

STANISŁAW BROŻEK, ANDRZEJ JAWORSKI

Koncentracja siarki i metali ciężkich w igliwiu świerków w rezerwatach Pilsko, Śrubita i Oszast*

Sulphur and heavy metal concentrations in spruce needles
in the Pilsko, Śrubita and Oszast reserves

Abstract. Sulphur and heavy metal complete forms were examined using one- and two-year old spruce needles collected from the natural forests of the lower mountain (Oszast and Śrubita) and upper subalpine (Pilsko) zones. Higher sulphur and heavy metal natural concentrations were found in the plant material, which was rinsed prior to the analyses.

Key words: Beskid Żywiecki, primeval type of forest, industrial pollution

Wstęp

Związki siarki i metale ciężkie, oprócz naturalnej zawartości w ekosystemie, docierają do drzew w następstwie emisji przemysłowych. Uważa się je za czynniki powodujące powstawanie szkód w lesie. Dotyczy to zwłaszcza podwyższonej ich zawartości w roślinach, a szczególnie w aparacie asymilacyjnym. Teren badanych rezerwatów znajduje się w obszarze środkowoeuropejskiego, podwyższonego oddziaływania emisji przemysłowych. Odległość badanych powierzchni od centrum Górnego Śląska jak również od Ostrawy waha się w przybliżeniu od 70 do 80 km.

Wcześniejsze badania drzewostanów w Karpatach wykazały zwiększoną zawartość siarki i metali ciężkich w igliwiu drzew leśnych [Sawicka 1987, 1991, Bublinec 1992, Jaworski i Skrzyszewski 1988]. Metodyka laboratoryjna tych prac przewidywała analizę materiału roślinnego bez jego mycia przed przystąpieniem do mineralizacji. Tak prowadzone oznaczenia są sumą składników znajdujących się w tkance roślinnej oraz na powierzchni igliwia.

* Praca została wykonana w ramach realizacji projektu nr 5 PO6H O94 14 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

Celem niniejszych badań było określenie koncentracji siarki i metali ciężkich w igliwiu świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) po jego wymyciu w wodzie destylowanej. Takie przygotowanie igliwia do prac analitycznych pozwala wykazać, czy wspomniana emisja wywarła wpływ na rzeczywisty (bez składników obecnych na powierzchni igieł) skład chemiczny igliwia w lasach naturalnych Beskidów.

Charakterystyka terenu badań i powierzchni badawczych

Powierzchnie badawcze są położone w zachodniej części Beskidu Żywieckiego w grupach Pilska (rezerwat Pilsko) i Wielkiej Raczy (rezerwaty Śrubita i Oszast). Obie grupy tworzą zwarty kompleks leśny przylegający do granicy ze Słowacją.

Powierzchnie badawcze zlokalizowano w naturalnych drzewostanach: rezerwacie Pilsko w piętrze regla górnego oraz w rezerwach Śrubita i Oszast w reglu dolnym Beskidu Żywieckiego (tab. 1). Podłoże geologiczne badanych rezerwatów stanowią piaskowce i łupki ilaste warstw magurskich. Charakterystykę głównych elementów klimatu przedstawiono w tabeli 1.

W rezerwacie Pilsko przeważają gleby bielcowe właściwe i bielice, a w dolnoreglowych rezerwach Śrubita i Oszast wykształciły się gleby brunatne kwaśne. Powierzchnie badawcze na Pilsku to zespół karpackiego boru świerkowego *Plagiothecio-Piceetum tatricum*, a Śrubita i Oszast reprezentują zespoły buczyny karpackiej *Dentario glandulosae-Fagetum*. W ujęciu typologicznym są to odpowiednio: siedliska boru wysokogórskiego i lasu mieszanego górskiego (tab. 1).

Skład gatunkowy drzewostanów ukształtował się w wyniku naturalnych procesów i zasadniczo posztucznego użytkowania nawiązującego do rębni przerębowej (Oszast, Pilsko) i cięć przygodnych (Śrubita). Na Pilsku odpowiada on siedliskowemu typowi lasu, natomiast Śrubita i Oszast tworzą gatunki, które z natury występowały w reglu dolnym Beskidu Żywieckiego, jednak ich udział odbiega od właściwego (tab. 1). W Śrubicie jest zbyt duży udział buka a za mały świerka, zaś w Oszaście panuje świerk a powinien on współpanować z bukiem i jodłą.

Metodyka

Materiał badawczy stanowiły igły świerka zebrane z górnych, nasłonecznionych części koron drzew górujących w drzewostanie (w trzeciej dekadzie września: 1998 r. – Pilsko i 2000 r. – Oszast i Śrubita). Wiek drzew, z których pobierano igły, wynosił: 100-120 lat na Pilsku i ponad 250 lat na pozostałych powierzchniach. Zebrany materiał roślinny myto wodą destylowaną, suszono do stanu powietrznie suchego, a następnie rozdrobniono w młynku. W tak przygotowanych próbkach materiału roślinnego oznaczano: wodę higroskopową metodą suszarkowo-wagową, siarkę całkowitą nefelometrycznie, metodą Butterosa-Cheneryego, całkowite zawartości: N, Ca, Mg, K, P, Mn, Pb, Cd, Zn i Cu metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej, po uprzednim zmineralizowaniu. Dla oznaczeń całkowitych koncentracji azotu, materiał roślinny mineralizowano w kwasie siarkowym z dodatkiem perhydrolu, a dla oznaczeń pozostałych składników w kwasie nadchlorowym i azotowym [Ostrowska i in. 1991]. Koncentrację składników przeliczono na suchą masę.

TABELA 1
Położenie oraz charakterystyka siedliskowo-drzewostanowa badanych powierzchni

Powierzchnia	Śrubita 2	Oszast 3	Pilsko 1*	Pilsko 3**
Lokalizacja:				
– nadleśnictwo	Ujsoły	Ujsoły	Jeleśnia	Jeleśnia
– leśnictwo, oddział	Rajcza 231b	Cicha 201a	Korbielów 111c	Korbielów 107c
Ekspozycja	W-SW	N-NW	E-NE	N
Nachylenie [°]	24	18	11-20	9-11
Wysokość n.p.m. [m]	890	1000	1220	1275
Charakterystyka warunków klimatycznych [Hess 1965]:				
– piętro klimatyczne	umiarkowanie chłodne		chłodne	
– średnia 10-letnia temperatura roku [°C]	5,2	4,4	3,3	2,8
– suma rocznych opadów [mm]	1250	1300	1440	1480
Skład gatunkowy*** [%]	<i>Fagus sylvatica</i> 62	<i>Picea abies</i> 79	<i>Picea abies</i> 100	<i>Picea abies</i> 100
	<i>Abies alba</i> 30	<i>Fagus sylvatica</i> 20		
	<i>Acer pseudo-platanus</i> + <i>Picea abies</i> 8	<i>Abies alba</i> 1		
Stadium i faza rozwojowa lasu pierwotnego	stadium dorastania, faza przerębowa	koniec stadium optymalnego, długotrwała faza starzenia i odnowienia	zaawansowane stadium dorastania, faza przerębowa	stadium dorastania, faza przerębowa
Typ gleby	brunatna kwaśna		bielicowa właściwa	
Zespół leśny	<i>Dentario glandulosae-Fagetum</i>		<i>Plagiothecio-Piceetum tatricum</i>	
Typ siedliskowy lasu	las mieszany górski		bór wysokogórski	

* Pilsko 1 – powierzchnia dolna;

** Pilsko 3 – powierzchnia górna;

*** – określono na podstawie udziału miąższociowego

Wyniki i dyskusja

Makroelementy

Koncentracja biogenów (N, P, K, Ca, Mg) oznaczana w igliwiu badanych świerków pozwala wykazać stan zaopatrzenia drzew w podstawowe pierwiastki pokarmowe. Średnie koncentracje: N, P, K i Mg wykazały we wszystkich stanowiskach wyraźnie mniejsze

wartości w igliwiu dwuletnim niż w igłach młodszych jednorocznych (tab. 2). Równocześnie obserwowano akumulację wapnia. Podobne zależności pomiędzy wiekiem igieł świerka, a koncentracją Mg, K, P i Ca wystąpiły w Babiogórskim Parku Narodowym [Maciaszek i Jaworski 1995]. Najmniejszą koncentrację azotu stwierdzono w igliwiu z Pilska, większą ze Śrubity i największą z Oszastu. Zaobserwowanych różnic w koncentracji azotu (wartości średnie 1,03% i 1,65%) nie można jednak jednoznacznie wiązać z imisją. Bardziej prawdopodobny jest wpływ zróżnicowanych warunków odżywienia świerków w zmieniających się wraz z wysokością warunkach siedliskowych. W niedalekim Babiogórskim Parku Narodowym w badaniach z lat osiemdziesiątych, wykazano koncentrację N w igliwiu świerka wynoszące około 1,2% [Sawicka 1987]. Również w Beskidach w Słowacji w latach 1970-1980 koncentracja azotu w igliwiu świerków była na poziomie 1,16% [Bublinec 1992¹].

W igliwiu świerka w dobrych warunkach żywieniowych zawartość azotu może jednak często przekraczać 1,5% [Höhne 1964], a w przypadku nalotów świerkowych z terenu Beskidów Zachodnich nawet 2,0% [Brożek 1992]. W kontrolowanych doświadczeniach nawożeniowych wykazano, że koncentracja azotu w igłach świerka może przekroczyć nawet 4,0% [Swan 1972]. Azot jest tym biogenem, który może być akumulowany przez roślinę, i udowodnienie, że zwiększona jego koncentracja w igliwiu pochodzi z imisji wymaga specjalnych metod badawczych.

Średnia (z wielu powtórzeń) koncentracja biogenów w igliwiu dobrze odżywionych 75-letnich świerków z Beskidów zachodniej Słowacji wynosiła w latach osiemdziesiątych w procentach: N – 1,16, P – 0,15, K – 0,59, Ca – 0,74 i Mg – 0,13 [Bublinec 1992]. Stwierdzone w niniejszych badaniach koncentracje: P, K, Ca i Mg są zbliżone do uzyskanych w świerczynach Słowacji, co wskazuje na dostateczny stan odżywienia świerków z Pilska, Śrubity i Oszastu (tab. 2). Jedynie koncentracja N w igliwiu świerka na Pilsku była niższa niż w Słowacji, co potwierdzałoby przypuszczenie o gorszych warunkach odżywiania lasu w reglu górnym Pilska, najprawdopodobniej ze względów klimatycznych.

Siarka

Koncentracja siarki (wartości średnie) w igliwiu świerków z Pilska wynosiła 0,07% w igłach jednorocznych i 0,08% w igłach dwuletnich (tab. 2). W pozostałych rezerwatach zawartość siarki w igliwiu świerkowym była jednak wyraźnie większa. W igłach świerka ze Śrubity wynosiła odpowiednio 0,21% i 0,20%, a z Oszastu jeszcze więcej, bo 0,27% i 0,25% (tab. 2).

W przybliżeniu dwukrotnie większej zawartości siarki w Śrubicie i trzykrotnie w Oszańcu (ryc. 1) w porównaniu z Pilskiem, nie można łączyć ze zróżnicowanymi warunkami siedliskowymi, jak to było w przypadku azotu. Tak znaczną koncentrację siarki w igliwiu świerkowym należałoby raczej tłumaczyć imisją przemysłową. W terenach nie zanieczyszczonych, koncentracja związków siarki w igliwiu świerka wynosi od 0,08% w igłach jednorocznych do 0,11% w igłach dwuletnich [Greszta 1987, Stefan 1997]. W Babiogórskim Parku Narodowym zawartość siarki w jednorocznych igłach wynosiła 0,12% a w dwuletnich 0,14% [Sawicka 1987]. Podobne ilości siarki w igliwiu świerkowym, to jest od

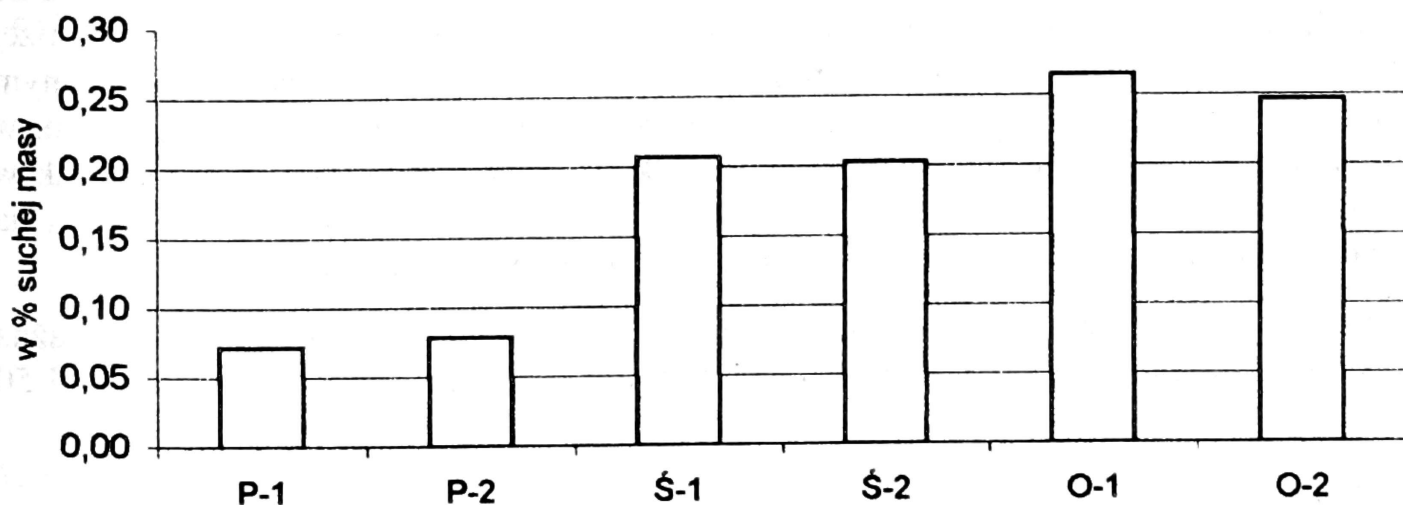
¹ Autor ten nie podaje czy materiał roślinny był myty przed analizami czy też nie.

TABELA 2

Zawartość wybranych pierwiastków w jednoletnich (1) i dwuletnich (2) igłach świerka pospolitego

Pochodzenie igieł	Wiek igieł	% suchej masy					mg x kg ⁻¹					
		S	N	K	P	Ca	Mg	Pb	Cd	Zn	Cu	Mn
Pilsko* 1	średnio	0,07	1,06	0,63	0,19	0,33	0,14	2,01	0,55	39,6	10,8	1972
Pilsko* 2	średnio	0,08	1,03	0,61	0,15	0,54	0,11	2,61	0,49	35,3	9,3	2712
Śrubita II 1	średnio	0,21	1,33	0,52	0,17	0,22	0,10	0,79	0,36	25,2	6,4	5003
Śrubita II 2	średnio	0,20	1,16	0,48	0,13	0,39	0,09	0,86	0,37	19,7	5,0	6722
Oszast III 1	średnio	0,27	1,65	0,53	0,20	0,31	0,09	0,94	0,44	40,3	7,0	455
Oszast III 2	średnio	0,25	1,41	0,58	0,16	0,49	0,08	0,98	0,43	33,8	6,0	546

* Wartości średnie z powierzchni Pilsko 1 i Pilsko 3; wyniki analiz nie wykazywały istotnych różnic między tymi powierzchniami.



RYC. 1. Koncentracja siarki w igliwiu świerka (wartości średnie)

0,13% do 0,17% wykazano na terenie Pienińskiego Parku Narodowego [Sawicka 1991]. Na terenach objętych emisją przemysłową koncentracja siarki w igłach świerka wahała się natomiast od 0,17% do 0,3% [Materna 1978]. Tak więc stwierdzone w Oszaście i Śrubicie ilości siarki w igłach można łączyć ze zwiększoną jej ilością w atmosferze.

Metale ciężkie

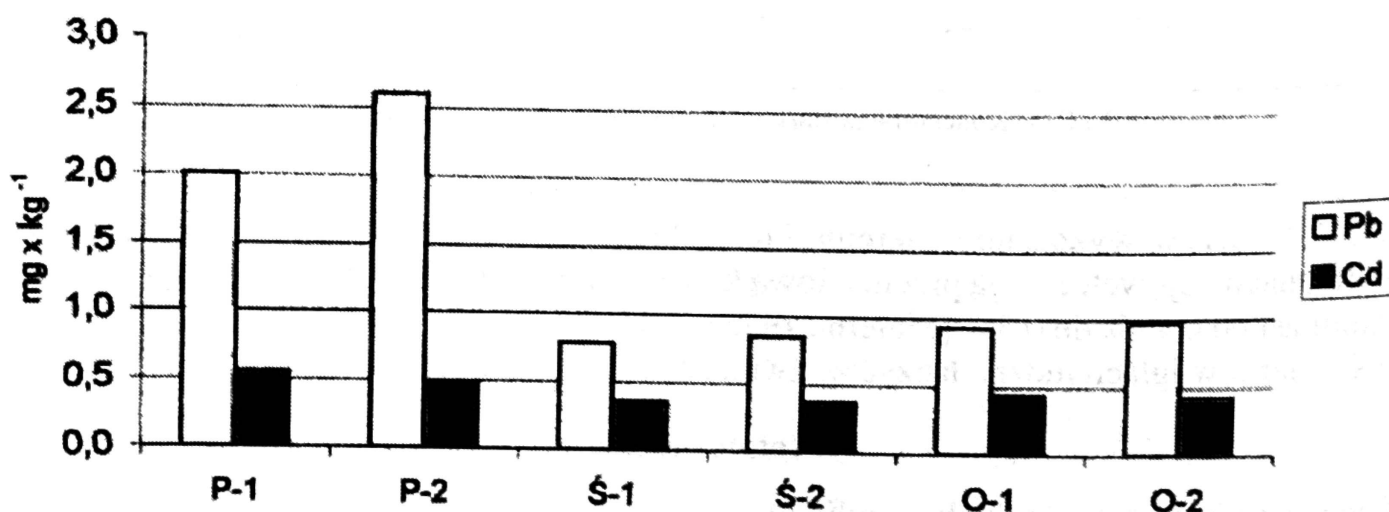
Koncentracja metali ciężkich w igliwiu świerka pospolitego, oznaczana w niniejszych badaniach, jest wypadkową naturalnej zawartości tych pierwiastków, jak i nakładającej się emisji.

Ołów. Dotychczas nie wykazano fizjologicznych funkcji ołowiu w roślinie. Duże zainteresowanie tym składnikiem jest związane z jego toksycznością dla roślin i zwierząt. Wraz ze wzrostem zawartości ołowiu w glebie rośnie jego ilość w roślinach uprawnych. Udowodniono jednak, że przyrost koncentracji ołowiu w tych roślinach był związany z zanieczyszczeniami powietrza tym składnikiem [Ostrowska i in. 1991]. Poziom ołowiu w roślinach uprawnych, w tym w warzywach i owocach z terenów nie objętych zanieczyszczeniami rzadko przekracza $3 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$, a najczęstsze jego wartości są poniżej $1 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ Krytyczne stężenie ołowiu dla roślin uprawnych jest trudne do ustalenia, proponuje się $30\text{-}300 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ [Kabata-Pendias i Pendias 1993].

Zawartość ołowiu w igliwiu świerkowym była różna w obu rezerwatach, lecz nigdy nie przekroczyła $3 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ (tab. 2, ryc. 2). Podobne badania prowadzone w Babiogórskim Parku Narodowym około 20 lat temu wykazały koncentracje ołowiu w igliwiu świerkowym na poziomie od kilkunastu do $25,0 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ Materiał roślinny do analiz nie był jednak myty [Sawicka 1987]. Również w latach osiemdziesiątych wyniki zawartości ołowiu z słowackiej części Karpat kształtowały się średnio na poziomie $5,7 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ [Bublinec 1992]. Pomimo różnic w sposobie przygotowania materiału do analiz (igły myte lub niemyte) stwierdzone w niniejszych badaniach zawartości ołowiu nie odbiegają od ilości uznanych za normalne.

Kadm. Fizjologiczna funkcja kadmu w roślinach nie jest dotychczas wyjaśniona, jest on jednak chętnie przez nie pobierany, a objawy toksyczności Cd u roślin uprawnych występują przy stężeniu $5\text{-}30 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ [Kabata-Pendias i Pendias 1993]. Zbliżona do naturalnej zawartość kadmu w igliwiu świerka z terenu Karpat wynosi zazwyczaj poniżej $1,0 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ [Sawicka 1987, Bublinec 1992]. Zawartość tego składnika w badanym igliwiu świerkowym wahała się średnio od 0,36 w Śrubicie do $0,55 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ w rezerwacie Pilsko. Koncentracja tego pierwiastka w igliwiu wykazuje, podobnie jak w przypadku ołowiu, nieznaczny jego wzrost wraz z wysokością nad poziom morza na badanych stanowiskach (ryc. 2). Są to jednak ilości uznawane za naturalne.

Cynk. W roślinach uprawnych cynk jest składnikiem wielu enzymów, stąd jego ważna funkcja fizjologiczna. Do ich zaspokojenia wystarcza stężenie cynku w granicach $15\text{-}50$

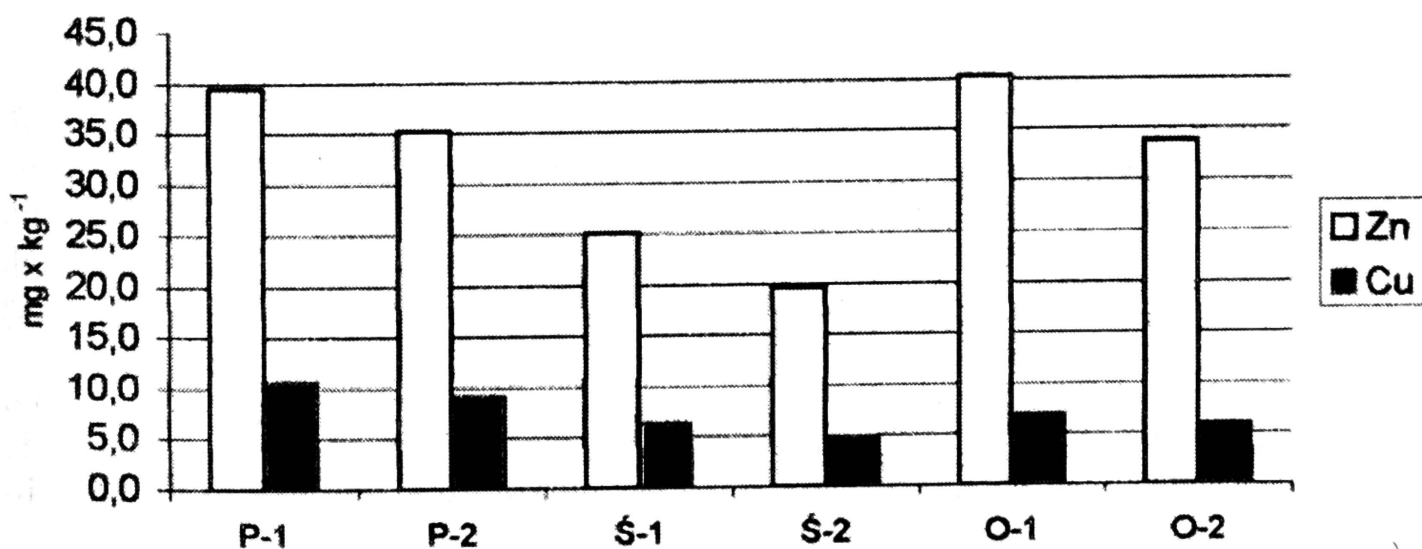


RYC. 2. Koncentracja ołowiu i kadmu w igliwiu świerka (wartości średnie)

$\text{mg} \times \text{kg}^{-1}$ s.m. [Kabata-Pendias i Pendias 1993]. W badanym, dwuletnim igliwiu świerkowym koncentracja cynku (wartości średnie) była wyraźnie mniejsza niż jednorocznym (tab. 2).

W igliwiu jednorocznym najmniejszą średnią koncentrację ($25,2 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$ s.m.) stwierdzono w Śrubicie, a największą ($40,3 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$ s.m.) w Oszaście. Sawicka [1987] w podobnych badaniach na Babiej Górze wykazała natomiast więcej cynku w igiełkach dwuletnich (maksymalne stężenie $22,2 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$). W igliwiu świerkowym ze słowackiej części Karpat koncentracja cynku była znacznie większa (około $50 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$) [Bublinec 1992].

Znana jest tolerancja roślin uprawnych na wysokie stężenie cynku. Szkodliwe koncentracje Zn dla jęczmienia i owsa wynoszą od 300 do $400 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$ [Kabata-Pendias i Pendias 1993]. Tak więc stwierdzone koncentracje cynku w igliwiu świerków z Oszastu i Pilska (ryc. 3) przypuszczalnie są jeszcze dalekie od ilości szkodliwych.

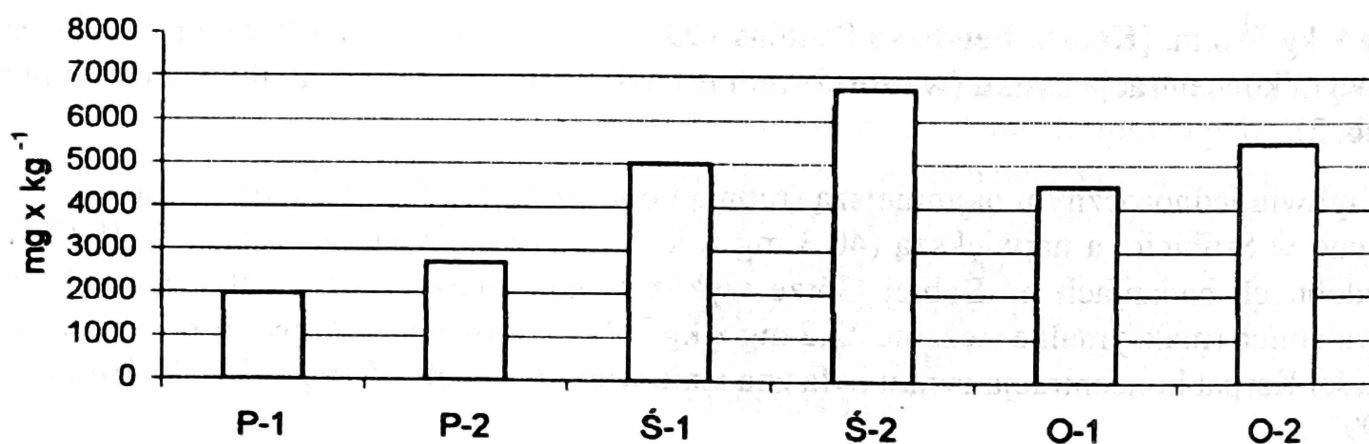


RYC. 3. Koncentracja cynku i miedzi w igliwiu świerka (wartości średnie)

Miedź. Jest ważnym składnikiem pokarmowym roślin, wchodzi w skład enzymów i białek, bierze udział w przemianach azotu i fotosyntezie. Na zaspokojenie potrzeb roślin uprawnych wystarcza stężenie $4-5 \text{ mg Cu} \times \text{kg}^{-1}$ s.m. Koncentracja w częściach nadziemnych roślin uprawnych rzędu $5-30$ jest uważana za ilość normalną (fizjologiczną), a za ilość nadmierną (toksyczną) $20-100 \text{ mg Cu} \times \text{kg}^{-1}$ s.m [Kabata-Pendias i Pendias 1993].

W badanym igliwiu koncentracja miedzi wykazała, podobnie jak w przypadku cynku, niższe stężenia w igliwiu dwuletnim w porównaniu z jednorocznym (tab. 2). W igliwiu jednorocznym ilość miedzi wynosiła średnio od $6,4$ do $10,8 \text{ mg Cu} \times \text{kg}^{-1}$ s.m. Pomimo że są to wyraźnie większe ilości od spotykanych w igliwiu świerków ze Słowacji ($3,0 \text{ mg Cu} \times \text{kg}^{-1}$ s.m) nie stanowią one jeszcze przypuszczalnie zagrożenia.

Mangan. Jest on niezbędny w roślinie w przemianach azotu, fotosyntezie, w reakcjach oksydacyjno-redukcyjnych i budowie enzymów. Zapotrzebowanie większości roślin uprawnych na mangan waha się od 10 do $25 \text{ mg Mn} \times \text{kg}^{-1}$ s.m. Wykazano negatywny



P-1 = Piłsko igliwie jednoroczne, P-2 = Piłsko igliwie dwuletnie
 Ś-1 = Śrubita igliwie jednoroczne, Ś-2 = Śrubita igliwie dwuletnie
 O-1 = Oszaście igliwie jednoroczne, O-2 = Oszaście igliwie dwuletnie

RYC. 4. Koncentracja manganu w igliwii świerka (wartości średnie)

wpływ dużej koncentracji Mn w glebie na odnowienie naturalne jodły [Jaworski 1973]. Niedobór i nadmiar manganu w roślinie związany jest głównie z kwasowością gleby. Toksyjna ilość manganu występuje przede wszystkim na glebach kwaśnych przy stężeniu w roślinach uprawnych około $500 \text{ mg Mn} \times \text{kg}^{-1}$ s.m. [Kabata-Pendias i Pendias 1993]. W badanym materiale koncentracja manganu była zawsze większa w igłach dwuletnich niż jednoletnich (tab. 2); wartości średnie wynoszą od 2712 (Piłsko) do 6722 $\text{mg Mn} \times \text{kg}^{-1}$ s.m (Śrubita) (ryc. 4). W igliwii świerkowym w słowackiej części Karpat stwierdzono średnio $2813 \text{ mg Mn} \times \text{kg}^{-1}$ s.m. [Bublinec 1992]. Większa zawartość manganu w Śrubicie i Oszaście może być związana z lepszymi warunkami siedliskowymi na tych powierzchniach w porównaniu z Piłskiem i drzewostanami słowackimi.

Podsumowanie i wnioski

Badano koncentracje całkowitych form siarki i metali ciężkich w igliwii świerkowym rezerwatów leśnych na Piłsku, w Śrubicie i Oszaście. Materiał analityczny stanowiły igły świerkowe jedno- i dwuletnie z drzew górujących. Igły po pobraniu myto w wodzie destylowanej. Mycie igieł pozwoliło wykazać skład chemiczny tkanek bez udziału składników obecnych na powierzchni.

Myty materiał roślinny wykazał niski poziom stężeń metali ciężkich nie odbiegający od ilości przyjętych za naturalne. Stwierdzono jednak zwiększoną koncentrację siarki.

*Katedra Gleboznawstwa Leśnego i
 Katedra Szczegółowej Hodowli Lasu
 Akademia Rolniczej im. Hugona Kołłątaja
 w Krakowie
 ul. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków*

Literatura

1. **Brożek S.**, 1992: Wpływ właściwości gleb na biomasę i skład chemiczny nalotów buka, jodły i świerka w Beskidach Zachodnich. Zesz. Nauk. AR w Krakowie nr 269 Leśnictwo z. 22.
2. **Bublinec E.**, 1992: The content of biogenic elements in forest tree species. Les. Čas. R.38 č. 4.
3. **Greszta J.**, 1987: Wpływ przemysłowego zanieczyszczenia powietrza na lasy. Warszawa: SGGW-AR.
4. **Höhne H.**, 1964: Untersuchungen über die jahreszeitlichen Veränderungen des Gewichtes und Elementgehaltes von Fichtennadeln in jüngeren des Osterzgebirges. Arch. Forstwes. Jg. 13 H. 7.
5. **Jaworski A.**, 1973: Odnowienie naturalne jodły (*Abies alba* Mill.) w wybranych zbiorowiskach leśnych Parków Narodowych: Tatrzańskiego, Babiogórskiego i Pienińskiego. Acta Agr. Silv. ser. Silv. Vol. 13.
6. **Jaworski A., Skrzyszewski J.**, 1988: Zawartość siarki, niektórych metali ciężkich i makroskładników w aparacie asymilacyjnym oraz ich wpływ na żywotność jodeł. Acta Agr. Silv. ser. Silv. Vol. 27.
7. **Kabata-Pendias A., Pendias H.**, 1993: Biogeochemia pierwiastków śladowych. Warszawa: PWN.
8. **Maciaszek W., Jaworski A.**, 1995: Zawartość siarki oraz niektórych makro- i mikro-pierwiastków w liściach buka i igłach świerka z wybranych drzewostanów o charakterze pierwotnym w Parkach Narodowych: Babiogórskim, Bieszczadzkiem i Pienińskim. (dokumentacja naukowa) Kraków: Katedra Szczegółowej Hodowli Lasu AR.
9. **Materna J.**, 1978: Použití listové analýzy k průkazce vlivu kyslíčnicku siričiteho. Prace VULHM č. 52.
10. **Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiałka Z.**, 1991: Metody analýzy i oceny właściwości gleb i roślin. Warszawa: IOŚ.
11. **Sawicka E.**, 1987: Accumulation of chosen heavy metals and of sulphur and nitrogen in the assimilation apparatus of some trees in the Babia Góra National Park. Ekol. Pol. Vol. 35 nr 2.
12. **Sawicka E.**, 1991: Total sulfur content in assimilative organs of some plant species in the Pieniny National Park. Ochr. Przyr. R. 49 cz.I.
13. **Stefan K.**, 1972: Nadelanalytische Ergebnisse von einem Düngungsversuch in einem rauchgeschädigten Fichtenbestand. Wirkung von Luftverunreinigungen auf Waldbäume. Mitt. For. Bundesversuchsanst. H. 97/II.
14. **Swan H. S. D.**, 1972: Foliar nutrient concentration in Norway spruce as indicators of tree nutrient status and fertilizier requirement. Pulp Pap. Res. Inst. Can. Woodlands Rep. nr 41.

Summary

Sulphur and heavy metal concentrations in spruce needles in the Pilsko, Śrubita and Oszast reserves

The paper provides the analysis sulphur and heavy metal concentrations (for the years 1998 and 2000) in the natural forests of the lower mountain (Oszast and Śrubita) and upper subalpine (Pilsko) zones. The analysis covers one- and two-year old spruce needles collected from terminal shoots of spruces dominating in the stand. The plant material was rinsed prior to analyses. Higher sulphur concentrations were found in the needles from the stands in the Śrubita and Oszast reserves, and heavy metal natural concentrations in the Pilsko reserve. Heavy metal content in the examined material does not exceed concentration levels acknowledged as natural.