

## ***Monitoring zmian w drzewostanie świerkowym na terenie Pienińskiego Parku Narodowego***

Monitoring of changes in spruce forest in the Pieniny National Park

TOMASZ STASZEWSKI<sup>1</sup>, PIOTR KUBIESA<sup>1</sup>, WŁODZIMIERZ ŁUKASIK<sup>1</sup>,  
ALDONA K. UZIĘBŁO<sup>2</sup>, JERZY SZDZUJ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, Kossutha 6, 40-844 Katowice*

<sup>2</sup>*Uniwersytet Śląski, Wydział Biologii i Ochrony Środowiska, Jagiellońska 28, 40-032 Katowice*  
*e-mail: stasz@ietu.katowice.pl*

**Abstract.** The fieldwork focused on a permanent plot established in a spruce stand within the Pieniny NP in 1998. This paper presents changes in SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> concentration in ambient air as well as characteristics of precipitation over the periods 1998–99 and 2004–05. Response of the forest was evaluated taking into consideration changes in needle chemistry and health status of trees on permanent forest plot. Despite the decrease in concentration level of phytotoxic gases no improvement of spruce stand health status was observed.

**Key words:** phytotoxic gases, acid rain, chemistry of needles, health status of trees

### WPROWADZENIE

Zanieczyszczenia powietrza były przez wiele lat postrzegane jako jedna z głównych przyczyn uszkodzeń lasów. Polska charakteryzowała się bardzo wysokim poziomem gazowych i pyłowych zanieczyszczeń powietrza, oraz jednym z najwyższych poziomów uszkodzeń lasów (Europe's Environment 1995). W ciągu ostatnich kilkunastu lat, na skutek zmian społeczno-ekonomicznych w kraju, dzięki restrukturyzacji przemysłu oraz działaniom proekologicznym, nastąpiło znaczące zmniejszenie emisji gazów fitotoksycznych (GUS 2006) (Ryc. 1).

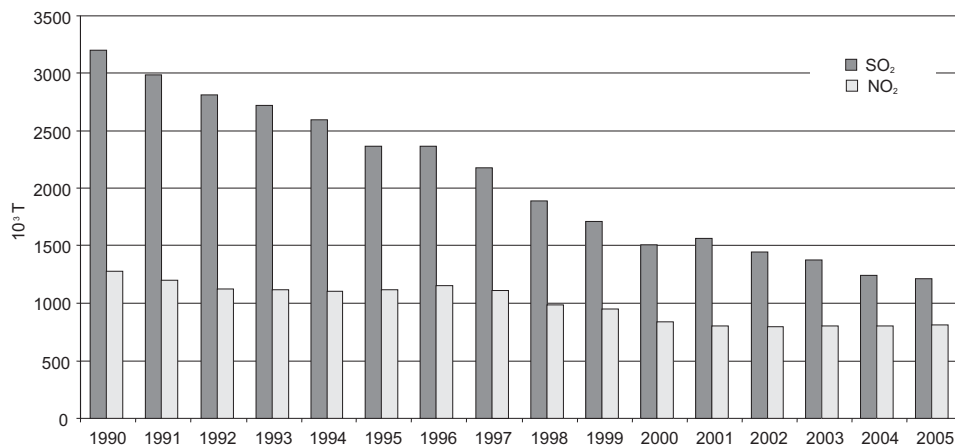
W międzyczasie, oprócz tych pozytywnych zmian, wystąpiły lub uległy intensyfikacji inne stresy biotyczne i abiotyczne, takie jak: zmiany

klimatyczne, zwiększona gradacja szkodników czy też niewłaściwa praktyka leśna (Bytnerowicz i in. 1999). Wszystkie te czynniki mają wpływ na proces regeneracji ekosystemów leśnych.

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących poziomu zanieczyszczeń powietrza (odniesienie do poziomu krytycznego i ładunku krytycznego kwasowości) oraz zmian stanu zdrowotnego drzew, które zaobserwowano w ostatniej dekadzie na stałej powierzchni badawczej, zlokalizowanej w drzewostanie świerkowym w Pienińskim Parku Narodowym.

### METODYKA

Stałą powierzchnią badawczą o wymiarach 50 × 50 m założono na północnym zboczu góry



**Ryc. 1.** Emisje SO<sub>2</sub> i NO<sub>2</sub> w Polsce w latach 1990–2005.  
Emission of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> in Poland 1990–2005.

Flaki na wysokości 710 m n.p.m. (46°25'00"N, 20°21'00"E) w ponad 60-letnim drzewostanie świerkowym i oprzyrządowano według zasad monitoringu ustalonych przez Europejską Komisję Gospodarczą Organizacji Narodów Zjednoczonych.

Średniomiesięczne stężenia SO<sub>2</sub> i NO<sub>2</sub> oznaczano za pomocą trzech próbników pasywnych (Gradko Int. Ltd. England), a ozonu – jednym próbnikiem pasywnym z dwoma filtrami (Ogawa & Co., USA, Inc. Pompano Beach, FL). Próbniki zainstalowano na wysokości 1,5 m na polanie w odległości ok. 250 m od ściany lasu. Próbniki wymieniano co miesiąc. Po zakończeniu ekspozycji filtry przemywano wodą dejonizowaną. Stężenie NO<sub>2</sub> w roztworze oznaczano metodą fotokolorymetryczną (Spekol 11, Jena) a stężenie ozonu i dwutlenku siarki (w postaci siarczanowej) metodą chromatografii jonowej (Dionex DX 100, kolumna Ion-Pac AS4A). Analizy wykonywano w Laboratorium Instytutu Ekologii Terenów Uprzemysłowionych w Katowicach. Wielkości średniomiesięczne stężeń poszczególnych gazów stanowią średnią z wartości uzyskanych dla poszczególnych próbników.

Na stałej powierzchni badawczej zainstalowano 10 zbiorników do gromadzenia opadu podkoronowego, a w miejscu pomiarów zanieczyszczeń gazowych zainstalowano odbieralnik opadu całkowitego. W okresie letnim (od kwietnia do października) opady zbierano

w zestawach: lejek o przekroju 169 cm<sup>2</sup> i polietylenowa 5-litrowa butelka. Dla zmniejszenia możliwości rozwoju glonów naczynia okryto folią aluminiową. W okresie zimowym zastępowano je „rękawami śniegowymi” o przekroju 340 cm<sup>2</sup>. Zbiorniki wymieniano w odstępach miesięcznych. Ze zbieranych wód wykonywano jedną próbkę zbiorczą. Stężenia kationów w wodzie oznaczano metodą atomowej spektrofotometrii absorpcyjnej (Varian 1100P). Stężenia NH<sub>4</sub><sup>+</sup> oznaczano kolorymetrycznie metodą Nesslera przy długości fali 420 nm. Stężenia anionów oznaczano metodą chromatografii jonowej (chromatograf jonowy DIONEX DX100, kolumna Ion-Pac AS4A). Odczyn (pH) oznaczano bezpośrednio po przywieszeniu prób do laboratorium (pH-metr N5170E).

Materiał do analiz pobierano we wrześniu z otoczenia stałej powierzchni badawczej. Jednoroczne igły świerka pobierano z wysokości 10 m, z koron sześciu drzew rosnących w zwartym drzewostanie od strony nasłonecznionej. Z sześciu próbek igieł tworzących próbkę zbiorczą. Próbkę wielkości 1 g niemytych igieł, po wysuszeniu i zmieleniu, mineralizowano kwasem azotowym w piecu mikrofalowym (MDS 2000). Stężenia Mg, K, Ca, oraz metali ciężkich określano metodą ASA (SpectraAA 300 Varian). Zawartość siarki i azotu oznaczano w aparacie LECO. Analizy chemiczne igieł wykonano w Centralnym Laboratorium IETU, akredytowanym przez Polskie Centrum Akredytacji (Certyfikat Akredytacji nr AB 325).

Igły świerka wykorzystano również do określenia ilości WWA (Wielopierścieniowych Węglowodorów Aromatycznych) zgromadzonej w ich warstwie woskowej. Oznaczanie WWA w materiale roślinnym polegało na wyekstrahowaniu dichlorometanem związków organicznych z próbki igieł, oddzieleniu związków z grupy WWA na florisilu i analizie ekstraktu techniką wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) przy użyciu detektora fluorescencyjnego.

Do oceny uszkodzenia drzewostanów zastosowano metody obowiązujące w badaniach monitoringowych Instytutu Badawczego Leśnictwa a nawiązujące do zaleceń programu ICP-Forest (Manual of methodologies... 1994, Wawrzoniak i in. 1997). Podstawą określania kondycji drzew świerkowych były szacunki defoliacji i odbarwienia koron 20 drzew próbnych drzewostanu świerkowego. Dla drzewostanu obliczono przeciętną wartość szacowanych parametrów uszkodzenia drzew. Analizę stanu zdrowotnego drzewostanów oparto na liczbie (% udziału) drzew bez uszkodzeń (klasa 0) i liczbie drzew uszkodzonych (klasy 2–3).

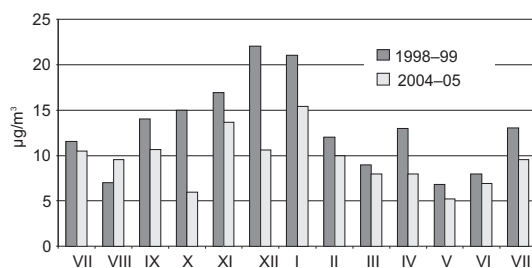
## WYNIKI BADAŃ

### Charakterystyka stężeń gazowych zanieczyszczeń powietrza

W obu okresach prowadzenia badań nie wystąpiło przekroczenie poziomów krytycznych  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_2$  dla lasów, wynoszących odpowiednio 20 i 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (UN-ECE 1998). Również normowane polskim prawem wartości dopuszczalnych stężeń obu gazów dla parków narodowych, wynoszące odpowiednio 15 i 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , nie zostały przekroczone (Dz.U. 1998, nr 55, poz. 355) (Tab. I). Zmniejszenie stężeń  $\text{NO}_2$  i  $\text{SO}_2$  w okresie

**Tabela I.** Średnioroczne stężenia gazów fitotoksycznych na terenie Pienińskiego Parku Narodowego [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ].  
Annual mean concentration of phytotoxic gases in the Pieniny NP.

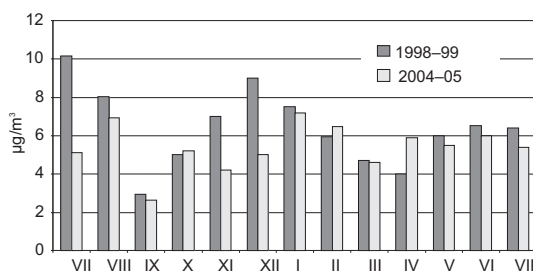
Rok Year	$\text{SO}_2$	$\text{NO}_2$	$\text{O}_3$	$\text{O}_3$ veg
1998–99	12,2	7,0	51	63
2004–05	10,0	5,8	53	61



**Ryc. 2.** Porównanie średniomiesięcznych stężeń  $\text{SO}_2$  w okresie 1998–99 i 2004–05.

Comparison of mean monthly  $\text{SO}_2$  concentration for 1998–99 and 2004–05.

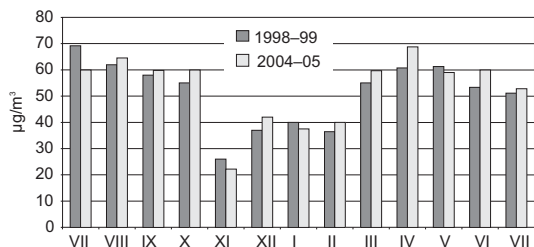
badawczym odzwierciedla stałe zmniejszenie emisji przemysłowych w ostatnim dziesięcioleciu (Ryc. 1, Tab. I). Przebieg średniomiesięcznych stężeń  $\text{SO}_2$  wskazuje na występowanie stężeń maksymalnych w okresie zimowym; w przypadku  $\text{NO}_2$  nie stwierdzono takiej prawidłowości (Ryc. 2, 3).



**Ryc. 3.** Porównanie średniomiesięcznych stężeń  $\text{NO}_2$  w okresie 1998–99 i 2004–05.

Comparison of mean monthly  $\text{NO}_2$  concentration for 1998–99 and 2004–05.

Średnioroczne stężenia ozonu przekraczały 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Stosowana metoda pomiaru stężenia ozonu nie pozwala na porównywanie wyników z wartościami dopuszczalnych stężeń regulowanych prawem polskim. Uzyskane wyniki stężeń ozonu dla okresu wegetacyjnego można przyrównać do wartości rekomendowanej przez WHO, jako dopuszczalnego stężenia ozonu dla roślinności w sezonie wegetacyjnym (100 dni), wynoszącego 60  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Jol i Kielland 1997). W obu okresach pomiarowych wartość ta została nieznacznie przekroczone (Tab. I). W przeciwieństwie do dwutlenku siarki, maksymalne średniomiesięczne stężenia ozonu występują w okresie



**Ryc. 4.** Porównanie średniomiesięcznych stężeń O<sub>3</sub> w okresie 1998/1999 i 2004/2005.

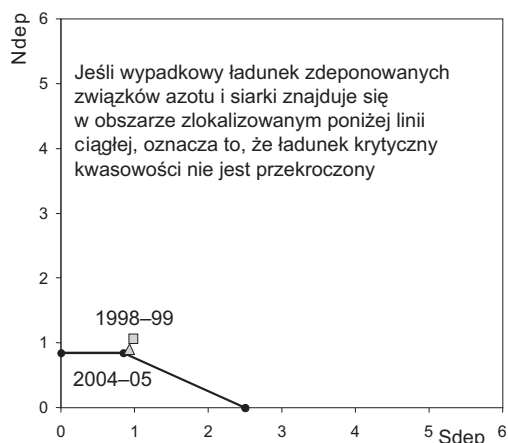
Comparison of mean monthly O<sub>3</sub> concentration for 1998/1999 and 2004/2005.

wiosenno-letnim (Ryc. 4), czego jedną z przyczyn jest wysokie natężenie promieniowania słonecznego, które jest jednym z czynników stymulujących powstawanie ozonu pochodzenia fotochemicznego (Blumthaler, Ambach 1991).

#### Charakterystyka wód opadowych

Ładunki substancji zakwaszających docierających do gleby w Pienińskim PN, czyli jonów NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> i SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> uległy zmniejszeniu w ciągu 8 lat prowadzenia badań. Roczny ładunek siarki w okresie 1998–99 wynosił 16,5 kg/ha a ładunek azotu całkowitego 13,0 kg/ha; w okresie 2004–05 roczne ładunki wyniosły odpowiednio 15,0 i 12,5 kg/ha.

Uzyskane wyniki doświadczały wykorzystano do oceny przekroczeń ładunków krytycznych



**Ryc. 5.** Ładunek krytyczny kwasowości dla gleby w Pienińskim PN.

Critical load of acidity for soil in the Pieniny NP.

kwasowości. Wartości ładunków krytycznych dla badanego obszaru uzyskano z opracowania W. Mill (2001).

Według definicji, zgodnie z najnowszym stanem wiedzy, ładunek krytyczny jest największą depozycją jednego lub więcej zanieczyszczeń powietrza nie wywołującą zmian chemicznych, prowadzących do długotrwałych, szkodliwych skutków dla struktury i funkcjonowania ekosystemów:

Analiza wielkości depozycji mokrej wskazuje, że w Pienińskim PN przekroczenie ładunku krytycznego w 2004 r. było minimalne i mniejsze niż stwierdzone w 1998 r. (Ryc. 5).

#### Chemizm igieł świerka

Wyniki analiz chemicznych igieł odniesiono do wartości granicznych proponowanych przez organizację leśną (Commission Advice Forest Fertilization 1990).

Z porównania wynika, że zawartości substancji odżywczych w igłach oraz ich wzajemne stosunki występują na poziomie, który wskazuje na brak zagrożenia dla stanu zdrowotnego drzew (Tab. II-IV). Zawartość ołowiu znajduje się na poziomie minimalnym a kadmu lekko podwyższonym (Arndt i in. 1987) (Tab. II).

**Tabela II.** Skład chemiczny jednorocznych igieł świerka z powierzchni badawczej w Pienińskim Parku Narodowym. Chemical composition of one-year-old spruce needles collected on permanent plot in the Pieniny NP.

Termin poboru Year of sampling	Mg [%]	K [%]	Ca [%]	N [%]	S [%]	Cd [mg/kg]	Pb [mg/kg]
1998	0,09	0,62	0,46	1,13	0,10	0,08	0,81
2004	0,08	0,55	0,45	1,15	0,07	0,10	0,85

**Tabela III.** Stosunki poszczególnych pierwiastków mineralnych w igłach świerka z powierzchni badawczej w Pienińskim Parku Narodowym.

Nutrient ratio in spruce needles collected on permanent plot in the Pieniny NP.

Termin poboru Year of sampling	S/Ca	S/Mg	N/Ca	N/Mg	K/Ca	K/Mg
1998	0,22	1,11	2,46	12,56	1,35	6,89
2004	0,16	0,88	2,56	14,38	1,22	6,88

**Tabela IV.** Wartości progowe dla składników mineralnych igieł świerka, których przekroczenie uważa się za zagrożenie dla stanu zdrowotnego lasów (Commission Advice Forest Fertilization 1990).

Threshold levels of nutrients in spruce needles regarded as hazardous to health status of tree stands.

Ca	Mg	S:Ca	S:Mg	N:Ca	N:Mg	K:Ca	K:Mg
<0,3%	<0,05%	>0,4	>3	>5	>30	>2	>15

Igły świerka można wykorzystać również do oceny zagrożenia powietrza substancjami organicznymi. W 2004 r. analizowano pyły zgromadzone w warstwie woskowej igieł pod kątem zawartości w nich WWA, charakteryzujących się m.in. właściwościami kancerogennymi. Wykazano, że na terenie Parku występują węglowodory z Listy Zagrożeń Priorytetowych US EPA, a wśród nich dwie substancje o udowodnionych właściwościach kancerogennych (Tab. V).

#### *Ocena stanu zdrowotnego drzew świerkowych w latach 1998 i 2004*

W okresie 1998–2004 nastąpiły negatywne zmiany w stanie zdrowotnym badanych drzew (Tab. VI–VIII). Zwiększył się wskaźnik defoliacji z 2,4 do 3,0 (Tab. VI). Stwierdzono zmniejszenie się ilości drzew bez uszkodzeń oraz pojawienie się drzew o dużym uszkodzeniu (Tab. VIII). Świerczyny na powierzchni badawczej zaliczają się do drzew uszkodzonych w stopniu średnim.

**Tabela V.** Ilości 17 Wielopierścieniowych Węglowodorów Aromatycznych (WWA) i kancerogennych WWA, zgromadzonych na igłach świerka w Pienińskim Parku Narodowym [µg/g s.m.]. Pogrubiona czcionka = rakotwórcze WWA.

Concentration of 17 PAHs including carcinogenic PAHs adsorbed on spruce needles in the Pieniny NP. Bold type = carcinogenic PAHs.

WWA PAHs	Liczba pierścieni Number of rings	Ilość WWA Concentration of PAHs [µg/g s.m.]
Na	2	72,95
Acna	3	8,12
Fluo	3	11,98
Phen	3	25,59
Anth	3	–
Fluant	4	22,59
Pyr	4	2,59
<b>Bzaan</b>	<b>4</b>	–
<b>Chry</b>	<b>4</b>	2,34
Bep	5	88,28
<b>Bzbf</b>	<b>5</b>	1,97
<b>Bzkf</b>	<b>5</b>	–
<b>Bap</b>	<b>5</b>	–
<b>Dibzan</b>	<b>5</b>	–
Bzper	6	–
<b>Ind</b>	<b>6</b>	–
Cor	6	–
Suma 17 WWA Sum of 17 PAHs		236,40
Suma rakotwórczych WWA Sum of carcinogenic PAHs		4,30

**Tabela VI.** Udział drzew w 10% klasach defoliacji wraz ze wskaźnikiem defoliacji w drzewostanie świerkowym w Pienińskim Parku Narodowym.

Contribution of trees to 10% defoliation classes and defoliation index in spruce stand within the Pieniny NP.

Rok Year	Klasa Class Zakres Range										Wskaźnik defoliacji Defoliation index
	1 0–10 %	2 11–20 %	3 21–30 %	4 31–40 %	5 41–50 %	6 51–60 %	7 61–70 %	8 71–80 %	9 81–90 %	10 91–100 %	
1998	25,0	40,0	15,0	15,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,40
2004	5,0	45,0	25,0	10,0	5,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	3,00

**Tabela VII.** Udział drzew w 10% klasach odbarwienia wraz ze wskaźnikiem odbarwienia w drzewostanie świerkowym w Pienińskim Parku Narodowym.

Contribution of trees to 10% discoloration classes and discoloration index in spruce stand within the Pieniny NP.

Rok Year	Klasa Class Zakres Range										Wskaźnik odbarwienia Discoloration index
	1 0–10 %	2 11–20 %	3 21–30 %	4 31–40 %	5 41–50 %	6 51–60 %	7 61–70 %	8 71–80 %	9 81–90 %	10 91–100 %	
1998	85,0	10,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,20
2004	90,0	5,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,20

**Tabela VIII.** Udział drzew drzewostanu świerkowego w klasach uszkodzenia [%] w Pienińskim Parku Narodowym.

Contribution of trees to damage classes in spruce stands within the Pieniny NP.

Rok Year	Klasa uszkodzenia Damage class					
	0 bez uszkodzeń without damage	1 ostrze- gawcza warning	2 lekko i średnie slight and moderate	3 duże high	klasy classes 2+3	klasy classes 1+2+3
1998	25	45	30	0	30	75
2004	5	65	20	10	30	95

## WNIOSKI

1. Aktualnie na obszarze prowadzonych badań nie stwierdza się zagrożenia drzewostanów, spowodowanego dwutlenkiem siarki, dwutlenkiem azotu i kwaśnymi deszczami. Jedynym gazem fitotoksycznym mogącym potencjalnie powodować uszkodzenia drzew jest ozon.

2. Stwierdzenie licznych WWA w atmosferze parku narodowego wiąże się w pewnym stopniu z hipotezą stresów prezentowaną przez Schütt'a (1984) głoszącą, że wskutek działalności przemysłu w powietrzu może znajdować się wiele różnych trujących związków, często w niskich stężeniach, powodujących obniżenie produkcji asymilatów. W wyniku tego zostaje ograniczona żywotność drzew i zmniejsza się odporność na ekstremalne warunki klimatyczne.

3. Równoległe z obniżeniem poziomu zanieczyszczeń powietrza nie stwierdzono poprawy stanu zdrowotnego drzewostanów świerkowych.

## PIŚMIENNICTWO

- Arndt U., Nobel W., Schweizer B. 1987. Bioindikatoren Möglichkeiten, Grenzen und neue Erkenntnisse. — Ulmer Verlag. Stuttgart.
- Blumthaler M., Ambach W. 1991. Spectral measurements of global and diffuse solar ultraviolet-B radiant exposure and ozone variations. — *Photochemistry and Photobiology*, **54**: 429–432.
- Bytnerowicz A., Godzik S., Poth M., Anderson I., Szdziej J., Tobiasz 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, Soil and Air Pollution*, **116**: 141–150.
- Europe's Environment. Dobris Report. [W:] D. Stanners, P. Bourdeau (red.), European Environment Agency Task Force (European Commission: DG XI and Phare). — Copenhagen 1995.
- GUS 2006. — Główny Urząd Statystyczny. Warszawa.
- Jol A., Kielland G. (red.) 1997. Air pollution in Europe 1997. EEA Environmental Monography, No 4. — EEA, Copenhagen.
- Manual of methodologies and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. International Co-operative Programme on Assessment and Air Pollution Effects on Forests, Programme Coordinating Centers. — Hamburg and Prague 1994.
- Mill W. 2001. Modeling and mapping of Critical Threshold in Europe. Status Report 2001. Coordination Center of Effect, RIVM, Report No 259101010. — Bilthoven, Netherlands.
- Schütt P. 1984. Der Wald stirbt am Stress. — C. Bertelsmann Verlagsgesellschaft mbH, München.
- UN-ECE [United Nations Economic Commission for Europe], 1998. Forest Condition in Europe. Technical Report. Un-ECE and EC. — Geneva and Brussels.
- Wawrzoniak J., Małachowska J., Wójcik J., Liwińska A., Lech P., Sierota Z., Załęski A. 1997. Stan uszkodzenia lasów w Polsce w 1996 r. na podstawie badań monitoringowych. — Biblioteka Monitoringu Środowiska, PIOŚ, Warszawa.

## SUMMARY

Since 1998, integrated monitoring activities in different compartments marked in spruce forest within the Pieniny National Park have been carried out. Monitoring data collected over 8-year observation period showed a decrease in concentration levels of the main phytotoxic gases as well as in precipitation acidity. At present no exceedance of the critical levels of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> concentrations in the ambient air as well as no critical load of

acidity are found (Tab. I, Fig. 2, 3, 5). Only the ozone concentration level has been recognised as a potential threat to the trees (Tab. I, Fig.4). Concentration of nutrients in spruce needles and their mutual ratios represent levels considered as non-hazardous to the health status of the tree stand (Tab. II-IV). However, the decrease in concentration of phytotoxic gases does not correspond to the concurrent improvement of the health status of trees (Tab. VI-VIII).

