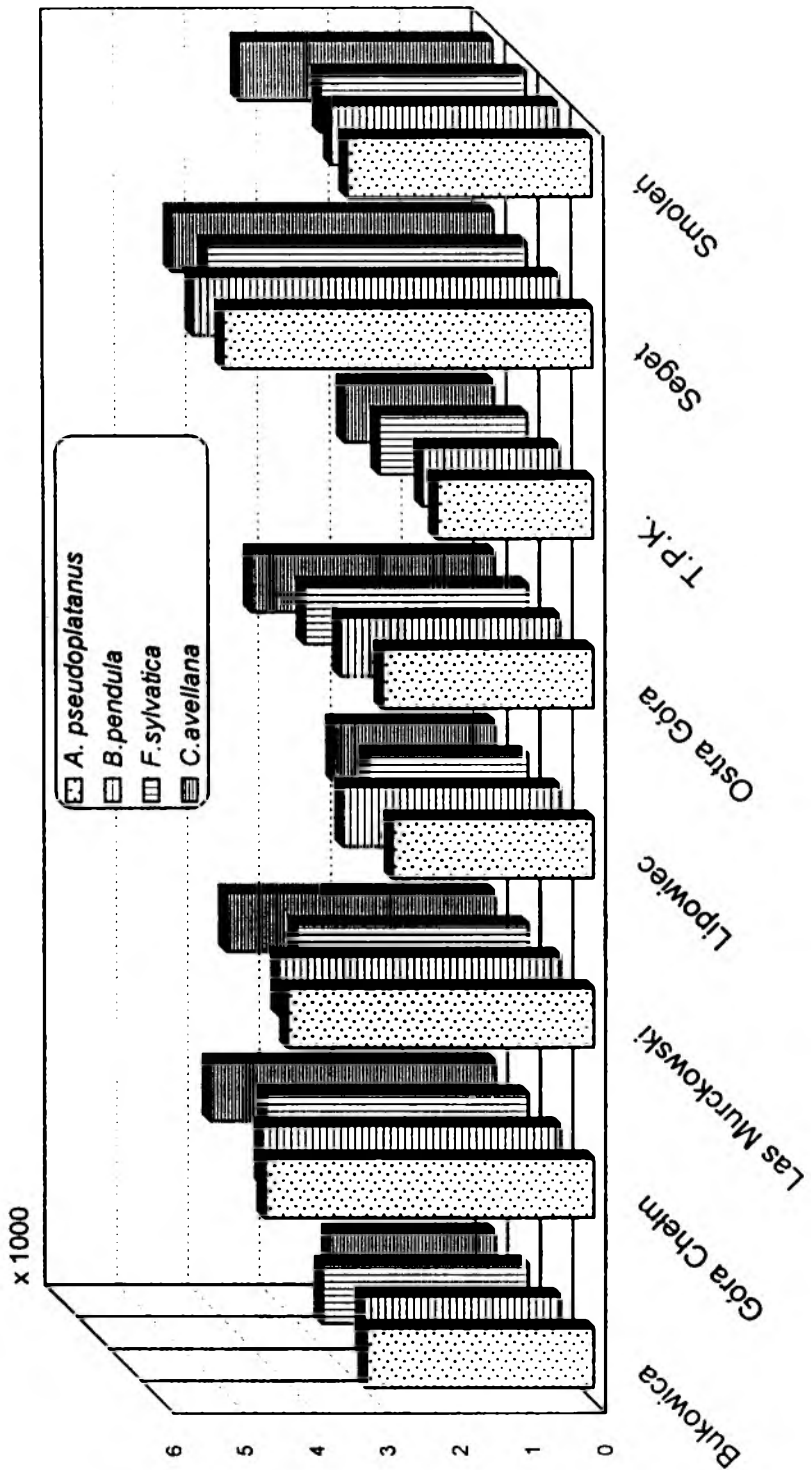
Zawartość siarki w liściach i szpilkach analizowanych gatunków roślin ilustrują Aneks, tab. 15a, b, c oraz rys. 50—54. Największą średnią zawartość siarki, podobnie jak w przypadku innych wcześniej omawianych pierwiastków, stwierdzono w materiale pochodzącym z rezerwatu „Segiet” (3790  $\mu\text{g/g s.m.}$ ), najmniejszą w materiale zbieranym w Tenczyńskim Parku Krajobrazowym (2199  $\mu\text{g/g s.m.}$ ). Wysokie średnie odnotowano również dla „Lasu Murckowskiego” (3199  $\mu\text{g S/g s.m.}$ ) i „Góry Chełm” (3294  $\mu\text{g S/g s.m.}$ ). Rysunek 55 przedstawia wartości średniej zawartości siarki w analizowanych próbkach materiału roślinnego z badanych terenów chronionych.



Rys. 50. Zawartość siarki [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach świerka pospolitego (*Picea abies*)

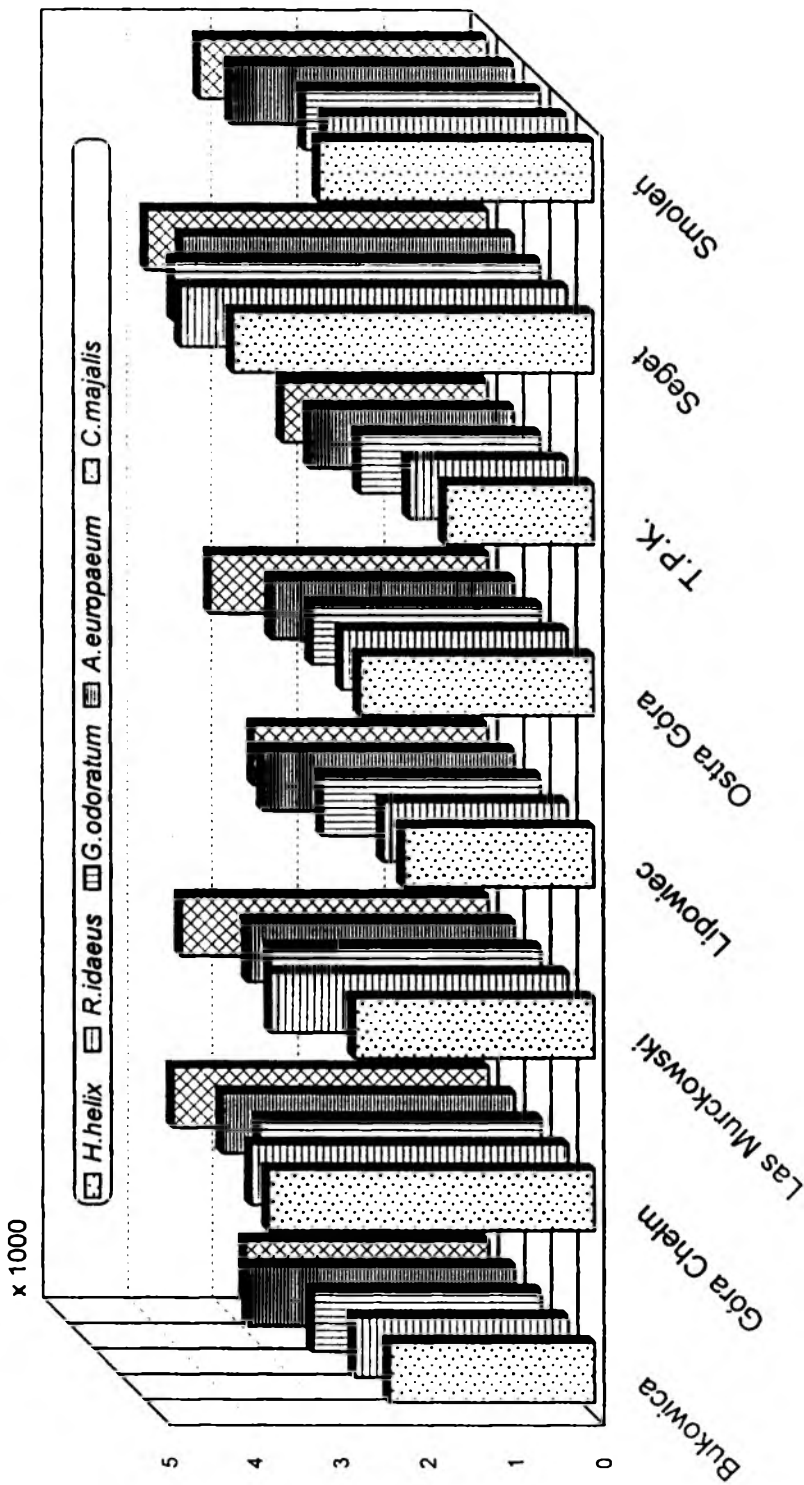


Rys. 51. Zawartość siarki [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*)

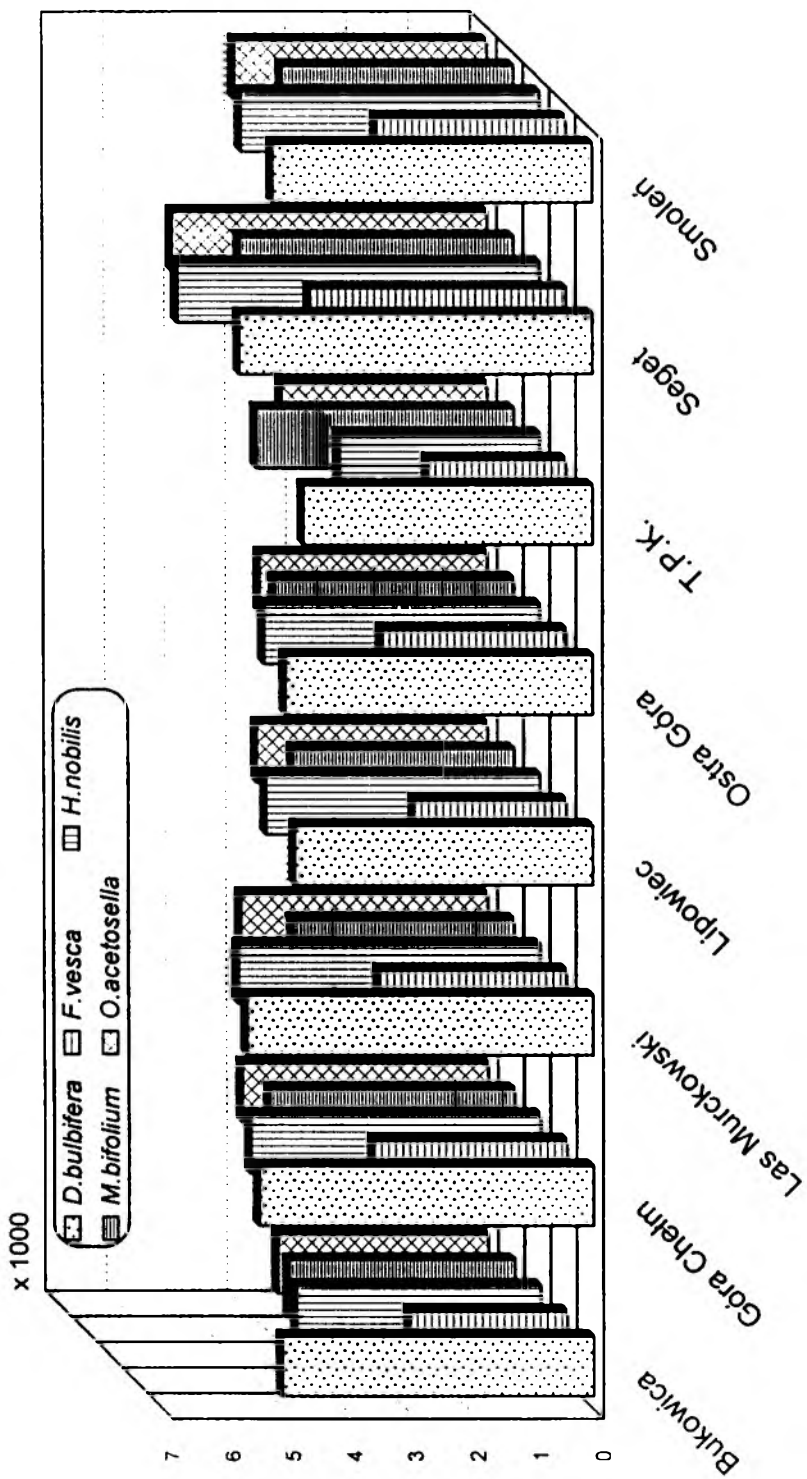


Rys. 52. Zawartość siarki [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach drzew i krzewów

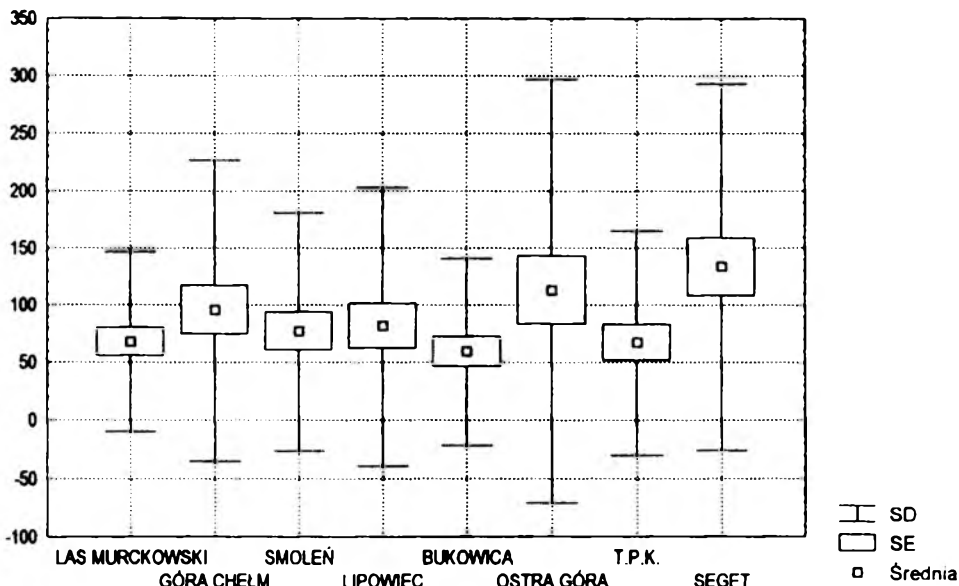




Rys. 53. Zawartość siarki [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach runa



Rys. 54. Zawartość siarki [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w liściach runa



Rys. 55. Średnia zawartość siarki [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w materiale roślinnym pochodzącym z badanych rezerwatów

Zawartość siarki w jednorocznych igłach świerka wynosiła 900–2150  $\mu\text{g/g s.m.}$ , starsze igły na ogół zawierały więcej tego makroelementu. W szpilkach pięcioletnich ilości te osiągały wartości 1600–3100  $\mu\text{g/g s.m.}$  (rys. 50). Podobnie jak w przypadku miedzi i żelaza, zawartość siarki w szpilkach sosny była wyższa niż w szpilkach świerkowych. Kumulacja siarki w najmłodszym roczniku igieł sosnowych zawierała się w granicach 3600–5100  $\mu\text{g/g s.m.}$ , a w igłach trzyletnich 4100–6800  $\mu\text{g/g s.m.}$  (rys. 51). Największe ilości siarki stwierdzono w igłach pochodzących z rezerwatów: „Segiet”, „Góra Chełm” oraz „Ostra Góra”.

Zawartość siarki w liściach drzew wahała się od 1900  $\mu\text{g/g s.m.}$  (*Fagus sylvatica*) do 5300  $\mu\text{g/g s.m.}$  (*Acer pseudoplatanus* i *Betula pendula*). Podobnie jak szpilki, liście pochodzące z rezerwatu „Segiet” cechowały maksymalne ilości siarki. Wysoką zawartość odnotowano w materiale pochodzącym z „Góry Chełm” i „Lasu Murckowskiego” (rys. 52).

W badanych roślinach zielnych zawartość siarki kształtowała się w granicach 1600–5100  $\mu\text{g/g s.m.}$  W liściach *Dentaria bulbifera* odnotowano najwyższe stężenia tego pierwiastka. Wysoką zawartością siarki charakteryzują się również liście *Hepatica nobilis* (rys. 54). W przypadku pozostałych gatunków zawartość siarki była porównywalna, zależna jedynie od miejsca poboru materiału. W roślinach zielnych najniższą zawartość siarki stwierdzono w liściach pochodzących z rezerwatu „Lipowiec” oraz z Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego (rys. 53–54).

Jak wynika z zestawienia zawartości siarki w pierwszym i drugim roku badań, podobnie jak dla omawianego wcześniej manganu, zmiany są nie-

wielkie. Dla kilku taksonów obserwuje się niewielki spadek zawartości siarki w drugim roku badań, głównie w grupie roślin zielnych oraz drzew szpilkowych (Aneks, tab. 15a, b). Widoczny jest wzrost zawartości badanego pierwiastka w liściach i szpilkach z jesieni w porównaniu z odpowiednim materiałem zbieranym wiosną, ale nie jest to regułą (Aneks, tab. 15b, c).

Tabela 5.2

Analiza wariancji dla różnic skażeń między kolejnymi sezonami  
wiosna 1993 r. — wiosna 1994 r.

Nazwa rezerwatu	Cd	Pb	Zn	Cu	Fe	Mn	S
Bukowica	+	+			+	+	
Góra Chełm	+	+	+	+		+	
Las Murckowski		+		+		+	+
Lipowiec		+	+			+	
Ostra Góra	+	+	+	+	+	+	+
Tenczyński Park Krajobrazowy	+			+		+	+
Segiet	+	+	+	+			
Smoleń	+					+	+

+ — różnica od średniej z badanych powierzchni, statystycznie istotna na poziomie  $p \leq 0,001$ .

Tabela 5.3

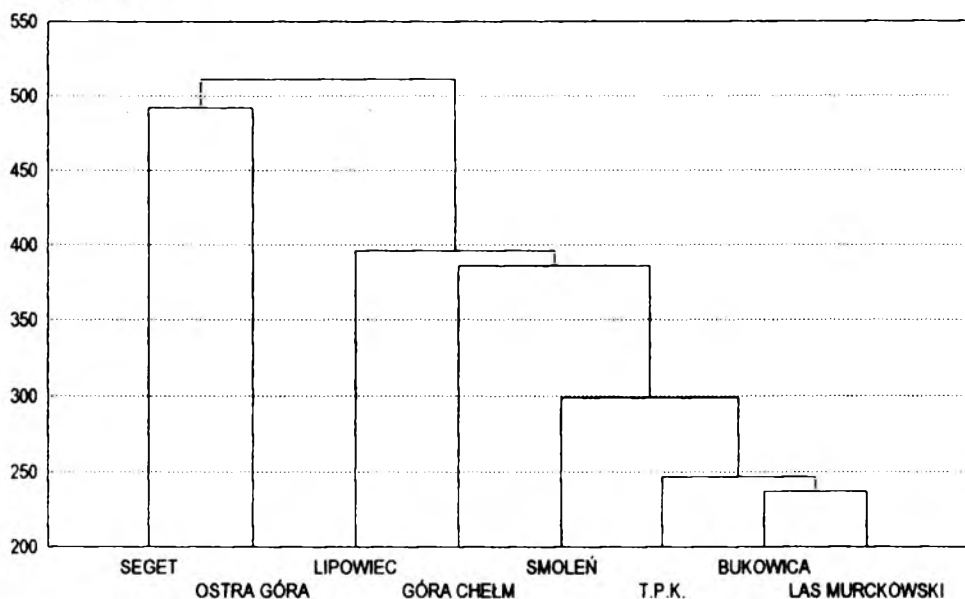
Analiza wariancji dla różnic skażeń między fazami fenologicznymi  
wiosna — jesień 1994 r.

Nazwa rezerwatu	Cd	Pb	Zn	Cu	Fe	Mn	S
Bukowica	+	+	+			+	
Góra Chełm	+	+	+			+	
Las Murckowski	+	+	+	+		+	+
Lipowiec	+	+	+			+	
Ostra Góra	+	+	+		+		
Tenczyński Park Krajobrazowy	+	+	+				+
Segiet	+	+	+	+	+		
Smoleń	+	+	+		+		

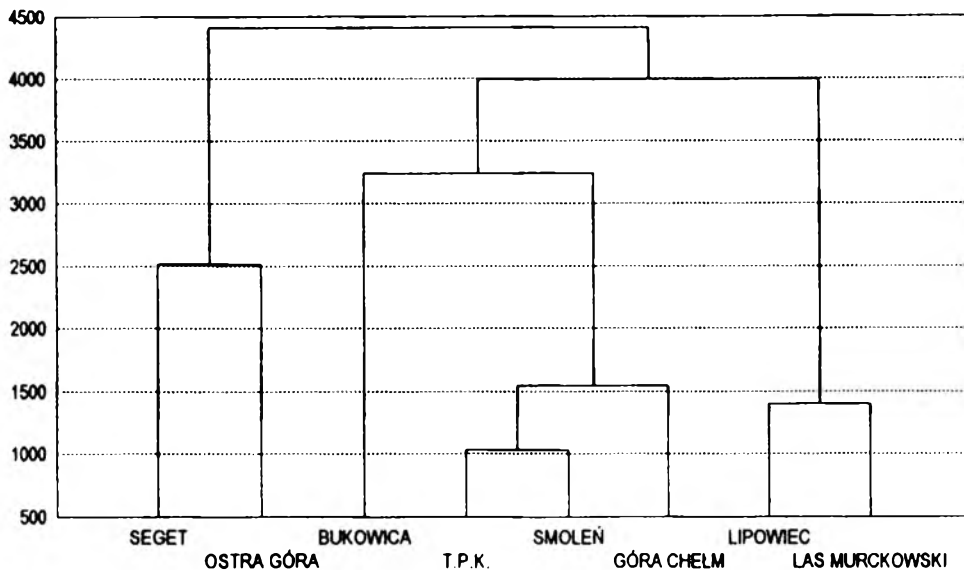
+ — różnica od średniej z badanych powierzchni, statystycznie istotna na poziomie  $p \leq 0,001$ .

Wyniki przeprowadzonej analizy wariancji oraz testu-*t* dotyczące zawartości analizowanych pierwiastków w liściach i szpilkach zestawiono w tab. 5.2 i 5.3. W tabeli 5.2 przedstawiono różnice w zawartości określonego pierwiastka w badanych roślinach w układzie zmian ilości między kolejnymi latami badawczymi: wiosna 1993 — wiosna 1994. Tabela 5.3 ilustruje podobne zależności, ale uwzględniające zmienność fenologiczną zawartości badanych elementów: wiosna 1994 — jesień 1994. W obu tabelach istotne statystycznie różnice dla obliczonej analizy wariancji zaznaczono symbolem „+”.

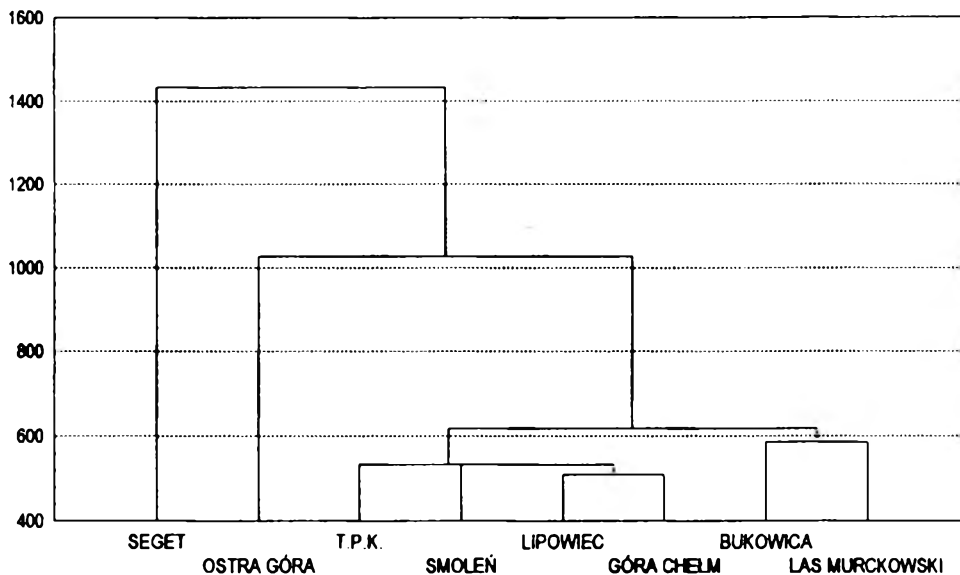
Wykorzystując analizę skupień z zastosowaniem metody prostych połączeń oraz z zachowaniem norm euklidesowych (MAREK, 1989), wykonano dendrogramy ukazujące podobieństwa rezerwatów w przypadku wybranych analizowanych cech (zawartość pierwiastków): w atmosferze (rys. 56), glebie (rys. 57), roślinach (rys. 58) oraz sumaryczny (atmosfera, gleba, rośliny) — rys. 59.



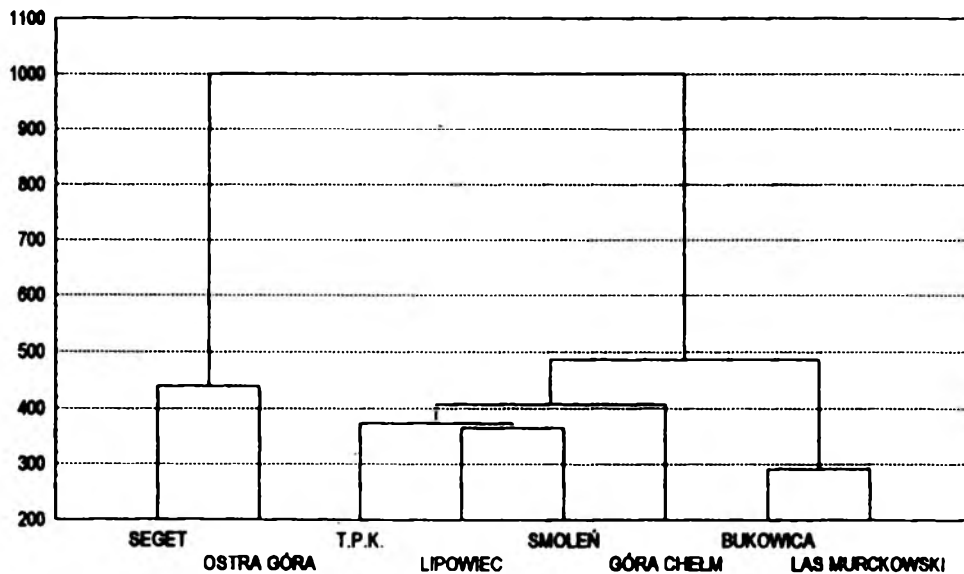
Rys. 56. Podobieństwo badanych rezerwatów na podstawie zawartości ksenobiontów (pył — metale ciężkie — SO<sub>2</sub>)



Rys. 57. Podobieństwo badanych rezerwatów na podstawie zawartości metali ciężkich i siarki w glebie



Rys. 58. Podobieństwo badanych rezerwatów na podstawie zawartości metali ciężkich i siarki w materiale roślinnym



Rys. 59. Podobieństwo badanych rezerwatów na podstawie zawartości metali ciężkich i siarki w glebie, materiale roślinnym oraz atmosferze

## 6. Dyskusja wyników

Na podstawie danych Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Katowicach oraz danych z punktów pomiarowych położonych w najbliższym sąsiedztwie badanych terenów należy stwierdzić, że zawartość metali ciężkich — ołowiu i kadmu — w opadającym pyłe w większości rezerwatów nie przekracza dopuszczalnych norm dla terenów specjalnie chronionych. Przekroczenia występują jedynie w rezerwacie „Segiet”; wiąże się to z niewielką odległością tego obiektu (około 10 km) od dwóch zakładów emitujących znaczne ilości pyłów metalonośnych — Huty Cynku „Miasteczko Śląskie” oraz Zakładu Górniczo-Hutniczego „Orzeł Biały”. Duże ilości cynku zaobserwowane w pyłe z rezerwatu „Ostra Góra” niewątpliwie są efektem oddziaływania pobliskich Zakładów Metalurgicznych „Trzebinia” oraz Zakładu Surowców Ogniotrwałych „Górka”.

We wszystkich rezerwach przekroczona jest dopuszczalna średnioroczna zawartość dwutlenku siarki w powietrzu ( $11 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{rok}$ ), co związane jest z występowaniem dużej liczby emitorów  $\text{SO}_2$ , tzn. elektrowni i elektrociepłowni, oraz możliwościami przemieszczania się zanieczyszczeń gazowych na znaczne odległości.

Odnotowane skażenie atmosfery  $\text{SO}_2$  ( $39\text{—}68 \text{ mg}/\text{m}^3$ ) oraz opad pyłu w badanych rezerwach ( $76\text{—}228 \text{ g}/\text{m}^2/\text{rok}$ ) są o wiele niższe od podawanych dla różnych miejscowości województwa katowickiego, ale znacznie przekraczają stężenia przytaczane z terenów chronionych i specjalnie chronionych położonych w innych rejonach Polski (ROZNIK STATYSTYCZNY WOJ. KATOWICKIEGO, 1994).

W roku 1993 na terenie Wielkopolskiego Parku Narodowego, uznawanego za najbardziej narażony na opad pyłu, wartość opadającego pyłu wynosiła  $80 \text{ g}/\text{m}^2/\text{rok}$ . W tym samym roku w Ojcowskim Parku Narodowym odnotowano  $35 \text{ g}/\text{m}^2/\text{rok}$ , w Białowieskim Parku Narodowym  $15 \text{ g}/\text{m}^2/\text{rok}$ , a w Wigierskim Parku Narodowym —  $11 \text{ g}/\text{m}^2/\text{rok}$  (OCHRONA ŚRODOWISKA, 1995). Stężenie siarki w przeliczeniu na dwutlenek siarki w atmosferze



z obszaru Bieszczadzkiego Parku Narodowego dochodzi do 17,9 g/m<sup>2</sup>/dobę, przy opadzie pyłu 36 g/m<sup>2</sup>/rok. Z terenu Gorczańskiego Parku Narodowego podawane stężenia dwutlenku siarki dochodzą do 5,05 mg/m<sup>2</sup>/dobę, a w Białowieskim Parku Narodowym wynoszą 5,5 mg/m<sup>2</sup>/dobę, natomiast w Wielkopolskim Parku Narodowym — 22 mg/m<sup>2</sup>/dobę (OCHRONA ŚRODOWISKA, 1995). Z kolei z miejscowości położonych w pobliżu rezerwatów Zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych podawane są stężenia SO<sub>2</sub> — 20 g/m<sup>2</sup>/rok dla Janowa oraz 13 g/m<sup>2</sup>/rok dla Olsztyna, przy opadzie pyłu 50 g/m<sup>2</sup>/rok.

O ile skażenie atmosfery badanych rezerwatów na tle województwa prezentuje się najgorzej, o tyle w porównaniu z terenami specjalnie chronionymi innych obszarów Polski wypada źle.

W wyniku działalności człowieka spośród wszystkich elementów środowiska trwałemu zanieczyszczeniu najwolniej ulega gleba, ale proces ten jest praktycznie nieodwracalny na przestrzeni życia wielu pokoleń. Degradacja chemicznych właściwości gleb wiąże się z dwoma głównymi procesami: zakwaszeniem (na terenie województwa śląskiego problem mało istotny, ponieważ dominuje opad pyłów alkalicznych) oraz ze wzrostem zawartości pierwiastków śladowych, w tym metali ciężkich, których źródłem są procesy przemysłowe. Długotrwała emisja stwarza groźbę nieodwracalnych zmian składu chemicznego gleby. Zwiększenie ilości niektórych elementów w glebie stymuluje lub antagonizuje inne składniki. O szkodliwości pierwiastków śladowych wprowadzanych do gleby decyduje zarówno ich wpływ na procesy glebowe, jak i stopień ich przyswajalności przez rośliny. Intensywność pobierania pierwiastków przez rośliny jest uzależniona od ich rozpuszczalności w roztworach glebowych, co wiąże się z mineralnym składem gleby, ilością związków organicznych, potencjałem oksydacyjno-redukcyjnym oraz stężeniem jonów wodorowych.

Gdy pH gleb jest niskie, przeważają kationowe formy metali ciężkich, a także ich związki organiczno-mineralne, wpływające na łatwą migrację tych pierwiastków w głąb gleby oraz ułatwiające ich dostępność dla roślin. Natomiast w glebach alkalicznych lub słabo kwaśnych powstają trudno rozpuszczalne związki o słabej aktywności i w niewielkim stopniu dostępne dla roślin.

Emitowane przez przemysł zanieczyszczenia powietrza wywierają wpływ na otaczające środowisko, szczególnie na roślinność i glebę. W skład zanieczyszczeń wchodzi znaczna ilość pierwiastków (Ca, Mg, Mn, S, Fe, Cu, Zn i in.), które roślina może wykorzystać w procesie wzrostu. Można więc niektóre składniki zanieczyszczenia powietrza traktować jako elementy podnoszące żyzność gleby. Często jednak ilość emitowanych substancji jest za duża dla danego organizmu, a forma związku lub sam związek są toksyczne dla roślin.

Zawarte w atmosferze pyły z metalami ciężkimi dostają się do gleby oraz opadają na nadziemne części roślin. Rośliny pobierają metale ciężkie zarówno przez system korzeniowy, jak i bezpośrednio przez blaszki liściowe.

Do normalnego rozwoju i wzrostu roślin niezbędne są niektóre pierwiastki śladowe, a mianowicie: mangan, cynk, miedź czy bor. Rola pozostałych pierwiastków śladowych nie jest jeszcze w pełni poznana; do tychczas nie udowodniono, że są one niezbędne wszystkim roślinom wyższym.

W naturalnych warunkach zawartość pierwiastków śladowych w roślinach uzależniona jest od gatunku czy nawet odmiany. Jest ona zmienna w różnych częściach roślin i zależy od fazy fenologicznej. Rośliny pobierają z gleby pierwiastki śladowe proporcjonalnie do ich stężenia w podłożu glebowym, ale proces ten regulowany jest przez wiele czynników. Intensywność pobierania pierwiastków śladowych przez rośliny zależy także od specyficznych właściwości pierwiastka, np. kadm jest łatwiej pobierany z podłoża niż ołów, natomiast pobieranie cynku jest wyraźnie zróżnicowane w zależności od zawartości w glebie przyswajalnego cynku i od pH gleby.

## Kadm

Naturalna zawartość kadmu w glebach zależy w dużym stopniu od występowania tego pierwiastka w skałach macierzystych. Przeciętnie dla gleb Polski wynosi ona 0,2  $\mu\text{g/g}$  gleby. KABATA-PENDIAS, PENDIAS (1993) podają dla różnych gleb Polski następujące wartości: 0,01—0,24  $\mu\text{g Cd/g}$  dla gleb piaszczystych; 0,08—0,96  $\mu\text{g Cd/g}$  dla gleb brunatnych. GASZ (1996) w glebie pochodzącej z rezerwatu „Nieznanowo” w Puszczy Białowieskiej odnotowuje 0,2  $\mu\text{g Cd/g}$ , natomiast PANEK i in. (1996) w Gorczańskim Parku Narodowym stwierdzili 0,6—0,9  $\mu\text{g Cd/g}$  w górnej warstwie gleby. CIEPAŁ, RYCMAN (1996) podają z Roztoczańskiego Parku Narodowego 0,5—1,5  $\mu\text{g Cd/g}$  gleby. PANEK (1991) stwierdziła w glebach Beskidu Śląskiego i Żywieckiego 1—2  $\mu\text{g Cd/g}$ . Z terenów Zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych, z części położonej w byłym województwie częstochowskim, ŚLĘZAŃSKI (1995) podaje do 3,6  $\mu\text{g Cd/g}$  w górnym poziomie gleb.

Zawartość kadmu w glebach zanieczyszczonych dochodzi nieraz do bardzo wysokich stężeń. CIEPAŁ (1992) dla gleb wschodniej części województwa śląskiego podaje 13—51,3  $\mu\text{g Cd/g}$ , natomiast LOREK (1993) dla gleb pochodzących z okolic huty cynku — 71  $\mu\text{g Cd/g}$ . Maksymalne dopuszczalne zawartości kadmu w glebach polskich użytkowanych rolniczo ustalono na poziomie 5  $\mu\text{g Cd/g}$ , w Belgii 3  $\mu\text{g Cd/g}$ , a w Kanadzie — 8  $\mu\text{g Cd/g}$  (PIOTROWSKA, 1989).

Zawartość kadmu w górnym poziomie gleb (0—10 cm) badanych rezerwatów wynosiła 2—25  $\mu\text{g/g}$ . Szczególnie zagrożony tym metalem wydaje się rezerwat „Segiet”, w którym zawartość kadmu dochodzi do wartości spotykanych na terenach silnie uprzemysłowionych. Stosunkowo duża zawartość tego pierwiastka w głębszych warstwach (Aneks, tab. 1), przy znanej powolnej migracji w głąb profilu glebowego, może świadczyć o tym, że presja na ten

teren utrzymuje się od dawna. Największe ilości kadmu występują w wierzchnich warstwach gleb. Wraz z głębokością profilu glebowego następuje wyraźny spadek jego zawartości.

„Bukowica”, „Las Murckowski” oraz „Lipowiec” to rezerваты, w których obciążenie gleby kadmem jest niewielkie, choć odnotowane tu wartości kadmu zbliżone są do górnych poziomów jego zawartości z innych terenów specjalnie chronionych w Polsce.

Poziom kadmu w górnej warstwie jest istotnie dodatnio skorelowany z jego stężeniem w opadającym pyłe (Aneks, tab. 16). Pierwiastek ten, mimo że nie jest niezbędny do rozwoju roślin, jest przez nie bardzo łatwo pobierany, proporcjonalnie do stężenia w roztworze lub glebie (KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 1993; ROSS, 1994). Pomimo intensywnej kumulacji w tkankach korzeniowych, podlega łatwemu transportowi w roślinie i zostaje doprowadzony do wszystkich jej organów.

ROSS (1994) podaje normalne zakresy zawartości kadmu w roślinach w granicach 0,2—0,8  $\mu\text{g/g}$  s.m. Zawartość kadmu w roślinach zmienia się w zależności od organu i gatunku, ale w miejscach nie zanieczyszczonych nie przekracza 1  $\mu\text{g/g}$  s.m. (KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 1993). Według ŚWIEBODY (1980) zawartość kadmu w roślinach powyżej 10  $\mu\text{g/g}$  s.m. może powodować zahamowanie wzrostu rośliny, często z objawami uszkodzenia liści. KABATA-PENDIAS, PIOTROWSKA (1984) określiły, iż zawartość 5  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m. w roślinach jest ilością nadmiarową lub toksyczną. MAL-ZAHN (1996) w szpilkach sosnowych pochodzących z Puszczy Białowieskiej wykazuje zawartość kadmu w granicach 0,25—0,4  $\mu\text{g/g}$  s.m., a w szpilkach z Puszczy Augustowskiej 0,1—0,3  $\mu\text{g/g}$  s.m. CIEPAŁ, RYCMAN (1996) w tym samym materiale z terenu Roztoczańskiego Parku Narodowego wykazali 1,05  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m.

Zawartość kadmu w szpilkach sosen z terenów przemysłowych Finlandii wahają się w granicach 0,09—1,2  $\mu\text{g/g}$  s.m. (NUORTEVA i in., 1986; SARKALA, NUORTEVA, 1991), a z Puszczy Niepołomickiej, będącej w zasięgu oddziaływania zanieczyszczeń pochodzących z huty „Sędzimir”, 0,61—1,4  $\mu\text{g/g}$  s.m. (ŁUKASZEWSKI i in. 1987). NIEMTUR (1981) w jednorocznych szpilkach sosnowych z okolic huty cynku (Miasteczko Śląskie) podaje wartość 14  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m. CIEPAŁ (1992) w szpilkach jednorocznych pochodzących z borów sosnowych wschodniej części województwa katowickiego stwierdził 0,9—12,5  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m., natomiast w szpilkach dwuletnich — 1,8—17,1  $\mu\text{g/g}$  s.m. GASZ (1996) w szpilkach sosnowych pochodzących z rezerwatu przyrody Ochojec — położonego na terenie Katowic — oznaczył 4,0—10,0  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m.

Otrzymane wyniki dotyczące zawartości kadmu w szpilkach sosen pochodzących z terenów chronionych województwa śląskiego wskazują na znaczne zagrożenie tym metalem rezerwatów: „Ostra Góra”, „Segiet” oraz części Tenczyńskiego Parku Krajobrazowego. Maksymalne odnotowane ilości kadmu w trzyletnich szpilkach sosnowych pochodzących z rezerwatu „Segiet”

podobne są do wartości podawanych dla tego samego materiału z okolic hut cynku i ołowiu. W pozostałych rezerwach kumulacja tego pierwiastka w szpilkach utrzymywała się na poziomie podawanym w literaturze dla roślin z terenów przemysłowych.

MAŃKOWSKÁ (1986) twierdzi, że w igłach świerka z terenów położonych poza zasięgiem emisji zawartość kadmu waha się w granicach 0,05—0,63  $\mu\text{g/g}$  s.m. PANEK i in. (1996) w tym samym materiale z terenów Podhala stwierdzili 0,4—1,6  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m.; podobne zakresy stężeń odnotowano również dla Babiogórskiego, Białowieskiego i Roztoczańskiego Parku Narodowego (SAWICKA, 1987; CIEPAŁ, RYCMAN, 1996; GASZ, 1996). Zawartość kadmu w jednorocznych szpilkach świerkowych pochodzących z drzew rosnących w strefie ochronnej huty „Katowice” wynosi 18  $\mu\text{g/g}$  s.m. Podobnie jak w przypadku omawianych szpilek sosny, najwyższą kumulację kadmu odnotowano w materiale pochodzącym z rezerwatu „Segiet”. Jedyne w rezerwach „Bukowica” i „Lipowiec” nie stwierdzono skażenia szpilek świerkowych kadmem na poziomie 5  $\mu\text{g/g}$  s.m., uważanym za zawartość krytyczną.

Kumulacja kadmu w liściach drzew jest podobna do zawartości tego metalu w szpilkach. W liściach buka z terenu Babiogórskiego Parku Narodowego SAWICKA (1987) odnotowała 0,5—1  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m., CIEPAŁ, RYCMAN (1996) w tym samym materiale z Roztoczańskiego Parku Narodowego podają 0,55  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m., a BRECKLE, KAHLE (1992) ze środkowych Niemiec 0,2—1,2  $\mu\text{g/g}$  s.m. GASZ (1996) w liściach bukowych pochodzących z rezerwatu „Ochojec” oznaczył 1,1—1,8  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m.

LATOCHA (1986) w liściach brzozy brodawkowej z okolic Świerklańca odnotował 3,6—4,8  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m. Dla tego samego materiału PRZYBYLSKI i in. (1994) z okolic huty cynku podają 20,0  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m., a CIEPAŁ (1992) ze wschodniej części województwa śląskiego 0,8—18,6  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m. W liściach jaworu (*Acer pseudoplatanus*) pochodzących z terenu Białowieży stwierdzono 0,01  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m. (DYMARZ, 1994). W tym samym materiale z Zabrze odnotowano 1,3  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m. (DYMARZ, 1994), w Zawoi — Babia Góra 0,4  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m. (ZROSKA, 1992) i Ochojcu 1,8  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m. (GASZ, 1996). ERNST i in. (1974) w liściach drzew rosnących w strefie oddziaływania huty metali w Westfalii stwierdzili: w liściach jaworu 46,3  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m., w liściach brzozy 104  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m., a w liściach buka 40  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m.

Otrzymane wyniki zawartości kadmu w liściach drzew pochodzących z rezerwatów województwa śląskiego, mimo że nie dorównują wartościom ekstremalnym podawanym przez ERNSTA i in. (1974), w porównaniu z innymi terenami chronionymi Polski wskazują na bardzo duże zagrożenie występujących tu gatunków skażeniem tym metalem. Jedyne w rezerwach „Bukowica” i „Lipowiec” zagrożenie to wydaje się znikome.

SZAREK i in. (1993) w roślinach runa lasu bukowego z terenu Ojcowskiego Parku Narodowego średnio oznaczyli 2,6  $\mu\text{g Cd/g}$  s.m., natomiast

GASZ (1996) — w zależności od gatunku — w rezerwacie „Nieznanowo” w Puszczy Białowieskiej odnotował wartości 0,01—1,5  $\mu\text{g Cd/g s.m.}$ , a w Ochojcu — 1—13,8  $\mu\text{g Cd/g s.m.}$

Uzyskane wyniki świadczą o wysokiej kumulacji kadmu w roślinach runa pochodzących z badanych rezerwatów. Największe zagrożenie występuje w rezerwacie „Segiet”, nieco mniejsze, ale również wysokie w Tenczyńskim Parku Krajobrazowym oraz „Ostrej Górze”, a najmniejsze — w „Bukowicy” oraz „Lipowcu”.

Na podstawie otrzymanych rezultatów można wnosić, iż zróżnicowanie kumulacji kadmu przez różne gatunki runa jest znaczne, jednocześnie można przypuszczać, że szczawik zajęczy (*Oxalis acetosella*), konwalijka dwulistna (*Maianthemum bifolium*), bluszcz pospolity (*Hedera helix*) i marzanka wonna (*Galium odoratum*) wykazują wysoką kumulację kadmu w liściach.

Na terenach przemysłowych będących pod dużym wpływem emisji znacząca się wzrost stężenia kadmu w glebie, co związane jest z zawartością tego pierwiastka w opadającym pyłe (Aneks, tab. 16). Wysoka zawartość kadmu w opadającym pyłe oraz w glebie powoduje znaczny wzrost tego metalu w materiale roślinnym.

Analiza regresji prostoliniowej wykazała, że w przypadku wszystkich badanych gatunków poziom kadmu w roślinach jest istotnie dodatnio skorelowany z jego zawartością w glebie, natomiast dla większości badanych gatunków — z poziomem kadmu w opadającym pyłe. Potwierdza to wysoce istotny statystycznie współczynnik korelacji na poziomie  $p < 0,001$ .

## Ołów

Ołów jest jednym z najmniej ruchliwych pierwiastków w glebie. Układ pionowego rozmieszczenia w profilu glebowym wskazuje, iż gromadzi się on w warstwach zewnętrznych. Ilość ołowiu w glebach podlega znacznym wahaniom. Średnia zawartość tego pierwiastka w glebie wynosi 10  $\mu\text{g/g}$ , natomiast przedział zawartości ołowiu w glebie, jaki podaje ROSS (1994), to 2—200  $\mu\text{g/g}$ . Według KABATY-PENDIAS, PENDIAS (1993) średnia naturalna zawartość ołowiu w glebach Polski wynosi 18  $\mu\text{g/g}$ . MAŃKOWSKÁ (1980) stwierdza, że naturalna zawartość tego pierwiastka w glebach leśnych wynosi 10—16  $\mu\text{g/g}$ , natomiast GRESZTA (1975) w tym samym materiale jako wartość maksymalną podaje 50  $\mu\text{g/g}$ . Najczęściej spotykana w literaturze wartość graniczna dla ołowiu wynosi 100  $\mu\text{g/g}$  gleby (PIOTROWSKA, 1989; KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 1993; ROSS, 1994). Zawartość ołowiu w górnym poziomie gleb będących pod presją przemysłu w województwie śląskim waha się w przedziale 110—1600  $\mu\text{g/g}$  (CIEPAŁ, 1992), a w rejonie hut cynku i ołowiu może sięgać 5000  $\mu\text{g/g}$  (LOREK, 1993).

PALOWSKI (1987) w glebie z Puszczy Białowieskiej odnotował 19—22  $\mu\text{g Pb/g}$ , natomiast SAWICKA (1987) z terenu Babiogórskiego Parku Narodo-

wego podaje wartości 32—38  $\mu\text{g Pb/g}$ . NIEMTUR (1995) w górnym poziomie gleb z Gorceńskiego Parku Narodowego w zależności od miejsca zbioru (regła) stwierdził 163—248  $\mu\text{g Pb/g}$  gleby. CIEPAŁ, RYCMAN (1996) z terenu Roztoczańskiego Parku Narodowego podają 5  $\mu\text{g Pb/g}$ , a WĘGIEREK (1990) w rezerwacie „Zasolnica” w Beskidzie Małym oznaczyła 60  $\mu\text{g Pb/g}$ .

Zawartość ołowiu w górnej warstwie gleb badanych terenów chronionych wynosi 60—350  $\mu\text{g/g}$  (Aneks, tab. 2). Podobnie jak w przypadku kadmu, kumulacją ołowiu w glebie najbardziej zagrożony jest rezerwat „Segiet”. Wysokie zagrożenie tym metalem występuje również w „Ostrej Górze” oraz „Górze Chełm”. Zawartości ołowiu w pozostałych rezerwach, mimo wysokich wartości tego pierwiastka, mieszczą się w granicach uznawanych za dopuszczalne.

Na terenach zmienionych na skutek emisji przemysłowych zaznacza się wzrost stężenia Pb w glebie w zależności od zawartości tego pierwiastka w opadającym pyłu. Potwierdza to wysoce istotny statystycznie współczynnik korelacji na poziomie  $p < 0,001$  (Aneks, tab. 17).

ROSS (1994) podaje, iż zakres stężenia ołowiu w roślinach wynosi 0,1—10  $\mu\text{g/g s.m.}$ , przy czym średnia zawartość tego pierwiastka waha się w granicach 0,2—0,9  $\mu\text{g/g s.m.}$  Ołów należy do grupy bardzo toksycznych, dlatego wykrycie nawet niewielkich jego ilości w roślinach świadczy o zagrożeniu tym pierwiastkiem. KABATA-PENDIAS, PIOTROWSKA (1984) za nadmierny i toksyczny dla roślin poziom ołowiu uznały 30  $\mu\text{g/g s.m.}$  Na ogół rośliny zawierają 10  $\mu\text{g Pb/g s.m.}$  (KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 1993). O wiele większe ilości tego pierwiastka występują na obszarach uprzemysłowionych, głównie w pobliżu hut cynku i ołowiu oraz wzdłuż ciągów komunikacyjnych.

Autorzy przeprowadzonych dotychczas badań przytaczają różne zawartości tego metalu w zależności od gatunku oraz miejsca pobrania materiału roślinnego do analiz. CZARNOŃSKA, STASIAK (1987) podają, że zawartość Pb w szpilkach sosny z terenów nie zanieczyszczonych jest na poziomie 0,5—14  $\mu\text{g/g s.m.}$ ; w tym samym materiale z terenu Puszczy Białowieskiej PALOWSKI (1987) oznaczył 9—22  $\mu\text{g Pb/g s.m.}$ , natomiast MALZAHN (1996) z Puszczy Augustowskiej — 1,5—4,0  $\mu\text{g Pb/g s.m.}$  GASZ (1996) podaje, iż w jednorocznych szpilkach sosnowych pochodzących z rezerwatu „Ochojec” zakres ołowiu wynosi 16,3—18  $\mu\text{g/g s.m.}$ , natomiast DUDA, ŚLĘZAŃSKI (1993) w tym samym materiale z obszaru Jurajskich Parków Krajobrazowych oznaczyli 2,2—7,9  $\mu\text{g Pb/g s.m.}$  Znacznie wyższą zawartość ołowiu wykazują szpilki na obszarach silnie zanieczyszczonych. ŚWIEBODA (1980) w rejonie huty „Bolesław” stwierdziła 23—580  $\mu\text{g Pb/g s.m.}$ , a NIEMTUR (1979) z okolic Miasteczka Śląskiego — 335  $\mu\text{g Pb/g s.m.}$  CIEPAŁ (1992) dla materiału zbieranego we wschodniej części województwa śląskiego podaje 34,3  $\mu\text{g Pb/g s.m.}$  dla szpilek jednorocznych, a dla szpilek dwuletnich 40,1  $\mu\text{g Pb/g s.m.}$ , w rejonie Bukowna zaś odpowiednio: 215 i 700  $\mu\text{g Pb/g s.m.}$

Otrzymane wyniki dotyczące zawartości ołowiu w szpilkach sosen, mimo wysokiego poziomu w materiale pochodzącym z rezerwatu „Segiet” (23—34  $\mu\text{g/g}$  s.m.), wskazują, że zagrożenie tym metalem nie stanowi takiego problemu, jak w przypadku omawianego wcześniej kadmu. Stwierdzone ilości, mimo że wyższe od stężeń podawanych przez innych autorów, dla obszarów specjalnie chronionych Polski mieszczą się w granicy 30  $\mu\text{g Pb/g}$  s.m., tj. w zakresie uznawanym za szkodliwy dla roślin.

Według MAŃKOWSKIEJ (1986) zawartość ołowiu w szpilkach świerkowych na obszarach wolnych od zanieczyszczeń waha się w granicach 3,5—5,4  $\mu\text{g/g}$  s.m. ROSS (1994) określa zawartość ołowiu w szpilkach świerkowych pochodzących ze zbiorowisk w północnych Niemczech w zakresie 5,4—16,0  $\mu\text{g Pb/g}$  s.m. W strefie ochronnej huty „Katowice” w jednorocznych szpilkach *Picea abies* stwierdzono 29,0  $\mu\text{g Pb/g}$  s.m. (SPRAWOZDANIE, 1991). SAWICKA (1987) dla szpilek świerkowych zbieranych z terenu Babiogórskiego Parku Narodowego podaje wartości 5—25  $\mu\text{g Pb/g}$  s.m., CIEPAŁ, RYCMAN (1996) w tym samym materiale z Roztoczańskiego Parku Narodowego stwierdzili 0,9—2,2,  $\mu\text{g Pb/g}$  s.m., a GASZ (1996) z rezerwatu „Nieznanowo” (Białowieża) — 8,8—12,0  $\mu\text{g Pb/g}$  s.m.

BURTON, MORGAN (1984) uznają wartość 19  $\mu\text{g Pb/g}$  s.m. za poziom krytyczny dla świerka, a wielkość 43  $\mu\text{g Pb/g}$  s.m. — za graniczną wartość przeżycia. Biorąc pod uwagę te dane, należy stwierdzić, że jedynie w szpilkach pochodzących z rezerwatów „Lipowiec” i „Bukowica” zawartość ołowiu mieści się w granicach uznawanych za fizjologiczne, w pozostałych szpilkach zawartość przekracza wielokrotnie wartości przyjęte jako norma. Świerki rosnące w rezerwacie „Segiet” wydają się szczególnie narażone na wysoką zawartość ołowiu w szpilkach (35—69  $\mu\text{g Pb/g}$  s.m.), co ma swoje odzwierciedlenie w ich wyglądzie (zdeformowany pokrój korony, wczesny opad szpilek starszych roczników).

Zawartość ołowiu w liściach drzew z terenów niezanieczyszczonych, w zależności od gatunku, waha się w granicach 2—27  $\mu\text{g/g}$  s.m. (HEINRICHS, MAYER, 1980; MAŃKOWSKÁ, 1980; KELLER, 1986; GRESZTA, PA-NEK, 1989; ROSS, 1994).

LATOCHA (1986) w liściach brzozy brodawkowatej (*Betula pendula*) z okolic Świerklańca odnotował 44,7—65,4  $\mu\text{g Pb/g}$  s.m. Dla tego samego materiału GASZ (1996) z Białowieży podaje wartość 5,8  $\mu\text{g Pb/g}$  s.m., a z rezerwatu Ochojec 11,5  $\mu\text{g Pb/g}$  s.m.; ZROSKA (1992) w liściach pochodzących z parków miejskich Rudy Śląskiej oznaczyła 16,0—29,0  $\mu\text{g Pb/g}$  s.m. ERNST i in. (1974) w strefie oddziaływania huty metali kolorowych odnotował w liściach brzozy 234,0  $\mu\text{g Pb/g}$  s.m. Zawartość ołowiu w liściach jaworu (*Acer pseudoplatanus*) pochodzących z terenów przemysłowych mieści się w granicach 80,7—134,5  $\mu\text{g/g}$  s.m., a w liściach buka (*Fagus sylvestris*) dochodzi do 15,0  $\mu\text{g Pb/g}$  s.m. W liściach jaworu (*Acer pseudoplatanus*) pochodzących z Białowieży kumulacja tego metalu wynosiła 8,6  $\mu\text{g/g}$  s.m., a w materiale z rezerwatu „Ochojec” 20,0  $\mu\text{g/g}$  s.m. (GASZ, 1996). Kon-

centracja ołowiu w liściach buka (*Fagus sylvestris*) z Bieszczadzkiego Parku Narodowego wynosi 6,0—7,0 µg/g s.m. (WITKOWSKI, 1993), Babiogórskiego Parku Narodowego 5,0—25,0 µg/g s.m. (SAWICKA, 1987), a Roztoczańskiego Parku Narodowego 1,0 µg/g s.m. (RYCMAN, 1993).

Wyniki dotyczące zawartości ołowiu w liściach drzew pochodzących z terenów chronionych województwa katowickiego (rys. 22) nie wskazują, w przeciwieństwie do kadmu, na stan zagrożenia tym metalem występującej tu liściastej dendroflory.

GASZ (1996) w roślinach runa rezerwatu „Ochojec” podaje zawartość ołowiu w granicach 5,9—36,6 µg/g s.m., a w materiale z Białowieży w zakresie 2,6—15,0 µg/g s.m. LUWE (1995) stwierdził, że w roślinach zielnych porastających dno lasu bukowego w Niemczech poziom omawianego metalu wynosi 8,7—19,0 µg/g s.m.; SZAREK i in. (1993) w podobnym materiale z Ojcowskiego Parku Narodowego podają 19,0 µg Pb/g s.m.

Uzyskane wyniki zawartości ołowiu w liściach roślin runa badanych rezerwatów, w porównaniu z innymi terenami chronionymi Polski, wskazują na bardzo wysokie zagrożenie tym metalem występujących tu gatunków. Największe zagrożenie występuje w rezerwacie „Segiet”, nieco mniejsze w „Ostrej Górze” i Tenczyńskim Parku Krajobrazowym, najmniejsze w „Bukowicy” i „Lipowcu”.

Kumulacja ołowiu w biomasie badanych gatunków była znacznie zróżnicowana; jak w przypadku omawianego wcześniej kadmu, największą kumulacją charakteryzowały się: szczawik zajęczy (*Oxalis acetosella*), bluszcz pospolity (*Hedera helix*), marzanka wonna (*Galium odoratum*) oraz malina (*Rubus idaeus*).

Analizy statystyczne wykazały bardzo istotną korelację między zawartością ołowiu w glebie a jego zawartością w liściach i szpilkach wszystkich analizowanych gatunków. Brak bardzo istotnej statystycznie korelacji pomiędzy zawartością ołowiu w pyłe atmosferycznym a w liściach i szpilkach może świadczyć o tym, że ołów pobierany jest przez rośliny głównie z gleby.

## Cynk

Cynk jest jednym z najbardziej ruchliwych metali w glebie, na co mają wpływ zarówno jego forma, jak i związki z substancją organiczną. Średnia zawartość cynku w glebach mieści się w granicach 30—125 µg/g (KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 1993). Na ogół obserwuje się wpływ zanieczyszczeń atmosferycznych na akumulację tego metalu w powierzchniowych warstwach gleb. Zawartość cynku jest zróżnicowana w poszczególnych rodzajach gleby i kształtuje się w dość szerokich granicach. KWAPULIŃSKI i in. (1992) w Beskidach stwierdzili: na terenach zalesionych 95 µg Zn/g gleby, a na terenach otwartych 52 µg Zn/g; LATOCHA (1986) ze zbiorowisk borowych z okolic Świerklańca podaje 56 µg Zn/g. W glebach występujących we



wschodniej części województwa śląskiego poziom zawartości cynku kształtuje się w granicach 60—2010  $\mu\text{g/g}$ . GRESZTA, PANEK (1989) w powierzchniowej warstwie gleby pochodzącej z Puszczy Białowieskiej odnotowali 65—85  $\mu\text{g Zn/g}$ ; CIEPAŁ, RYCMAN (1996) w wierzchniej warstwie gleb Roztoczańskiego Parku Narodowego oznaczyli średnio 54  $\mu\text{g Zn/g}$ ; PANEK (1991) dla poziomu organicznego gleb Beskidu Śląskiego podaje 42  $\mu\text{g Zn/g}$ , a dla Beskidu Żywieckiego 63—120  $\mu\text{g Zn/g}$ . W rezerwacie „Zasolnica” (Beskid Mały) zawartość cynku w glebie wynosiła 94  $\mu\text{g/g}$ . WĘGIEREK (1990), GASZ (1996) z rezerwatu „Ochojec” położonego na terenie Katowic podaje wartości 220—276  $\mu\text{g Zn/g}$ .

Ponadnormatywne zawartości cynku w glebach stwierdza się głównie w rejonach przemysłowych. LOREK (1993) z okolic huty cynku przytoczył wartość 6000  $\mu\text{g Zn/g}$ , a CIEPAŁ (1996) ze strefy ochronnej huty „Katowice” — 810  $\mu\text{g Zn/g}$ . Maksymalna dopuszczalna zawartość cynku w glebie kształtuje się na poziomie 200—300  $\mu\text{g/g}$  (PIOTROWSKA, 1989; ROSS, 1994).

Odnotowana w niniejszej pracy kumulacja cynku w górnym poziomie gleb rezerwatów waha się w granicach 150—910  $\mu\text{g/g}$  (Aneks, tab. 3). W rezerwach „Segiet” i „Ostra Góra” pierwiastek ten znacznie zanieczyszcza gleby. W pozostałych terenach chronionych województwa śląskiego, mimo wysokiej zawartości cynku, zagrożenie tym pierwiastkiem jest mniejsze.

Podobnie jak w przypadku kadmu i ołowiu, ilość cynku w górnej warstwie gleby zależy od jego zawartości w opadającym pyłe. Potwierdza to wysoce istotny statystycznie współczynnik korelacji na poziomie  $p < 0,001$  (Aneks, tab. 18).

Zawartość cynku w roślinach mieści się w granicach 10—70  $\mu\text{g/g s.m.}$  (KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 1993; ROSS, 1994), a poziom powyżej 100  $\mu\text{g/g s.m.}$  wskazuje na zanieczyszczenie środowiska. Rośliny odznaczają się dużą odpornością na cynk, który podlega wiązaniu w błonach komórkowych oraz wytrącaniu w połączeniu z białkami, dzięki czemu jest wyłączany z procesów metabolicznych. Według GARBERA (1974) normalna zawartość Zn w igłach drzew wynosi 65  $\mu\text{g/g s.m.}$

Badania NIEMTURA i in. (1979); NIEMTURA (1980); KOWALKOWSKIEGO, SZCZUBIAŁKA (1981) oraz PAŁOWSKIEGO (1987) w drzewostanach sosnowych rosnących w okolicach hut cynku i ołowiu wykazują, że w igłach sosen z okolic Miasteczka Śląskiego zawartość cynku wynosi 60—1700  $\mu\text{g/g s.m.}$ , a w igłach sosen z okolic Bukowna — 75—1050  $\mu\text{g/g s.m.}$  LATOCHA (1986) w szpilkach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) z okolic Świerklańca, a więc z terenu o średnim stopniu zagrożenia tym metalem, stwierdził zawartość Zn w granicach 75—100  $\mu\text{g/g s.m.}$  dla szpilek jednorocznych i 168—200  $\mu\text{g/g s.m.}$  dla szpilek dwuletnich. INNES (1995) w szpilkach sosnowych z terenu Anglii podaje wartości 51—60  $\mu\text{g Zn/g s.m.}$  GASZ (1996) w podobnym materiale pochodzącym z Puszczy Białowieskiej określił zawartość cynku na poziomie 70—85  $\mu\text{g/g s.m.}$ , a w szpilkach z rezerwatu „Ochojec”

(Katowice) — 100—175  $\mu\text{g/g}$  s.m. Zawartość cynku w igłach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) z terenu Jurajskich Parków Krajobrazowych w byłym województwie częstochowskim wahała się w granicach 53—133  $\mu\text{g/g}$  s.m. (DUDA, ŚLĘZAŃSKI, 1993).

Wyniki analiz zawartości cynku w szpilkach sosen pochodzących z wybranych terenów chronionych województwa katowickiego uzyskane w niniejszej pracy wskazują, że zagrożenie ze strony tego metalu w przypadku omawianego gatunku nie stanowi takiego problemu, jak w przypadku kadmu. Stwierdzone zawartości, mimo że wyższe od stężeń podawanych przez innych autorów dla obszarów specjalnie chronionych Polski, mieszczą się w granicach uznawanych za nieszkodliwe dla roślin. Wyjątek stanowi materiał pochodzący z rezerwatów „Ostra Góra” i „Segiet”. Pewnego rodzaju zagrożenie obserwowane jest również w rezerwacie „Las Murckowski”.

ROSS (1994), badając poziom cynku w igłach świerkowych pochodzących z drzewostanów położonych w północnych Niemczech, oznaczył zawartość tego pierwiastka w granicach 33—63  $\mu\text{g/g}$  s.m. SAWICKA (1987) w takim samym materiale pozyskanym z terenu Babiogórskiego Parku Narodowego podaje wartości 10—25  $\mu\text{g Zn/g}$  s.m. CIEPAŁ, RYCMAN (1996) w szpilkach pochodzących z Roztoczańskiego Parku Narodowego stwierdzili 28,9—50,9  $\mu\text{g Zn/g}$  s.m.; GASZ (1996) w materiale z Puszczy Białowieskiej określił poziom cynku w granicach 90—100  $\mu\text{g/g}$  s.m., a z rezerwatu „Ochojec” — 128—140  $\mu\text{g/g}$  s.m. W jednorocznych szpilkach świerka z terenu strefy ochronnej huty „Katowice” oznaczono 275  $\mu\text{g Zn/g}$  s.m. (SPRAWOZDANIE, 1991).

Na podstawie danych o zawartości cynku w szpilkach świerkowych należy stwierdzić, że we wszystkich rezerwachat obserwujemy przekroczenie wartości uznawanych za dopuszczalne i fizjologiczne. Świerki rosnące w rezerwachat „Ostra Góra” i „Segiet” wydają się szczególnie narażone na podwyższoną zawartość cynku w szpilkach; oznaczony poziom omawianego metalu waha się w granicach 310—395  $\mu\text{g/g}$  s.m. (Aneks, tab. 11a, b, c).

HOOK i in. (1977) podają, że zawartość cynku w liściach drzew rosnących na terenach wolnych od zanieczyszczeń mieści się w granicach 40  $\mu\text{g/g}$  s.m.; KOVACS i in. (1980) wskazują na zakres 25—132  $\mu\text{g Zn/g}$  s.m., w zależności od gatunku. Zawartość cynku w liściach drzew z terenów zanieczyszczonych w zależności od gatunku waha się w granicach 200—1500  $\mu\text{g/g}$  s.m., a w liściach z obszarów o małym stopniu zagrożenia — 25—140  $\mu\text{g/g}$  s.m. (ERNST, 1981). LATOCHA (1986) wykazał, że w aparacie asymilacyjnym drzew liściastych są kumulowane większe ilości Zn niż w szpilkach, np. brzoza brodawkowata (*Betula pendula*) — 1214  $\mu\text{g Zn/g}$  s.m., a sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris*) — 695  $\mu\text{g Zn/g}$  s.m. PRZYBYLSKI i in. (1994) w liściach brzozy z Miasteczka Śląskiego stwierdzili kumulację cynku na poziomie 2540  $\mu\text{g/g}$  s.m.; CIEPAŁ, ZROSKA (1994) w tym samym materiale z Babiogórskiego Parku Narodowego oznaczyli wartość 110  $\mu\text{g Zn/g}$  s.m. Zawartość cynku w liściach brzozy pochodzących z Puszczy Białowieskiej dochodzi

do 140  $\mu\text{g/g}$  s.m., a w liściach z rezerwatu „Ochojec” do 520  $\mu\text{g/g}$  s.m. (GASZ, 1996). W liściach buka zbieranych na terenie Babiogórskiego Parku Narodowego SAWICKA (1987) określiła zawartość cynku na poziomie 15—30  $\mu\text{g/g}$  s.m., a CIEPAŁ, RYCMAN (1996) w tym samym materiale z Roztocza podają 38,4  $\mu\text{g Zn/g}$  s.m., natomiast WITKOWSKI (1993) w próbkach z Bieszczadzkiego Parku Narodowego — 28  $\mu\text{g Zn/g}$  s.m. KELLER i in. (1993) z terenów nie zanieczyszczonych Szwajcarii wykazują 27,2  $\mu\text{g Zn/g}$  s.m. ERNST i in. (1974), badając poziom cynku w liściach bukowych pochodzących ze strefy oddziaływania huty metali kolorowych w Westfalii, określili zawartość tego pierwiastka na poziomie 438  $\mu\text{g/g}$  s.m.

Zawartość cynku w liściach jaworu pochodzących ze strefy oddziaływania huty metali kształtuje się na poziomie 1570  $\mu\text{g/g}$  s.m. (ERNST i in., 1974). ZROSKA (1992), GASZ (1996) z terenów nie zanieczyszczonych podają zawartość cynku w liściach jaworu na poziomie od 28  $\mu\text{g/g}$  s.m. (Puszcza Białowieska) do 65  $\mu\text{g/g}$  s.m. (Babiogórski Park Narodowy).

Otrzymane wyniki dotyczące zawartości cynku w liściach drzew badanych gatunków rosnących na terenach chronionych województwa śląskiego, podobnie jak w przypadku kadmu, mimo że nie osiągają stężeń ekstremalnych znanych z literatury (ERNST i in., 1974; PRZYBYLSKI i in., 1994), wskazują na znaczne zagrożenie tym pierwiastkiem występujących tu gatunków. Jedynie w rezerwacie „Bukowica” zagrożenie nadmierną kumulacją cynku w roślinach wydaje się niewielkie. Zawartość omawianego pierwiastka w badanych roślinach pochodzących z tego rezerwatu zbliżona jest do poziomu podawanego dla terenów parków narodowych.

LUWE (1995) w roślinach runa lasu bukowego z terenu północno-zachodnich Niemiec podaje zawartość cynku w granicach 43—353  $\mu\text{g/g}$  s.m.; SZAREK i in. (1993) w podobnym materiale pochodzącym z obszaru Ojcowskiego Parku Narodowego stwierdziły 102  $\mu\text{g Zn/g}$  s.m. GASZ (1996) w biomacie gatunków zielnych pochodzących z dna lasu rezerwatu „Ochojec” wyznaczył 36—593  $\mu\text{g Zn/g}$  s.m. w zależności od taksonu, a w podobnym materiale z Puszczy Białowieskiej — 32—110  $\mu\text{g Zn/g}$  s.m.

Wyniki analiz świadczą o wysokiej kumulacji cynku w roślinach runa badanych rezerwatów przyrody. Największe zagrożenie tym metalem występuje w rezerwach „Ostra Góra” i „Segiet”; nieco mniejsze, ale również wysokie, w „Górze Chełm” oraz Tenczyńskim Parku Krajobrazowym, natomiast najmniejsze — w „Bukowicy”.

Otrzymane rezultaty potwierdzają znaczne zróżnicowanie kumulacji cynku w organach badanych gatunków zielnych. Liście kopytnika pospolitego (*Asarum europaeum*), żywca cebulkowego (*Dentaria bulbifera*) i maliny właściwej (*Rubus idaeus*) cechuje wyjątkowo duża zawartość tego pierwiastka.

Analiza regresji prostoliniowej wykazała, że poziom cynku w roślinach jest istotnie dodatnio skorelowany z jego zawartością w opadającym pylenie dla wszystkich badanych gatunków, co może świadczyć o pobieraniu dużej jego ilości bezpośrednio przez aparat asymilacyjny, oraz dla większości gatunków

przy porównaniu stężenia kadmu w glebie z jego zawartością w liściach i szpilkach. Potwierdza to wysoce istotny statystycznie współczynnik korelacji na poziomie  $p < 0,001$ .

## Miedź

Naturalna zawartość miedzi w glebie jest ściśle związana z jej występowaniem w skałach macierzystych oraz rodzajem i typem gleby. Całkowita zawartość miedzi w powierzchniowej warstwie gleb nie zanieczyszczonych kształtuje się na poziomie 1—140  $\mu\text{g/g}$  (KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 1993). GASZ (1996) oznaczył 12  $\mu\text{g Cu/g}$  w powierzchniowej warstwie gleby w rezerwacie „Nieznanowo”, położonym na terenie Puszczy Białowieskiej, CIEPAŁ, RYCMAN (1996) z terenu Roztoczańskiego Parku Narodowego 9,8  $\mu\text{g Cu/g}$ , a OPYDO, OPYDO (1996) z terenu Płyty Krotoszyńskiej — 6,5—87  $\mu\text{g Cu/g}$ . PANEK (1991) dla poziomu organicznego gleb Beskidu Śląskiego stwierdziła 11—18  $\mu\text{g Cu/g}$ , dla gleb Beskidu Żywieckiego 15—35  $\mu\text{g Cu/g}$ , a dla Pienińskiego Pasa Skałkowego 12—40  $\mu\text{g Cu/g}$ . Z terenu Jurajskich Parków Krajobrazowych ŚLĘZAŃSKI (1995) podaje 4—28  $\mu\text{g Cu/g}$ ; DUDKA, SAJDAK (1992) w glebach województwa śląskiego zanotowali 2—39  $\mu\text{g Cu/g}$ . Maksymalna dopuszczalna zawartość miedzi w glebach kształtuje się na poziomie 50—100  $\mu\text{g/g}$  (PIOTROWSKA, 1989).

Zawartość miedzi w górnym poziomie gleb badanych rezerwatów wahała się w granicach 5—25  $\mu\text{g/g}$ . Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że w badanych obiektach nie występuje problem skażenia gleb tym metalem. Przeciwnie, w rezerwach „Bukowica” i „Lipowiec” możemy mówić nawet o pewnym niedoborze tego pierwiastka.

W przeciwieństwie do wcześniej omawianych metali ciężkich nie zaobserwowano zależności między zawartością miedzi w opadającym pyłe a jej zawartością w górnym poziomie gleby (Aneks, tab. 19).

W roślinach rosnących w warunkach zbliżonych do naturalnych zawartości miedzi waha się w granicach 2—20  $\mu\text{g/g s.m.}$ , ale przeważają wielkości 3—12  $\mu\text{g/g s.m.}$  (KABATA-PENDIAS, PIOTROWSKA, 1984; ROSS, 1994). BURTON, MORGAN (1984) za poziom toksyczny dla drzew liściastych podają 25  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$ , natomiast za wartość krytyczną dla świerka uznają 88  $\mu\text{g/g s.m.}$  KABATA-PENDIAS, PIOTROWSKA (1984) uważają, że szkody spowodowane nadmiarem miedzi występują przy stężeniach tego metalu wynoszących powyżej 30  $\mu\text{g/g s.m.}$

Zawartość miedzi w szpilkach sosnowych z terenów nie zanieczyszczonych waha się w granicach 0,7—27  $\mu\text{g/g s.m.}$  (SZCZUBIAŁKA, KORCZYK, 1983; LATOCHA, 1986; CZARNOWSKA, STASIAK, 1987).

SUTINEN i in. (1996) w szpilkach sosny z terenów subarktycznych Finlandii stwierdzili 2,5—3,8  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$  INNES (1994) w tym samym materiale pochodzącym z lasów Wielkiej Brytanii oznaczył 12,8—16,8  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$ ,

a MAŃKOVSKÁ (1994) z obszarów północnej Słowacji — 4,3—10,0  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$  CIEPAŁ, RYCMAN (1996) z terenu Roztoczańskiego Parku Narodowego dla szpilek jednorocznych sosny zwyczajnej podają zakres 3,5—4,5  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$ , a dla szpilek dwuletich — 4,5—5,3  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$  CIEPAŁ (1992), badając poziom miedzi w igłach sosnowych pochodzących z drzewostanów wschodniej części województwa śląskiego, określił jej zawartość na 14,8  $\mu\text{g/g s.m.}$  dla szpilek jednorocznych oraz na 15,2  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$  dla szpilek dwuletich, natomiast w materiale z rejonu oddziaływania huty metali kolorowych „Bukowno” odpowiednio: 41,0 i 47,0  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$

Otrzymane wyniki dotyczące zawartości miedzi w szpilkach sosen pochodzących z terenów chronionych województwa śląskiego, podobnie jak w przypadku omawianego wcześniej kadmu, wskazują na znaczne zagrożenie tym metalem rezerwatów „Ostra Góra”, „Segiet” oraz „Las Murckowski”. Maksymalne odnotowane stężenia kadmu w trzyletnich szpilkach sosnowych pochodzących z rezerwatu „Segiet” zbliżone są do wartości podawanych dla tego samego materiału z okolic hut cynku i ołowiu. W pozostałych rezerwach kumulacja tego pierwiastka w szpilkach utrzymuje się na poziomie podawanym w literaturze dla terenów przemysłowych.

ROSS (1994) w szpilkach świerka pochodzących z północnych Niemiec odnotował, w zależności od rocznika, 24,0—46,0  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$  MAŃKOVSKÁ (1994) podaje, że zawartość miedzi w szpilkach świerkowych drzew rosnących na terenach wolnych od zanieczyszczeń waha się w granicach 1,1—19,3  $\mu\text{g/g s.m.}$ , a INNES (1995) — w materiale z terenu Wielkiej Brytanii — oznaczył 27,5—68,3  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$  W szpilkach świerkowych pochodzących z terenów Gorców PANEK i in. (1996) określili zawartość miedzi na poziomie 27,3  $\mu\text{g/g s.m.}$ , a z terenu Pienińskiego Pasa Skałkowego — 3,7  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$  CIEPAŁ, RYCMAN (1996) w szpilkach świerkowych z Roztoczańskiego Parku Narodowego w zależności od rocznika stwierdzili 2,2—4,7  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$ , a GASZ (1996) w materiale z Puszczy Białowieskiej oznaczył zawartość miedzi na poziomie 2,0—3,5  $\mu\text{g/g s.m.}$

Znacznie wyższe zawartości tego pierwiastka występują na obszarach uprzemysłowionych, głównie w pobliżu hut i elektrowni. ERNST i in. (1974) w igłach świerkowych z okolic huty metali kolorowych odnotowali 85,5  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$ , a CIEPAŁ (1992) w materiale ze strefy ochronnej huty „Katowice” podaje 35  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$

Z badań dotyczących zawartości miedzi w szpilkach świerkowych wynika, że we wszystkich analizowanych rezerwach nie zaobserwowano przekroczenia wartości tego pierwiastka uznawanych za szkodliwe. Jedynie w szpilkach świerków rosnących w rezerwach „Ostra Góra” i „Segiet” kumulacje tego metalu zbliżają się do górnych poziomów uznawanych za wartości fizjologiczne.

Zawartość miedzi w liściach drzew w rejonach nie zanieczyszczonych w zależności od gatunku waha się w granicach 4,1—16,5  $\mu\text{g/g s.m.}$  (GRIGAL i in., 1979; KOVACS i in., 1980; CZARNOŚKA, GWOREK, 1987).

W liściach buka z terenów wolnych od zanieczyszczeń MAŃKOVSKÁ (1986) podaje 10,9—11,3  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$ ; ALBERT (1992) w tym samym materiale ze wschodniej Austrii odnotował 12,0  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$  GASZ (1996) w liściach bukowych pochodzących z rezerwatu „Ochojec” stwierdził 7,3—9,5  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$ , a WITKOWSKI (1993) w materiale z Bieszczadzkiego Parku Narodowego oznaczył 3,0—4,0  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$  ROSS (1994) na terenie zanieczyszczonych lasów bukowych w Niemczech w liściach odnotował 24,0  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$ , a ERNST i in. (1974) w materiale ze strefy oddziaływania huty metali kolorowych podaje 17,5  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$  Ci sami autorzy w liściach brzozy brodawkowatej stwierdzili 15,0—50,3  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$ , a w liściach jaworu 33,3—43,6  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$  ZROSKA (1992) dla brzozy brodawkowatej z terenu Zawoi oznaczył 5,2  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$ , a dla jaworu 5,7  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$  Podobne wartości otrzymał GASZ (1996) dla liści brzozy i jaworu pochodzących z rezerwatów „Ochojec” i „Nieznanowo”.

Wyniki analiz zawartości miedzi w liściach drzew z rezerwatów województwa śląskiego mieszczą się w granicach uznawanych za fizjologiczne i nie wskazują na zagrożenie omawianym metalem dendroflory badanych terenów chronionych.

GASZ (1996) w roślinach runa rezerwatu „Nieznanowo”, położonego na terenie Puszczy Białowieskiej, podaje stężenia miedzi w granicach 5,1—10,1  $\mu\text{g/g s.m.}$ , a w materiale z „Ochojca” 2,2—24,0  $\mu\text{g/g s.m.}$  LUWE (1995) w roślinach zielnych porastających dno lasu bukowego w Niemczech oznaczył poziom zawartości omawianego metalu w przedziale 28,3—81,0  $\mu\text{g/g s.m.}$ ; SZAREK i in. (1993) w podobnym materiale z Ojcowskiego Parku Narodowego stwierdziły 9,0  $\mu\text{g Cu/g s.m.}$  CIEPAŁ, RYCMAN (1996) w zależności od gatunku występującego w runie buczyn Roztoczańskiego Parku Narodowego podają zawartości miedzi mieszczące się w granicach 9,5—16,0  $\mu\text{g/g s.m.}$

Podobnie jak w przypadku omawianych wcześniej drzew, otrzymane wyniki zawartości miedzi w roślinach runa nie wskazują na zagrożenie tym metalem gatunków zielnych występujących w rezerwach województwa śląskiego. Jedynie w „Ostrej Górze” i „Segiecie” poziom zawartości miedzi zbliżony jest do górnych wartości uznawanych za fizjologiczne.

Uzyskane rezultaty świadczą o znacznym zróżnicowaniu kumulacji miedzi przez różne gatunki runa. Wysoką kumulację tego pierwiastka zaobserwowano w przypadku szczawika zajęczego (*Oxalis acetosella*) oraz przyłasczki pospolitej (*Hepatica nobilis*).

Wyniki analiz statystycznych potwierdziły wysoce istotną, dodatnią korelację między zawartością miedzi w szpilkach i liściach badanych gatunków a zawartością tego metalu w górnym poziomie gleby. Analizy statystyczne nie wykazały zależności między kumulacją miedzi w liściach i szpilkach a zawartością tego metalu w opadającym pylu. Sugeruje to, że źródłem tego pierwiastka w roślinach jest przede wszystkim gleba.

## Żelazo

Żelazo występuje w glebach w znacznej ilości; zwykle jego zawartość mieści się w granicach 0,5—1,8%. Rozpuszczalność związków żelaza w glebie wzrasta proporcjonalnie do zakwaszenia gleby. Wszystkie związki żelaza są jednak mało stabilne, a jego wodorotlenki wykazują dużą pojemność sorpcyjną. Według KABATY-PENDIAS, PENDIAS (1993) stężenia żelaza w naturalnych roztworach glebowych, w których stanowi ono główny kation metali ciężkich, wynosi średnio 470  $\mu\text{g/g}$ . LOREK (1993) w glebach położonych w pobliżu huty „Katowice” stwierdziła 10 000  $\mu\text{g Fe/g}$ . W centrum Skawiny, na gruntach ornych, KARWETA, SZALONEK (1992) zanotowali 11 450  $\mu\text{g/g}$ , natomiast na użytkach trwałych 11 000  $\mu\text{g/g}$ . CZARNOWSKA, CHOJNACKI (1993) w glebach Równiny Błońsko-Sochaczewskiej oznaczyli 10 800  $\mu\text{g Fe/g}$ . We wschodniej części województwa śląskiego, w górnym poziomie gleb, CIEPAŁ (1992) zanotował 490—11 540  $\mu\text{g/g}$ .

Zawartość żelaza w warstwie zewnętrznej gleb z terenu Puszczy Białowieskiej wynosi 12 000  $\mu\text{g/g}$ , a z rezerwatu „Ochojec” (Katowice) 1200  $\mu\text{g/g}$  (GASZ, 1996).

W glebie badanych terenów chronionych województwa śląskiego zawartość żelaza mieściła się w granicach 3150—11 200  $\mu\text{g/g}$ . Mimo wysokiej zawartości żelaza, w niektórych rezerwach nie występuje zagrożenie tym pierwiastkiem.

Podobnie jak przy omawianych wcześniej metalach ciężkich, zawartość żelaza w górnej warstwie gleby zależy od zawartości tego pierwiastka w opadającym pyłe. Potwierdza to wysoki współczynnik regresji prostoliniowej (Aneks, tab. 20).

Zawartość żelaza zmienia się znacznie w okresie wegetacji i podlega wahaniom w zależności od gatunku i warunków siedliskowych oraz organu rośliny. Najczęściej mieści się w granicach 10—400  $\mu\text{g/g s.m.}$  (GLIŃSKI, BARAN, 1974; KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 1993); zawartość przekraczającą 400  $\mu\text{g Fe/g s.m.}$  uważa się za nadmierną (SAWICKA-KAPUSTA, 1990).

CZARNOWSKA, STASIAK (1987) w szpilkach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) z Puszczy Białej, a więc z terenu o małym stopniu zagrożenia tym metalem, stwierdzili zawartość żelaza w granicach 57—235  $\mu\text{g/g s.m.}$  dla szpilek jednorocznych i 87—380  $\mu\text{g/g s.m.}$  dla szpilek dwuletnich. ŚWIDEREK (1995), badając poziom żelaza w igłach sosnowych z drzewostanów w okolicach Janowa Lubelskiego, określiła jego zawartość w granicach 49—68  $\mu\text{g/g s.m.}$ , a w materiale z Olkusza — 197—241  $\mu\text{g/g s.m.}$  DUDA, ŚLĘZAŃSKI (1993) kumulację żelaza w igłach sosny z terenów Zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych wyznaczyli na poziomie 65—262  $\mu\text{g/g s.m.}$  CIEPAŁ, RYCMAN (1996) w podobnym materiale z Roztoczańskiego Parku Narodowego podają zawartość żelaza w przedziale 23—66  $\mu\text{g/g s.m.}$ , a GASZ (1996) w szpilkach z Puszczy Białowieskiej oznaczyła zawartość tego metalu na

Zawartość żelaza w szpilkach świerka (*Picea abies*) jest podobna do zawartości tego pierwiastka w szpilkach sosnowych (*Pinus sylvestris*). INNES (1995) w szpilkach świerka pochodzących z terenu Wielkiej Brytanii w zależności od rocznika odnotował 169—184  $\mu\text{g Fe/g s.m.}$  GASZ (1996) podaje, że zawartość żelaza w szpilkach świerkowych drzew rosnących na terenach wolnych od zanieczyszczeń (Puszcza Białowieska) waha się w granicach 90—150  $\mu\text{g/g s.m.}$ , a CIEPAŁ, RYCMAN (1996) z Roztocza przytaczają 23—45  $\mu\text{g Fe/g s.m.}$  DZIAĆKO (1990) w podobnym materiale z Beskidu Śląskiego określił poziom zawartości żelaza na 30—40  $\mu\text{g/g s.m.}$

Podwyższony poziom żelaza w igłach świerkowych obserwowany jest na obszarach oddziaływania hut żelaza; np. w strefie ochronnej huty „Katowice” w szpilkach jednorocznych stwierdzono zawartość tego metalu na poziomie 450  $\mu\text{g/g s.m.}$  (SPRAWOZDANIE, 1991).

Dane liczbowe mówiące o zawartości żelaza w szpilkach sosny pospolitej (*Pinus sylvestris*) — 90—390  $\mu\text{g/g s.m.}$  — oraz świerka pospolitego (*Picea abies*) — 90—350  $\mu\text{g/g s.m.}$ , pochodzących z drzew rosnących w rezerwach województwa śląskiego, nie wskazują na zagrożenie omawianym pierwiastkiem tego elementu dendroflory badanych terenów chronionych.

Liście zawierają mniejsze ilości żelaza niż szpilki. KELLER i in. (1993) w liściach buka pochodzących z Alp Szwajcarskich podają poziom 120  $\mu\text{g Fe/g s.m.}$  ALBERT (1992) w podobnym materiale z okolic Wiednia stwierdził 80  $\mu\text{g Fe/g s.m.}$ , a GASZ (1996) w liściach buka z rezerwatu „Ochojec” określił poziom żelaza na 151—170  $\mu\text{g/g s.m.}$  Koncentracja tego pierwiastka w liściach jaworu zależna jest od miejsca zbioru, np. w materiale z terenu Puszczy Białowieskiej odnotowano 58  $\mu\text{g Fe/g s.m.}$  (DYMARZ, 1994), a z obszaru Babiogórskiego Parku Narodowego 102  $\mu\text{g Fe/g s.m.}$  (CIEPAŁ, ZROSKA, 1994). Zawartość żelaza w liściach jaworu z terenów przemysłowych waha się w granicach 106—231  $\mu\text{g/g s.m.}$  (DYMARZ, 1994; CIEPAŁ, ZROSKA, 1994).

W liściach brzozy z terenów nie zanieczyszczonych zawartość żelaza mieści się w granicach 35—106  $\mu\text{g/g s.m.}$  (ZROSKA, 1993; GASZ, 1996) oraz 95—685  $\mu\text{g/g s.m.}$  na obszarach przemysłowych (CIEPAŁ, 1992; BARTYZEL, 1989; WOJCIECHOWSKA-MORYS, 1990).

Otrzymane wyniki zawartości żelaza w liściach buka, jaworu i brzozy pochodzących z rezerwatów województwa śląskiego, podobnie jak w przypadku omawianych szpilek świerka i sosny, mieszczą się w granicach uznawanych za fizjologiczne i nie wskazują na zagrożenie omawianym metalem badanych taksonów, występujących na terenach chronionych. Widoczne jest natomiast znaczne zróżnicowanie w kumulacji tego pierwiastka w liściach i szpilkach w zależności od miejsca zbioru. Największą zawartość żelaza obserwuje się w materiale pochodzącym z rezerwatu „Segiet”. Często są to wartości trzykrotnie wyższe od stężeń spotykanych w rezerwacie „Bukowica”.



GASZ (1996), badając poziom żelaza w roślinach runa lasu bukowego z rezerwatu „Ochojec”, określił jego zawartość w granicach 90—300  $\mu\text{g/g}$  s.m., a w materiale z Białowieży w zakresie 31—90  $\mu\text{g/g}$  s.m. CIEPAŁ, RYCMAN (1996) w podobnym materiale z Roztoczańskiego Parku Narodowego podają 37,5—55  $\mu\text{g Fe/g}$  s.m. LUWE (1995) w roślinach zielnych porastających dno lasu bukowego w Niemczech oznaczył zawartość omawianego metalu na poziomie 43—319  $\mu\text{g/g}$  s.m., a SZAREK i in. (1993) w materiale z Ojcowskiego Parku Narodowego podają 648—666  $\mu\text{g Fe/g}$  s.m.

Uzyskane wyniki zawartości żelaza w liściach roślin runa (65—220  $\mu\text{g/g}$  s.m.) badanych rezerwatów, w porównaniu z innymi terenami chronionymi Polski, wskazują na brak zagrożenia tym metalem występujących tu gatunków.

Analiza regresji prostoliniowej wykazała, że poziom żelaza w roślinach jest istotnie dodatnio skorelowany z jego zawartością w opadającym pyłe dla wszystkich badanych gatunków, co może świadczyć o pobieraniu dużej ilości Fe bezpośrednio przez aparat asymilacyjny, oraz dla większości gatunków przy porównaniu stężenia żelaza w glebie z jego zawartością w liściach i szpilkach. Potwierdza to wysoce istotny statystycznie współczynnik korelacji na poziomie  $p < 0,001$  (Aneks, tab. 20).

## Mangan

Całkowita zawartość manganu w wierzchniej warstwie gleb najczęściej wynosi 200—1000  $\mu\text{g/g}$  gleby (LITYŃSKI, JURKOWSKA, 1982; ROSS, 1994). Większe ilości manganu mogą nagromadzić się w glebach rejonów przemysłowych (SKAWINA, 1967; KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 1993). Przeważnie wierzchnie warstwy gleb zawierają większe ilości manganu aniżeli warstwy głębsze. Jednakże w niektórych glebach nie występuje taka prawidłowość. NIEMTUR (1995) podaje, iż w glebie z terenu Gorczańskiego Parku Narodowego, w zależności od piętra, zakres zawartości tego pierwiastka wynosi 266—575  $\mu\text{g/g}$ . WILK (1997) w powierzchniowej warstwie gleb z terenu Ojcowskiego Parku Narodowego oznaczyła 210  $\mu\text{g Mn/g}$  gleby, a w glebie pochodzącej z Białowieży 60  $\mu\text{g Mn/g}$ . W glebach sąsiadujących z emitarami huty cynku LOREK (1993) określiła kumulację manganu na poziomie 360  $\mu\text{g/g}$ .

Odnotowane wartości manganu w analizowanych glebach większości rezerwatów mieszczą się w granicach powszechnie uważanych za normalne, tj. 190—260  $\mu\text{g/g}$ ; jedynie w rezerwacie „Segiet” poziom ten jest czterokrotnie wyższy — 980  $\mu\text{g/g}$ .

Podobnie jak w przypadku omawianych wcześniej pierwiastków, zawartość manganu w górnej warstwie gleby zależy od jego zawartości w opadającym pyłe. Poziom manganu w górnej warstwie jest istotnie dodatnio skorelowany

Według NOWOTNY-MIECZYŃSKIEJ i in. (1974), LITYŃSKIEGO, JURKOWSKIEJ (1982) zakres optymalnych zawartości manganu w roślinach bywa szeroki, a zawartość Mn w suchej masie roślin waha się w granicach 40—900  $\mu\text{g/g}$  s.m. ROSS (1994) określa naturalną zawartość tego pierwiastka w roślinach na poziomie 15—1000  $\mu\text{g/g}$  s.m. Według KABATY-PENDIAS, PENDIAS (1993) zawartość około 500  $\mu\text{g Mn/g}$  s.m. jest toksyczna dla większości roślin.

GASZ (1996), badając zawartość manganu w szpilkach sosnowych pochodzących z Puszczy Białowieskiej, oznaczył jego poziom w szpilkach jednorocznych na 175  $\mu\text{g/g}$  s.m., a w szpilkach dwuletnich na 209  $\mu\text{g/g}$  s.m., natomiast w podobnym materiale zbieranym w rezerwacie „Ochojec” odpowiednio: 98 i 204  $\mu\text{g Mn/g}$  s.m. INNES (1995) dla igieł jednorocznych podaje 260—807  $\mu\text{g Mn/g}$  s.m. Badania prowadzone przez DUDE, ŚLĘZANŃSKIEGO (1993) na terenie Zespołu Jurajskich Parków Krajobrazowych w szpilkach sosnowych wykazały poziom 91—875  $\mu\text{g Mn/g}$  s.m. Zawartość manganu w szpilkach świerkowych jest zbliżona do wartości podawanych dla sosny, czyli 121—1080  $\mu\text{g/g}$  s.m. — GASZ (1996), INNES (1995).

Otrzymane dane dotyczące zawartości manganu w szpilkach sosen (100—160  $\mu\text{g/g}$  s.m.) oraz świerków (90—280  $\mu\text{g/g}$  s.m.) pochodzących z rezerwatów województwa śląskiego mogą wskazywać na znaczny niedobór omawianego pierwiastka w tym elemencie dendroflory badanych obiektów.

Niedobór manganu występuje również u drzew liściastych rosnących w analizowanych rezerwach. Uzyskane rezultaty dotyczące zawartości tego pierwiastka w liściach drzew w zależności od gatunku wahają się w granicach 200—400  $\mu\text{g Mn/g}$  s.m., w tym np. w liściach buka 200—320  $\mu\text{g Mn/g}$  s.m. Otrzymane wyniki dotyczące zawartości manganu w liściach drzew znacznie różnią się od danych literaturowych, np. ALBERT (1992) w liściach buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*) z obszaru Austrii podaje zawartość 790  $\mu\text{g Mn/g}$  s.m., a KELLER i in. (1993) w podobnym materiale z terenu Szwajcarii — 420  $\mu\text{g Mn/g}$  s.m. WITKOWSKI (1993) w liściach buka pochodzących z Bieszczadzkiego Parku Narodowego wykazał 1020  $\mu\text{g Mn/g}$  s.m., a w materiale z Beskidu Małego — 730  $\mu\text{g Mn/g}$  s.m. Rezultaty potwierdzają więc wyraźne różnice między zawartością manganu w liściach buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*) pochodzących z badanych terenów a wartościami podawanymi z innych nie zanieczyszczonych terenów zarówno Polski, jak i całej Europy.

LUWE (1995) stwierdził, iż rośliny runa lasu bukowego z terenu północno-zachodnich Niemiec cechuje zawartość manganu na poziomie 132—381  $\mu\text{g/g}$  s.m.; z kolei SZAREK i in. (1993) w materiale z obszaru Ojcowskiego Parku Narodowego podają 102  $\mu\text{g Mn/g}$  s.m. GASZ (1996), badając zawartość manganu w gatunkach zielnych pochodzących z dna lasu rezerwatu „Ochojec”, podał, w zależności od taksonu, 111—275  $\mu\text{g Mn/g}$  s.m., a w materiale z Puszczy Białowieskiej — 220—282  $\mu\text{g Mn/g}$  s.m.

Zawartość manganu w liściach roślin runa (70—360  $\mu\text{g/g}$  s.m.) badanych rezerwatów jest porównywalna z wynikami podawanymi z innych terenów chronionych Polski.

Rezultaty analiz statystycznych nie wykazały istotnej korelacji między zawartością manganu w szpilkach i liściach większości badanych gatunków a zawartością tego metalu w górnym poziomie gleby oraz opadającym pyle.

## Siarka

Zawartość siarki całkowitej w glebie zależy od rodzaju skały macierzystej oraz od ilości substancji organicznej w glebie. Ilość siarki w glebach waha się w szerokich granicach 10—18 000  $\mu\text{g/g}$  (SIUTA, 1980), jednak zazwyczaj nie przekracza 2000  $\mu\text{g/g}$  gleby (LITYŃSKI, JURKOWSKA, 1982).

W glebach Polski zawartość siarki mieści się w przedziale od 20  $\mu\text{g/g}$  (gleby bielcowe) do 1200  $\mu\text{g/g}$  (czarnoziemy). SAWICKA (1987) w górnym poziomie gleby pochodzącej z różnych pięter roślinnych Babiogórskiego Parku Narodowego podaje zawartość siarki w granicach 450—925  $\mu\text{g/g}$ . SZYMAŃSKA i in. (1996) ze Zwierzyńca (Roztocze) przytaczają 4800—6500  $\mu\text{g S/g}$  gleby; GASZ (1996) z puszczy Białowieskiej — 90—70  $\mu\text{g/g}$ , a NIEMTUR (1996) z terenu Gorceńskiego Parku Narodowego, w zależności od piętra roślinnego oraz wystawy, 900—300  $\mu\text{g S/g}$  gleby.

Zawartość siarki całkowitej w górnym poziomie gleb badanych rezerwatów województwa śląskiego mieściła się w zakresie 100—450  $\mu\text{g/g}$ . Są to wartości, w porównaniu z glebami innych terenów chronionych, niewielkie. Mimo wysokich stężeń  $\text{SO}_2$ , w atmosferze badanych rezerwatów nie stwierdza się podwyższonych ilości siarki w glebie.

W przeciwieństwie do wcześniej omawianych metali ciężkich, nie obserwowano zależności między zawartością dwutlenku siarki w atmosferze a zawartością siarki w górnym poziomie gleby (Aneks, tab. 22).

Spośród organów roślinnych liście i szpilki zawierają najwięcej siarki. Ilość siarki zależy od jej zawartości w glebie i powietrzu oraz od gatunku rośliny. Całkowita zawartość siarki w tkankach roślin wynosi 2000—5000  $\mu\text{g/g}$  s.m. (MENGEL, KIRKBY, 1983; SIUTA, 1980). Na obszarze Polski nie objętym stałym oddziaływaniem emisji przemysłowych GRODZIŃSKA (1981) w igłach sosny zwyczajnej pochodzących z Puszczy Augustowskiej stwierdziła 1215—1375  $\mu\text{g S/g}$  s.m., natomiast w materiale z Beskidu Wyspowego — 1359—1370  $\mu\text{g/g}$  s.m. MALZAHN (1993) w szpilkach z terenu Puszczy Białowieskiej odnotowała 1100—1250  $\mu\text{g S/g}$  s.m., a MAGNUSKI i in. (1996) w materiale z Puszczy Zielonka podaje 1600—2100  $\mu\text{g S/g}$  s.m. Zawartość siarki w igłach sosnowych z nie skażonych obszarów Finlandii waha się w granicach 528—925  $\mu\text{g/g}$  s.m. (SUTINEN i in., 1996; HUTTUNEN i in., 1985). Na obszarach podlegającym silnej imisji przemysłowej zawartość siarki

w szpilkach jest znacznie wyższa. Według WIDERY (1980) kumulacja tego pierwiastka w igłach pochodzących z terenu GOP mieści się w granicach 1020—3390  $\mu\text{g/g}$  s.m., SZYMAŃSKA i in. (1996) ze strefy oddziaływania Linii Hutniczo-Siarkowej podają 500—4550  $\mu\text{g S/g}$  s.m. DUDA, ŚLĘZAŃSKI (1995), badając zawartość siarki w szpilkach sosnowych z drzewostanów Jurajskich Parków Krajobrazowych, stwierdzili 937—2031  $\mu\text{g S/g}$  s.m. CIEPAŁ (1992) w szpilkach sosnowych pochodzących z okolic elektrowni „Jaworzno III” przytacza wartość ekstremalną 7260  $\mu\text{g S/g}$  s.m.

Zawartość siarki w igłach sosny zwyczajnej pochodzących z terenów chronionych województwa śląskiego (2100—6800  $\mu\text{g/g}$  s.m.) jest wielokrotnie wyższa od naturalnego jej występowania w tym materiale. Największa kumulacja omawianego pierwiastka występuje w igłach z rezerwatu „Segiet”.

Dla szpilek świerkowych pochodzących z Babiogórskiego Parku Narodowego SAWICKA (1987) podaje, że zawartość siarki kształtuje się w przedziale 1400—1500  $\mu\text{g/g}$  s.m. CIEPAŁ, RYCMAN (1996), jeśli chodzi o igły świerka z Roztoczańskiego Parku Narodowego, mówią o 1120—1470  $\mu\text{g S/g}$  s.m. Zawartość siarki w jednorocznych szpilkach świerkowych pochodzących z drzewostanów regla dolnego Beskidu Śląskiego wynosi 1510  $\mu\text{g/g}$  s.m., w szpilkach dwuletnich 1780  $\mu\text{g/g}$  s.m. (DZIAČKO, 1990). GASZ (1996) w tym samym materiale z rezerwatu w Puszczy Białowieskiej określił poziom siarki w granicach od 1000  $\mu\text{g/g}$  s.m. (szpilki jednoroczne) do 1200  $\mu\text{g/g}$  s.m. (szpilki dwuletnie). Podobne wartości dotyczące zawartości siarki w szpilkach (750—1100  $\mu\text{g/g}$  s.m.) otrzymali WULFF, KARENLAMPI (1993) w materiale pochodzącym z terenów wolnych od zanieczyszczeń w północnej Finlandii.

WENTZEL (1982) w szpilkach świerkowych pochodzących z drzewostanów położonych w przemysłowych okolicach (Frankfurtu n/Menem) w zależności od rocznika odnotował zawartość siarki od 1625  $\mu\text{g/g}$  s.m. (szpilki jednoroczne) do 1900  $\mu\text{g/g}$  s.m. (szpilki dwuletnie). MAŃKOVSKÁ (1996), prowadząca podobne badania w północnej Słowacji w strefie oddziaływania huty żelaza, dla szpilek jednorocznych podaje 1340—2320  $\mu\text{g S/g}$  s.m.

Na podstawie danych o zawartości siarki w szpilkach świerkowych (1600—2950  $\mu\text{g/g}$  s.m.) pochodzących z badanych rezerwatów należy stwierdzić, że w przeciwieństwie do omawianych wcześniej igieł sosnowych nie obserwujemy wartości znacznie wyższych od danych literaturowych o zawartości tego pierwiastka w materiale pochodzącym z terenów przemysłowych. Jedynie w cztero- i pięcioletnich szpilkach świerkowych pochodzących z rezerwatów: „Segiet”, „Góra Chełm” i „Las Murckowski”, kumulacja tego pierwiastka (2950—3200  $\mu\text{gS/g}$  s.m.) zbliża się do górnych poziomów uznawanych za wartości fizjologiczne.

Liście drzew pochłaniają siarkę na poziomie zbliżonym do gatunków szpilkowych, ale uzależnione jest to najczęściej od konkretnego taksonu. CIEPAŁ, RYCMAN (1996), prowadzący badania na terenie Roztoczańskiego Parku Narodowego, w liściach buka stwierdzili 1830  $\mu\text{g S/g}$  s.m., a SAWICKA 105

(1987) w podobnym materiale z Babiogórskiego Parku Narodowego podaje 900—1900  $\mu\text{g S/g s.m.}$  WITKOWSKI (1993) w liściach buka z terenu Bieszczadzkiego Parku Narodowego odnotował 1460—1820  $\mu\text{gS/g s.m.}$ , a w liściach z Beskidu Małego — 2240—2860  $\mu\text{g S/g s.m.}$  MAŇKOVSKÁ (1994) w materiale z terenów wolnych od zanieczyszczeń w północnej Słowacji oznaczyła 2251—2590  $\mu\text{g S/g s.m.}$ , natomiast KELLER i in. (1993) w materiale z obszaru Alp w Szwajcarii podają 858  $\mu\text{g S/g s.m.}$

Zawartość siarki w liściach brzozy brodawkowatej (*Betula pendula*) uzależniona jest od miejsca zbioru materiału, np. na terenach zanieczyszczonych zawiera się w granicach 1850—5280  $\mu\text{g/g s.m.}$  (PRZYBYLSKI i in., 1994; ZROSKA, 1993; CIEPAŁ, 1992; LATOCHA, 1986), a na obszarach wolnych od zanieczyszczeń wynosi 600—1880  $\mu\text{g/g s.m.}$  (PRZYBYLSKI i in., 1994; GASZ, 1996).

W liściach jaworu (*Acer pseudoplatanus*) pochodzących z terenów wolnych od zanieczyszczeń KELLER (1982) podaje poziom zawartości siarki 1840  $\mu\text{g/g s.m.}$ , natomiast CIEPAŁ, ZROSKA (1994) z Zawoi — 2700  $\mu\text{g/g s.m.}$  Znacznie wyższą zawartość siarki wykazują liście jaworu na obszarach silnie zanieczyszczonych, np. w materiale pochodzącym z parków śródmiejskich Rudy Śląskiej odnotowano 3600—4400  $\mu\text{g/g s.m.}$  (CIEPAŁ, ZROSKA, 1994).

Zawartość siarki w liściach drzew z terenów chronionych województwa śląskiego (2000—5100  $\mu\text{g/g s.m.}$ ) jest znacznie wyższa od wartości spotykanych w tym materiale na obszarach wolnych od zanieczyszczeń. Największe zagrożenie występuje w rezerwacie „Segiet”, nieco mniejsze w „Górze Chełm” i „Lesie Murckowskim”, najmniejsze zaś w „Bukowicy” i „Lipowcu” (województwo małopolskie).

CIEPAŁ, RYCMAN (1996), prowadząc badania zawartości siarki w roślinach runa lasu bukowego z terenu Roztoczańskiego Parku Narodowego, oznaczyli zawartość tego pierwiastka na poziomie 1930—2910  $\mu\text{g/g s.m.}$  SZAREK i in. (1993) w podobnym materiale z terenu Ojcowskiego Parku Narodowego podają średnio 3000  $\mu\text{g S/g s.m.}$ , a GASZ (1996), w zależności od gatunku, w rezerwacie „Nieznanowo” w Puszczy Białowieskiej stwierdził, iż zawartość tego składnika wahała się w granicach 2115—5900  $\mu\text{g/g s.m.}$ , natomiast w roślinach z „Ochojca” — 3120—7380  $\mu\text{g/g s.m.}$

Uzyskane wyniki zawartości siarki w liściach roślin runa badanych rezerwatów (2100—5600  $\mu\text{g/g s.m.}$ ), w porównaniu z innymi terenami chronionymi w Polsce, nie wskazują na znaczące zagrożenie tym pierwiastkiem występujących tu gatunków. Największą zawartość siarki zaobserwowano w materiale pochodzącym z rezerwatu „Segiet”, nieco mniejszą w roślinach z „Góry Chełm” i „Lasu Murckowskiego”, a najmniejszą — z „Bukowicy” i „Lipowca”.

Analiza regresji prostoliniowej potwierdziła, że poziom siarki w roślinach jest istotnie dodatnio skorelowany z zawartością  $\text{SO}_2$  w atmosferze dla wszystkich badanych gatunków oraz dla większości z nich przy porów-

naniu stężenia siarki w glebie z jej zawartością w liściach i szpilkach. Wskazuje na to wysoce istotny statystycznie współczynnik korelacji na poziomie  $p < 0,001$ .

Wyniki badań własnych, a także innych (LOREK, 1993; KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 1993) dowodzą, że dostające się do gleb z zanieczyszczeniami związki metali ciężkich i siarki kumulowane są w warstwach powierzchniowych, co świadczy o małej ich rozpuszczalności, a równocześnie o szybkim wzroście ich stężeń. Stwierdzona wysoka istotna dodatnia korelacja między zawartością w wierzchniej warstwie gleby: Cd, Cu, Fe, Mn, Pb oraz Zn, a zawartością tych pierwiastków w opadającym pyłe wskazuje na to, że skład chemiczny badanych gleb jest odzwierciedleniem składu chemicznego opadających pyłów i jest uzależniony od rodzaju skażeń.

Analizy statystyczne potwierdziły wysoko istotną dodatnią korelację między zawartością analizowanych pierwiastków (z wyjątkiem manganu) w materiale roślinnym a ich zawartością w górnym poziomie gleby. Stwierdzono również wysoce istotne współczynniki korelacji między zawartością Cd, Pb, Zn, Fe i S w powietrzu i w badanych roślinach.

Grupowanie rezerwatów na podstawie analizy skupień pozwala na wyodrębnienie kilku grup rezerwatów; z jednej strony „Segiet” i „Ostra Góra”, z drugiej — „Bukowica” i „Las Murckowski” (rys. 56—57) oraz pozostałe zmieniające swoje powiązania z innymi w zależności od analizowanej cechy (rys. 58—59). „Segiet” i „Ostra Góra” to rezerваты położone blisko dużych emitorów; obecne w pobliżu tych obiektów zakłady przemysłowe należą do jednych z najstarszych, a więc czas ich oddziaływania jest odpowiednio długi. Notowane są tu wysokie stężenia zanieczyszczeń, ma to również odzwierciedlenie w kumulacji metali ciężkich w glebie (grupa I). W rezerwatach „Bukowica” i „Las Murckowski” parametry dotyczące skażenia atmosfery znacznie różnią się od danych dla „Segietu” i „Ostrej Góry” (grupa II). Grupa pierwsza charakteryzuje się największą kumulacją metali ciężkich i siarki zarówno w glebie, jak i roślinach, natomiast grupę drugą cechuje najmniejsza kumulacja tych pierwiastków.

## 7. Kierunek i dynamika zmian procesów degradacji zachodzących w badanych rezerwatach

Wśród przyczyn powodujących zmiany w buczynach porastających rezerwy przyrody województwa śląskiego na czoło wysuwają się zagrożenia antropogeniczne, które w skrajnych przypadkach mogą doprowadzić do zamierania lasów. Uruchamiają one zmiany w kierunku degradacji ekosystemu przez eliminację lub osłabienie gatunków bardziej niż pozostałe wrażliwych na skażenia.

Środowisko leśne, w tym buczyny, sprzyja akumulacji substancji emitowanych przez zakłady przemysłowe, toteż lasy, np. w porównaniu z użytkami rolniczymi, są obszarami szczególnie nasilonego procesu ujemnego ich oddziaływania. Wpływ ten zaznacza się między innymi w postaci bez pośredniego i pośredniego działania  $\text{SO}_2$  i metali ciężkich na drzewostany i runo.

W najbliższym sąsiedztwie badanych rezerwatów znajduje się wiele zakładów szczególnie uciążliwych dla środowiska, jak elektrownie: „Jaworzno”, „Siersza”, „Łagisza”, huty żelaza i stali: „Katowice”, „Bankowa”, „Bobrek”, huta cynku „Miasteczko Śląskie”, koksownia „Przyjaźń”. Emisje z tych zakładów są przyczyną znaczącego przekroczenia dopuszczalnych norm zanieczyszczeń powietrza zarówno w pobliżu rezerwatów, jak i w samych rezerwach.

Z obliczeń wykonanych przez autora, a także z danych Wojewódzkiej Stacji Sanitarnej-Epidemiologicznej w Katowicach wynika, że na 1 ha powierzchni badanych rezerwatów rocznie spada od 5,4 kg ołowiu, 24,3 kg cynku i 0,1 kg kadmu (rezerwat „Bukowica”), do 17,0 kg ołowiu, 44,6 kg cynku, 1,1 kg kadmu (rezerwat „Segiet”), 0,7 t tlenków żelaza w „Bukowicy” i 2,0 t tlenków żelaza w „Segiecie”. Średnioroczna zawartość  $\text{SO}_2$  w atmosferze

Możliwości wchłonięcia przez fitomasę zbiorowiska bukowego zanieczyszczeń w ciągu jednego sezonu wegetacyjnego, biorąc pod uwagę to, co zbiorowisko to otrzymuje rokrocznie z opadem pyłu i zanieczyszczeniem gazowym, są niewielkie. Znaczna część zanieczyszczeń kumuluje się w glebie. Łatwość pobierania jonów niektórych metali przez listowie ma poważne konsekwencje. Pobieranie proporcjonalne do wielkości dopływu niesie z sobą niebezpieczeństwo toksycznego oddziaływania, szczególnie jeśli dopływ znacznie przekracza zapotrzebowanie roślin na dany pierwiastek. Jest to powodem kumulacji pierwiastka w aparacie asymilacyjnym roślin z wszystkimi tego skutkami.

Skażenia (np.: Mg, Zn, Fe, S) mogą być traktowane jako swoisty dopływ do ekosystemu substancji, którą układ może wchłonąć lub nie. Może to polegać na akumulacji w glebie i w biomasie, na wymywaniu przez krążenie czy dopływ wody, a więc specyficzny eksport, czy wreszcie na przeobrażeniu w postać nierozpuszczalną. W przypadku metali ciężkich bardzo istotne jest to, jaką ilość pierwiastków może wchłonąć środowisko leśne, czyli wyłączyć z obiegu, i jak trwałe jest to zablokowanie. Nie jest bowiem obojętne, czy metale ciężkie lub siarka znajdują się w drewnie, korze, liściach drzew lub roślin zielnych, czy też w szpilkach świerka i sosny. W przypadku drewna lub kory drzew z rezerwatów blokada może trwać setki lat. Natomiast blokada tej części skażeń, która sprowadza się do kumulacji w liściach czy owocach, trwa bardzo krótko, ponieważ części te istnieją tylko jeden, ewentualnie kilka okresów wegetacyjnych, a potem — w procesie mineralizacji — pierwiastki wracają do gleby. W lasach województwa katowickiego obserwuje się dopływ wielokrotnie przekraczający nie tylko zapotrzebowanie roślin na określony pierwiastek, ale także możliwości wchłonięcia i zablokowania nadmiaru, co burzy równowagę krążenia.

Układ buforowy gleby wykazuje wprawdzie dużą pojemność, ale nie jest on nieograniczony. W którymś momencie musi dojść do załamania homeostazy. Stan zbiorowisk leśnych, w tym zespołów buczyn w rezerwach przyrody, jest też odzwierciedleniem jakości środowiska glebowego. Dotyczy to zarówno składu gatunkowego zespołu, jak i zewnętrznych cech poszczególnych taksonów, produktywności oraz składu chemicznego biomasy. Zjawiskiem ostatecznym jest destrukcja całego ekosystemu.

Wyniki badań własnych, a także innych autorów (CZARNOWSKA, CHOJNACKI, 1993; ERNST, 1981; GRESZTA, GODZIK, 1968; HOOK i in., 1977; KABATA-PENDIAS, PENDIAS, 1993; NIEMTUR, 1996; ROSS, 1994) wskazują, że dostające się do gleb wraz z zanieczyszczeniami związki metali ciężkich kumulowane są w warstwach powierzchniowych; świadczy to o małej ich rozpuszczalności, a równocześnie o szybkim wzroście ich stężeń. Wysoka, istotna dodatnia korelacja między zawartością w wierzchnich warstwach gleb a zawartością w atmosferze metali: Fe, Zn, Pb, Cd i Mn, świadczy o tym, że skład chemiczny badanych gleb jest odzwierciedleniem składu chemicznego opadających pyłów i jest uzależniony od rodzaju emitowanych



skażeń. Obserwacje te potwierdzają badania SAWICKIEJ (1987), CIEPAŁA (1992) i LOREK (1993). Na podstawie wcześniejszych badań prowadzonych w rezerwach przyrody województw śląskiego i małopolskiego (WĘGIEREK, 1990; LIPKA, 1990; CIEPAŁ, 1992) w wierzchnich warstwach gleb odnotowano zróżnicowane tempo kumulacji metali ciężkich (Cd, Pb i Zn) (tab. 7.1). W rezerwach „Bukowica” i „Smoleń” stwierdzono spadek zawartości kadmu, ołowiu i cynku w górnym poziomie gleby, np. w rezerwacie „Bukowica” zawartość kadmu obniżyła się dwukrotnie — z 5  $\mu\text{g/g}$  do 2  $\mu\text{g/g}$ . W glebie z rezerwatu „Las Murckowski” poziom kadmu w okresie 1988—1994 nie uległ zmianie (5  $\mu\text{g/g}$ ), nastąpił natomiast niewielki spadek zawartości cynku oraz wzrost zawartości ołowiu. Obniżenie zawartości tych metali ciężkich w glebach omawianych rezerwatów jest wynikiem zmniejszenia się opadu pyłu w punktach pomiarowych Sanepidu, zlokalizowanych w sąsiedztwie rezerwatów w ostatnich pięciu latach (rys. 1—3). Wyjątek stanowi rezerwat „Las Murckowski”, leżący w pobliżu uczęszczanej drogi szybkiego ruchu Katowice — Bielsko-Biała. Ołów ze spalin samochodowych powoduje wzrost udziału tego pierwiastka w glebie, mimo że w atmosferze nie obserwujemy wzrostu jego ilości, ponieważ punkty pomiarowe zlokalizowane na pewnej wysokości nie wychwytyują ołowiu pochodzącego z czteroetylku ołowiu.

Tabela 7.1

Zmiana zawartości metali ciężkich w górnym poziomie gleb (0—10 cm) badanych rezerwatów na przestrzeni lat 1988—1994

Nazwa rezerwatu	Cd		Pb		Zn	
	1988	1994	1988	1994	1988	1994
Bukowica	5,0	2,0	75,0	60,0	200,0	160,0
Góra Chełm	16,0	17,0	170,0	190,0	240,0	350,0
Las Murckowski	5,0	5,0	70,0	90,0	160,0	150,0
Lipowiec	4,0	4,0	60,0	80,0	200,0	290,0
Ostra Góra	10,0	19,0	120,0	150,0	500,0	880,0
Segiet	20,0	25,0	300,0	350,0	870,0	910,0
Smoleń	15,0	10,0	90,0	90,0	216,0	200,0

W pozostałych rezerwach w górnej warstwie gleby (0—10 cm) zaobserwowano wzrost kumulacji metali ciężkich. Zawartość cynku wzrosła prawie dwukrotnie w rezerwacie „Ostra Góra” — z 500  $\mu\text{g/g}$  do 880  $\mu\text{g/g}$ , oraz w rezerwacie „Góra Chełm” — z 240  $\mu\text{g/g}$  do 350  $\mu\text{g/g}$ . W pozostałych rezerwach wzrost jest wyraźny, ale znacznie zróżnicowany w zależności od badanego pierwiastka, co związane jest z różnym rodzajem zanieczyszczeń emitowanych przez zakłady zlokalizowane w ich sąsiedztwie i tempem od-

Tabela 7.2

Zmiana zawartości metali ciężkich w liściach buku zwyczajnego  
(*Fagus sylvatica*) pochodzących z badanych rezerwatów  
na przestrzeni lat 1988—1994

Nazwa rezerwatu	Cd		Pb		Zn	
	1988	1994	1988	1994	1988	1994
Bukowica	2,0	1,5	3,0	3,0	50,0	50,0
Góra Chełm	14,0	12,0	17,0	21,0	250,0	285,0
Las Murckowski	4,0	4,0	12,0	18,0	75,0	60,0
Lipowiec	3,0	6,0	2,0	4,0	180,0	210,0
Ostra Góra	10,0	15,0	15,0	20,0	320,0	365,0
Segiet	17,0	21,0	28,0	32,0	310,0	330,0
Smoleń	9,0	11,0	14,0	20,0	180,0	180,0

Tabela 7.3

Zmiana zawartości metali ciężkich w liściach bluszczu pospolitego  
(*Hedera helix*) pochodzących z badanych rezerwatów  
na przestrzeni lat 1988—1994

Nazwa rezerwatu	Cd		Pb		Zn	
	1988	1994	1988	1994	1988	1994
Bukowica	6,0	3,0	4,0	4,0	90,0	90,0
Góra Chełm	11,0	16,0	21,0	26,0	195,0	220,0
Las Murckowski	12,0	12,0	16,0	20,0	85,0	75,0
Lipowiec	3,5	5,0	6,0	12,0	185,0	220,0
Ostra Góra	11,0	15,0	21,0	25,0	210,0	250,0
Segiet	16,0	20,0	32,0	38,0	260,0	275,0
Smoleń	15,0	14,0	22,0	20,0	240,0	230,0

Tabela 7.4

Zmiana zawartości metali ciężkich w liściach konwalijki dwulistnej  
(*Maianthemum bifolium*) pochodzących z badanych rezerwatów  
na przestrzeni lat 1988—1994

Nazwa rezerwatu	Cd		Pb		Zn	
	1988	1994	1988	1994	1988	1994
Bukowica	6,0	6,0	8,0	16,0	65,0	60,0
Góra Chełm	11,0	16,0	21,0	26,0	85,0	95,0
Las Murckowski	12,0	14,0	16,0	21,0	50,0	50,0
Lipowiec	8,5	12,0	16,0	20,0	65,0	100,0
Ostra Góra	21,0	29,0	13,0	24,0	160,0	180,0
Segiet	22,0	26,0	40,0	42,0	180,0	195,0
Smoleń	11,0	14,0	14,0	14,0	130,0	120,0

Tabela 7.5

Zmiana zawartości metali ciężkich w szpilkach świerka pospolitego (*Picea abies*) pochodzących z badanych rezerwatów na przestrzeni lat 1988—1994

Nazwa rezerwatu	Cd		Pb		Zn	
	1988	1994	1988	1994	1988	1994
Bukowica	5,0	2,0	10,0	4,0	80,0	105,0
Góra Chełm	14,0	14,0	20,0	21,0	110,0	155,0
Las Murckowski	11,0	12,0	17,0	20,0	130,0	100,0
Lipowiec	4,0	5,0	6,0	11,0	110,0	115,0
Ostra Góra	13,0	16,0	17,0	22,0	305,0	325,0
Segiet	18,0	21,0	38,0	41,0	250,0	280,0
Smoleń	18,0	12,0	25,0	20,0	180,0	160,0

Odnotowane zmiany ilości metali ciężkich w glebie oraz powietrzu atmosferycznym rezerwatów województw śląskiego i małopolskiego w latach 1988—1994 miały również wpływ na stopień kumulacji tych pierwiastków w liściach buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*) (tab. 7.2), bluszczu pospolitego (*Hedera helix*) (tab. 7.3) i konwalijki dwulistnej (*Maianthemum bifolium*) (tab. 7.4) oraz szpilkach świerka pospolitego (*Picea abies*) (tab. 7.5) i sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) (tab. 7.6), analizowanych na tym terenie w latach wcześniejszych — WĘGIEREK (1990), LIPKA (1990), CIEPAŁ (1992).

Tabela 7.6

Zmiana zawartości metali ciężkich w szpilkach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) pochodzących z badanych rezerwatów na przestrzeni lat 1988—1994

Nazwa rezerwatu	Cd		Pb		Zn	
	1988	1994	1988	1994	1988	1994
Bukowica	4,0	2,0	5,0	2,0	40,0	40,0
Góra Chełm	7,0	9,0	9,0	14,0	60,0	80,0
Las Murckowski	3,0	4,0	7,0	10,0	95,0	80,0
Lipowiec	3,0	4,0	4,0	8,0	40,0	50,0
Ostra Góra	8,0	11,0	9,0	14,0	110,0	160,0
Segiet	13,0	19,0	18,0	23,0	90,0	120,0
Smoleń	7,0	6,0	8,0	9,0	60,0	45,0

Podobnie jak w przypadku gleby, kumulacja badanych pierwiastków w roślinach uzależniona była od miejsca poboru materiału. W materiale pochodzącym z rezerwatów „Lipowiec”, „Ostra Góra” oraz „Segiet” w okresie 112 1988—1994 stwierdzono wzrost zawartości kadmu, ołowiu i cynku w szpilkach

i liściach gatunków testowych (tab. 7.3—7.5). Natomiast w rezerwach „Bukowica” i „Smoleń” zaobserwowano obniżenie zawartości analizowanych pierwiastków. Wyjątek stanowią liście buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*) (tab. 7.2) i konwalijki dwulistnej (*Maianthemum bifolium*) (tab. 7.4) z rezerwatu „Smoleń”, w których nastąpił wzrost kumulacji metali. Z grupy analizowanych drzew liściastych buk wydaje się gatunkiem najbardziej podatnym na akumulację metali ciężkich w liściach (Aneks, tab. 10 i 11); ma to swoje odzwierciedlenie w kondycji tego gatunku w większości badanych rezerwatów. Szczególnie widoczne jest to w rezerwach „Segiet” i „Ostra Góra”.

Działanie czynników degeneracyjnych, głównie antropogenicznych, w tym metali ciężkich, dwutlenku siarki itp., wpływa na skład florystyczny zbiorowisk roślinnych. Obserwuje się zanikanie gatunków stenotopowych, a w ich miejsce pojawiają się gatunki ubikwistyczne.

Zmiany florystyczne w rezerwach przyrody województw śląskiego i małopolskiego położonych w strefie przemysłowego zanieczyszczenia powietrza dotyczą zarówno dendroflory, jak i składu runa.

Z lektury następujących prac: CEMPULIK (1993), CISŁO (1978), JAROMIN (1958, 1966), JĘDRZEJKO i in. (1991), LUDERA (1939), KOBIERSKI (1965), MYCZKOWSKI (1962), ROSTAŃSKI, TOKARSKA-GUZIK (1995), ŻARNOWIEC i in. (1997), *Operaty urzędzeniowe badanych rezerwatów oraz Wskazania do planu ochrony rezerwatów z lat 1993—1997*, wynikają zmiany w składzie florystycznym (zanikanie gatunków) w grupie gatunków drzew i krzewów:

- w rezerwacie „Segiet” ustąpienie jodły pospolitej (*Abies alba*), wiązu pospolitego (*Ulmus minor*) oraz trzmieliny brodawkowej (*Euonymus verrucosus*) odnotowywanych w okresie pierwszych prowadzonych tu badań florystycznych (LUDERA, 1939; KOBIERSKI, 1965); obserwowany jest również proces wypierania z podszytu i tak już nielicznych podrostów buka przez młodociane osobniki jaworu, co w przyszłości może się przyczynić do całkowitej zmiany charakteru lasu;
- w „Lesie Murckowskim” w ostatnim 30-leciu zaobserwowano wymieranie: jodły pospolitej (*Abies alba*), olszy szarej (*Alnus incana*) oraz trzmieliny brodawkowej (*Euonymus verrucosus*).

Natomiast z grupy roślin runa z rezerwatów „Segiet”, „Ostra Góra” oraz „Lipowiec” w ostatnich latach ubyły: czosnacek pospolity (*Alliaria petiolata*), czosnek niedźwiedzi (*Alium ursinum*), czyścica storzyszka (*Clinopodium vulgare*), kokorycz pusta (*Corydalis cava*) i ziarnopłon wiosenny (*Ficaria verna*).

W przypadku roślin runa mamy do czynienia z gatunkami charakterystycznymi dla zbiorowisk bukowych, a zanikanie gatunków charakterystycznych dla niższych jednostek syntaksonomicznych jest pierwszym etapem prowadzącym do zmian degeneracyjnych zespołu. W składzie florystycznym rezerwatów, w których stwierdzono wysokie zagrożenie metalami ciężkimi i dwutlenkiem

siarki („Segiet”, „Las Murckowski” i „Ostra Góra”), udział gatunków charakterystycznych dla zespołu jest niewielki (9—12), przy 18—22 gatunkach w rezerwatach uważanych za mniej zanieczyszczone (tab. 7.7).

Tabela 7.7

Udział gatunków charakterystycznych dla zespołów bukowych  
we florze analizowanych rezerwatów przyrody

Nazwa rezerwatu	Gatunki leśne i zarodkowe		Gatunki charakterystyczne dla klasy <i>Quercus-Fagetalia</i> , rzędu <i>Fagetalia silvaticae</i> , związków <i>Fagine</i> i <i>Lesulo-Fagine</i>	Gatunki charakterystyczne dla zespołów buczyn	
	liczba	% ogółu gatunków		liczba	% gatunków leśnych
Bukowica	94	57	57	19	20
Góra Chełm	106	44	59	22	20
Las Murckowski	85	40	38	12	14
Lipowiec	116	33	61	18	16
Ostra Góra	81	36	41	12	14
Segiet	83	65	44	9	10
Smoleń	73	26	41	12	16

RYBACKA (1997) stwierdziła, że w rezerwacie „Segiet” w okresie 1976—1996 produkcja runa (badania prowadzone metodą maksymalnego plonu) znacznie się obniżyła — z 43,01 g/m<sup>2</sup>/rok w roku 1976 do 20,55 g/m<sup>2</sup>/rok w roku 1996. Ta sama autorka podaje, że w ciągu 20 lat zmieniły się stosunki jakościowe i ilościowe w runie lasu bukowego badanego rezerwatu. Znacznie zwiększył się udział podagrycznika pospolitego (*Aegopodium podagraria*) i poziewnika szorstkiego (*Galeopsis tetrahit*) kosztem kopytnika pospolitego (*Asarum europaeum*), czworolista pospolitego (*Paris quadrifolia*) czy konwalijki dwulistnej (*Maianthemum bifolium*).

Liście kopytnika pospolitego (*Asarum europaeum*) oraz konwalijki dwulistnej (*Maianthemum bifolium*) cechuje (w grupie roślin runa) największa kumulacja ołowiu (Aneks, tab. 10). W liściach konwalijki dwulistnej i buka obserwuje się wzrost zawartości metali ciężkich (Zn, Pb i Cd) we wszystkich badanych rezerwatach na przestrzeni ostatnich 8 lat (tab. 7.2 i 7.4). Świadczy to o znaczących zmianach w badanych zbiorowiskach, generalnie zmierzających do degradacji ekosystemu, a także o przyspieszonym tempie tych zmian, uchwytanych w stosunkowo krótkim czasie.

## 8. Podsumowanie

Reakcja zbiorowisk bukowych, podobnie jak innych ekosystemów leśnych, na emisje przemysłowe jest odpowiedzią na wszystkie ksenobionty, z uwzględnieniem zachodzących pomiędzy nimi powiązań mogących dać efekt antagonistyczny, synergistyczny lub addytywny, a także wpływu innych czynników środowiskowych.

Analiza wyników pomiarów zanieczyszczeń powietrza badanych terenów (rozpatrywano opad pyłu, zawartość wybranych metali ciężkich w opadającym pyłe oraz zawartość  $\text{SO}_2$ ) wskazuje, że dopuszczalny poziom zawartości dwutlenku siarki na wszystkich badanych powierzchniach jest przekroczony. Związane jest to z dużą ilością zlokalizowanych tu elektrowni i elektrociepłowni, w tym 5 z grupy wpisanych na krajową listę największych trucicieli odpowiedzialnych za emisję tego gazu. W większości rezerwatów poziom stężenia  $\text{SO}_2$  w powietrzu atmosferycznym jest zbliżony (40—50  $\text{mg/m}^3/\text{rok}$ ), jedynie w rezerwacie „Segiet” obserwujemy dwukrotne przekroczenie dopuszczalnej normy tego parametru stanu atmosfery. W tym samym rezerwacie stwierdzono przekroczenie norm w zakresie opadu pyłu oraz kadmu i ołowiu.

Wysoka zawartość  $\text{SO}_2$ , podobnie jak wysoki opad pyłów metalo-nośnych, notowana w rezerwacie „Segiet” wynika z faktu lokalizacji tego terenu chronionego w centrum aglomeracji górnośląskiej. Rezerwat ten znajduje się bowiem w zasięgu oddziaływania emitorów zlokalizowanych w sąsiednich miastach: Bytomiu, Tarnowskich Górach i Piekarach, tzn.: huty cynku „Miasteczko Śląskie” (10 km od rezerwatu), huty „Bobrek” (6 km od rezerwatu), Zakładu Chemicznego w Tarnowskich Górach (5 km od rezerwatu), Zakładu Górniczo-Hutniczego „Orzeł Biały” w Piekarach Śląskich (10 km od rezerwatu) czy też Zespołu Elektrociepłowni „Bytom” (7 km) oraz wielu mniejszych, często położonych w jego najbliższym sąsiedztwie.

Na pozostałych terenach chronionych, oprócz wysokich stężeń  $\text{SO}_2$ , nie stwierdza się przekroczenia norm analizowanych parametrów czystości atmosfery. Otrzymane dane wskazują jednak na występowanie znacznego zagrożenia ze strony pyłów metalonośnych w rezerwacie „Góra Chełm”, położonym w zasięgu oddziaływania: huty „Katowice” (14 km), Koksowni „Przyjaźń” (11 km) i Cementowni „Wiek” (5 km), oraz „Ostra Góra” — oddalonym od Zakładu Górniczo-Hutniczego „Bolesław” o 10 km, Zakładów Metalurgicznych „Trzebinia” o 5 km oraz Zakładu Surowców Ogniotrwałych „Górka” o 5 km.

Zmiany w zawartości kadmu, ołowiu i cynku w opadającym pyłe odnotowane w poszczególnych rezerwach są związane z odległością od emitorów tych zanieczyszczeń; są także uzależnione od tempa osiadania. Najwcześniej osiadają związki kadmu i ołowiu, najdalej zaś docierają pyły zawierające cynk.

Przedstawione rezultaty badań potwierdzają, że analizowane rodzaje zanieczyszczeń atmosferycznych mają wyraźny wpływ na środowisko przyrodnicze badanych rezerwatów. Dotyczy to między innymi zmian w stężeniu metali ciężkich. Emitowane do środowiska zanieczyszczenia ostatecznie kumulują się w glebie. Z tego względu gleby znajdujące się w strefach skażeń charakteryzują się wysoką zawartością metali ciężkich i siarki, co stwierdzono w trakcie niniejszych badań. Potwierdzają to wyniki otrzymane przez innych autorów (GRESZTA, GODZIK, 1969; FABISZEWSKI i in., 1983; DUDKA, SAJDAK, 1992; LOREK, 1993).

Zawartość metali w zanieczyszczonych glebach uzależniona jest od wielkości i rodzaju emisji. Wyniki badań własnych, a także innych autorów wskazują, że dostające się do gleb z zanieczyszczeniami związki metali ciężkich kumulowane są w warstwach powierzchniowych; świadczy to o ich małej rozpuszczalności, a w konsekwencji prowadzi do szybkiego wzrostu ich zawartości. Zaobserwowano wysoko istotną statystycznie, dodatnią korelację między zawartością w wierzchnich warstwach gleb większości badanych metali ciężkich (wyjątek stanowi Cu) i siarki a zawartością tych pierwiastków w pyłe lub stężeniem  $\text{SO}_2$ . Potwierdza to, że skład chemiczny badanych gleb jest odzwierciedleniem składu chemicznego opadających pyłów i zależy od rodzaju emitowanych skażeń. Największe wartości stężeń metali ciężkich w wierzchniej warstwie gleb odnotowano w rezerwach położonych najbliżej dużych emitorów i poddanych działaniu emisji przemysłowych przez wiele lat, np. huta cynku „Miasteczko Śląskie” emituje zanieczyszczenia od 25 lat, a ZGH „Orzeł Biały” czy Zakłady Chemiczne w Tarnowskich Górach prawie od 50 lat, ZGH „Bolesław” oraz zakłady w Trzebinii — również niemal od 50 lat. Uwzględniając dopuszczalne progi zawartości kadmu, ołowiu i cynku w glebie, w rezerwach „Segiet”, „Ostra Góra” oraz „Góra Chełm” stwierdzono, że poziom ich kumulacji w warstwie wierzchniej gleb jest wielokrotnie przekroczony. Obecność znacznych ilości metali w niższych poziomach gleby pochodzącej z rezerwatu „Segiet” świadczy o utrzymującym się tu długo-

Kumulacja miedzi, manganu, żelaza i siarki w glebach rezerwatów, choć bardzo wysoka w porównaniu z terenami wolnymi od zanieczyszczeń, nie wskazuje na występowanie zagrożenia tymi pierwiastkami badanych gleb.

Gleba jest systemem otwartym, w którym zarówno czynniki abiotyczne, jak i żyjące w niej mikroorganizmy pozwalają na całkowity rozkład pierwotnych i wtórnych substratów, występujących w danym środowisku lub do niego się dostających. Glebę będącą pod wpływem metali ciężkich uważać można za system blokowany, charakteryzujący się zmianami szybkości biodegradacji wprowadzonych substancji organicznych, w wyniku zmian metabolizmu żyjących w glebie mikroorganizmów (BABICH, STOTZKY, 1985; PACHA, 1989). W ekosystemach leśnych, zwłaszcza liściastych, narażonych na oddziaływanie emisji przemysłowych obniżenie szybkości rozkładu materii organicznej pod wpływem metali ciężkich (obniżenie żyzności) może być zrekompensowane opadami zawierającymi makro- i mikroelementy (BADURA, PACHA, 1984; 1985; PACHA, 1989), nie doprowadzającymi do całkowitego obniżenia żyzności siedliska.

Z grupy analizowanych pierwiastków siarka, mangan, żelazo, miedź i cynk są niezbędne do normalnego rozwoju i wzrostu roślin. Pozostałe pierwiastki, tzn. kadm i ołów, uważane są za szkodliwe, ale ich pobieranie przez rośliny podlega takim samym prawom fizjologicznym, jak mikro- czy makroelementów.

W naturalnych warunkach zawartość pierwiastków śladowych w roślinach poszczególnych taksonów wykazuje duże zróżnicowanie; jest ono zmienne w różnych częściach rośliny i zależy od fazy fenologicznej.

Emitowane przez przemysł zanieczyszczenia powietrza zawierają znaczne ilości pierwiastków (K, Ca, Mg, S, Fe, C, Zn, Cu i in.), które roślina może wykorzystać w procesie wzrostu. Najczęściej jednak ilości emitowanych składników są za duże dla tolerancji organizmu, a forma związku lub sam związek czy pierwiastek są toksyczne dla roślin. Zawarte w atmosferze pyły z metalami ciężkimi oraz siarka pochodząca z SO<sub>2</sub> dostają się do gleb oraz opadają na nadziemne części roślin. Pobieranie tych elementów przez rośliny odbywa się zarówno przez system korzeniowy, jak i bezpośrednio przez blaszki liściowe. Rośliny pobierają z gleby pierwiastki śladowe proporcjonalnie do ich stężenia w podłożu glebowym, ale proces ten regulowany jest przez wiele czynników. Intensywność pobierania przez rośliny zależy także od właściwości pierwiastków.

Wyniki analiz materiału roślinnego wykazują duże zróżnicowanie pod względem zawartości analizowanych pierwiastków zależnie od gatunku, co jest zjawiskiem ogólnie znanym.

Na podstawie analiz stwierdzono, że akumulacja Cd, Pb, Zn Fe i S w liściach i szpilkach badanych gatunków jest skorelowana zarówno z ich obecnością w glebie, jak i w opadającym pyłe, co potwierdzają wysoce istotne 117



statystycznie współczynniki korelacji. W przypadku miedzi zależności te wystąpiły tylko w układzie roślina — gleba, natomiast dla manganu tylko dla aparatu asymilacyjnego liści drzew i kilku roślin zielnych.

Zaobserwowano wzrost zawartości kadmu, ołowiu i cynku w analizowanym materiale roślinnym w czasie trwania sezonu wegetacyjnego; maksymalne wartości — w materiale zbieranym jesienią. Natomiast zawartość siarki i manganu w trakcie sezonu wegetacyjnego nieznacznie uległa zmniejszeniu. Wynika to z odmiennych procesów fizjologicznych, jakim podlegają te pierwiastki. Kadm i ołów to metale należące do grupy pierwiastków zbędnych dla funkcjonowania organizmów roślinnych, a siarka i mangan należą do mikroelementów i podlegają procesom biochemicznym zachodzącym w trakcie starzenia się liści czy szpilek. Starzejące się liście zmniejszają swój metabolizm i zaczyna maleć zapotrzebowanie na te pierwiastki.

Brak istotnych różnic w zawartości siarki w igłach i liściach badanych gatunków w danych rezerwach, a także wysoka zawartość tego pierwiastka, przekraczająca ponad 5-krotnie naturalny poziom, jaki notuje się w lasach rozwijających się poza zasięgiem emisji przemysłowych, nie korespondują ze stanem zdrowotnym występujących tu zbiorowisk. Wyjątek stanowi rezerwat „Segiet”, w którym brak szpilek starszych roczników.

Przyczyną tego stanu jest najprawdopodobniej neutralizacja  $\text{SO}_2$  przez alkaliczne związki zawarte w emitowanych jednocześnie pyłach, która może zachodzić zarówno przed (w powietrzu atmosferycznym), jak i po wejściu (np. na powierzchnię liści lub w glebie) do ekosystemu.

Podobnie jak w przypadku omawianej wcześniej gleby, najwyższe zawartości metali ciężkich występujących najczęściej razem, tzn. kadmu, ołowiu i cynku, stwierdzono w roślinach pochodzących z rezerwatu „Segiet”, nieco mniejsze w materiale z „Ostrej Góry” i „Góry Chełm”, najmniejszą kumulację zaś odnotowano w rezerwach „Bukowica” i „Lipowiec”.

Zawartość pozostałych badanych metali w materiale roślinnym uzależniona była od miejsca zbioru (lokalizacji rezerwatu). Największe ilości manganu obserwowano w materiale pochodzącym z rezerwatów: „Góra Chełm”, „Lipowiec” i „Segiet”, największe ilości żelaza w „Segiecie”, a miedzi — w „Lesie Murckowskim”, „Ostrej Górze” i „Segiecie”.

Dwutlenek siarki działa bezpośrednio na rośliny, zakłócając wiele procesów fizjologicznych, uszkadza membrany wewnątrzkomórkowe; zakłóca to system odżywiania i bilans wodny. Emitowany  $\text{SO}_2$  powoduje wzrost kwasowości gleby. Wzmaga także toksyczne działanie metali ciężkich na drzewostan przez fakt zwiększenia puli form rozpuszczalnych metali, łatwo wchodzących w obiegi biologiczne. Nadmierna ilość metali ciężkich w glebie i roślinach, spotykana w większości analizowanych rezerwatów, może doprowadzić do ich degradacji.

Długotrwałe utrzymywanie się zanieczyszczeń w ekosystemie oceniane jest na kilkadziesiąt lat. Z uwagi na brak skutecznych metod ich usuwania nie ma możliwości poprawy zarówno wartości użytkowej gleb, jak i kondycji rozwijających się tam lasów.

W celu dokonania syntetycznej oceny stopnia zagrożenia metalami ciężkimi i siarką analizowanych rezerwatów podjęto próbę wstępnej typologii na podstawie analizy skupień. Jako cechy do analiz przyjęto: stan atmosfery, zawartość metali ciężkich w roślinach i glebie oraz pH gleby. W wyniku typologii można wyróżnić trzy grupy rezerwatów: „Segiet” (bardzo silnie zagrożony), „Ostra Góra” (silne zagrożenie) oraz pozostałe, w których zagrożenie jest wysokie, ale nie niebezpieczne dla ich funkcjonowania jako terenów chronionych województwa śląskiego i wschodniej części województwa małopolskiego.

## 9. Wnioski

1. Wykazano, że długotrwałe działanie zanieczyszczeń emitowanych przez zakłady przemysłowe zlokalizowane w sąsiedztwie rezerwatów województwa katowickiego spowodowało zmianę parametrów chemicznych gleb (pH, zawartość metali ciężkich). Największe zmiany zaobserwowano w glebie pochodzącej z rezerwatów: „Segiet”, „Góra Chełm” i „Lipowiec”.

2. Stwierdzono nagromadzenie się metali ciężkich (Cd, Pb, Zn, Cu i Fe) w wierzchniej warstwie gleb, co świadczy o ich zewnętrznym pochodzeniu i jest konsekwencją negatywnej presji człowieka. Wskazuje na to również fakt, iż zawartość metali w profilu maleje wraz z głębokością.

3. W większości badanych rezerwatów w okresie 1986—1994 nastąpił wzrost zawartości metali ciężkich w wierzchniej warstwie gleb. W ciągu sześciu lat w rezerwacie „Segiet” zaobserwowano wzrost zawartości Cd z 20,0 µg/g do 25,0 µg/g, Pb z 300,0 µg/g do 350,0 µg/g oraz Zn z 870,0 µg/g do 910,0 µg/g. Podobne zmiany stwierdzono również w rezerwach: „Góra Chełm”, „Ostra Góra” oraz „Lipowiec”.

4. Zawartość pierwiastków emitowanych przez przemysł jest bardziej zróżnicowana w roślinach niż w glebie, gdyż oprócz rodzaju zanieczyszczenia na tempo kumulacji ma wpływ gatunek rośliny.

5. U większości badanych gatunków stwierdzono wzrost zawartości siarki w liściach i szpilkach, ściśle związany ze wzrostem stężenia SO<sub>2</sub> w powietrzu.

6. W liściach buka zwyczajnego (*Fagus sylvatica*), kopytnika pospolitego (*Asarum europaeum*) oraz konwalijki dwulistnej (*Maianthemum bifolium*) oznaczono wysoką kumulację ołowiu, istotnie dodatnio skorelowaną z zawartością tego pierwiastka w glebie oraz opadającym pyłem.

7. Badania wykazały, że zawartość metali ciężkich w roślinach różnych gatunków jest dobrym i porównywalnym kryterium oceny wpływu zanieczyszczeń powietrza. Najlepszym miernikiem tego wpływu jest ocena zmian stężeń metali w okresie wieloletnim i w układzie pełnym: atmosfera — gleba

# Aneks

Tabela 1

Zawartość kadmu [ $\mu\text{g/g}$ ] w górnym poziomie gleby rezerwatów

Poziom [cm]	Bukowica	Góra Chełm	Las Marekowiaki	Lipowiec	Ostra Góra	Segiet	Smoleń	Tenczyński Park Krajobrazowy
0—10	2,0	17,0	5,0	4,0	19,0	25,0	10,0	21,0
10—20	1,0	5,0	5,0	2,0	8,0	16,0	5,0	10,0
20—30	1,0	3,0	2,0	1,0	6,0	18,0	4,0	9,0

Tabela 2

Zawartość ołowiu [ $\mu\text{g/g}$ ] w górnym poziomie gleby rezerwatów

Poziom [cm]	Bukowica	Góra Chełm	Las Marekowiaki	Lipowiec	Ostra Góra	Segiet	Smoleń	Tenczyński Park Krajobrazowy
0—10	60,0	190,0	90,0	80,0	150,0	350,0	90,0	90,0
10—20	30,0	45,0	85,0	50,0	100,0	350,0	30,0	70,0
20—30	30,0	20,0	85,0	55,0	95,0	120,0	30,0	60,0

Tabela 3

Zawartość cynku [ $\mu\text{g/g}$ ] w górnym poziomie gleby rezerwatów

Poziom [cm]	Bukowica	Góra Chełm	Las Marekowiaki	Lipowiec	Ostra Góra	Segiet	Smoleń	Tenczyński Park Krajobrazowy
0—10	160,0	350,0	150,0	290,0	880,0	910,0	200,0	200,0
10—20	30,0	45,0	85,0	50,0	100,0	350,0	30,0	70,0
20—30	30,0	20,0	85,0	55,0	95,0	120,0	30,0	60,0

Tabela 4

Zawartość miedzi [ $\mu\text{g/g}$ ] w górnym poziomie gleby rezerwatów

Poziom [cm]	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowiec	Ostra Góra	Segiet	Smolesz	Tenczyński Park Krajobrazowy
0—10	5,5	15,0	20,0	5,5	25,0	25,0	10,0	21,0
10—20	5,0	10,0	20,0	5,0	20,0	25,0	4,0	20,0
20—30	5,0	10,0	10,0	5,0	15,0	10,0	4,0	15,0

Tabela 5

Zawartość żelaza [ $\mu\text{g/g}$ ] w górnym poziomie gleby rezerwatów

Poziom [cm]	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowiec	Ostra Góra	Segiet	Smolesz	Tenczyński Park Krajobrazowy
0—10	1710,0	4500,0	7050,0	7450,0	9800,0	10550,0	3150,0	4150,0
10—20	1550,0	4600,0	7550,0	6550,0	10100,0	11200,0	3550,0	3550,0
20—30	1550,0	4500,0	7150,0	6300,0	9350,0	11050,0	3650,0	3500,0

Tabela 6

Zawartość manganu [ $\mu\text{g/g}$ ] w górnym poziomie gleby rezerwatów

Poziom [cm]	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowiec	Ostra Góra	Segiet	Smolesz	Tenczyński Park Krajobrazowy
0—10	190,0	260,0	250,0	260,0	210,0	980,0	200,0	190,0
10—20	160,0	150,0	230,0	190,0	240,0	840,0	100,0	170,0
20—30	130,0	130,0	200,0	200,0	200,0	800,0	100,0	170,0

Tabela 7

Zawartość siarki [ $\mu\text{g/g}$ ] w górnym poziomie gleby rezerwatów

Poziom [cm]	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowiec	Ostra Góra	Segiet	Smolesz	Tenczyński Park Krajobrazowy
0—10	170,0	350,0	300,0	110,0	240,0	450,0	250,0	100,0
10—20	110,0	310,0	150,0	60,0	190,0	410,0	120,0	100,0
20—30	50,0	210,0	100,0	30,0	110,0	420,0	110,0	90,0

Tabela 8

## Wartość pH w górnym poziomie gleby rezerwatów

Poziom [cm]	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowiec	Ostra Góra	Segiet	Smolesz	Tenczyński Park Krajobrazowy
0—10	6,7	8,1	5,4	7,4	7,1	7,2	7,8	5,5
10—20	5,3	7,9	4,2	6,9	6,9	6,1	7,6	5,5
20—30	5,4	7,4	3,9	6,5	6,5	5,7	7,2	5,1

Zawartość kadmu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— wiosna 1992 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowiec	Ostra Góra	Teneczyński Park Krajobrazowy	Segiet	Smoleń
<i>Picea abies</i> I	2,0	14,0	12,0	5,0	16,0	18,0	21,0	12,0
II	3,0	14,0	11,0	5,0	17,0	19,0	21,0	12,0
III	5,0	17,0	11,0	6,0	17,0	19,0	23,0	15,0
IV	5,0	19,0	14,0	6,0	20,0	21,0	24,0	15,0
V	5,0	21,0	19,0	7,0	21,0	23,0	29,0	19,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	1,7	7,0	2,5	2,0	8,0	10,0	14,0	4,0
II	1,7	8,0	5,0	2,1	9,0	12,0	16,0	4,0
III	2,0	11,0	6,0	5,0	11,0	12,0	17,0	8,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	2,3	15,0	10,0	9,6	17,0	18,0	22,0	11,0
<i>Betula pendula</i>	6,0	11,0	8,5	6,0	12,0	13,0	15,0	11,0
<i>Fagus sylvatica</i>	2,1	15,0	4,0	6,0	16,0	17,0	21,0	10,0
<i>Corylus avellana</i>	3,1	8,0	5,5	4,5	9,5	11,0	16,0	6,5
<i>Rubus idaeus</i>	2,5	7,0	5,0	3,5	8,0	11,0	19,0	8,0
<i>Asarum europaeum</i>	4,0	14,0	10,0	7,0	16,0	16,0	18,0	12,0
<i>Convallaria majalis</i>	6,1	6,5	8,0	7,0	14,0	14,5	14,5	7,0
<i>Dentaria bulbifera</i>	5,2	13,0	9,0	7,0	14,0	15,0	17,0	10,0
<i>Fragaria vesca</i>	10,5	17,0	13,5	12,0	19,0	21,0	24,0	15,0
<i>Galium odoratum</i>	5,0	14,0	13,0	12,0	16,0	19,0	19,0	15,0
<i>Hedera helix</i>	3,5	18,0	12,0	6,0	18,0	21,0	24,0	16,0
<i>Hepatica nobilis</i>	10,0	21,0	17,0	15,0	24,0	25,0	29,0	18,5
<i>Maianthemum bifolium</i>	6,5	18,0	13,0	12,0	29,0	20,0	22,0	15,0
<i>Oxalis acetosella</i>	2,3	15,0	8,5	6,0	12,0	19,0	28,0	10,5

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Zawartość kadmu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— wiosna 1994 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Murchowski	Lipowiec	Ostra Góra	Tenżyński Park Krajoznawczy	Segiet	Smolesz
<i>Picea abies</i> I	2,0	13,0	12,0	4,0	15,0	18,0	22,0	13,0
II	4,0	15,0	12,0	5,0	18,0	20,0	21,0	12,0
III	3,0	17,0	11,0	6,0	17,0	20,0	24,0	14,0
IV	4,0	18,0	14,0	7,0	17,0	22,0	24,0	15,0
V	5,0	20,0	21,0	6,0	20,0	22,0	30,0	20,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	0,5	8,0	3,0	3,0	7,0	10,0	15,0	5,0
II	1,0	8,0	6,0	2,5	7,0	11,0	15,0	4,0
III	2,0	12,0	6,0	6,0	12,0	13,0	18,0	9,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	2,0	14,0	10,0	10,0	18,0	18,0	23,0	11,0
<i>Betula pendula</i>	5,5	10,0	7,0	5,0	10,0	10,0	12,0	10,0
<i>Fagus sylvatica</i>	0,5	10,0	2,0	5,0	12,0	15,0	18,0	9,0
<i>Corylus avellana</i>	4,0	7,0	4,0	5,0	8,0	10,0	14,0	5,0
<i>Rubus idaeus</i>	1,0	6,0	4,0	2,0	6,0	10,0	15,0	6,0
<i>Asarum europaeum</i>	3,0	11,0	8,0	6,0	12,0	14,0	15,0	11,0
<i>Convallaria majalis</i>	5,0	5,0	6,0	5,0	11,0	13,0	14,0	5,0
<i>Dentaria bulbifera</i>	4,0	12,0	7,0	8,0	13,0	16,0	19,0	10,0
<i>Fragaria vesca</i>	10,0	18,0	12,0	12,0	18,0	20,0	26,0	14,0
<i>Galium odoratum</i>	5,0	10,0	10,0	12,0	12,0	15,0	17,0	12,0
<i>Hedera helix</i>	1,0	16,0	11,0	5,0	15,0	19,0	20,0	15,0
<i>Hepatica nobilis</i>	10,0	20,0	15,0	16,0	24,0	26,0	31,0	18,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	5,0	16,0	10,0	10,0	27,0	18,0	20,0	14,0
<i>Oxalis acetosella</i>	1,0	12,0	6,0	5,0	10,0	15,0	25,0	8,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Zawartość kadmu [ $\mu\text{g/g}$  s.m.] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— jesień 1994 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowice	Ostra Góra	Tenczyński Park Krajobrazowy	Segiet	Smoleski
<i>Picea abies</i> I	4,0	14,0	13,0	5,0	17,0	20,0	25,0	13,0
II	6,0	16,0	14,0	5,0	19,0	21,0	26,0	14,0
III	6,0	17,0	14,0	7,0	19,0	24,0	29,0	14,0
IV	6,0	18,0	15,0	8,0	22,0	25,0	29,0	15,0
V	7,0	21,0	22,0	8,0	24,0	28,0	32,0	21,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	2,0	9,0	4,0	4,0	9,0	11,0	19,0	6,0
II	4,0	11,0	8,0	2,5	11,0	14,0	19,0	4,0
III	6,0	14,0	8,0	6,0	12,0	17,0	24,0	10,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	3,0	14,0	11,0	10,0	19,0	21,0	24,0	11,0
<i>Betula pendula</i>	6,0	12,0	8,0	5,0	12,0	12,0	19,0	12,0
<i>Fagus sylvatica</i>	1,5	12,0	4,0	6,0	15,0	18,0	21,0	11,0
<i>Corylus avellana</i>	5,0	8,0	4,0	7,0	11,0	12,0	16,0	5,0
<i>Rubus idaeus</i>	3,0	8,0	6,0	5,0	9,0	15,0	19,0	9,0
<i>Asarum europaeum</i>	4,0	11,0	9,0	6,0	11,0	15,0	15,0	11,0
<i>Fragaria vesca</i>	11,0	19,0	14,0	14,0	20,0	24,0	28,0	16,0
<i>Galium odoratum</i>	6,0	10,0	12,0	12,0	13,0	17,0	19,0	11,0
<i>Hedera helix</i>	3,0	16,0	12,0	5,0	15,0	19,0	20,0	14,0
<i>Hepatica nobilis</i>	12,0	21,0	17,0	18,0	25,0	28,0	34,0	18,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	6,0	16,0	14,0	12,0	29,0	24,0	26,0	14,0
<i>Oxalis acetosella</i>	4,5	12,0	6,0	6,0	10,0	14,0	28,0	9,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.



Zawartość ołowiu [ $\mu\text{g/g}$  s.m.] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— wiosna 1992 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowiec	Ostra Góra	Tenżyński Park Krajobrazowy	Segiet	Smoleń
<i>Picea abies</i> I	4,0	21,0	19,0	10,0	20,5	21,0	35,0	20,0
II	5,0	23,0	19,0	11,0	23,0	24,0	46,0	20,0
III	8,0	25,0	23,0	11,0	23,0	25,0	51,0	24,0
IV	8,0	37,0	25,0	14,0	25,0	25,0	52,0	30,0
V	8,5	42,0	31,0	16,0	29,0	28,0	62,0	34,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	1,0	12,0	9,0	7,0	10,0	9,5	19,0	8,0
II	2,0	18,0	12,0	9,6	19,0	10,0	24,0	11,0
III	2,2	22,0	13,0	10,1	21,0	11,0	28,0	11,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	2,1	10,5	7,5	4,8	10,0	8,5	17,0	8,0
<i>Betula pendula</i>	10,0	20,0	12,0	12,0	17,0	12,0	25,0	13,0
<i>Fagus sylvatica</i>	2,3	20,0	17,0	3,5	18,0	12,0	31,0	15,0
<i>Corylus avellana</i>	4,0	14,0	7,4	6,0	11,0	16,0	19,0	7,5
<i>Rubus idaeus</i>	2,3	11,0	6,0	6,0	8,0	7,5	22,0	6,0
<i>Asarum europaeum</i>	27,0	43,0	32,0	35,0	44,0	35,0	55,0	34,0
<i>Convallaria majalis</i>	39,0	62,0	50,0	46,0	56,0	51,0	62,0	51,0
<i>Dentaria bulbifera</i>	4,0	10,0	7,5	6,0	7,5	7,0	11,0	7,5
<i>Fragaria vesca</i>	3,0	15,0	9,0	6,5	10,0	9,0	17,0	8,5
<i>Galium odoratum</i>	2,5	26,0	21,0	5,0	24,0	21,0	35,0	20,0
<i>Hedera helix</i>	2,0	25,0	8,0	10,0	22,0	20,0	31,0	20,0
<i>Hepatica nobilis</i>	2,0	14,0	8,5	7,1	14,0	8,5	16,0	9,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	15,0	24,0	20,0	20,0	22,0	24,0	38,0	21,0
<i>Oxalis acetosella</i>	2,1	29,0	13,0	14,0	27,0	14,0	48,0	13,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Tabela 10b

Zawartość ołowiu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— wiosna 1994 r.

Gatunek	Bakowica	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowice	Ostra Góra	Teszyński Park Krajobrazowy	Seglet	Smolesz
<i>Picea abies</i> I	3,0	19,0	18,0	10,0	20,0	22,0	38,0	19,0
II	5,0	20,0	19,0	10,0	23,0	24,0	41,0	19,0
III	9,0	25,0	24,0	10,0	25,0	26,0	55,0	25,0
IV	9,0	36,0	25,0	15,0	24,0	26,0	56,0	36,0
V	9,0	40,0	31,0	15,0	29,0	26,0	58,0	35,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	1,0	13,0	8,0	8,0	10,0	10,0	20,0	9,0
II	1,0	18,0	14,0	9,0	19,0	10,0	22,0	9,0
III	2,0	21,0	15,0	11,0	23,0	12,0	29,0	10,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	2,0	9,0	8,5	5,5	9,0	8,5	15,0	8,0
<i>Betula pendula</i>	10,0	18,0	11,0	12,0	15,0	11,0	20,0	12,0
<i>Fagus sylvatica</i>	3,0	18,0	13,0	4,0	19,0	15,0	26,0	15,0
<i>Corylus avellana</i>	3,0	12,0	7,0	6,0	10,0	7,0	17,0	7,5
<i>Rubus idaeus</i>	1,0	10,0	5,0	7,0	6,0	6,0	18,0	7,0
<i>Asarum europaeum</i>	26,0	40,0	30,0	31,0	40,0	30,0	45,0	31,0
<i>Convallaria majalis</i>	38,0	60,0	45,0	42,0	55,0	50,0	60,0	48,0
<i>Dentaria bulbifera</i>	3,0	9,5	6,0	5,5	6,0	6,5	10,0	8,0
<i>Fragaria vesca</i>	3,0	12,0	9,0	5,0	8,0	9,0	18,0	9,0
<i>Galium odoratum</i>	2,0	21,0	20,0	4,0	20,0	20,0	31,0	20,0
<i>Hedera helix</i>	0,5	21,0	12,0	6,0	18,0	15,0	25,0	16,0
<i>Hepatica nobilis</i>	1,0	11,0	7,0	6,0	10,0	8,0	14,0	8,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	15,0	25,0	19,0	18,0	22,0	20,0	30,0	20,0
<i>Oxalis acetosella</i>	2,0	27,0	11,0	13,0	25,0	15,0	40,0	10,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Zawartość ołowiu [ $\mu\text{g/g}$  s.m.] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— jesień 1994 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowiec	Ostra Góra	Tenczyński Park Krajobrazowy	Segiet	Smoleń
<i>Picea abies</i> I	4,0	21,0	20,0	11,0	22,0	24,0	41,0	20,0
II	6,0	20,0	21,0	11,0	25,0	28,0	44,0	26,0
III	10,0	29,0	25,0	11,0	29,0	28,0	60,0	27,0
IV	10,0	41,0	27,0	15,0	29,0	30,0	64,0	38,0
V	12,0	43,0	35,0	18,0	32,0	31,0	69,0	39,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	2,0	14,0	10,0	8,0	14,0	14,0	23,0	9,0
II	2,0	19,0	16,0	10,0	26,0	17,0	22,0	10,0
III	4,0	24,0	18,0	13,0	25,0	17,0	34,0	12,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	2,0	9,5	10,0	5,5	12,0	11,0	17,0	17,0
<i>Betula pendula</i>	11,0	22,0	14,0	12,0	19,0	14,0	27,0	8,5
<i>Fagus sylvatica</i>	3,0	21,0	18,0	4,0	20,0	17,0	32,0	20,0
<i>Corylus avellana</i>	4,0	14,0	8,0	7,0	12,0	9,0	20,0	8,5
<i>Rubus idaeus</i>	3,0	12,0	6,0	7,0	9,0	8,0	24,0	7,0
<i>Asarum europaeum</i>	26,0	45,0	34,0	35,0	44,0	35,0	57,0	34,0
<i>Fragaria vesca</i>	3,0	16,0	12,0	7,0	11,0	11,0	19,5	10,0
<i>Galium odoratum</i>	4,0	25,0	21,0	11,0	22,0	22,0	38,0	19,0
<i>Hedera helix</i>	4,0	26,0	20,0	12,0	25,0	24,0	38,0	20,0
<i>Hepatica nobilis</i>	2,0	12,0	9,5	7,0	16,0	9,0	19,0	10,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	16,0	26,0	21,0	20,0	24,0	27,0	42,0	22,0
<i>Oxalis acetosella</i>	3,0	32,0	15,0	15,0	30,0	16,0	51,0	14,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Zawartość cynku [ $\mu\text{g/g}$  s.m.] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— wiosna 1992 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowiec	Ostra Góra	Tenczyński Park Krajoznawczy	Segiet	Samoleś
<i>Picea abies</i> I	105,0	150,0	95,0	110,0	310,0	140,0	275,0	150,0
II	105,0	170,0	100,0	110,0	340,0	160,0	310,0	160,0
III	110,0	185,0	110,0	125,0	345,0	160,0	340,0	165,0
IV	110,0	190,0	110,0	130,0	390,0	185,0	360,0	165,0
V	125,0	212,0	190,0	150,0	390,0	210,0	370,0	180,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	36,0	79,0	80,0	50,0	150,0	90,0	110,0	40,0
II	44,0	83,0	110,0	55,0	240,0	120,0	195,0	45,0
III	50,0	95,0	170,0	70,0	280,0	150,0	210,0	65,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	38,0	174,0	35,0	95,0	310,0	80,0	230,0	153,0
<i>Betula pendula</i>	110,0	210,0	90,0	130,0	205,0	90,0	180,0	170,0
<i>Fagus sylvatica</i>	40,0	272,0	50,0	190,0	340,0	135,0	310,0	170,0
<i>Corylus avellana</i>	40,0	145,0	30,0	90,0	218,0	90,0	150,0	130,0
<i>Rubus idaeus</i>	50,0	230,0	60,0	110,0	240,0	100,0	240,0	210,0
<i>Asarum europaeum</i>	16,0	195,0	150,0	180,0	230,0	170,0	240,0	188,0
<i>Convallaria majalis</i>	60,0	130,0	50,0	110,0	150,0	100,0	140,0	115,0
<i>Dentaria bulbifera</i>	30,0	148,0	25,0	140,0	200,0	135,0	210,0	200,0
<i>Fragaria vesca</i>	55,0	125,0	50,0	95,0	130,0	80,0	130,0	120,0
<i>Galium odoratum</i>	90,0	145,0	90,0	135,0	180,0	110,0	190,0	135,0
<i>Hedera helix</i>	75,0	210,0	65,0	200,0	240,0	150,0	150,0	190,0
<i>Hepatica nobilis</i>	60,0	100,0	55,0	78,0	100,0	75,0	100,0	95,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	454,0	98,0	43,0	90,0	180,0	85,0	150,0	110,0
<i>Oxalis acetosella</i>	150,0	200,0	110,0	160,0	270,0	150,0	210,0	190,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Zawartość cynku [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— wiosna 1994 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowaki	Lipowiec	Ostra Góra	Tenczyński Park Krajoznawczy	Segiet	Smolet
<i>Picea abies</i> I	100,0	140,0	90,0	115,0	300,0	130,0	260,0	150,0
II	110,0	150,0	95,0	110,0	310,0	140,0	285,0	150,0
III	110,0	150,0	120,0	120,0	340,0	160,0	310,0	170,0
IV	120,0	200,0	110,0	120,0	370,0	175,0	330,0	170,0
V	120,0	210,0	160,0	135,0	370,0	200,0	360,0	170,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	40,0	80,0	70,0	45,0	150,0	95,0	100,0	35,0
II	40,0	80,0	85,0	55,0	180,0	110,0	170,0	40,0
III	55,0	95,0	140,0	65,0	210,0	135,0	200,0	55,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	35,0	160,0	35,0	90,0	310,0	85,0	200,0	150,0
<i>Betula pendula</i>	105,0	200,0	85,0	120,0	210,0	90,0	160,0	160,0
<i>Fagus sylvatica</i>	35,0	260,0	55,0	175,0	310,0	140,0	300,0	160,0
<i>Corylus avellana</i>	30,0	140,0	35,0	80,0	215,0	100,0	150,0	130,0
<i>Rubus idaeus</i>	40,0	210,0	50,0	95,0	250,0	140,0	215,0	200,0
<i>Asarum europaeum</i>	150,0	180,0	160,0	175,0	230,0	160,0	210,0	180,0
<i>Convallaria majalis</i>	55,0	125,0	50,0	115,0	140,0	90,0	130,0	120,0
<i>Dentaria bulbifera</i>	80,0	150,0	70,0	115,0	170,0	155,0	220,0	210,0
<i>Fragaria vesca</i>	60,0	120,0	55,0	100,0	140,0	95,0	145,0	120,0
<i>Galium odoratum</i>	90,0	130,0	85,0	110,0	130,0	80,0	120,0	120,0
<i>Hedera helix</i>	80,0	200,0	70,0	200,0	210,0	140,0	230,0	200,0
<i>Hepatica nobilis</i>	60,0	100,0	55,0	85,0	110,0	60,0	110,0	110,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	55,0	100,0	45,0	100,0	175,0	85,0	160,0	110,0
<i>Oxalis acetosella</i>	150,0	185,0	100,0	165,0	250,0	130,0	200,0	170,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Zawartość cynku [ $\mu\text{g/g}$  s.m.] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— jesień 1994 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Murekowiaki	Lipowiec	Ostra Góra	Tenżyński Park Krajobrazowy	Segiet	Samoś
<i>Picea abies</i> I	105,0	155,0	100,0	115,0	325,0	145,0	280,0	160,0
II	110,0	180,0	110,0	110,0	310,0	145,0	285,0	160,0
III	120,0	180,0	120,0	120,0	360,0	160,0	330,0	180,0
IV	120,0	210,0	120,0	125,0	380,0	175,0	350,0	180,0
V	120,0	210,0	140,0	140,0	390,0	210,0	395,0	185,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	40,0	80,0	80,0	50,0	160,0	100,0	120,0	45,0
II	55,0	95,0	110,0	60,0	230,0	110,0	180,0	50,0
III	55,0	95,0	180,0	70,0	270,0	135,0	210,0	70,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	35,0	165,0	35,0	90,0	320,0	90,0	250,0	150,0
<i>Betula pendula</i>	110,0	200,0	90,0	150,0	230,0	120,0	195,0	165,0
<i>Fagus sylvatica</i>	50,0	285,0	60,0	210,0	365,0	155,0	330,0	180,0
<i>Corylus avellana</i>	45,0	145,0	35,0	95,0	220,0	110,0	160,0	135,0
<i>Rubus idaeus</i>	50,0	240,0	65,0	115,0	250,0	155,0	255,0	230,0
<i>Asarum europaeum</i>	150,0	195,0	165,0	180,0	245,0	180,0	250,0	210,0
<i>Fragaria vesca</i>	65,0	135,0	70,0	100,0	170,0	100,0	170,0	140,0
<i>Galium odoratum</i>	95,0	150,0	95,0	140,0	190,0	120,0	190,0	140,0
<i>Hedera helix</i>	90,0	220,0	75,0	220,0	250,0	160,0	275,0	230,0
<i>Hepatica nobilis</i>	60,0	130,0	65,0	90,0	130,0	65,0	130,0	140,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	60,0	95,0	50,0	100,0	180,0	85,0	195,0	120,0
<i>Oxalis acetosella</i>	170,0	210,0	120,0	195,0	295,0	185,0	275,0	220,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Zawartość miedzi [ $\mu\text{g/g}$  s.m.] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— wiosna 1992 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowice	Ostra Góra	Tenczyński Park Krajobrazowy	Segiet	Smoleń
<i>Picea abies</i> I	2,5	9,0	15,0	6,0	18,0	20,0	20,0	6,0
II	3,5	10,0	15,0	6,0	18,0	19,0	17,0	7,0
III	4,0	11,0	14,0	6,0	15,0	14,0	17,0	7,0
IV	5,0	11,0	14,0	13,0	18,0	14,0	17,0	7,0
V	5,0	12,0	14,0	15,0	17,0	14,0	15,0	7,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	14,0	15,0	30,0	14,0	35,0	25,0	40,0	14,0
II	15,0	17,0	35,0	16,0	40,0	25,0	47,0	16,0
III	10,0	17,0	30,0	10,0	40,0	19,0	48,0	19,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	6,0	12,0	18,0	14,0	22,0	20,0	25,0	13,0
<i>Betula pendula</i>	6,8	15,0	20,0	10,0	25,0	19,0	28,0	15,0
<i>Fagus sylvatica</i>	4,0	10,0	12,0	9,0	12,0	8,0	15,0	12,0
<i>Corylus avellana</i>	6,0	10,0	15,0	6,5	21,0	15,0	20,0	6,0
<i>Rubus idaeus</i>	9,2	12,0	14,0	8,8	24,0	17,0	20,0	10,0
<i>Asarum europaeum</i>	9,0	12,0	15,0	10,0	22,0	17,0	22,0	10,0
<i>Convallaria majalis</i>	7,0	11,0	20,0	9,0	25,0	15,0	23,0	15,0
<i>Dentaria bulbifera</i>	2,0	5,0	10,0	6,0	15,0	10,0	12,0	5,0
<i>Fragaria vesca</i>	7,5	10,0	22,0	8,0	22,0	19,0	25,0	10,0
<i>Galium odoratum</i>	10,0	11,0	22,0	11,0	25,0	10,0	25,0	7,0
<i>Hedera helix</i>	3,3	8,0	15,0	12,0	20,0	29,0	20,0	8,0
<i>Hepatica nobilis</i>	5,0	17,0	27,0	10,0	31,0	24,0	31,0	12,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	10,0	19,0	29,0	15,0	24,0	20,0	28,0	15,0
<i>Oxalis acetosella</i>	6,0	23,0	28,0	11,0	30,0	34,0	38,0	17,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Tabela 12b

Zawartość miedzi [ $\mu\text{g/g}$  s.m.] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— wiosna 1994 r.

Gatunek	Bukowina	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowiec	Ostra Góra	Tenczyński Park Krajobrazowy	Segiet	Smoleń
<i>Picea abies</i> I	2,0	10,0	17,0	6,0	19,0	21,0	21,0	5,0
II	3,0	10,0	17,0	5,0	19,0	20,0	19,0	5,0
III	5,0	11,0	15,0	6,0	17,0	17,0	17,0	7,0
IV	4,0	11,0	14,0	13,0	19,0	17,0	19,0	6,0
V	4,0	10,0	14,0	12,0	20,0	16,0	21,0	7,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	12,0	16,0	32,0	14,0	39,0	27,0	45,0	12,0
II	10,0	17,0	35,0	15,0	40,0	25,0	47,0	15,0
III	12,0	18,0	32,0	16,0	45,0	19,0	50,0	18,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	5,0	14,0	20,0	15,0	24,0	22,0	30,0	13,0
<i>Betula pendula</i>	6,0	18,0	25,0	12,0	22,0	19,0	35,0	19,0
<i>Fagus sylvatica</i>	5,0	12,0	15,0	11,0	11,0	10,0	18,0	16,0
<i>Corylus avellana</i>	5,0	12,0	15,0	6,0	22,0	16,0	21,0	6,0
<i>Rubus idaeus</i>	9,0	13,0	17,0	10,0	22,0	15,0	27,0	13,0
<i>Asarum europaeum</i>	7,0	13,0	15,0	9,0	23,0	18,0	24,0	9,0
<i>Convallaria majalis</i>	5,0	13,0	25,0	8,0	26,0	15,0	25,0	18,0
<i>Dentaria bulbifera</i>	2,0	5,0	6,0	4,0	11,0	9,0	23,0	5,0
<i>Fragaria vesca</i>	7,0	10,0	20,0	7,0	22,0	21,0	23,0	10,0
<i>Galium odoratum</i>	12,0	14,0	25,0	14,0	27,0	19,0	25,0	11,0
<i>Hedera helix</i>	5,0	11,0	21,0	15,0	25,0	33,0	23,0	10,0
<i>Hepatica nobilis</i>	7,0	19,0	30,0	11,0	35,0	29,0	37,0	15,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	8,0	20,0	30,0	14,0	26,0	18,0	31,0	12,0
<i>Oxalis acetosella</i>	8,0	23,0	30,0	14,0	32,0	36,0	40,0	19,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.



Zawartość miedzi [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— jesień 1994 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Murchowski	Lipowice	Ostra Góra	Tesczyński Park Krajobrazowy	Segiety	Smoleń
<i>Picea abies</i> I	3,0	12,0	19,0	7,0	20,0	22,0	23,0	6,0
II	3,5	11,0	18,0	6,0	20,0	20,0	20,0	6,0
III	5,0	12,0	16,0	6,0	17,0	18,0	19,0	7,0
IV	6,0	12,0	15,0	13,0	20,0	18,0	19,0	7,0
V	6,0	11,0	16,0	15,0	21,0	17,0	21,0	9,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	14,0	18,0	35,0	16,0	40,0	30,0	48,0	16,0
II	15,0	18,0	35,0	15,0	40,0	25,0	48,0	17,0
III	12,0	18,0	38,0	16,0	45,0	28,0	56,0	21,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	5,0	15,5	22,0	17,0	28,0	26,0	34,0	14,0
<i>Betula pendula</i>	7,0	21,0	30,0	14,0	23,0	20,0	38,0	20,5
<i>Fagus sylvatica</i>	5,0	13,0	17,0	10,0	12,0	11,0	24,0	19,0
<i>Corylus avellana</i>	6,0	11,0	16,0	7,0	31,0	34,0	29,0	7,0
<i>Rubus idaeus</i>	8,0	11,0	15,0	16,0	18,0	13,0	28,0	10,0
<i>Asarum europaeum</i>	7,0	12,0	16,0	8,0	22,0	17,0	26,0	8,0
<i>Fragaria vesca</i>	10,0	14,0	25,0	9,0	24,0	24,0	27,0	11,0
<i>Galium odoratum</i>	11,0	9,0	20,0	8,0	22,0	18,0	25,0	8,0
<i>Hedera helix</i>	4,0	12,0	23,0	16,0	21,0	30,0	25,0	11,0
<i>Hepatica nobilis</i>	9,0	24,0	35,5	15,0	39,0	33,0	42,0	17,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	6,0	15,0	27,0	11,0	25,0	19,0	32,0	10,0
<i>Oxalis acetosella</i>	6,0	24,0	31,0	14,0	31,0	35,0	42,0	19,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Tabela 13a

Zawartość żelaza [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— wiosna 1992 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowiec	Ostra Góra	Tenczyński Park Krajoznawczy	Segiet	Smolesk
<i>Picea abies</i> I	94,0	120,0	130,0	130,0	140,0	100,0	260,0	90,0
II	100,0	130,0	145,0	155,0	155,0	120,0	270,0	110,0
III	100,0	130,0	145,0	140,0	160,0	110,0	290,0	110,0
IV	100,0	150,0	130,0	130,0	160,0	140,0	310,0	120,0
V	90,0	170,0	170,0	180,0	190,0	130,0	310,0	90,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	115,0	130,0	135,0	145,0	140,0	125,0	340,0	110,0
II	110,0	130,0	140,0	150,0	130,0	130,0	370,0	90,0
III	110,0	145,0	150,0	165,0	155,0	145,0	390,0	105,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	70,0	110,0	120,0	130,0	145,0	95,0	230,0	85,0
<i>Betula pendula</i>	70,0	100,0	120,0	120,0	130,0	95,0	200,0	80,0
<i>Fagus sylvatica</i>	70,0	85,0	90,0	110,0	110,0	85,0	180,0	75,0
<i>Corylus avellana</i>	50,0	80,0	85,0	95,0	100,0	70,0	140,0	65,0
<i>Rubus idaeus</i>	85,0	120,0	110,0	120,0	110,0	110,0	155,0	90,0
<i>Asarum europaeum</i>	85,0	130,0	140,0	160,0	165,0	95,0	175,0	85,0
<i>Convallaria majalis</i>	75,0	95,0	110,0	110,0	110,0	90,0	140,0	70,0
<i>Dentaria bulbifera</i>	110,0	120,0	120,0	120,0	140,0	120,0	175,0	105,0
<i>Fragaria vesca</i>	105,0	120,0	130,0	145,0	160,0	110,0	190,0	100,0
<i>Galium odoratum</i>	110,0	120,0	120,0	140,0	150,0	120,0	175,0	115,0
<i>Hedera helix</i>	65,0	80,0	90,0	90,0	85,0	85,0	120,0	70,0
<i>Hepatica nobilis</i>	90,0	115,0	100,0	110,0	120,0	110,0	145,0	95,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	110,0	130,0	110,0	145,0	145,0	120,0	165,0	110,0
<i>Oxalis acetosella</i>	120,0	110,0	130,0	150,0	150,0	120,0	170,0	130,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Zawartość żelaza [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— wiosna 1994 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowaki	Lipowiec	Ostra Góra	Tenczyński Park Krajobrazowy	Segiet	Smoleń
<i>Picea abies</i> I	90,0	115,0	145,0	130,0	155,0	110,0	270,0	130,0
II	110,0	135,0	145,0	150,0	155,0	110,0	180,0	110,0
III	110,0	130,0	150,0	150,0	170,0	120,0	220,0	100,0
IV	100,0	130,0	160,0	140,0	175,0	140,0	310,0	100,0
V	100,0	150,0	170,0	170,0	180,0	140,0	300,0	110,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	120,0	140,0	155,0	150,0	145,0	135,0	360,0	110,0
II	110,0	120,0	150,0	150,0	130,0	110,0	370,0	90,0
III	120,0	140,0	150,0	165,0	150,0	145,0	380,0	95,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	75,0	120,0	120,0	140,0	155,0	90,0	240,0	85,0
<i>Betula pendula</i>	80,0	120,0	145,0	110,0	150,0	95,0	220,0	75,0
<i>Fagus sylvatica</i>	65,0	70,0	80,0	95,0	110,0	85,0	190,0	70,0
<i>Corylus avellana</i>	45,0	80,0	80,0	100,0	110,0	75,0	160,0	65,0
<i>Rubus idaeus</i>	90,0	130,0	120,0	125,0	120,0	120,0	175,0	90,0
<i>Asarum europaeum</i>	90,0	145,0	130,0	170,0	185,0	100,0	200,0	85,0
<i>Convallaria majalis</i>	75,0	90,0	90,0	100,0	110,0	80,0	150,0	70,0
<i>Dentaria bulbifera</i>	120,0	120,0	120,0	120,0	150,0	130,0	180,0	110,0
<i>Fragaria vesca</i>	100,0	130,0	140,0	140,0	170,0	105,0	210,0	100,0
<i>Galium odoratum</i>	130,0	130,0	120,0	140,0	170,0	130,0	190,0	120,0
<i>Hedera helix</i>	70,0	90,0	90,0	110,0	120,0	95,0	140,0	70,0
<i>Hepatica nobilis</i>	95,0	120,0	95,0	100,0	115,0	110,0	160,0	90,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	100,0	130,0	120,0	150,0	150,0	125,0	170,0	110,0
<i>Oxalis acetosella</i>	120,0	110,0	145,0	140,0	165,0	115,0	180,0	140,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Zawartość żelaza [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— jesień 1994 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowice	Ostra Góra	Tenczyński Park Krajobrazowy	Segiet	Smoleń
<i>Picea abies</i> I	90,0	120,0	135,0	125,0	145,0	100,0	290,0	100,0
II	110,0	140,0	150,0	160,0	150,0	120,0	190,0	120,0
III	110,0	130,0	150,0	150,0	165,0	120,0	240,0	120,0
IV	110,0	170,0	130,0	150,0	175,0	130,0	320,0	110,0
V	100,0	170,0	170,0	180,0	185,0	140,0	350,0	130,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	120,0	135,0	150,0	150,0	140,0	140,0	380,0	110,0
II	110,0	135,0	155,0	145,0	120,0	130,0	385,0	100,0
III	110,0	140,0	150,0	170,0	160,0	150,0	390,0	110,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	70,0	110,0	110,0	130,0	145,0	90,0	250,0	80,0
<i>Betula pendula</i>	70,0	110,0	135,0	110,0	140,0	95,0	230,0	75,0
<i>Fagus sylvatica</i>	75,0	90,0	90,0	120,0	125,0	90,0	200,0	85,0
<i>Corylus avellana</i>	40,0	65,0	75,0	95,0	95,0	65,0	170,0	55,0
<i>Rubus idaeus</i>	80,0	110,0	110,0	110,0	100,0	110,0	180,0	95,0
<i>Asarum europaeum</i>	95,0	150,0	130,0	170,0	175,0	110,0	220,0	90,0
<i>Fragaria vesca</i>	100,0	130,0	150,0	100,0	120,0	140,0	250,0	110,0
<i>Galium odoratum</i>	100,0	110,0	120,0	130,0	120,0	110,0	210,0	120,0
<i>Hedera helix</i>	80,0	90,0	90,0	95,0	90,0	90,0	155,0	70,0
<i>Hepatica nobilis</i>	100,0	110,0	90,0	100,0	110,0	120,0	180,0	90,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	100,0	135,0	120,0	155,0	140,0	120,0	190,0	110,0
<i>Oxalis acetosella</i>	125,0	120,0	130,0	145,0	170,0	125,0	210,0	130,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Zawartość manganu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— wiosna 1992 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowicki	Lipowiec	Ostra Góra	Tenczyński Park Krajobrazowy	Segiet	Smolesk
<i>Picea abies</i> I	135,0	190,0	135,0	140,0	125,0	170,0	195,0	110,0
II	140,0	210,0	199,0	170,0	130,0	165,0	105,0	110,0
III	150,0	250,0	240,0	190,0	140,0	165,0	90,0	150,0
IV	150,0	245,0	250,0	240,0	130,0	155,0	95,0	160,0
V	165,0	260,0	265,0	250,0	160,0	180,0	110,0	175,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	130,0	105,0	100,0	120,0	110,0	100,0	120,0	110,0
II	135,0	150,0	160,0	130,0	140,0	120,0	150,0	130,0
III	140,0	150,0	120,0	130,0	155,0	110,0	130,0	140,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	220,0	300,0	230,0	320,0	210,0	210,0	360,0	250,0
<i>Betula pendula</i>	210,0	300,0	205,0	290,0	205,0	205,0	310,0	210,0
<i>Fagus sylvatica</i>	265,0	310,0	280,0	300,0	250,0	260,0	340,0	270,0
<i>Corylus avellana</i>	175,0	230,0	210,0	220,0	175,0	180,0	240,0	180,0
<i>Rubus idaeus</i>	180,0	210,0	215,0	205,0	185,0	180,0	270,0	195,0
<i>Asarum europaeum</i>	110,0	65,0	75,0	110,0	100,0	110,0	90,0	95,0
<i>Convallaria majalis</i>	170,0	165,0	175,0	165,0	125,0	120,0	155,0	170,0
<i>Dentaria bulbifera</i>	240,0	195,0	205,0	235,0	195,0	180,0	175,0	235,0
<i>Fragaria vesca</i>	220,0	190,0	170,0	210,0	175,0	120,0	110,0	190,0
<i>Galium odoratum</i>	75,0	80,0	110,0	85,0	75,0	60,0	95,0	95,0
<i>Hedera helix</i>	150,0	110,0	120,0	140,0	160,0	140,0	95,0	120,0
<i>Hepatica nobilis</i>	95,0	75,0	90,0	70,0	80,0	85,0	70,0	75,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	280,0	300,0	270,0	300,0	270,0	265,0	310,0	290,0
<i>Oxalis acetosella</i>	285,0	210,0	220,0	215,0	270,0	290,0	270,0	285,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Zawartość manganu [ $\mu\text{g/g}$  s.m.] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— wiosna 1994 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Cheba	Las Murckowski	Lipowiec	Ostra Góra	Temczyński Park Krajobrazowy	Segiet	Smoleń
<i>Picea abies</i> I	140,0	200,0	140,0	150,0	120,0	160,0	190,0	125,0
II	140,0	210,0	210,0	175,0	130,0	165,0	110,0	130,0
III	160,0	250,0	240,0	190,0	145,0	170,0	110,0	170,0
IV	170,0	250,0	250,0	240,0	145,0	160,0	90,0	170,0
V	160,0	270,0	270,0	250,0	150,0	180,0	110,0	190,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	150,0	110,0	120,0	140,0	110,0	120,0	145,0	120,0
II	140,0	150,0	160,0	130,0	150,0	110,0	150,0	120,0
III	140,0	160,0	140,0	140,0	140,0	120,0	150,0	140,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	240,0	310,0	240,0	320,0	200,0	200,0	400,0	250,0
<i>Betula pendula</i>	220,0	310,0	220,0	310,0	220,0	240,0	340,0	210,0
<i>Fagus sylvatica</i>	300,0	300,0	280,0	290,0	310,0	280,0	360,0	310,0
<i>Corylus avellana</i>	185,0	240,0	240,0	220,0	190,0	195,0	240,0	190,0
<i>Rubus idaeus</i>	190,0	230,0	240,0	210,0	205,0	195,0	290,0	210,0
<i>Asarum europaeum</i>	100,0	65,0	75,0	100,0	90,0	120,0	90,0	80,0
<i>Convallaria majalis</i>	170,0	170,0	180,0	160,0	120,0	130,0	160,0	170,0
<i>Dentaria bulbifera</i>	260,0	210,0	220,0	250,0	215,0	185,0	190,0	240,0
<i>Fragaria vesca</i>	240,0	210,0	180,0	220,0	190,0	130,0	140,0	210,0
<i>Galium odoratum</i>	80,0	90,0	140,0	90,0	80,0	90,0	110,0	95,0
<i>Hedera helix</i>	170,0	120,0	120,0	150,0	170,0	150,0	110,0	110,0
<i>Hepatica nobilis</i>	105,0	85,0	100,0	75,0	90,0	90,0	100,0	75,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	280,0	310,0	290,0	300,0	300,0	290,0	300,0	300,0
<i>Oxalis acetosella</i>	310,0	210,0	240,0	240,0	290,0	305,0	300,0	290,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Zawartość manganu [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— jesień 1994 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Murckowski	Lipowiec	Ostra Góra	Tenczyński Park Krajobrazowy	Segiet	Smoleń
<i>Picea abies</i> I	120,0	180,0	110,0	130,0	100,0	140,0	190,0	110,0
II	110,0	210,0	220,0	180,0	120,0	170,0	120,0	140,0
III	160,0	250,0	230,0	190,0	135,0	165,0	120,0	160,0
IV	180,0	240,0	240,0	220,0	145,0	165,0	110,0	170,0
V	180,0	260,0	280,0	250,0	160,0	170,0	110,0	190,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	110,0	90,0	90,0	110,0	90,0	90,0	120,0	100,0
II	120,0	140,0	130,0	120,0	130,0	100,0	140,0	100,0
III	140,0	160,0	140,0	110,0	140,0	120,0	140,0	130,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	210,0	300,0	200,0	300,0	180,0	180,0	390,0	270,0
<i>Betula pendula</i>	180,0	300,0	210,0	270,0	185,0	220,0	340,0	270,0
<i>Fagus sylvatica</i>	275,0	250,0	240,0	280,0	200,0	270,0	320,0	270,0
<i>Corylus avellana</i>	165,0	210,0	200,0	210,0	300,0	270,0	350,0	170,0
<i>Rubus idaeus</i>	170,0	210,0	110,0	190,0	190,0	170,0	290,0	190,0
<i>Asarum europaeum</i>	90,0	60,0	70,0	100,0	85,0	110,0	90,0	80,0
<i>Fragaria vesca</i>	230,0	200,0	170,0	200,0	190,0	180,0	190,0	200,0
<i>Galium odoratum</i>	70,0	75,0	100,0	75,0	75,0	75,0	100,0	75,0
<i>Hedera helix</i>	160,0	120,0	110,0	120,0	160,0	190,0	120,0	100,0
<i>Hepatica nobilis</i>	100,0	90,0	90,0	75,0	90,0	90,0	100,0	80,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	250,0	280,0	200,0	280,0	150,0	270,0	290,0	290,0
<i>Oxalis acetosella</i>	290,0	200,0	200,0	200,0	290,0	360,0	270,0	195,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Zawartość siarki [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— wiosna 1992 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chelm	Las Murckowski	Lipowiec	Ostra Góra	Tenczyński Park Krajobrazowy	Segiet	Smoleń
<i>Picea abies</i> I	1600,0	1800,0	1800,0	1500,0	1650,0	1200,0	2100,0	1700,0
II	1800,0	2600,0	2400,0	1550,0	2300,0	1200,0	2600,0	2400,0
III	1800,0	2850,0	2500,0	1600,0	2450,0	1300,0	2950,0	2450,0
IV	1950,0	3050,0	2950,0	1800,0	2500,0	1900,0	2950,0	2450,0
V	2100,0	3150,0	2900,0	1950,0	2500,0	1950,0	3200,0	2600,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	4400,0	4950,0	4900,0	4000,0	4800,0	3800,0	5100,0	4900,0
II	4600,0	5400,0	5200,0	4000,0	5100,0	3900,0	5100,0	5150,0
III	4700,0	5450,0	5800,0	4300,0	5300,0	4900,0	6200,0	5450,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	3000,0	4550,0	4100,0	2800,0	3000,0	2200,0	5100,0	3100,0
<i>Betula pendula</i>	2450,0	4300,0	4000,0	2900,0	3100,0	2050,0	4800,0	3200,0
<i>Fagus sylvatica</i>	2800,0	3600,0	3200,0	2400,0	3100,0	2100,0	4200,0	3000,0
<i>Corylus avellana</i>	2300,0	3900,0	3700,0	2100,0	3300,0	2000,0	4300,0	3400,0
<i>Rubus idaeus</i>	2600,0	3700,0	3600,0	2200,0	2800,0	1850,0	4250,0	2950,0
<i>Asarum europaeum</i>	3100,0	3400,0	3050,0	3000,0	3050,0	2400,0	3500,0	3250,0
<i>Convallaria majalis</i>	2900,0	3700,0	3600,0	2800,0	3400,0	2600,0	3800,0	3450,0
<i>Dentaria bulbifera</i>	5000,0	5500,0	5300,0	4800,0	5100,0	4800,0	5500,0	5300,0
<i>Fragaria vesca</i>	2650,0	3100,0	3200,0	2500,0	3050,0	2400,0	3550,0	3000,0
<i>Galium odoratum</i>	2500,0	3200,0	3200,0	2500,0	2550,0	2100,0	3800,0	2600,0
<i>Hedera helix</i>	2600,0	3400,0	3200,0	2300,0	2800,0	1900,0	3900,0	2900,0
<i>Hepatica nobilis</i>	4100,0	5100,0	5000,0	4500,0	4800,0	3400,0	5600,0	4900,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	3500,0	4000,0	3600,0	3500,0	3800,0	4000,0	4500,0	3700,0
<i>Oxalis acetosella</i>	3450,0	4000,0	4100,0	3800,0	3950,0	3100,0	4900,0	4900,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.



Zawartość siarki [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— wiosna 1994 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Marszowski	Lipowice	Ostra Góra	Tenczyński Park Krajobrazowy	Segiet	Smolesz
<i>Picea abies</i> I	1410,0	1750,0	1700,0	1350,0	1590,0	1100,0	2150,0	1650,0
II	1510,0	1800,0	1850,0	1350,0	1650,0	1100,0	2300,0	1850,0
III	1600,0	1900,0	1950,0	1450,0	1700,0	1200,0	2200,0	1700,0
IV	1850,0	2700,0	2400,0	1600,0	2100,0	1300,0	2950,0	2100,0
V	1950,0	2950,0	2800,0	1600,0	2500,0	1600,0	2900,0	2300,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	3900,0	4800,0	4800,0	3500,0	4600,0	3600,0	5100,0	4750,0
II	3900,0	4950,0	4950,0	3900,0	5200,0	3800,0	5200,0	5100,0
III	4200,0	5000,0	5100,0	5100,0	5300,0	4100,0	6300,0	5200,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	3100,0	4500,0	4200,0	2700,0	2800,0	2000,0	4900,0	3100,0
<i>Betula pendula</i>	2750,0	4000,0	3800,0	3000,0	2900,0	1650,0	5100,0	3000,0
<i>Fagus sylvatica</i>	2800,0	3500,0	3100,0	2000,0	3000,0	1900,0	4450,0	2700,0
<i>Corylus avellana</i>	2200,0	3900,0	3700,0	2100,0	3400,0	2050,0	4500,0	3500,0
<i>Rubus idaeus</i>	2500,0	3700,0	3400,0	2000,0	2600,0	1600,0	4400,0	2800,0
<i>Asarum europaeum</i>	3000,0	3300,0	3000,0	2900,0	2800,0	2200,0	3900,0	3100,0
<i>Convallaria majalis</i>	2700,0	3600,0	3500,0	2600,0	3000,0	2100,0	4100,0	3200,0
<i>Dentaria bulbifera</i>	5050,0	5300,0	5900,0	4800,0	4800,0	4500,0	5900,0	5000,0
<i>Fragaria vesca</i>	2300,0	3000,0	2400,0	2400,0	2800,0	2000,0	3900,0	3000,0
<i>Galium odoratum</i>	2600,0	3100,0	3000,0	2400,0	2600,0	2000,0	4100,0	2650,0
<i>Hedera helix</i>	2700,0	4000,0	2200,0	2200,0	2600,0	1650,0	4300,0	3300,0
<i>Hepatica nobilis</i>	3850,0	4900,0	4300,0	4300,0	4200,0	3050,0	5950,0	4700,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	3650,0	3800,0	3500,0	3500,0	3700,0	4100,0	4300,0	3600,0
<i>Oxalis acetosella</i>	3300,0	3900,0	3750,0	3750,0	3800,0	3000,0	5050,0	3700,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Zawartość siarki [ $\mu\text{g/g s.m.}$ ] w szpilkach i liściach badanych gatunków roślin  
— jesień 1994 r.

Gatunek	Bukowica	Góra Chełm	Las Mirzecowski	Lipowiec	Osna Góra	Tenczyński Park Krajobrazowy	Seglet	Smoleń
<i>Picea abies</i> I	1350,0	1700,0	1600,0	1300,0	1400,0	900,0	2000,0	1590,0
II	1650,0	1850,0	1900,0	1450,0	1750,0	1200,0	2500,0	1900,0
III	1700,0	2100,0	2100,0	1530,0	1800,0	1400,0	2500,0	1800,0
IV	1950,0	2750,0	2600,0	1750,0	2300,0	1400,0	2950,0	2200,0
V	1950,0	3000,0	2950,0	1750,0	2500,0	1650,0	3100,0	2300,0
<i>Pinus sylvestris</i> I	3300,0	4600,0	4750,0	3100,0	4100,0	3500,0	4900,0	4600,0
II	4100,0	5000,0	4950,0	4100,0	5400,0	3900,0	5300,0	5200,0
III	4300,0	5200,0	5400,0	5300,0	5500,0	4800,0	6800,0	5350,0
<i>Acer pseudoplatanus</i>	3300,0	4600,0	4400,0	2800,0	2900,0	2200,0	5300,0	3900,0
<i>Betula pendula</i>	2950,0	4100,0	3900,0	3100,0	3100,0	1950,0	5300,0	3200,0
<i>Fagus sylvatica</i>	2950,0	3800,0	3300,0	2200,0	3150,0	2100,0	4650,0	2800,0
<i>Corylus avellana</i>	2400,0	4100,0	3800,0	2500,0	3400,0	2150,0	4600,0	3650,0
<i>Rubus idaeus</i>	2200,0	3500,0	3200,0	2100,0	2300,0	1950,0	4600,0	2500,0
<i>Asarum europaeum</i>	3100,0	3400,0	3150,0	2750,0	2500,0	2400,0	4100,0	3400,0
<i>Fragaria vesca</i>	2600,0	3200,0	3400,0	2400,0	3000,0	2200,0	4200,0	3150,0
<i>Galium odoratum</i>	2750,0	3400,0	3100,0	2600,0	2700,0	2100,0	4800,0	2850,0
<i>Hedera helix</i>	2700,0	3800,0	2800,0	2000,0	2600,0	1500,0	4200,0	3200,0
<i>Hepatica nobilis</i>	3900,0	4100,0	5400,0	4500,0	4400,0	3200,0	6100,0	4900,0
<i>Maianthemum bifolium</i>	3800,0	4100,0	3600,0	3700,0	4100,0	4400,0	4500,0	3900,0
<i>Oxalis acetosella</i>	3500,0	4100,0	4200,0	3700,0	3950,0	3900,0	5450,0	3700,0

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Poziomy istotności współczynników korelacji między zawartością kadmu  
w liściach i szpilkach badanych gatunków  
a zawartością tego pierwiastka w glebie i opadającym pyłe

Gatunek	Gleba 10	Gleba 20	Gleba 30	Atmosfera
<i>Picea abies</i> I	***	**	*	*
II	**	***	*	*
III	***	**	**	*
IV	***	**	*	
V	**	**	**	*
<i>Pinus sylvestris</i> I	***	***	***	**
II				
III	***	**	*	*
<i>Acer pseudoplatanus</i>	***	**	*	*
<i>Betula pendula</i>	***	**	**	*
<i>Fagus sylvatica</i>	***	**	**	*
<i>Corylus avellana</i>	***	***	**	**
<i>Hedera helix</i>	***	**	*	
<i>Rubus idaeus</i>	**	***	***	***
<i>Galium odoratum</i>	**	**	*	
<i>Asarum europaeum</i>	***	**	*	
<i>Convallaria majalis</i>	*	**	*	
<i>Dentaria bulbifera</i>	***	**	*	*
<i>Fragaria vesca</i>	***	***	***	**
<i>Hepatica nobilis</i>	***	***	**	*
<i>Maianthemum bifolium</i>	**			
<i>Oxalis acetosella</i>	**	***	***	**
Gleba 10		**	**	*
Gleba 20			***	**
Gleba 30				***

Cyfrы rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Poziomy istotności: \*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , \*\*\*  $p \leq 0,001$ .

Tabela 17

Poziomy istotności współczynników korelacji między zawartością ołowiu  
w liściach i szpilkach badanych gatunków  
a zawartością tego pierwiastka w glebie i opadającym pyłe

Gatunek	Gleba 10	Gleba 20	Gleba 30	Atmosfera
<i>Picea abies</i> I	*	*		*
II	**	**		**
III	**	**		**
IV	**	*		*
V	**	*		*
<i>Pinus sylvestris</i> I	**	*		*
II	**	**		
III	**	*		*
<i>Acer pseudoplatanus</i>	**	*		*
<i>Betula pendula</i>	***	*		**
<i>Fagus sylvatica</i>	**	*		*
<i>Corylus avellana</i>	***	*		**
<i>Hedera helix</i>	*			
<i>Rubus idaeus</i>	***	**		***
<i>Galium odoratum</i>	*			
<i>Asarum europaeum</i>	***	*		*
<i>Convallaria majalis</i>	*			
<i>Dentaria bulbifera</i>	**			
<i>Fragaria vesca</i>	**			*
<i>Hepatica nobilis</i>	*			
<i>Maianthemum bifolium</i>	***	**		**
<i>Oxalis acetosella</i>	***	**		**
Gleba 10		**		***
Gleba 20			*	**
Gleba 30				

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Poziomy istotności: \*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , \*\*\*  $p \leq 0,001$ .

Poziomy istotności współczynników korelacji między zawartością cynku w liściach i szpilkach badanych gatunków a zawartością tego pierwiastka w glebie i opadającym pyłe

Gatunek	Gleba 10	Gleba 20	Gleba 30	Atmosfera
<i>Picea abies</i> I	***			**
II	***			**
III	***			**
IV	***			**
V	***	*	*	**
<i>Pinus sylvestris</i> I	**			**
II	**			**
III	*			*
<i>Acer pseudoplatanus</i>	**			***
<i>Betula pendula</i>				*
<i>Fagus sylvatica</i>	**			***
<i>Corylus avellana</i>	*			***
<i>Hedera helix</i>	*			**
<i>Rubus idaeus</i>	*			*
<i>Galium odoratum</i>	**			***
<i>Asarum europaeum</i>	***			***
<i>Convallaria majalis</i>	*			**
<i>Dentaria bulbifera</i>				**
<i>Fragaria vesca</i>				**
<i>Hepatica nobilis</i>				**
<i>Maianthemum bifolium</i>	**			***
<i>Oxalis acetosella</i>	*			**
Gleba 10		*	*	**
Gleba 20			*	
Gleba 30				

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Poziomy istotności: \*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , \*\*\*  $p \leq 0,001$ .

Tabela 19

Poziomy istotności współczynników korelacji między zawartością miedzi  
w liściach i szpilkach badanych gatunków  
a zawartością tego pierwiastka w glebie i opadającym pyłe

Gatunek	Gleba 10	Gleba 20	Gleba 30	Atmosfera
<i>Picea abies</i> I	***	***	**	
II	***	***	**	
III	***	***	**	
IV	*	*	*	
V				
<i>Pinus sylvestris</i> I	**	***		
II	**	**		
III	**	**		
<i>Acer pseudoplatanus</i>	**	***		
<i>Betula pendula</i>	***	**		
<i>Fagus sylvatica</i>				
<i>Corylus avellana</i>	***	***	**	
<i>Hedera helix</i>	***	*	*	
<i>Rubus idaeus</i>	**	**	*	
<i>Galium odoratum</i>	*	*		
<i>Asarum europaeum</i>	***	**	*	
<i>Convallaria majalis</i>	**	*		
<i>Dentaria bulbifera</i>	***	**	*	
<i>Fragaria vesca</i>	***	***	*	*
<i>Hepatica nobilis</i>	***	***	*	*
<i>Maianthemum bifolium</i>	**	**		
<i>Oxalis acetosella</i>	**	**	*	
Gleba 10		***	**	
Gleba 20			*	
Gleba 30				

Cyfy rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Poziomy istotności: \*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , \*\*\*  $p \leq 0,001$ .

Poziomy istotności współczynników korelacji między zawartością żelaza  
w liściach i szpilkach badanych gatunków  
a zawartością tego pierwiastka w glebie i opadającym pyłe

Gatunek	Gleba 10	Gleba 20	Gleba 30	Atmosfera
<i>Picea abies</i> I	*	*	**	**
II	*	**	**	**
III	*	*	**	
IV	*	*	*	*
V	**	**	**	***
<i>Pinus sylvestris</i> I			*	**
II			*	**
III	*	*	*	**
<i>Acer pseudoplatanus</i>	**	**	**	**
<i>Betula pendula</i>	**	**	**	**
<i>Fagus sylvatica</i>	**	**	**	**
<i>Corylus avellana</i>	***	***	***	***
<i>Hedera helix</i>	**	**	**	**
<i>Rubus idaeus</i>	*	*	*	**
<i>Galium odoratum</i>	**	**	**	**
<i>Asarum europaeum</i>	***	**	**	**
<i>Convallaria majalis</i>	***	**	**	**
<i>Dentaria bulbifera</i>	**	**	**	**
<i>Fragaria vesca</i>	***	***	***	**
<i>Hepatica nobilis</i>	*	*	*	**
<i>Maianthemum bifolium</i>	*	*	*	**
<i>Oxalis acetosella</i>	**	*	**	*
Gleba 10		***	***	**
Gleba 20			***	*
Gleba 30				*

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Poziomy istotności: \*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , \*\*\*  $p \leq 0,001$ .

Tabela 21

Poziomy istotności współczynników korelacji między zawartością manganu  
w liściach i szpilkach badanych gatunków  
a zawartością tego pierwiastka w glebie i opadającym pyłe

Gatunek	Gleba 10	Gleba 20	Gleba 30	Atmosfera
<i>Picea abies</i> I				
II				
III				
IV				
V				
<i>Pinus sylvestris</i> I				
II				
III				
<i>Acer pseudoplatanus</i>	*			**
<i>Betula pendula</i>				*
<i>Fagus sylvatica</i>	*		*	**
<i>Corylus avellana</i>				**
<i>Hedera helix</i>				*
<i>Rubus idaeus</i>	**	**	**	***
<i>Galium odoratum</i>	***	***	***	***
<i>Asarum europaeum</i>				
<i>Convallaria majalis</i>				
<i>Dentaria bulbifera</i>				
<i>Fragaria vesca</i>				
<i>Hepatica nobilis</i>				*
<i>Maianthemum bifolium</i>				*
<i>Oxalis acetosella</i>				
Gleba 10		***	***	**
Gleba 20			***	*
Gleba 30				*

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Poziomy istotności: \*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , \*\*\*  $p \leq 0,001$ .



Poziomy istotności współczynników korelacji między zawartością siarki  
w liściach i szpilkach badanych gatunków  
a zawartością tego pierwiastka w glebie i opadającym pyłe

Gatunek	Gleba 10	Gleba 20	Gleba 30	Atmosfera
<i>Picea abies</i> I	***	*	*	*
II	***	*		
III	***	*	*	*
IV	**	*		
V	***	**	**	*
<i>Pinus sylvestris</i> I	**			
II	*			
III	**	*	*	
<i>Acer pseudoplatanus</i>				
<i>Betula pendula</i>	***	**	*	*
<i>Fagus sylvatica</i>	***	**	**	**
<i>Corylus avellana</i>	***	**	**	*
<i>Hedera helix</i>	***	**	**	**
<i>Rubus idaeus</i>	***	**	*	*
<i>Galium odoratum</i>	***	**	*	**
<i>Asarum europaeum</i>	*			
<i>Convallaria majalis</i>	***	*		
<i>Dentaria bulbifera</i>				
<i>Fragaria vesca</i>	***	*	*	*
<i>Hepatica nobilis</i>	**	**		*
<i>Maianthemum bifolium</i>				
<i>Oxalis acetosella</i>	**	*	*	**
Gleba 10		**	**	
Gleba 20			***	
Gleba 30				

Cyfry rzymskie oznaczają roczniki szpilek.

Poziomy istotności: \*  $p \leq 0,05$ , \*\*  $p \leq 0,01$ , \*\*\*  $p \leq 0,001$ .

# Literatura

- ALBERT R. 1992. Nutrient content and ionic pattern in beech (*Fagus sylvatica* L.) from natural stands in Eastern Austria and ecological implications. *Vegetatio*, **101**: 81—85.
- ALCOCK M. R., MORTON A. J. 1981. The sulphur content and pH of rain — fall and of throughfalls under pine and birch. *J. Appl. Ecol.*, **18**: 835—839.
- ARNOLD H. 1976. Fluoreszenzmikroskopischer Nachweis von Immissions-schaden an Flechten. *Angewandte Botanik*, **50**: 209—216.
- BABICH H., STOTZKY G. 1985. Heavy metal toxicity to microbe-mediated ecologic processes: a review and potential application to regulatory policies. *Environ. Res.*, **36**: 111—137.
- BADURA L., PACHA J. 1984. Szybkość rozkładu igieł sosnowych w borach sosnowych otaczających Hutę Cynku w Miasteczku Śląskim. *Acta Biol.*, Katowice, **15**: 102—111.
- BADURA L., PACHA J. 1985. Porównawcze badania nad procesem rozkładu igieł i liści w wybranych siedliskach leśnych. *Acta Biol.*, Katowice, **11**: 101—110.
- BALCERKIEWICZ S. 1984. Roślinność wysokogórska Doliny Pięciu Stawów Polskich w Tatrach i jej przemiany antropogeniczne. *UAM, Ser. Biologia*, Poznań, **25**: 1—192.
- BAŃDOŁA-CIOŁCZYK E. 1992. Czy rezerваты są bardziej odporne na zanieczyszczenia? *Chrońmy przyr. ojcz.* **3**: 54—62.
- BARTYZEL J. 1989. Ekofizjologiczne badania *Pinus sylvestris* L. i *Betula verrucosa* EHRH. w strefie oddziaływania Kombinatu Metalurgicznego „Huta Katowice”. Uniwersytet Śląski, Katowice [Praca magisterska]: 1—91.
- BEDNORZ J. 1983. Awifauna Słowińskiego Parku Narodowego z uwzględnieniem stosunków ilościowych. *Prace Kom. Biol. PTPN*, **65**: 1—101.
- BERBEKA J., GODZIK B. 1982. Zanieczyszczenie Roztoczańskiego Parku Narodowego metalami ciężkimi. *Ochr. Przyr.*, **44**: 35—43.
- BERNACKI L., NOWAK T. 1989. Waloryzacja rezerwatu przyrody Góra Chełm koło Hutek-Kanek. Ekspertyza nr E/13/37/K/89 ODRL Katowice [ms.]: 1—29.
- BIELECKI K. 1982. Zastosowanie porostów w ocenie skażenia atmosfery wokół huty miedzi oraz fizjologiczne zmiany w porostach poddanych działaniu metali ciężkich i dwutlenku siarki. *Akad. Roln.*, Wrocław [Praca doktorska]: 1—198.
- BORYAGLI R., BROWN D., NELLI L. 1995. Metal biomonitoring with mosses procedures for correcting for soil contamination. *Environ. Pollut.*, **89/2**: 169—175.
- BRECKLE W., KAHLE H. 1992. Effects of toxic heavy metals (Cd, Pb) on growth and mineral nutrition of beech (*Fagus sylvatica* L.). *Vegetatio*, **101**: 43—53.
- BRÓZ E., KAPUŚCIŃSKI R. 1990. Chronione i zagrożone gatunki roślin naczyniowych Świętokrzyskiego Parku Narodowego oraz projektowanego Zespołu Parków Krajobrazowych Gór Świętokrzyskich. *Roczn. Świętokrzyski*, **17**: 107—133.

- BURTON K., MORGAN E. 1984. The influence of heavy metals upon the growth of Sitka spruce in South Wales forest. *Plant and Soil*, 73: 327—336.
- CAPECKI Z., ZWOLIŃSKI A. 1984. Charakterystyka zagrożenia lasów Karkonoskiego Parku Narodowego. *Sylwan*, 128, 8: 1—21.
- CELIŃSKI F., WOJTERSKI T. 1983. Szata roślinna Babiej Góry. *Studia Naturae*, B, 29: 121—177.
- CEMPULIK S. 1993. Wskazania do planu ochrony rezerwatu Segiet i jego otuliny. *Woj. Konserwator. Przyrody, Katowice [ms.]*: 1—22.
- CICHON M., ZAJĄC T. 1990. Awifauna Bieszczadzkiego Parku Narodowego w latach 1987 i 1988. *Acta Zool. Crac.*, 17: 125—158.
- CIEPAŁ R. 1992. Przenikanie S, Pb, Cd, Cu, Fe do biomasy oraz gleby ekosystemu leśnego na przykładzie wschodniej części województwa katowickiego. *Uniwersytet Śląski, Katowice*: 1—106.
- CIEPAŁ R. 1996. Chemical analysis of some species of pine forest herb layer from the protective zone of steelworks „Huta Katowice”. *Acta Biol. Sil.*, Katowice, 28(45): 9—24.
- CIEPAŁ R., LIPKA C. 1995. Ocena stopnia zagrożenia rezerwatów przyrody „Smoleń” i „Góra Chełm” metalami ciężkimi i siarką. *Acta Biol. Sil.*, Katowice, 26(43): 19—27.
- CIEPAŁ R., RYCMAN E. 1996. Ocena zagrożenia metalami ciężkimi i siarką Roztoczańskiego Parku Narodowego na podstawie analizy chemicznej liści i szpilek wybranych gatunków roślin. *Acta Biol. Sil.*, Katowice, 28(45): 26—35.
- CIEPAŁ R., ZROSKA R. 1994. Zawartość metali ciężkich i siarki w liściach wybranych gatunków drzew i krzewów z parków miejskich Rudy Śląskiej i Zawoi. *Kształtowanie Środ. Geogr. i Ochr. Przyr. na Obsz. Uprzem.*, Katowice, 12: 45—52.
- CISŁO A. 1978. Flora naczyniowa rezerwatów województwa katowickiego. *Uniwersytet Śląski, Katowice [Praca magisterska]*: 1—155.
- CZARNOTA P. 1995. Zawartość mikro- i makropierwiastków w plechach *Hypogymnia physodes* w Gorceńskim Parku Narodowym. *Parki Nar. i Rez. Przyr.*, 14, 3: 69—89.
- CZARNOWSKA K., CHOJNACKI J. 1993. Występowanie żelaza, manganu, chromu, niklu i kobaltu w glebach wytworzonych z najmłodszych lessów równiny Błonieko-Sochaczewskiej. *Roczn. Gleb.*, 44,1—2: 81—91.
- CZARNOWSKA K., GWOREK B. 1987. Liście lipy jako biowskaźnik zanieczyszczenia środowiska miejskiego. W: *Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. Mat. Symp.*, Poznań: 377—385.
- CZARNOWSKA K., STASIAK J. 1987. Zawartość składników mineralnych w igłach, drewnie i korze sosny zwyczajnej (*P. sylvestris*) w zależności od wieku drzew. W: *Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. Mat. Symp.*, Poznań: 183—189.
- DENISIUK Z., DYRGA Z., KALEMBA A., PILIPOWICZ W. 1992. Wykorzystanie rezerwatów przyrody w Polsce do celów naukowych, dydaktycznych i praktycznych. *Parki Nar. i Rez. Przyr.*, 10: 195—209.
- DENISIUK Z., KALEMBA A., MIELNICKA B., PILIPOWICZ W., PRZYBYLSKI J. 1991. Problems of the contemporary reserve protection in Poland with a special regard to the vegetation. *Ochr. Przyr.*, 48: 7—29.
- DUDA W., ŚLEZAŃSKI M. 1993. Zawartość siarki i wybranych metali ciężkich w igłach sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. na terenie Z.J.P.K. i jego otuliny w granicach woj. częstochowskiego. W: *Stan środowiska przyrodniczego woj. częstochowskiego. Częstochowa*: 56—62.
- DUDKA S., SAJDAK S. 1992. Wstępna ocena niektórych metali śladowych w glebach województwa katowickiego. *Arch. Ochr. Środ.*, 3: 45—52.
- DYMARZ E. 1994. Ekofizjologiczne badania liści *Acer pseudoplatanus* L., *Fraxinus excelsior* L., *Populus tremula* L., *Tilia cordata* MILL. pochodzących z terenów o różnym stopniu skażenia atmosfery. *Uniwersytet Śląski, Katowice [Praca magisterska]*: 1—67.
- DZIAĆKO M. 1990. Próba bioindykacji skażeń powietrza w rejonie Szczyrku, Brennej i Zawoi. *Uniwersytet Śląski, Katowice [Praca magisterska]*: 1—83.

DZIENNIK USTAW 1991, Nr 114, poz. 492.

ERNST W. 1981. Probleme bei der Begrünungen und Aufforstung von Schwermetallhalden. Gef. Vegetation und ihre Erhaltung, J. Cramer, Vaduz: 237—248.

ERNST W., MATHYS W., SALASKE J., JANIESCH P. 1974. Aspekt von Schwermetallbelastungen in Westfalen. Abhandlungen aus dem Landesmuseum für Naturkunden zu Münster in Westfalen, 36: 3—31.

FABISZEWSKI J. 1983. Bioindykacja skażeń przemysłowych i rolniczych. Komisja Nauk o Ziemi, PAN, Wrocław: 47—56.

FABISZEWSKI J. 1985. Szata roślinna. W: Karkonosze polskie. Ossolineum, Wrocław: 191—235.

FABISZEWSKI J., BREJ T., BIELECKI K. 1983. Fitoindykacja wpływu huty miedzi na środowisko biologiczne. Prace. Wrocl. Tow. Nauk., ser. B, 207: 1—112.

FALIŃSKA K. 1995. Genet disintegration in *Filipendula ulmaria*: Consequences for population dynamics and vegetation succession. Journal of Ecology, 82: 856—877.

FALIŃSKI J. 1986. Vegetation dynamics in temperate lowland primeval forest. Ecological studies in Białowieża forest. Geobotany, 8: 1—57.

FARKAS E., LOKOS L., VERSEGHENY K. 1985. Lichens as indicators of air pollution in the Budapest Agglomeration. Acta Bot. Hung., 32, 1: 1—17.

GARBER K. 1974. Schwermetalle als Luftverunreinigung — Blei-Zinc-Cadmium Beeinflussung der Vegetation. Vegetatio, 24, 1: 1—17.

GASZ D. 1996. Ocena stopnia zagrożenia rezerwatów przyrody Nieznanowo (Białowieża) i Ochojec (Katowice) przez metale ciężkie i siarkę na podstawie analizy chemicznej liści i szpilek wybranych gatunków. Uniwersytet Śląski, Katowice [Praca magisterska]: 1—96.

GLIŃSKI J., BARAN S. 1974. Zawartość pierwiastków śladowych w pszenicy ozimej w różnych stadiach rozwoju. Ann. UMCS, 28—29: 124—141.

GŁAZEK T. 1985. Szata roślinna wybranych powierzchni obszaru Gór Świętokrzyskich i terenów przyległych. Fragm. Flor. et Geobot., 29, 11: 153—234.

GODZIK B. 1991. Zanieczyszczenie mchów Gorczańskiego Parku Narodowego. Ochr. Przyr., 43: 87—92.

GODZIK B., GRODZIŃSKA K. 1991. Metale ciężkie w mchach Mazurskiego Parku Krajo-  
brazowego. Ochr. Przyr., 49: 81—85.

GRESZTA J. 1975. Wpływ imisji na siedliska borowe i drzewostany sosnowe w Śląsko-  
-Krakowskim Okręgu Przemysłowym. Stud. Nat., Ser. A, 10: 1—183.

GRESZTA J., GODZIK S. 1969. Wpływ hutnictwa cynku na gleby. Roczn. Gleb., 9: 195—214.

GRESZTA J., PANEK E. 1989. Wpływ metali ciężkich na drzewa. W: Życie drzew w skażonym środowisku. PWN, Warszawa, Poznań: 195—222.

GRIGAL D., OHMAN L., MOODY N. 1979. Nutrient content of some tall shrubs from northeastern Minnesota. U.S. Dep. Agric. For. Serv. Res. Pap., 16: 89—125.

GRODZIŃSKA K. 1978. Mosses as bioindicators of heavy metal pollution in Polish National Parks. Water, Air and Soil Poll., 9: 83—97.

GRODZIŃSKA K. 1980a. Zanieczyszczenie polskich parków narodowych metalami ciężkimi. Ochr. Przyr., 43: 9—27.

GRODZIŃSKA K. 1980b. Biowskaźniki w służbie ochrony środowiska. Wszechświat, 7/8: 161—166.

GRODZIŃSKA K. 1981. Zawartość siarki ogólnej w szpilkach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) z Puszczy Niepołomickiej. Stud. Ośrod. Dokum. Fizjograf., 9: 293—301.

GRODZIŃSKA K. 1986. Zanieczyszczenie parków narodowych Polski metalami ciężkimi. W: Zagrożenie parków narodowych w Polsce. PWN, Warszawa: 5—23.

GRODZIŃSKA K., GODZIK B., SZAREK G. 1993. Skażenie polskich parków narodowych metalami ciężkimi, siarką i radionuklidami. Prace muz. im. Szafera, Prądnik, 7—8: 153—158.

GRODZIŃSKA K., JASIEWICZ A., PANCER-KOTEJOWA E., ZARZYCKI K. 1981. Mapa zbiorowisk roślinnych Pienińskiego Parku Narodowego. Ochr. Przyr., 45 (Załącznik).

- GRODZIŃSKA K., SZAREK G., GODZIK B. 1990. Heavy metal deposition in Polish National parks — changes during ten years. *Water, Air and Soil Poll.*, 49: 409—419.
- GRUSZECKA M. 1996. Ocena skażenia rezerwatów przyrody woj. katowickiego na podstawie stężenia kadmu, ołowiu, miedzi, cynku i magnezu w wybranych gatunkach mchów. Uniwersytet Śląski, Katowice [Praca magisterska]: 1—58.
- HEINRICHS H., MAYER R. 1980. The role of forest vegetation in the biogeochemical cycle of heavy metals. *J. Environ. Qual.*, 9: 111—118.
- HOLEKSA J., HOLEKSA K. 1981. Oddziaływanie turystyki na roślinność Babiogórskiego Parku Narodowego. *Parki Nar. i Rez. Przyr.*, 2, 1: 3—24.
- HOOK B., HARIS W., HENDERSON G. 1977. Cadmium, lead, and zinc distributions and cycling in a mixed, deciduous forest. *Ambio*, 6, 5: 281—286.
- HURUK J. 1992. Chronione gatunki zwierząt w Świętokrzyskim Parku Narodowym. *Parki Nar. i Rez. Przyr.*, 11, 2—3: 91—99.
- HUTTUNEN S., LAINE K., TORVELA H. 1985. Seasonal sulphur contents of pine needles as indices of air pollution. *Ann. Bot. Fennici*, 22: 343—359.
- INNES J. 1994. Forest condition and air pollution in the United Kingdom. *Forest Ecol. Manage.*, 51: 17—27.
- INNES J. 1995. Influence of air pollution on the foliar nutrition of conifers in Great Britain. *Environ Pollut.*, 88: 183—192.
- JAROMIN L. 1958. Rezerwat Lasu Bukowego na Srebrnej Górze „Segiet” w Blachówce. *Chrońmy przyr. ojcz.*, 4: 24—32.
- JAROMIN L. 1966. Rezerwat Lasu Bukowego Murcki jako przykład możliwości współistnienia górnictwa i przyrody. *Biul. Zarz. Gł. LOP*, 4.
- JĘDRZEJKO K., ŻARNOWIEC J., KLAMA H. 1991. Rośliny lecznicze w rezerwach przyrody województwa katowickiego. *Arch. Ochr. Środ.*, 3—4: 115—142.
- KABATA-PENDIAS A. 1989. Zanieczyszczenie pierwiastkami śladowymi gleb użytków roślinnych. W: *Wybrane zagadnienia związane z chemicznymi zanieczyszczeniami gleb*. PAN, Wrocław: 69—83.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1979. *Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym*. Wyd. Geol., Warszawa: 1—300.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1993. *Biochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa: 1—364.
- KABATA-PENDIAS A., PIOTROWSKA M. 1984. Zanieczyszczenie gleb i roślin pierwiastkami śladowymi. *CBR (opracowanie probl.)*, Warszawa: 1—39.
- KARWETA S., SZALONEK I. 1992. Stan środowiska przyrodniczego w rejonie oddziaływania kompleksu przemysłowego w Skawinie po zamknięciu huty aluminium. *Arch. Ochr. Środ.*, 1: 35—52.
- KAWECKA A. 1969. Ruch turystyczny w Białowieskim Parku Narodowym. *Parki Nar. Biul. Infor.*, 7: 24—25.
- KAWECKA A. 1992. Zmiany roślinności i odnowienie naturalne w drzewostanach Puszczy Białowieskiej uszkodzonych przez huragany. *Parki Nar. i Rez. Przyr.*, 10, 3—4: 45—69.
- KELLER T. 1982. The S content in forest tree foliage fumigated during summer or winter. *Eur. J. For. Path.*, 12: 399—404.
- KELLER T. 1986. Die Immissionsüberwachung bei einer Keh-richtverbrennungsanlage mit Hilfe von Buchennlaub. *Umweltschutz Gesund.*, 3: 67—69.
- KELLER T., MATYSSEK R., GOERG M. 1993. Beech foliage as a bioindicator of pollution near a waste incinerator. *Environ. Pollut.*, 85: 185—189.
- KIMS A T., CIEPAŁ R. 1996. Metale ciężkie w roślinach jako wskaźnik degradacji środowiska. *Kształtowanie Środ. Geogr. i Ochr. Przyr. na Obsz. Uprzem.*, Katowice, 20: 28—37.
- KIMS A T., URBISZ A., HERZOG B., SKRZYPEK J., GRZONKA S. 1988. Rośliny rzadkie i chronione doliny Terebowca w Bieszczadzkiem Parku Narodowym. *Chrońmy przyr. ojcz.*, 52, 3: 62—64.

- KOBIERSKI L. 1965. Flora i fenologia Lasu Segieckiego. Rocznik Muzeum Górnośląskiego w Bytomiu, Przyroda, 2.
- KOLON K., KWAPULIŃSKI J., MRÓZ L., SAROSIEK J. 1993. Wykorzystanie mszaków w monitoringu specyficznych skażeń chemicznych i radioaktywnych środowiska. Prace Muz. im. Szafera, Prądnik, 7—8: 121—124.
- KONCA B. 1989. Karkonoski Park Narodowy. Parki Nar. i Rez. Przyr., 9, 2—3: 41—45.
- KOSTRAKIEWICZ L. 1992. Przemiany stosunków krenologicznych na terenie Pienińskiego Parku Narodowego i strefy otulinowej. Parki Nar. i Rez. Przyr., 9, 2—3: 187—195.
- KOVACS M., PODANI P., KLINCSEK P., DINKA M., TOROK K. 1980. Element composition of the leaves of some deciduous trees and the monitoring of heavy metals in an urban-industrial environment. Ecology, 22: 167—170.
- KOWALKOWSKI A., SZCZUBIAŁKA Z. 1981. Związek między stężeniem Mn, Cu, Pb i Zn w igłach sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. a ich zawartością w poziomach próchnicznych gleb skażonych emisją przemysłową. Roczn. Gleb., 32: 55—68.
- KWAPULIŃSKI J., MIROSLAWSKI J., CYGANEK M., CZOMPERLIK B., SZYWAŁA A. 1992. Skutki zjawiska wtórnego pylenia lasu zanieczyszczonego toksycznymi metalami. Sylwan, 6: 49—61.
- LATOCHA E. 1986. Wpływ niektórych rębni i sposobów przygotowania gleby na wzrost drzew kilku gatunków w rejonach przemysłowych. Prace IBL, 654.
- LIPIEC W. 1989. Rostoczański Park Narodowy. Parki Nar. i Rez. Przyr., 9, 2—3: 59—64.
- LIPIEC W. 1992. Badania faunistyczne na Rostoczu. Parki Nar. i Rez. Przyr., 9, 2—3: 99—103.
- LIPKA C. 1990. Ocena stopnia zagrożenia rezerwatów przyrody Smoleń i Góra Chełm przez metale ciężkie i siarkę. Uniwersytet Śląski, Katowice [Praca magisterska]: 1—81.
- LITYŃSKI T., JURKOWSKA H. 1982. Żyzność gleby i odżywianie się roślin. PWN, Warszawa: 1—643.
- LOREK E. 1993. Kierunek i dynamika zmian procesów degradacji środowiska pod wpływem antropopresji w rejonie Górnego Śląska. AE, Katowice: 1—106.
- LUDERA F. 1939. Przyczynki do znajomości roślin Lasu Segieckiego. Prace Oddz. Przyr. im. Muzeum Śląskiego, Katowice: 16—34.
- LUWE M. 1995. Distribution of nutrients and phytotoxic metal ions in the soil and in two forest floor plant species of beech (*Fagus sylvatica* L.) stand. Plant and Soil, 168—169: 195—202.
- ŁUKASZEWSKI Z., BINIECKI S., SIWECKI R. 1987. Zawartość metali ciężkich w igłach sosny zwyczajnej w Puszczy Niepołomickiej. W: Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. Mat. Symp., UAM, Poznań: 367—372.
- MAGNUSKI K., SIENKIEWICZ A., GAŁĄZKA R., JASZCZAK S., NOWIŃSKI M. 1996. Zawartość siarki w igłach sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) rosnącej w warunkach średnich skażeń miejsko-przemysłowych środowiska leśnego. W: Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. Mat. Symp., UAM, Poznań: 111—119.
- MALMERN J. 1988. Patterns in the growth and the accumulation of inorganic constituents in the *Sphagnum* cover on ombrotrophics in Scandinavia. OIKOS, 53: 105—120.
- MALZAHN E. 1993. Monitoring skażenia środowiska leśnego w strefie małych zagrożeń. Prace Muz. im. Szafera, Prądnik: 7—8: 107—114.
- MALZAHN E. 1996. Bioindykacja środowiska leśnego Puszczy Białowieskiej. W: Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. Mat. Symp., Sorus, Poznań: 75—87.
- MAŃKOWSKÁ B. 1980. The natural content of F, As, Pb and Cd in the forest trees. Biologia, 35: 267—274 [Bratislava].
- MAŃKOWSKÁ B. 1986. Accumulation of As, Sb, S and Pb in soil and pine forest. Ekologia, 5: 71—79 [Bratislava].
- MAŃKOWSKÁ B. 1994. Airborne sulphur and heavy metal pollution in the environment of a thermal power plant. Ekologia, 13, 2: 207—217 [Bratislava].
- MAREK T. 1989. Analiza skupień w badaniach eksperymentalnych. PWN, Warszawa: 1—171.
- MARKERT B. 1994. The Biological System of the Elements (BSE) for terrestrial plants. The Science of the Total Environment, 155: 211—228.

- MARKERT B., WECKERT V. 1993. Time and site integrated long-term biomonitoring of chemical elements by means of mosses. *Toxic And Environ. Chem.*, 40: 43–56.
- MENGEL K., KIRKBY E. 1983. Podstawy żywienia roślin. PWRiL, Warszawa: 1–527.
- MICHALIK S. 1981. Bieszczadzki Park Narodowy. KAW, Rzeszów: 1–78.
- MICHALIK S. 1990. Tempo i kierunki antropogennych przemian szaty roślinnej na przykładzie charakterystycznych obiektów chronionych w Polsce południowej. W: Obszarowa i gatunkowa ochrona przyrody w Polsce południowej. *Studia Naturae, suplement*: 111–140.
- MIELNICKA B. 1991. Ruch turystyczny w polskich parkach narodowych i jego przyrodnicze konsekwencje. *Ochr. Przyr.*, 49: 163–173.
- MIERZEŃSKA M. 1995. Analiza fitogeograficzna i ekologiczna flory wątrobowców Gorczańskiego Parku Narodowego. *Parki Nar. i Rez. Przyr.*, 14, 3: 11–19.
- MIREK Z., PIĘKOŚ-MIREK J., ZAJĄC A., ZAJĄC M. 1995. *Vascular Plants of Poland, a checklist*. Polish Botanical Studies, 15 IB PAN, Kraków: 1–308.
- MYCZKOWSKI S. 1962. Zbiorowiska leśne nadl. Murcki na Wyżynie Śląskiej. *Acta Soc. Bot. Pol.*, 2: 191–218.
- MYCZKOWSKI S. 1964. Ekologia zespołów leśnych Tatr Polskich ze szczególnym uwzględnieniem jej związków z pokrywą śnieżną. *Ochr. Przyr.*, 23: 123–203.
- NIEMTUR S. 1979. Influence of Zinc Smelter Emissions of Peroxidase Activity in Scots Pine Needles on Various Families. *Eur. J. For. Path.*, 9: 142–147.
- NIEMTUR S. 1980. Badania nad wewnątrzgatunkowym zróżnicowaniem odporności sosny zwyczajnej na emisje przemysłowe. Uniwersytet Śląski, Katowice [Praca doktorska]: 1–132.
- NIEMTUR S. 1981. The content of Zn, Pb, Cd, Fe, Mg, Ca and K in the needles of Scots pine various families. *Arch. Ochr. Środ.*, 17–29.
- NIEMTUR S. 1995. Zawartość ołowiu i manganu w poziomie organicznym gleb w Gorczańskim Parku Narodowym. *Parki Nar. i Rez. Przyr.*, 14, 3: 89–96.
- NIEMTUR S. 1996. Skażenie Gorczańskiego Parku Narodowego związkami S, N i Pb na podstawie analizy poziomu organicznego gleb. W: *Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe*. Mat. Symp., Sorus, Poznań: 133–147.
- NIEMTUR S., BOROWSKA D., BIEDROŃ J. 1979. Zawartość metali ciężkich w igłach trzech gatunków sosny. *Acta. Biol.*, Katowice, 7: 129–138.
- NOWOTNY-MIECZYŃSKA A. (red) 1974. *Fizjologia mineralnego żywienia roślin*. PWRiL, Warszawa: 1–483.
- NUORTEVA P., AUTIO S., LEHTONEN J., LEPISTO A., OJALA S., SAPPANEN A., VEIDE P., WILLAMO R. 1986. Levels of iron, aluminium, zinc, cadmium and mercury in plants growing in the surroundings of an acidified and a non-acidified lake in Espoo, Finland. *Ann. Bot. Fennici*, 23: 333–340.
- OCHRONA ŚRODOWISKA 1995. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- OPERAT urzędzeniowy — Rezerwat przyrody „Góra Chełm” na okres 1962/63–1971/72 [anonim.].
- OPERAT urzędzeniowy — Rezerwat przyrody „Las Murckowski” na okres 1974–1982 [anonim.].
- OPERAT urzędzeniowy — Rezerwat przyrody „Ostra Góra” na okres 1971–1980 [anonim.].
- OPERAT urzędzeniowy — Rezerwat przyrody „Segiet” na okres 1958–1968 [anonim.].
- OPERAT urzędzeniowy — Rezerwat przyrody „Smoleń” na okres 1960/61–1969/70 [anonim.].
- OPYDO J., OPYDO W. 1996. Badania poziomu zanieczyszczenia metalami ciężkimi drzewostanów dębowych Płyty Krotoszyńskiej. W: *Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe*. Mat. Symp., Sorus, Poznań: 149–155.
- PACHA J. 1989. Wpływ chromu na właściwości biologiczne i fizykochemiczne gleby. Uniwersytet Śląski, Katowice: 1–123.
- PALOWSKI B. 1987. Wpływ emisji przemysłowych huty „Katowice” na organa generatywne *Pinus sylvestris* L. *Acta Biol. Sil.*, Katowice, 4(21): 58–68.
- PALOWSKI B. 1996. Zagrożenie rezerwatów przyrody województwa katowickiego przez zanieczyszczenia przemysłowe. W: *Problemy środowiska i jego ochrona*. Katowice: 83–92.

- PANEK E. 1991. Zanieczyszczenie gleb Beskidu Śląskiego i Żywieckiego metalami ciężkimi. *Zesz. Nauk. AGH*, **36**: 65—73.
- PANEK E., WĄCHALEWSKI T., KRZAKLEWSKI W., WÓJCIK J. 1996. Zanieczyszczenie metalami ciężkimi środowiska glebowego i roślinnego terenów leśnych Podhala na tle zmienności geologicznej podłoża skalnego. W: *Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. Mat. Symp., Sorus, Poznań*: 154—159.
- PIĘKOŚ-MIRKOWA H., MIREK Z. 1982. Flora synantropijna w otoczeniu obiektów turystycznych w Tatrach. *Stud. Nat., Ser. A*, **22**: 133—196.
- PIOTROWSKA M. 1989. Metody oceny przydatności osadów ścieków bytowych w rolnictwie. *Zbiór studiów. PAN*: 83—100.
- PLAN urządzenia gospodarstwa rezerwatowego — rezerwat „Lipowiec” na lata 1981—1990 [anonim.].
- PLAN urządzenia gospodarstwa rezerwatowego — rezerwat „Ostra Góra” na lata 1981—1990 [anonim.].
- PRZYBYLSKA K., FUJAK F., MUĆKA P. 1995. Dynamika zmian zasobów leśnych w rezerwacie „Dolina Łopusznej” Gorczańskiego Parku Narodowego w okresie kontrolnym 1982—1992. *Parki Nar. i Rez. Przyr.*, **14**, 3: 23—33.
- PRZYBYLSKI T., CIEPAŁ R., PALOWSKI B., KRUPA P., ŁUKASIK I. 1994. Biology of *Betula pendula* ROTH. growing under industrial pollution. *Acta Biol. Sil., Katowice*, **26**(43): 9—18.
- RACHWALD H. 1996. Mchy jako bioindykatory środowiska leśnego Puszczy Białowieskiej. W: *Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. Mat. Symp., Sorus, Poznań*: 87—93.
- RAPORT 1995. O stanie zagrożenia i ochronie środowiska 1990—1995. GUS, Warszawa.
- RAPORT 1992. Ocena stanu środowiska naturalnego woj. zamojskiego za 1991 rok. *WIOŚ, Zamość*: 1—138.
- RASZKA B. 1996. Drzewostany sosnowe siedlisk borowych w różnych strefach zagrożenia w Wielkopolskim Parku Narodowym. W: *Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. Mat. Symp., Sorus, Poznań*: 251—258.
- ROCZNIK STATYSTYCZNY woj. katowickiego 1995. WUS, Katowice.
- ROSS S. 1994. Toxic Metals: Fate and distribution in contaminated ecosystem. In: *Toxic metals in soil-plant system. Bristol*: 190—243.
- ROSTAŃSKI A., TOKARSKA-GUZIŁ B. 1994. Waloryzacja przyrodnicza rezerwatu „Las Murckowski” w Katowicach. *Kształowanie Środ. Geogr. i Ochr. Przyr. na Obsz. Uprzem.*, **15**: 5—14 [Katowice].
- RYCMAN E. 1993. Ocena zagrożenia metalami ciężkimi i siarką Roztoczańskiego Parku Narodowego na podstawie analizy chemicznej liści i szpilek wybranych gatunków roślin. *Uniwersytet Śląski, Katowice [Praca magisterska]*: 1—74.
- SARKALA M., NUORTEVA P. 1991. Levels of aluminium, iron, zinc, cadmium and mercury in some indicator plants growing in unpolluted Finish Lapland. *Ann. Bot. Fennici*, **24**: 301—305.
- SAWICKA K. 1987. Accumulation of chosen heavy metals and sulphur and nitrogen in the assimilation apparatus of some trees in the Babia Góra National Park. *Ekol. Pol.*, **35**, 2: 449—463.
- SAWICKA-KAPUSTA K. 1990. Reakcja roślin na dwutlenek siarki i metale ciężkie w środowisku — bioindykacja. *Wiad. Ekol.*, **36**, 3: 94—100.
- SIUTA J. (red.) 1980. Siarka w biosferze. *PWRiL, Warszawa*: 1—393.
- SKAWINA T. 1967. Charakterystyka zmian glebowych wywołanych przez zanieczyszczenia powietrza w GOP. *Zesz. Nauk. AGH*, **12**.
- SOKOŁOWSKI J. 1979. Przegląd zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej. *Sylwan*, **4**: 21—29.
- SOKOŁOWSKI J. 1992. Sukcesja roślinności na zrębach w Wigierskim Parku Narodowym. *Parki Nar. i Rez. Przyr.*, **10**, 3—4: 29—45.



- SPRAWOZDANIE 1991. Sprawozdanie z badań 1986—1990 w ramach zadania badawczego CPBP 11.02.04. Przemysłowe zanieczyszczenie powietrza, a zawartość metali ciężkich w biomasie brzoź. Koordynator ID PAN Kórnik, Uniwersytet Śląski [ms.].
- STRZYSZCZ Z. 1991. Ferromagnetism of soil in some Polish National Parks. Mitt. Deut. Bodenk. Ges., 66: 119—122.
- STRZYSZCZ Z., MAGIERA T. 1993. Ferromagnetyczność gleb w parkach narodowych i jej wykorzystanie w monitoringu skażeń ekosystemów leśnych. Prace Muz. im. Szafera, Prądnik: 7—8: 125—132.
- SUTINEN M. L., RAITIO H., NIVALA V., OLLIKAINEN R., RITARI A. 1996. Effects of emissions from copper-nickel smelters on the frost hardiness of *Pinus sylvestris* needles in the subarctic region. New. Phytol., 132: 503—512.
- SZAREK E., CHRZANOWSKA E. 1991. The total sulphur content in the mosses of Polish national parks — changes within the last 10 years. Acta Soc. Bot. Pol., 60: 101—110.
- SZAREK E., CHRZANOWSKA E., BRANIEWSKI S., RIEGER R., RUTKOWSKA L. 1992. Nutrient and pollutants in forest vegetation of the Ratanica watershed. Ekol. Pol., 41, 3—4: 375—392.
- SZAREK E., CHRZANOWSKA E., GODZIK B. 1993. Zawartość metali ciężkich i makropierwiastków w roślinności runa w Ojcowskim Parku Narodowym. Prace Muz. im. Szafera, Prądnik: 7—8: 159—160.
- SZCZUBIAŁKA Z., KORCZYK A. 1983. Zawartość popiołu i składników pokarmowych w siewkach sosny zwyczajnej kilku proveniencji. Roczn. Gleb., 34: 69—73.
- SZKLARCZYK A. 1987. Zasoby flory leczniczej w roślinności rezerwatów przyrody Dęby Boruszowickie, Góra Chełm, Smoleń, Ochojec w województwie katowickim. ŚIAM, Sosnowiec [Praca magisterska].
- SZYMAŃSKA M., MOLAS., KIEREPKE M. 1996. Poziom S-SO<sub>4</sub> w igłach sosny zwyczajnej i ściółce leśnej na terenie Roztocza wynikający z oddziaływania LHS. W: Reakcje biologiczne drzew na zanieczyszczenia przemysłowe. Mat. Symp., Sorus, Poznań: 363—369.
- ŚLĘZAŃSKI M. 1995. Zawartość wybranych metali ciężkich w glebach ZJKP w granicach województwa częstochowskiego. W: Stan środowiska przyrodniczego woj. częstochowskiego, Częstochowa: 75—82.
- ŚWIDEREK D. 1995. Zmienność cech ekofizjologicznych szpilek w zależności od pochodzenia sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. Uniwersytet Śląski, Katowice [Praca magisterska]: 1—65.
- ŚWIEBODA M. 1980. Wpływ przemysłowych zanieczyszczeń powietrza na sosnę zwyczajną między hutą ołowiu i cynku „Bolesław” a Ojcowskim Parkiem Narodowym. Ochr. Przyr., 43: 329—361.
- TOKARSKA-GUZIŁ B. 1995. Waloryzacja przyrodnicza rezerwatu „Las Murckowski” w Katowicach. Kształtowanie Środ. Geogr. i Ochr. Przyr. na Obsz. Uprzem., 15: 5—14 [Katowice].
- TYLER G. 1990. Bryophytes and heavy metals: a literature review. Botanical Journal of the Linnean Society, 104: 231—253.
- WENTZEL K. 1982. Foliar analysis and air purification by forests. Eur. J. For. Path, 12, 6—7: 417—425.
- WĘGIEREK T. 1990. Porównanie stężenia Zn, Pb, Cd. i S w biomasie *Fagus sylvatica* populacji o różnym stopniu narażenia na skażenia atmosfery rezerwatów „Las Murckowski” i „Zasolnica” w Nadl. Andrychów. Uniwersytet Śląski, Katowice [Praca magisterska]: 1—68.
- WIDERA S. 1980. Skażenia gleby i organów asymilacyjnych sosny pospolitej w różnych odległościach od źródeł emisji. Arch. Ochr. Środ., 3—4: 141—146.
- WILK A. 1997. Zawartość barwników asymilacyjnych, metali ciężkich oraz siarki w igłach modrzewia *Larix decidua* MILL. jako biowskaźnik zanieczyszczenia środowiska. Uniwersytet Śląski, Katowice [Praca magisterska]: 1—52.
- WITKOWSKI Z. 1993. Stężenie pierwiastków i charakterystyka zdrowotna liści buka (*Fagus sylvatica* L.) z Beskidu Małego i Bieszczadzkiego Parku Narodowego. Prace Muz. im. Szafera, Prądnik: 7—8: 87—95.

- WOJCIECHOWSKA-MORYS D. 1990. Zawartość siarki i metali ciężkich w organach roślinnych *Pinus sylvestris* i *Betula verrucosa* w strefie oddziaływania K.M. „Huta Katowice”. Uniwersytet Śląski, Katowice [Praca magisterska]: 1—110.
- WOŹNY A. 1995. Ołów w komórkach roślinnych, pobieranie, reakcje, odporność. Sorus, Poznań: 1—162.
- WSKAZANIA DO PLANU OCHRONY REZERWATÓW: Bukowica, Góra Chełm, Las Murckowski, Lipowiec, Segiet na lata 1993—1997 [anonim.]. Mat. Woj. Konserwatora Przyrody, Katowice: 1—136.
- WULFF A., KARENLAMPI L. 1993. The effect of the exclusion of dry and wet deposition on visible symptom and sulphur and fluoride by *Picea abies* needles. Scand. J. For. Res., 8: 498—509.
- ZABIEROWSKI J. (red.) 1982. Park Narodowy na Babiej Górze. Przyroda i Człowiek. Stud. Nat., Ser. B, 29.
- ZROSKA R. 1992. Stężenie metali ciężkich i siarki w aparacie asymilacyjnym wybranych gatunków drzew i krzewów liściastych z parków Rudy Śląskiej oraz obrzeży dwóch parków narodowych — Babiogórskiego PN i Gorczańskiego PN. Uniwersytet Śląski, Katowice [Praca magisterska]: 1—82.
- ŻARNOWIEC J. 1991. Charakterystyka fitosocjologiczna roślinności torfowiskowej rezerwatu przyrody Rotuz w Kotlinie Oświęcimskiej. Ochr. Przyr., 48: 135—159.
- ŻARNOWIEC J., JĘDRZEJKO K., KLAMA H. 1997. Rośliny naczyniowe istniejących i projektowanych rezerwatów przyrody makroregionu południowego Polski, ze szczególnym uwzględnieniem naturalnych zasobów roślin leczniczych. ŚLAM, Katowice: 1—103.
- ŻUREK Z. 1991. Gorczański Park Narodowy. Parki Nar. i Rez. Przyr., 9, 2—3: 25—3.

Ryszard Ciepał

**Cumulation of heavy metals and sulphur in plants of the selected species  
as well as in the soil as indicator of the degree of pollution in Silesia and Malopolska province  
territories under environment protection**

**S u m m a r y**

Plant cover of Silesian and Malopolska province was greatly devastated and deformed due to negative influence of industry and excessive urbanization. In result of this there are but few spots in this area which still managed to keep its natural plant cover. In Silesian province 48 objects undergo the reserve protection — in their flora leafy forests prevail. The actual state of plant preservation in the areas under protection is very different in this province. It was determined by many factors such as: the size of the object, size of the protection zone, distance from the industrial works and development of tourism. Another kind of ecological threat, most essential in the last few years is bad influence of industrial emissions of which the most dangerous are: sulphur dioxide, nitric oxides and finally atmospheric dusts containing oxides of heavy metals.

The aim of this paper was to determine the degree of hazard in some selected nature reserves of Silesian and Malopolska province by emission of heavy metals and sulphur on the basis of research on cumulation of these elements in soil and the analysis of chemical structure of leaves and needles in several plant species.

Plant and soil material came from the seven reserves situated in Eastern and middle parts of Silesian province and western parts of Malopolska province in which beech forests were characteristic of ("Bukowica", "Góra Chełm", "Las Murckowski", "Lipowiec", "Ostra Góra", "Segiet", "Smoleń" and Tenczynek Landscape Reserve).

Heavy metals were determined by atomic absorption method while sulphur — by calorimetric one.

Influence of pollution constantly causes accumulation of heavy metals which leads to the chemical degradation of soil. The amount of heavy metals under analysis in soil of the reservathion grounds increases proportionally to their contents in the falling down dust. In the reserves like "Segiet", "Góra Chełm", and "Ostra Góra" the threshold level of the amount of Pb, Zn and Cd for this type of soil was much exceeded.

Physiological zink concentration in leaves usually balances between 20—120  $\mu\text{g/g}$ , but the results obtained in this study showed great exceeding of these values in the majority of the reserves under investigation.

The results of lead, sulphur and cadmium contents obtained in this study indicate, similarly as in the case of zink, greatly exceeded concentrations of them treated as normal for this type of plant material in the reserves of "Segiet", "Góra Chełm", "Ostra Góra" and "Bukowica".

Data indicating concentrations of copper and iron in the examined plant material showed that their values fall within the range of physiological concentration of these elements.

As result from the obtained data the reserves under examination are under threat of cadmium, lead and zink overdose. It specially refers to the centrally located "Segiet" reserve right in the middle of the big urban agglomeration and also those situated towards North-East from the main emitters of the Upper Silesia Region reserve areas of "Góra Chełm" and "Ostra Góra". In the remaining reserves of Silesian and Malopolska province ecological threat with such emissions seems reasonably smaller.

Ryszard Ciepał

**Ansammlung von Schwermetallen und Schwefel in Pflanzen ausgewählter Gattungen  
und im Boden als Beiwert der Umweltverschmutzung in den Schutzgebieten  
der Schlesischen und Malopolskie Wojewodschaften**

**Zusammenfassung**

Die Pflanzenwelt der Schlesischen und Malopolskie Wojewodschaften wurde stark beschädigt und hat sich infolge der negativen Einflusses der Industrie und der Urbanisierung stark verändert. Infolge dessen gibt es in diesem Gebiet wenig Orte mit einer gut erhaltenen natürlichen Pflanzenwelt. In der Schlesische Wojewodschaft gibt es 48 geschützte Objekte. In der Flora dieser Objekte überwiegen Laubwälder. Der aktuelle Zustand der Pflanzenwelt in den geschützten Gebieten der Wojewodschaft ist sehr verschieden. Darüber entscheiden folgende Faktoren: die Fläche des Objektes, die Größe der Umhüllung, die Entfernung von Industriewerken und die Touristik. Eine andere Form der Bedrohung ist der Einfluß der Industrieemissionen. Zu den gefährlichsten und häufigsten gehören: Schwefeldioxid, Stickoxid und Staub mit Schwermetalloxiden.

Anliegen der vorliegenden Arbeit ist die Bewertung der Bedrohung durch Swermetalle und Schwefel ausgewählter Schutzgebiete in der Schlesischen uns Malopolskie Wojewodschaften anhand der Untersuchungen der Konzentration dieser Elemente im Boden und anhand der Analyse der chemischen Zusammensetzung der Blätter und Nadeln einiger Pflanzen.

Die Pflanzen und der Boden stammen aus sieben Schutzgebieten aus den östlichen und mittleren Teilen der Schlesische Wojewodschaft und des westlichen Teil der Malopolskie Wojewodschaft in denen Buchenwälder vorkommen („Bukowica“, „Gora Chelm“, „Las Murckowski“, „Lipowiec“, „Ostra Gora“, „Segiet“, „Smolen“ und Tenczynski Park Krajo-brazowy).

Die Schwermetalle wurden mit Hilfe der Methode der Atomabsorbtion und der Schwefel mit Hilfe des Kolorimeters bestimmt.

Die Einwirkung der Verunreinigungen verursacht eine Ansammlung von Schwermetallen, was zur chemischen Degradation des Bodens führt. Der Gehalt der analysierten Schwermetalle im Boden der Schutzgebiete wächst proportionell zu deren Gehalt in dem sich absetzenden Staub. In den Schutzgebieten „Segiet“, „Gora Chelm“ und „Ostra Gora“ wurde das Überschreiten des zugelassenen Niveaus von Pb, Zu und Cd für solche Bodenklassen festgestellt.

Die physiologische Konzentration von Zink in den Blättern beträgt zwischen 20—120 ug/g. Die Resultate bestätigen ein bedeutendens Überschreiten dieser Werte in den meisten Schutzgebieten.

Der Gehalt von Blei, Schwefel und Kadm zeigen — ähnlich wie bei Zink — die Überschreitung der Konzentration, die normal für diesen Typ der Pflanzen in den Schutzgebieten „Segiet“, „Gora Chelm“, „Ostra Gora“ und „Bukowica“ ist.

Die Angaben über die Konzentration von Kupfer und Eisen in den untersuchten Pflanzen zeigten, daß diese Werte die physiologische Konzentration dieser Elemente nicht überschreiten.

Wie aus den Untersuchungen resultiert, sind die genannten Schutzgebiete im großen Maße durch Kadm, Blei und Zink bedroht. Vor allem betrifft das das im Zentrum des Ballungsgebietes liegende Schutzgebiet „Segiet“ und die nordöstlich von den am meisten die Umwelt verschmutzenden Industriewerken des Oberschlesischen Industriegebietes liegenden Schutzgebiete „Gora Chelm“ und „Ostra Gora“. In den restlichen Schutzgebieten der Schlesischen und Malopolskie Wojewodschaften scheint die Bedrohung deutlich kleiner zu sein.

BUŚ

**Redaktor**  
**Barbara Todos-Burny**

**Redaktor techniczny**  
**Barbara Arenhövel**

**Korektor**  
**Lukrecja Wawrzyczek**

**Copyright © 1999**  
**by Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego**  
**Wszelkie prawa zastrzeżone**

**ISSN 0208-6336**  
**ISBN 83-226-0875-6**

**Wydawca**  
**Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego**  
**ul. Bankowa 12B, 40-007 Katowice**

Wydanie I. Nakład: 250 + 50 egz. Ark. wyd. 15,5. Ark.  
druk. 10,25. Podpisano do druku w maju 1999 r. Papier  
offset. kl. III, 80 g, 70 × 100.

Zam. 9/99

Cena 16 zł

**Skład i łamanie: Pracownia Składu Komputerowego**  
**Wydawnictwa UŚ**

**Druk i oprawa: Zakład Poligraficzny**  
**ul. 75 Pułku Piechoty, 41-500 Chorzów**





nr inw.: BGN - 2748



BG N 286/1774

ISSN 0208-6336  
ISBN 83-226-0875-6