

Józef ZWOLIŃSKI

Instytut Badawczy Leśnictwa  
Zakład Gospodarki Leśnej Rejonów Przemysłowych  
ul. Św. Huberta 35, 40-952 Katowice  
e-mail: zwolinsj@ibles.waw.pl

## OCENA ZAGROŻENIA LASÓW ŚWIERKOWYCH W BESKIDZIE ŚLĄSKIM PRZEZ ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA ATMOSFERYCZNEGO

RISK ASSESSMENT OF AIR POLLUTION IMPACTS ON SPRUCE FORESTS  
IN THE SILESIAN BESKID MOUNTAINS

***Abstract.** Spruce forest condition in the Silesian Beskid Mts. was evaluated on the basis of soil and foliar chemistry data. The results of investigation imply that observed nutritional imbalance in trees, as well as acute deficiencies of Ca and Mg are related to air pollution effects. The values of calculated risk index (R.I.) for the examined plots were found to be similar to those noted in severely damaged spruce stands in Europe*

***Key words:** Norway spruce, Silesian Beskid Mts., air pollution, nutritional imbalance, risk index.*

## 1. WSTĘP

W Europie świerk pospolity (*Picea abies* [L.] Karst.) należy do gatunków charakteryzujących się największym udziałem drzew uszkodzonych (ponad 30%), przy czym najsilniejsze uszkodzenia drzewostanów występują w krajach, w których notuje się wysoką depozycję zanieczyszczeń przemysłowych, tj. w Polsce, Niemczech i Czechach (EMEP 1998, Forest Condition in Europe 2001). Za podstawową przyczynę pogarszającego się stanu zdrowotnego drzewostanów świerkowych, m.in. w Niemczech, Czechach i Austrii, uważa się postępujące zakwaszenie siedlisk spowodowane depozycją związków azotu i siarki, prowadzące do zakłócenia bilansu pokarmowego w glebach i roślinach (SCHULTZE i FREER-SMITH 1991, KATZENSTEINER i in. 1992, TICHY 1996). Zwraca się przy tym uwagę na zagrożenie wynikające z eutrofizacji lasów w wyniku kumulacji azotu. Następstwem tego procesu jest często intensywniejszy przyrost drzew (KENK i FISCHER 1988, KAUPPI i in. 1992, ERICSSON i JOHANSSON 1993), co pociąga za sobą zwiększone zapotrzebowanie na inne składniki pokarmowe, skutkujące po czasie ich niedoborem. Można przypuszczać, że podobna sytuacja ma miejsce w Polsce, gdzie zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego związkami siarki i azotu należy do najwyższych w Europie (EMEP 1998, Ochrona Środowiska 2001). Nie prowadzono jednak dotąd stosownych badań, które mogłyby to potwierdzić.

Lasy Beskidu Śląskiego znajdują się w zasięgu oddziaływania zanieczyszczeń napływających z regionów przemysłowych: katowickiego (60 km, N) i ostrawskiego (30 km, W) oraz z Bielska Białej (15 km W). Do tego dochodzą zanieczyszczenia emitowane przez transport drogowy oraz wynikające z działalności rolniczej. Według metody ICP-Forest (Manual on methodologies 1989), drzewostany świerka pospolitego w Beskidzie Śląskim – stanowiącego tam główny gatunek lasotwórczy, zaklasyfikowano do I i II strefy uszkodzenia. Metoda ta pozwala jedynie na ocenę stanu aparatu asymilacyjnego drzew w chwili pomiaru – informację niewystarczającą ani do identyfikacji przyczyn obserwowanych uszkodzeń, ani oceny kondycji całego ekosystemu. Metodą bardziej miarodajną, zwłaszcza w przypadku określenia wpływu zanieczyszczeń powietrza na lasy, jest oznaczenie właściwości chemicznych gleb i materiału roślinnego. Wyniki tych pomiarów dają bowiem możliwość ustalenia zarówno poziomu skażenia środowiska toksycznymi związkami chemicznymi, jak i rozmiaru powodowanych przez nie zmian.

Celem pracy\* była próba określenia wpływu zanieczyszczeń antropogenicznych na kondycję i dalszy rozwój lasów świerkowych w Beskidzie Śląskim na podstawie stanu zaopatrzenia gleb i drzew w składniki pokarmowe.

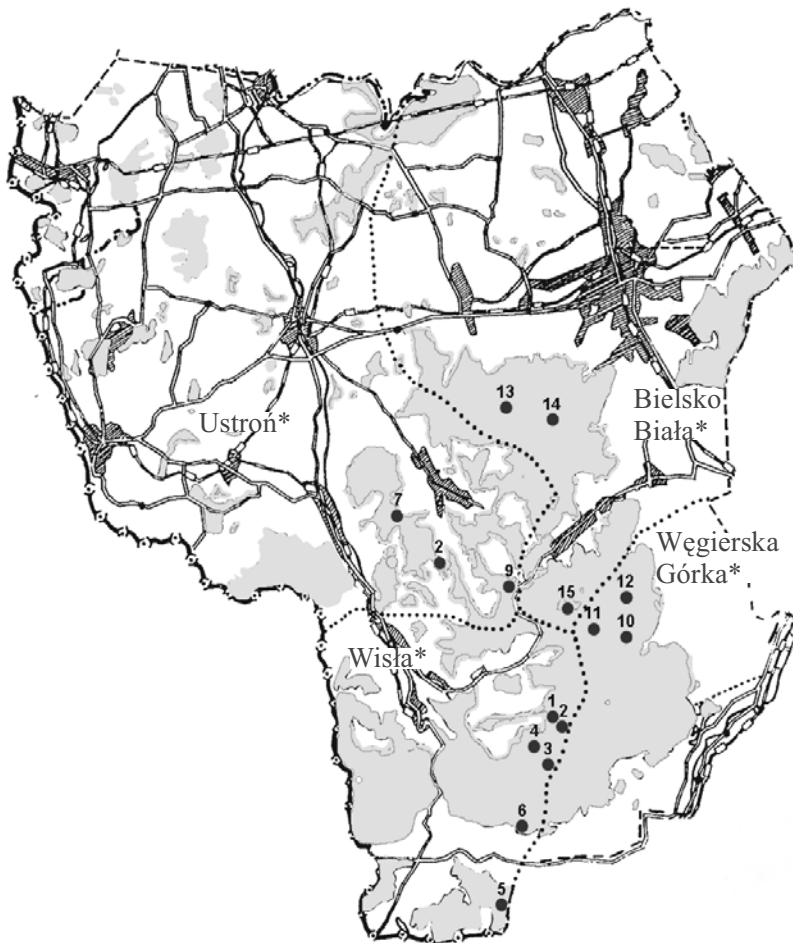
---

\* Pracę wykonano w ramach tematu NCR 110, finansowanego przez Regionalną Dyрекcyję Lasów Państwowych w Katowicach

W pracy przedstawiono wyniki analiz chemicznych gleb i aparatu asymilacyjnego świerka oraz ocenę stanu zagrożenia rozwoju drzewostanów świerkowych na podstawie wartości wskaźnika zagrożenia (*R.I.*).

## 2. OBIEKT I METODYKA BADAŃ

Badania prowadzono na 15 stałych powierzchniach, każda o wielkości 0,5 ha, obejmujących lite drzewostany świerkowe (*Picea abies* [L.] Karst.) w wieku 60–80 lat,



Ryc. 1. Lokalizacja powierzchni badawczych na terenie Beskidu Śląskiego.

Oznaczenia: \* nadleśnictwo, 1–15 – numer powierzchni

Fig. 1. Location of the study plots in the Silesian Beskid Mts.

Designations: \* Forest district, 1–15 plot number

zlokalizowanych w nadleśnictwach Wiśla, Ustroń, Węgierska Górka i Bielsko Biała na terenie Leśnego Kompleksu Promocyjnego „Beskid Śląski” (ryc. 1). Są one położone na wysokości 600–1100 m n.p.m., głównie na zboczach, a na podstawie stanu aparatu asymilacyjnego drzew zaklasyfikowano je do I lub II strefy uszkodzenia lasu (tab. 1). Klimat terenu badań charakteryzuje średnia roczna temperatura 6,70 °C i roczna suma opadów 1300 mm (dane IMiGW w Katowicach za lata 1990–2000). Gleby badanych powierzchni należą do gleb brunatnych kwaśnych, z budową profilu: Ol–Ofh–A–Bbr–C, tworzących siedliska boru mieszanego górskiego i lasu mieszanego górskiego.

W latach 1999, 2000 i 2001 w okresie od września do października z każdej powierzchni pobrano do analiz chemicznych mieszane próby glebowe obejmujące całą miąższość poziomu próchnicznego (A), która kształtowała się w granicach 5–8 cm. W skład próby mieszanej wchodziło 10 podpróbek, pobranych za pomocą laski glebowej o średnicy 5 cm z 10 punktów równo rozmieszczonych na powierzchni. Powietrznie suche próby glebowe przesiewano przez sito o średnicy oczek 2 mm, oznaczając:

- pH metodą potencjometryczną w 1 n KCl (stosunek gleby do roztworu [w/v] 1:2,5),

- ogólną zawartość metali ciężkich (Zn, Pb, Cu, Cd) metodą absorpcji atomowej, po zmineralizowaniu materiału HClO<sub>4</sub>,

- zawartość kationów wymiennych metodą absorpcji atomowej; Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> i Ca<sup>2+</sup> po ekstrakcji gleby 1 n octanem amonu, a Al<sup>3+</sup> po ekstrakcji 1 n KCl,

- kwasowość wymienną (EA) po ekstrakcji gleby 1 n KCl,

- pojemność wymienną (CEC) – z sumy kationów zasadowych ( $\sum BC$ ) i EA,

- stopień wysycenia kompleksu sorpcyjnego zasadami ( $BS = \sum BC \times 100 / CEC$ ).

W 1999, 2000 i 2001 roku, w czerwcu, z górnej części korony (7 okółek) trzech wybranych losowo przeciętnych drzew pobrano igły jednoroczne (ubiegłoroczne), nie wykazujące oznak uszkodzenia, do analiz chemicznych aparatu asymilacyjnego świerka. Po przemyciu igieł chloroformem metodą opisaną wcześniej (ZWOLIŃSKI i in. 1998), wysuszeniu do stałej wagi w temperaturze 80 °C i zmieleniu, przeprowadzono oznaczenia:

- zawartości metali ciężkich (Zn, Pb, Cu, Cd) oraz K, Ca i Mg metodą absorpcji atomowej, po uprzednim spopieleniu igieł (w temp. 450 °C przez 24 h) i rozpuszczeniu popiołu w 10% HCl,

- zawartości azotu metodą Kjeldahla na aparacie Büchi B-324, siarki na analizatorze siarki SC 132 Leco i fosforu metodą molibdenową (OSTROWSKA i in. 1991).

Tabela 1  
Table 1Wykaz powierzchni badawczych  
Specification of the study plots

Pow. nr Plot (No.)	Nadleśnictwo Forest district	Leśnictwo Forest range	Oddział Compartment	Wiek drzewostanu (lata) Stand age (years)	Wysokość (m n.p.m.) Altitude (m msl)	Strefa uszkodzenia lasu Forest damage zone
1	Wisła	Białe	76j	60	900 a	I
2		Przysłop	126f	60	900 a	II
3		Przysłop	119b	75	900 a	I
4		Przysłop	126c	75	1000 b	II
5		Zapowiedź	107d	65	700 a	I
6		Olecki	46g	65	800 a	I
7	Ustroń	Równica	12b	70	800 a	II
8		Dobka	29d	80	600 a	II
9		Stawy	111h	65	900 a	I
10	Węgierska Górka	Lipowa	42b	75	900 a	II
11		Lipowa	37c	60	1000 a	II
12		Lipowa	28a	70	1100 b	II
13	Bielsko Biała	Jaworze	19g	65	700 a	I
14		Wielka Łąka	110f	65	1000 a	II
15		Salmopol	17	70	1000 b	II

Oznaczenia: a – zbocze, b – wierzchołowa, I – strefa słabych uszkodzeń, II – strefa średnich uszkodzeń

Designations: a – hillside, b – hilltop, I – slight damage zone, II – moderate damage zone

### 3. WYNIKI I DYSKUSJA

Lasy świerkowe w Beskidzie Śląskim charakteryzują się silnym zakwaszeniem poziomu próchnicznego gleb, na co wskazuje porównanie ich właściwości chemicznych (tab. 2) z publikowanymi danymi dotyczącymi gleb tego samego typu, tj. brunatnych kwaśnych zdegradowanych w wyniku oddziaływania kwaśnych opadów (ZÖTTL i in. 1989, HÜTTL 1990, KABAŁA 1998, PORĘBSKA i in. 1998). Badane gleby mają niski odczyn, z  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  nie przekraczającym na ogół wartości 3,0, a mała zawartość kationów zasadowych ( $\Sigma\text{BC}$ ), wynosząca na większości powierzchni poniżej 0,5 cmol(+)/kg gleby i wysycenie kompleksu wymiennego zasadami (BS) nie przekraczające 3%, świadczą o niskiej zasobności

**Właściwości chemiczne gleby (poziom A)**  
Chemical characteristic of soil (horizon A)

Nadleśnictwo Forest district	Pow. (nr) Plot (No.)	$\text{pH}_{\text{KCl}}$	Kompleks sorpcyjny							
			cmol (+)/kg							
			$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Al}^{3+}$	$\Sigma\text{BC}$	EA	CEC
Wisła	1	2,71	0,02	0,12	0,07	0,11	11,14	0,32	21,26	21,58
	2	2,91	0,03	0,13	0,13	0,10	6,71	0,39	14,41	14,80
	3	2,82	0,03	0,12	0,11	0,08	6,91	0,34	14,41	14,75
	4	2,88	0,01	0,07	0,09	0,05	3,62	0,22	8,14	8,36
	5	3,14	0,03	0,14	0,21	0,19	11,42	0,57	20,89	21,46
	6	2,98	0,02	0,10	0,12	0,09	7,75	0,33	15,03	15,36
Ustroń	7	2,89	0,02	0,12	0,16	0,12	7,73	0,42	16,63	17,05
	8	3,19	0,03	0,13	0,15	0,18	12,13	0,49	22,21	22,70
	9	2,89	0,02	0,10	0,09	0,08	4,63	0,29	10,99	11,28
Węgierska	10	3,15	0,04	0,17	0,22	0,18	10,30	0,61	19,10	19,71
Górka	11	2,83	0,03	0,16	0,07	0,15	12,93	0,41	24,29	24,70
	12	2,72	0,05	0,19	0,17	0,18	8,02	0,59	16,19	16,78
Bielsko Biała	13	3,15	0,03	0,20	0,46	0,19	9,28	0,88	18,09	18,97
	14	2,90	0,03	0,13	0,24	0,12	5,94	0,52	12,18	12,70
	15	3,04	0,04	0,19	0,05	0,17	11,65	0,48	19,27	19,72

$\Sigma\text{BC}$  – suma kationów zasadowych sum of base cations

EA – kwasowość wymienna exchangeable acidity

CEC – pojemność wymienna cation exchange capacity

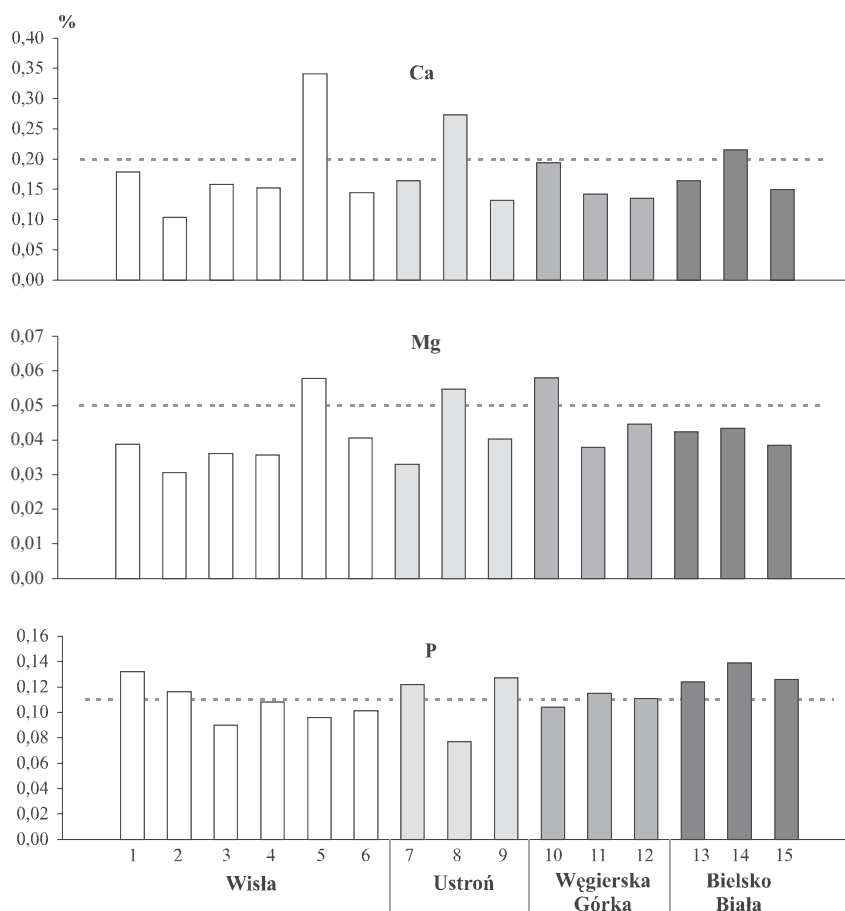
BS – wysycenie kompleksu sorpcyjnego zasadami base saturation

gleb w składniki pokarmowe. Notowana jednocześnie duża zawartość glinu wymiennego, przekraczająca w wielu przypadkach 10 cmol(+)/kg gleby, niskie wartości stosunku wapnia i magnezu do glinu oraz szeroki rozstaw wartości stosunku potasu do wapnia (od 0,9 do 7,6) wskazują na zakłócenie równowagi jonowej w glebie. Skażenie gleb metalami ciężkimi jest niewielkie (tab. 2). Zawartość cynku, miedzi i kadmu w glebie mieści się w zakresie przyjętym za naturalny (KABATA-PENDIAS i PENDIAS 1979), jedynie zawartość ołowiu jest podwyższona na większości powierzchni, w tym na trzech (pow. nr 7, 13 i 14) przekracza kilkakrotnie zawartość naturalną.

Niska zasobność gleb oraz, prawdopodobnie, wysoka zawartość jonów glinu, które mogą zakłócić transport makroskładników z gleby do rośliny (SHORTLE i

**Tabela 2**  
Table 2

Soil sorption complex				Metale ciężkie (mg/kg) Heavy metals (mg/kg)			
BS %	K/Ca mol	Ca/Al mol	Mg/Al mol	Zn	Pb	Cu	Cd
1,50	3,43	0,0094	0,0148	30	79	12	1,0
2,63	2,00	0,0291	0,0224	29	66	13	1,0
2,31	2,18	0,0239	0,0174	23	38	9	0,8
2,63	1,56	0,0373	0,0207	20	46	10	0,6
2,66	1,33	0,0276	0,0250	56	68	13	1,0
2,15	1,67	0,0232	0,0174	24	62	7	0,8
2,46	1,50	0,0310	0,0233	47	139	17	0,9
2,16	1,73	0,0185	0,0223	60	90	18	1,0
2,57	2,22	0,0292	0,0259	23	65	11	0,8
3,09	1,55	0,0320	0,0262	49	79	19	0,9
1,66	4,57	0,0081	0,0174	30	85	13	1,0
3,52	2,24	0,0318	0,0337	31	77	15	0,9
4,64	0,87	0,0744	0,0307	95	170	30	1,0
4,09	1,08	0,0606	0,0303	44	145	26	0,9
2,28	7,60	0,0064	0,0219	26	98	16	1,0



**Ryc. 2. Zawartość Ca, Mg i P w jednorocznych igłach świerka ( $\bar{x}$  w latach 1999–2001) na powierzchniach nr 1–15. Przerywane linie określają wartość krytyczną zawartości makroskładnika**

Fig. 2. Concentrations of Ca, Mg and P in one-year old spruce needles ( $\bar{x}$  in 1999–2001) in plots 1–15. Dashed lines refer to threshold values for nutrient deficiency

SMITH 1988, GODBOLD 1991), są powodem słabego zaopatrzenia drzew w składniki pokarmowe, co wykazały przeprowadzone analizy chemiczne igieł świerka (tab. 3). Porównując uzyskane wyniki z ogólnie przyjętymi normami (BONNEAU 1988, CAPE i in. 1990, HÜTTL 1990, Forest 1996) prawie na wszystkich powierzchniach stwierdzono w igłach niedobór wapnia i magnezu, a na kilku powierzchniach, głównie w Nadleśnictwie Wisła, niedobór fosforu (ryc. 2). Pomimo znacznej depozycji związków zakwaszających (siarki i azotu) w lasach Beskidu Śląskiego (zwłaszcza azotu – około 30 kg/ha/rok), wielokrotnie przekraczającej ilości notowane na terenach odległych od źródeł emisji (BYTNEROWICZ i in. 1999),



Tabela 3  
Table 3Skład chemiczny jednorocznych igiel świerka  
Chemical composition of one-year old spruce needles

Nadleśnictwo Forest district	Pow. (nr) Plot (No.)	Metale ciężkie (mg/kg s.m.) Heavy metals (mg/kg d.w.)						Makroskładniki (%) Macronutrients (%)					
		Zn	Pb	Cu	Cd	Mg	Ca	K	P	N	S		
Wisła	1	20,7	2,3	2,7	0,21	0,039	0,179	0,511	0,132	1,170	0,114		
	2	11,0	2,5	2,2	0,09	0,031	0,103	0,430	0,116	1,171	0,120		
	3	18,0	2,1	2,1	0,15	0,036	0,158	0,485	0,090	1,128	0,106		
	4	18,4	2,5	2,5	0,17	0,036	0,152	0,494	0,108	1,157	0,118		
	5	28,2	1,9	3,4	0,38	0,058	0,341	0,581	0,096	1,133	0,107		
	6	22,8	2,5	2,9	0,25	0,041	0,144	0,523	0,101	1,233	0,109		
Ustroń	7	13,1	2,1	2,3	0,33	0,033	0,164	0,450	0,122	1,192	0,109		
	8	19,4	2,5	2,3	0,25	0,055	0,273	0,480	0,077	0,969	0,102		
	9	15,1	2,1	2,5	0,21	0,040	0,131	0,413	0,127	1,266	0,109		
Węgierska Górka	10	21,4	2,5	2	0,31	0,058	0,195	0,481	0,104	1,137	0,114		
	11	21,6	2,5	2,5	0,17	0,038	0,142	0,517	0,115	1,162	0,117		
	12	16,4	2,5	2,3	0,17	0,045	0,135	0,373	0,111	1,082	0,120		
	13	24,1	2,1	2,8	0,46	0,042	0,164	0,546	0,124	1,122	0,096		
Bielsko Biala	14	22,4	2,5	2,1	0,40	0,043	0,215	0,325	0,139	1,104	0,105		
	15	18,9	2,5	2,8	0,17	0,038	0,149	0,573	0,126	1,286	0,119		

stwierdzone zawartości siarki i azotu w igłach świerka były stosunkowo niskie i wynosiły: siarki 0,096–0,120%, azotu 0,969–1,286% (tab. 3). Niektóre doniesienia wskazują, że na stopień akumulacji siarki w igłach może mieć wpływ szereg czynników, m.in. zwarcie drzewostanu (HAGER i KAZDA 1985) i warunki klimatyczne (STEFAN 1989). Stwierdzono także, że przyswajanie siarki wzrasta wraz z lepszym zaopatrzeniem igieł w składniki pokarmowe (HAGER i KAZDA 1985). Niewykluczone zatem, że notowana niska zawartość siarki na badanych powierzchniach wynika z niedostatecznego stanu odżywienia drzew. Być może, z tej samej przyczyny następuje słabsze przyswajanie azotu przez drzewa, co sugerują niektóre doniesienia (STEVENS i in. 1993, WILSON i SKEFFINGTON 1994). Powyższe obserwacje poddają w wątpliwość miarodajność oceny poziomu skażenia powietrza związkami siarki i azotu na podstawie zawartości tych pierwiastków w aparacie asymilacyjnym drzew.

Zawartość makroskładników w aparacie asymilacyjnym wykazuje dużą zmienność, na co wpływa m.in. wiek drzewostanów, pozycja igieł w koronie, warunki klimatyczne i glebowe (EVERS 1972, RAITIO 1995). Ogranicza to możliwość wykorzystania jej w ocenie stanu zaopatrzenia drzew. Bardziej miarodajnym wskaźnikiem są wartości stosunku pomiędzy zawartością poszczególnych makroskładników, bardziej stabilne i niezależne od czynników środowiskowych (LINDER 1995). Notowane proporcje pomiędzy zawartością poszczególnych pierwiastków w igłach świerka na badanych powierzchniach (tab. 4), odniesione do przyjętych norm (CAPE i in. 1990, HÜTTL 1990), wskazują na zakłócenie bilansu pokarmowego drzew. Przyjmując, że do optymalnego stanu zaopatrzenia niezbędne są wszystkie podstawowe składniki w odpowiednich proporcjach, stwierdzone na większości powierzchni wysokie wartości N/Ca i N/Mg (powyżej wartości krytycznych, wynoszących odpowiednio 5 i 30) świadczą o niedoborze wapnia i magnezu. Na niektórych powierzchniach (nr 3, 6, 8) notowano ponadto przekroczenia wartości krytycznej N/P (tj. 12), oznaczające niedobór fosforu. Wskaźnikiem naruszenia równowagi w składzie makroskładników w drzewostanach są także wysokie wartości stosunków S/Ca i S/Mg, a szczególnie K/Ca; w warunkach niedoboru niektórych makroskładników zawartość potasu wzrasta, co wynika z jego istotnej roli w utrzymaniu równowagi jonowej w roślinie (CAPE i in. 1990, SLOVIK i in. 1996). Na podstawie uzyskanych wyników badań nie jest możliwe jednoznaczne określenie przyczyn niedostatecznego zaopatrzenia w składniki pokarmowe lasów świerkowych w Beskidzie Śląskim, w tym roli zanieczyszczeń powietrza. Brak jest bowiem wystarczających danych pozwalających na miarodajną ocenę stopnia przemysłowego zanieczyszczenia tego terenu (nie prowadzono dotąd stałych pomiarów). Stwierdzone silne zakwaszenie gleb, niska zawartość wapnia i magnezu w stosunku do azotu i siarki w aparacie asymilacyjnym drzew, a także usytuowanie tego obszaru w pobliżu źródeł emisji każą jednak przypuszczać, że depozycja związków zakwaszających (związków azotu i siarki)

Tabela 4  
Table 4

## Proporcje między pierwiastkami w igłach świerka

Ratios of nutrient elements in spruce needles

Nadleśnictwo Forest district	Pow. (nr) Plot (No.)	N:P	N:Ca	N:Mg	K:Ca	K:Mg	S:Ca	S:Mg
Wisła	1	8,86	<b>6,55</b>	<b>30,23</b>	<b>2,86</b>	13,21	<b>0,64</b>	2,95
	2	10,09	<b>11,32</b>	<b>38,37</b>	<b>4,16</b>	14,05	<b>1,16</b>	<b>3,92</b>
	3	<b>12,53</b>	<b>7,15</b>	<b>31,25</b>	<b>3,07</b>	13,44	<b>0,67</b>	2,94
	4	10,71	<b>7,61</b>	<b>32,50</b>	<b>3,24</b>	13,86	<b>0,78</b>	<b>3,31</b>
	5	11,80	3,32	19,60	1,70	10,05	0,31	1,85
	6	<b>12,21</b>	<b>8,54</b>	<b>30,44</b>	<b>3,62</b>	12,90	<b>0,75</b>	2,69
Ustroń	7	9,77	<b>7,26</b>	<b>36,23</b>	<b>2,74</b>	13,67	<b>0,66</b>	<b>3,31</b>
	8	<b>12,58</b>	3,55	17,71	1,76	8,77	0,37	1,86
	9	9,97	<b>9,56</b>	<b>31,41</b>	<b>3,15</b>	10,25	<b>0,83</b>	2,70
Węgierska	10	10,93	<b>5,84</b>	19,64	<b>2,47</b>	8,31	<b>0,59</b>	1,97
Górka	11	10,10	<b>8,21</b>	<b>30,74</b>	<b>3,66</b>	13,69	<b>0,83</b>	<b>3,10</b>
	12	9,75	<b>8,04</b>	24,26	<b>2,77</b>	8,35	<b>0,89</b>	2,69
Bielsko Biała	13	9,05	<b>6,85</b>	26,52	<b>3,33</b>	12,90	<b>0,59</b>	2,27
	14	7,94	<b>5,13</b>	25,44	1,51	7,48	<b>0,49</b>	2,42
	15	10,21	<b>8,63</b>	<b>33,49</b>	<b>3,84</b>	14,91	<b>0,80</b>	<b>3,10</b>

Uwaga: grubą czcionką oznaczono wyniki przekraczające wartość krytyczną

Note: threshold values exceeded are indicated in bold print

jest istotnym czynnikiem powodującym zakłócenie bilansu pokarmowego. Nie można wykluczyć także udziału ozonu w tym procesie, biorąc pod uwagę notowane duże stężenia tego gazu, znacznie przekraczające poziom krytyczny 40 ppb (KÄRENLAMPI i SKÄRBY 1996) na terenie Sudetów (BYTNEROWICZ i in. 1999; TSHIAMALA MBUYI, ROŽNOVSKÝ 2001). Stwierdzona natomiast zawartość metali ciężkich w glebie (tab. 2) i aparacie asymilacyjnym drzew (tab. 3), w świetle danych literaturowych (BÅÅTH 1989; BALSBERG-PAHLSSON 1989; ZWOLIŃSKI 1995), nie wydaje się mieć istotnego wpływu na lasy w Beskidzie Śląskim.

Niezależnie od przyczyny zakłócenia bilansu pokarmowego, stanowi ono zagrożenie dla dalszego rozwoju lasów w Beskidzie Śląskim, którego rozmiar trudno określić, z uwagi na brak ostatecznie ustalonych norm dotyczących optymalnych i granicznych wartości składników pokarmowych w glebie i aparacie asymilacyjnym drzew. Badania porównawcze CAPE i in. (1990), prowadzone w drzewostanach świerkowych różnych klas uszkodzenia na terenie Europy wykazały, że zagrożenie drzewostanów wiąże się z przekroczeniem wartości krytycznych

**Tabela 5**  
Table 5

**Przekroczenia wartości krytycznych na badanych powierzchniach**

Exceedances of threshold values on the examined plots

Nadlesnictwo Forest district	Pow. (nr) Plot (No.)	Ca			Mg			S:Ca			S:Mg			N:Ca			N:Mg			K:Ca			K:Mg			R.I.
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	
Wisła	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,750
	2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,958
	3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,583
	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,750
	5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,042
	6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,833
Ustron	7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,875
	8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,167
	9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,750
Węgierska Górka	10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,417
	11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,833
	12	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,583
Bielsko Biała	13	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,542
	14	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,458
	15	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0,792

\* Przekroczenie wartości krytycznych w latach: a – 1999, b – 2000, c – 2001 Threshold values exceeded in the years: a – 1999, b – 2000, c – 2001

R.I. – wskaźnik zagrożenia risk index

następujących ośmiu parametrów w jednorocznych igłach świerka: (1)  $Ca < 0,3\%$ , (2)  $Mg < 0,05\%$ , (3)  $S/Ca > 0,4$ , (4)  $S/Mg > 3$ , (5)  $N/Ca > 5$ , (6)  $N/Mg > 30$ , (7)  $K/Ca > 2$ , (8)  $K/Mg > 15$ . Na podstawie tych parametrów podjęto próbę oceny stopnia zagrożenia drzewostanów świerkowych w Beskidzie Śląskim, obliczając, podobnie jak wyżej cytowani autorzy, wskaźnik zagrożenia ( $R.I.$ ) według wzoru:

$$R.I. = \frac{1}{8n} \sum_{i=1}^n (\bar{x}K)_i$$

gdzie:

$n$  – okres badań (liczba lat),

$(\bar{x}K)_i$  – średnia liczba przekroczonych wartości krytycznych na powierzchni w  $i$ -tym roku ( $R.I.$  przyjmuje wartość od 0 – gdy żaden z parametrów nie przekracza wartości krytycznej, do 1 – przy przekroczeniu wartości krytycznych wszystkich parametrów).

Średnie wartości  $R.I.$  dla analizowanych powierzchni z okresu 3-letniego były bardzo zróżnicowane i kształtowały się w zakresie od 0,042 do 0,958 (tab. 5), co może wynikać z uwarunkowań lokalnych, jak np. ukształtowanie terenu, wysokość nad poziomem morza, usytuowanie względem źródeł emisji zanieczyszczeń, pojemność buforowa gleb – determinujących zarówno ilość napływających zanieczyszczeń jak i reakcję ekosystemu na czynniki stresowe. Na podstawie uzyskanych wyników badań nie udało się jednak ustalić, ze względu na niewystarczającą liczbę danych, związku pomiędzy wiekiem, położeniem i stopniem uszkodzenia drzewostanów (tab. 1) a wartościami  $R.I.$  W większości przypadków były one wysokie, zwłaszcza w Nadleśnictwie Wisła, i zbliżone do notowanych w silnie uszkodzonych drzewostanach świerkowych na terenie Europy (CAPE i in. 1990). Niedostateczne zaopatrzenie drzewostanów w składniki pokarmowe, jak wykazują liczne doniesienia, często wiąże się z większą ich wrażliwością na naturalne (biotyczne i abiotyczne) czynniki stresowe (NIHLGÅRD 1989, FLÜCKIGER i BRAUN 1998). Stąd można wnosić, że bez podjęcia stosownych działań rewitalizacyjnych, perspektywy dalszego rozwoju lasów świerkowych w Beskidzie Śląskim nie są optymistyczne.

#### 4. PODSUMOWANIE

1. Lasy świerkowe w Beskidzie Śląskim odznaczają się słabym zaopatrzeniem w podstawowe składniki pokarmowe, zwłaszcza w wapń i magnez.

2. Prawdopodobną przyczyną zakłócenia bilansu pokarmowego w ekosystemie, przejawiającego się naruszeniem równowagi jonowej w glebie oraz niezrównoważonym zaopatrzeniem drzew w składniki pokarmowe, jest depozycja związków azotu i siarki. Przemawiają za tym wysokie wartości proporcji pomiędzy zawartością azotu i siarki a pozostałych makroskładników w igłach świerka oraz wyniki analiz chemicznych gleb. Niewykluczony jest także udział ozonu w tym procesie.

3. Metale ciężkie, których zawartość w glebie i aparacie asymilacyjnym mieści się w zakresie przyjętym za naturalny, nie wydają się stanowić zagrożenia dla lasów w Beskidzie Śląskim.

4. Zawartość siarki i azotu w aparacie asymilacyjnym drzew nie jest pewnym wskaźnikiem poziomu zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego ani wielkości depozycji tych pierwiastków.

5. Wartości wskaźnika zagrożenia lasów świerkowych (*R.I.*) na terenie Beskidu Śląskiego, odzwierciedlające stopień zakłócenia bilansu pokarmowego drzew, są porównywalne do notowanych w najbardziej uszkodzonych drzewostanach świerkowych w Europie. Można zatem sądzić, że dalszy rozwój drzewostanów w Beskidzie Śląskim, o ile nie zostaną podjęte odpowiednie zabiegi rewitalizacyjne, jest poważnie zagrożony.

Praca została złożona 3.10.2002 r. i przyjęta przez Komitet Redakcyjny 19.12.2002 r.

## RISK ASSESSMENT OF AIR POLLUTION IMPACTS ON SPRUCE FORESTS IN THE SILESIAN BESKID MOUNTAINS

### Summary

Soil chemistry and chemical composition of spruce needles were examined on 15 permanent plots with 60–80 year old pure Norway spruce stands, located in the Silesian Beskid Mts. (southern Poland). The area has been exposed to the influences of air pollutants, originating mainly from the Katowice (50 km N) and Ostrava (30 km W) industrial regions, as well as from road traffic and agricultural activities.

The uppermost mineral (A) soil horizons of the examined plots were found to be very acid, most of them with  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  of less than 3,0. In addition, a low base saturation together with very low Ca/Al, Mg/Al, Ca/K ratios were noted (table 2), implying a disturbance of ionic balance and poor Ca and Mg supply. Results of nutrient concentrations and ratios of nitrogen to other nutrient elements in spruce needles indicated a drastic deficiency of Ca and Mg and to a lesser degree of P (table 4, fig. 2). In spite of the consistent deposition of N and S compounds on the investigated area (according to available data), concentrations of N and S in spruce needles were relatively low. This throws into question the use of sulphur and nitrogen contents of Norway spruce needles as a reliable indication of pollution levels. The risk index (*R.I.*) for the studied area (table 5),

calculated on the basis of nutrient thresholds in one-year old Norway spruce needles, indicated the development of nutrient imbalance in the trees. The *R.I.* values were found to be high and similar to those observed in the most damaged spruce forests in Europe. The risk index alone does not imply any cause-effect relations, but the nutrient data (i.e. N and S ratios to other elements) used for its calculation, as well as soil chemistry data support the suggestion that deposition of acidifying compounds (N and S) has been a primary cause of nutrient imbalance in spruce forests in the Silesian Beskid Mts. On the other hand, the concentrations of heavy metals in soils (table 2) and spruce needles (table 3) were well below the levels that are believe to cause toxicity problems for the investigated forests.

## PIŚMIENNICTWO

- BÁÁTH E. 1989: Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (A review). *Water, Air, Soil Poll.*, 47: 335-379.
- BALSBERG-PAHLSSON A. M. 1989: Toxicity of heavy metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants. A literature review. *Water, Air, Soil Poll.*, 47: 287-319.
- BONNEAU M. 1988: Le diagnostic foliaire. *Revue forestière française*. Special issue: Diagnostic en forêt. 40: 19-23.
- BYTNEROWICZ A., GODZIK S., POTM M., ANDERSON I., SZDZUJ J., TOBIAS C., MACKO S., KUBIESA P., STASZEWSKI T., FENN M. 1999: Chemical composition of air, soil and vegetation in forests of the Silesian Beskid mountains, Poland. *Water, Air, Soil Poll.*, 116: 141-150.
- CAPE J. N., FREER-SMITH P. H., PATERSON I. S., PARKINSON J. A., WOLFENDEN J. 1990: The nutritional status of *Picea abies* (L.) Karst. across Europe, and implications for forest decline. *Trees*, 4: 211-224.
- EMEP (Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long range transmission of air pollutants in Europe) 1998: Transboundary acidifying air pollution in Europe. MSC-W Status Report 1998 – Part I: Estimated dispersion of acidifying and eutrophying compounds and comparison with observations. Langenbrügge, Germany.
- ERICSSON H., JOHANSSON U. 1993: Yields of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) in two consecutive rotations in south-western Sweden. *Plant a. Soil*, 154: 239-247.
- EVERS F. H. 1972: Die Jahrweisen Fluktuationen der Nährelementkonzentrationen in Fichtennadeln und ihre Bedeutung für die Interpretation nadelanalytischer Befunde. *Allg. Forst u. J. Ztg.*, 4: 68-74.
- FLÜCKIGER W., BRAUN S. 1998: Nitrogen deposition in Swiss forests and its possible relevance for leaf nutrient status, parasite attacks and soil acidification. *Environ. Poll.*, 102: 69-76.
- Forest Condition in Europe. 2001: Technical Report. Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH), UN/ECE and CE, Geneva and Brussels.
- Forest condition in Europe: Results of the 1995 survey. Draft. Executive Report. 1996: UN/ECE/EC.
- GODBOLD D. L. 1991: Aluminium decreases root growth and calcium and magnesium uptake in *Picea abies* seedlings. [W:] *Plant-soil interactions at low pH* (eds: J. R. Wright, V. C. Baligar, R. P. Murrmann), Kluwer, Dordrecht: 747-753.
- HAGER H., KAZDA M. 1985: The influence of stand density and canopy position on sulphur content in needles of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.). *Water, Air, Soil Poll.* 25: 321-329.
- HÜTTL R. F. 1990: Nutrient supply and fertilizer experiments i view of N saturation. *Plant a. Soil*, 128: 45-58.
- KABAŁA C. 1998: Właściwości gleb na obszarach degradacji lasów w Górach Izerskich (Sudety Zachodnie). *Rocz. Glebozn.*, 49: 119-134.
- KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H. 1979: *Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym*. Wyd. Geologiczne, Warszawa.

- KATZENSTEINER K., GLATZEL G., KAZDA M., STERBA H. 1992: Effects of air pollution on mineral nutrition of Norway spruce and revitalization of declining stands in Austria. *Water, Air, Soil Poll.*, 61: 309-322.
- KAUPPI P. E., MIELIKÄINEN K., KUUSELA K. 1992: Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990. *Science*, 236: 1-74.
- KÄRENLAMP I., SKÄRBY L. 1996: Critical levels for ozone in Europe: testing and finalizing the concepts. Proceedings of UN/ECE Workshop, Kuopio, Finland 1996.
- KENK G., FISCHER H. 1988: Evidence for nitrogen fertilization in the forests of Germany. *Environ. Poll.*, 54: 199-218.
- LINDER S. 1995: Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in forest stands. *Ecol. Bull.*, 44: 178-190.
- Manual on methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. 1989: Programme Coordinating Centres, UN/ECE, Hamburg, Geneva.
- NIHLGÅRD B. 1989: Nutrient and structural dynamics of conifer needles in south Sweden 1985-1987. *Medd. Nor. Inst. Skogforsk.*, 42: 157-165.
- Ochrona Środowiska. 2001: Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- OSTROWSKA A., GAWLIŃSKI S., SZCZUBIAŁKA Z. 1991: Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa.
- POREBSKA G., OSTROWSKA A., BROGOWSKI Z. 1998: Ion mobility and changes in CEC during acidification of forest soils in Poland. *Polish J. Soil Sci.*, 31: 33-41.
- RAITIO H. 1995: Chemical needle analysis as a diagnostic and monitoring method. [W:] Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems (eds: L. O. Nilsson, R. F. Hüttl), CEC/IUFRO Symp. in Halmstadt 1993, Ecosystem Report No 13: 197-206.
- SHORTLE W. C., SMITH K. T. 1988: Aluminium-induced calcium deficiency syndrome in declining red spruce. *Science*, 240: 1017-1018.
- SCHULTZE E. D., FREER-SMITH P. H. 1991: An evaluation of forest decline on field observations focused on Norway spruce (*Picea abies*). Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 97: 155-168.
- SLOVIK S., HÜVE K., KINDREMANN G., KAISER W. M. 1996: SO<sub>2</sub>-dependent cation competition and compartmentalization in Norway spruce needles. *Plant Cell Environ.*, 19: 813-824.
- STEFAN K. 1989: Schwefel- und Nährstoffgehalte in Pflanzenproben des Österreichischen Bioindikatoretnetzes. W: Air pollution and forest decline, J. Bucher & I. Bucher-Wallin (eds.), Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, 99-104.
- STEVENS P. A., HARRISON A. F., JONES H. E., WILLIAMS T. G., HUGHES S. 1993: Nitrate leaching from a Sitka spruce plantation and the effect of fertilization with phosphorus and potassium. *Forest Ecol. Manag.*, 58: 233-247.
- TICHY J. 1996: Impact of atmospheric deposition on the status of planted Norway spruce stands: a comparative study between sites in southern Sweden and the northeastern Czech Republic. *Environ. Poll.*, 93: 313-312.
- TSHIAMALA MBUYI M. H., ROŽNOVSKÝ J. 2001: Exposure of tropospheric ozone in the region of Beskydy Mountains, 1996-1999. *J. For. Sci.*, 47: 513-522.
- WILSON E. J., SKEFFINGTON R. A. 1994: The effects of excess nitrogen deposition on young Norway spruce trees. Part II: The vegetation. *Environ. Poll.*, 86: 153-160.
- ZÖTTL H. W., HÜTTL R. F., FINK S., TOMLINSON G. H., WISNIEWSKI J. 1989: Nutritional disturbances and histological changes in declining forests. *Water, Air, Soil Poll.*, 48: 87-109.
- ZWOLIŃSKI J. 1995: Wpływ emisji zakładów przemysłu metali ciężkich na środowisko leśne – rola metali ciężkich w degradacji lasów. *Prace Inst. Bad. Leś.*, A, 809: 1-86.
- ZWOLIŃSKI J., MATUSZCZYK I., ZWOLIŃSKA B. 1998: Accumulation of sulphur and metals in and on pine (*Pinus sylvestris* L.) and spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) needles in industrial regions in southern Poland. *Folia For. Pol.*, 40: 47-57.