

RYSZARD MIŚ

Wpływ przemysłowych zanieczyszczeń powietrza na wzrost wysokości i jakość sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.)*

The Impact of Industrial Air Pollution on Growth and Quality of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.)

Wstęp

Zawartość SO₂ w powietrzu atmosferycznym stanowiła podstawowe kryterium podziału obszaru Polski na strefy zagrożeń (8). Urządzanie lasu kontroluje stopień uszkodzenia drzewostanów występujących w zasięgu poszczególnych stref i kontrola ta powinna dotyczyć również pozostałych elementów środowiska leśnego, tzn. zmian zachodzących w glebie, całej szacie roślinnej i związanej z nią faunie.

Badanie prawdopodobieństwa przeżycia drzewostanów w wyodrębnionych strefach zagrożeń wykazały, że różni się ono istotnie między strefami (4). Wyniki tych badań skłoniły autora do poszukiwania potwierdzenia wyników w analizie trendów zmian zachodzących w całym środowisku leśnym na obszarze każdej z tych stref. Do tego rodzaju analiz skłania bogata literatura na temat wpływu zanieczyszczeń przemysłowych na sosnę zwyczajną (2, 3, 5, 6, 7). Bardzo syntetyczne ujęcie problemu zawiera zespołowa praca o charakterze monograficznym pod redakcją Białoboka, Boratyńskiego i Bugały (1993). Dotychczasowe badania z zakresu urządzania lasu i nauki o produktywności nie doprowadziły jeszcze do opracowania tablic wzrostu drzew i drzewostanów oraz ich wydajności w obrębie poszczególnych stref zagrożeń. Celem niniejszej pracy jest określenie wpływu przemysłowych zanieczyszczeń powietrza na wzrost wysokości i jakość sosny zwyczajnej na obszarze Niżu Polskiego.

*Referat zaprezentowany przez Autora na międzynarodowej konferencji naukowej w Joensuu (Finlandia), zorganizowanej przez Instytut Lasów Europejskich na temat: "Trendy wzrostu lasów europejskich — czy zmienia się produktywność siedlisk?".

Materiał badawczy

W 1993 roku podjęto badania nad intensywnością procesów degradacji ubogich siedlisk leśnych z charakterystycznym dla nich zespołem roślinnym *Leucobrio pinetum*, występującym na znacznym obszarze Polski. W pierwszym etapie założono stałe powierzchnie badawcze na siedlisku boru świeżego w drzewostanach reprezentujących dwie strefy zagrożeń i uszkodzeń lasów. Analizie poddano właściwości gleb, aktualny stan roślinności oraz ścięto 135 drzew. Na drzewach ściętych pomierzono wysokość w kolejnych latach dla okresu 1930–1993. Z każdej korony pobrano do badań laboratoryjnych po 100 par igieł ostatniego rocznika. Określono długość i wagę igieł suchych i świeżych oraz długość korony drzew. Pobrano także wywiarty z promienia pierśnicowego dla 837 drzew stojących. Na drzewach stojących określono ich jakość stosując klasyfikację IUFRO.

W niniejszym opracowaniu podano jedynie wstępne wyniki dotyczące grubości, wysokości i jakości drzew oraz długości i masy igieł w roku 1993, a także wzrostu wysokości drzew w okresie 1940–1993. Materiał badawczy pochodzi z dziewięciu drzewostanów sosny zwyczajnej, położonych w trzech nadleśnictwach różniących się poziomem zanieczyszczeń powietrza (tab. 1 i tab. 2). Dane o zanieczyszczeniach powietrza są wielkościami średnimi z okresu 1985–1993.

Wszystkie badane drzewostany wznoszą się w podobnych warunkach siedliskowych, na glebach bielcowych właściwych, wytworzonych z płytkich piasków słabo gliniastych zalegających na wodnolodowcowych piaskach luźnych. Charakteryzują się one niską zasobnością w składniki pokarmowe dla roślin i silnie kwaśnym odczynem. Dominującym typem próchnicy jest moder butwinowy, z poziomem organicznym od 5,5 do 9,0 cm. Podstawowym źródłem wody glebowej są opady atmosferyczne. Poziom wody gruntowej występuje poniżej 325 cm.

Wstępne wyniki badań

Przeciętna pierśnica i wysokość drzew

Wzrost zanieczyszczeń powietrza z 14,1 i 17,5 mg SO₂/m²/dobę (Sieraków i Oborniki) do 30,8 mg SO₂/m²/dobę (Włoszakowice) spowodował spadek średniej pierśnicy (tab. 1) w granicach od 0,6 i 1,7 cm (wiek drzewostanów 91–100 lat) do 4,1 i 4,7 (71–80 lat). Średnia wysokość drzew jest mniejsza od 2,90 i 2,21 m (91–100 lat) do 2,64 i 4,20 m (71–80 lat).

W obiektach o niższym poziomie zanieczyszczeń odchylenie standardowe pierśnicy wzrasta z wiekiem drzewostanów, podobnie jak na obszarach położonych poza zasięgiem wyraźnego wpływu emisji przemysłowych. Poziom zanieczyszczeń w trzecim obiekcie (Włoszakowice) spowodował wyraźne zmniejszenie się wielkości odchylenia standardowego i współczynnika zmienności pierśnicy w drzewostanach najstarszych (81–100 lat). Analiza rozkładów liczby drzew w stopniach grubości wykazuje, że przyczyną jest wyraźne zmniejszenie się liczby drzew w najniższych stopniach, grupujących drzewa o najniższej tendencji wzrostowej i obumierającej. Błąd standardowy średniej pierśnicy waha się w granicach 0,2–0,4 mm. Bardzo wyraźne jest zmniejszanie się wysokości maksymalnej i minimalnej wraz z rosnącym poziomem zanieczyszczeń.

TABELA 1
Wpływ poziomu zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na średnią pierśnicę (\bar{d}) i wysokość drzew (\bar{h})

Poziom zanieczyszczeń	Wiek	Pierśnica (cm) d			Wysokość (m) h								
		\bar{d}	Sd	S \bar{d}	Sd%	d _{min}	d _{max}	\bar{h}	S \bar{h}	S \bar{h}	St%	h _{min}	h _{max}
Włoszakowice	71-80	18,0	4,4	0,2	24,4	8,0	34,7	16,15	2,0	0,18	12,7	9,0	21,0
SO ₂ 30,811 mg/m ² /dobę													
NO _x 0,319 mg/m ² /dobę	81-90	23,5	4,0	0,2	17,1	11,2	34,6	18,77	1,8	0,22	9,4	14,5	22,5
F 0,059 mg/m ² /dobę													
opad 3,850 g/m ² /miesiąc	91-100	24,8	4,2	0,3	16,8	15,4	36,4	17,82	1,5	0,22	8,6	15,0	23,0
Sieraków	71-80	22,1	4,0	0,3	18,1	13,1	36,9	18,79	1,2	0,19	6,1	16,5	21,0
SO ₂ 17,555 mg/m ² /dobę													
NO _x 0,256 mg/m ² /dobę	81-90	22,7	5,1	0,2	22,4	12,0	44,3	20,22	1,8	0,19	9,0	16,9	25,0
F 0,064 mg/m ² /dobę													
opad 4,544 g/m ² /miesiąc	91-100	26,5	5,4	0,4	20,4	15,3	44,7	20,03	2,1	0,34	10,3	13,7	24,5
Oborniki	71-80	22,7	5,5	0,3	24,3	11,5	41,5	20,35	2,4	0,33	12,0	14,6	26,6
SO ₂ 14,060 mg/m ² /dobę													
NO _x 0,141 mg/m ² /dobę	81-90	25,3	5,5	0,3	21,6	14,9	40,1	22,09	2,4	0,31	11,0	16,6	26,7
F 0,071 mg/m ² /dobę													
opad 3,848 g/m ² /miesiąc	91-100	25,4	5,8	0,3	22,8	12,7	46,1	20,72	2,1	0,28	10,2	15,7	25,6

Sd, h — odchylenie standardowe pierśnicy lub wysokości

S \bar{d} , \bar{h} — błąd standardowy średniej pierśnicy lub wysokości

Sd, h, % — współczynnik zmienności pierśnicy lub wysokości

TABELA 2
Wpływ poziomu zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego na udział drzew (91–100 lat) w klasach jakości

Poziom zanieczyszczeń	Cecha	Klasy jakości IUFRO											
		1			2			3					
		n	%	\bar{x}	S \bar{D}	n	%	\bar{x}	S \bar{D}	n	%	\bar{x}	S \bar{D}
Włoszakowice	A	246	100,0	24,8	4,2	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	38	15,4	29,1	2,8	161	65,5	25,0	3,6	47	19,1	20,5	2,6
	C	19	7,7	31,4	2,8	178	72,4	24,9	3,7	49	19,9	21,7	3,0
	D	141	57,3	26,7	3,6	82	33,4	22,7	3,3	23	9,3	20,3	2,5
	E	1	0,4	27,5	0,0	240	97,6	24,6	4,1	5	2,0	31,7	3,1
	F	1	0,4	33,4	0,0	63	25,6	28,0	3,6	182	74,0	23,6	3,7
Sieraków	A	144	77,8	27,9	5,0	41	22,2	21,6	3,2	-	-	-	-
	B	107	57,9	29,1	4,8	77	41,6	22,9	3,7	1	0,5	18,9	0,0
	C	107	57,9	29,1	4,8	75	40,5	23,0	3,6	3	1,6	18,0	1,4
	D	115	62,1	28,8	4,8	68	36,8	22,5	3,7	2	1,1	24,9	2,7
	E	45	24,3	32,5	4,5	135	73,0	24,6	4,1	5	2,7	23,2	4,1
	F	10	5,4	37,8	3,1	128	69,2	27,6	4,0	47	25,4	21,1	2,8
Oborniki	A	213	75,3	27,2	5,3	69	24,4	20,1	3,2	1	0,4	15,5	0,0
	B	151	53,4	29,1	4,9	120	42,4	21,7	3,1	12	4,2	17,0	2,4
	C	150	53,0	29,2	4,9	114	40,3	21,8	3,1	15	6,7	17,7	2,8
	D	149	52,7	29,3	4,8	130	45,9	21,2	3,0	4	1,4	17,4	5,0
	E	61	21,6	32,3	4,1	210	74,2	23,9	4,5	12	4,2	17,2	3,4
	F	3	1,1	38,6	3,4	182	64,3	27,8	5,1	98	34,6	20,7	3,3

A — wysokość, B — żywotność, C — tendencja wzrostu, D — wartość hodowlana, E — jakość pnia, F — jakość korony, n — liczba drzew, % — liczba drzew w %, \bar{x} — średnia pierśnica (cm), S \bar{D} — odchylenie standardowe pierśnicy

Frekwencja drzew w klasach jakości

Wyniki przedstawione w tabeli 2 wskazują, że poziom skażenia środowiska istniejący na obszarze Nadleśnictwa Włoszakowice powoduje wyraźne zmiany w jakości drzew. Zmiany te objawiły się występowaniem drzew tylko w jednej klasie wysokości, znacznym spadkiem procentowego udziału drzew w pierwszej klasie żywotności, bardzo wyraźnym obniżeniem tendencji wzrostu drzew zaliczonych do drugiej klasy jakości hodowlanej, znacznie zmniejszonym udziałem drzew najwyższej jakości pnia i spadkiem udziału drzew w najwyższej klasie jakości korony.

Długość i masa igieł oraz długość korony

Wyniki pomiaru długości i masy 100 par igieł ostatniego rocznika przedstawiono w tabelach 3 i 4. Charakterystyczne jest to, że wzrost długości i masy igieł wraz ze wzrostem grubości drzewa występuje tylko w obiektach o poziomie skażenia 14,0 i 17,5 mg SO₂/m²/dobę (Oborniki i Sieraków). Prawidłowość ta nie wystąpiła w trzecim obiekcie o najwyższym poziomie zanieczyszczeń — 30,8 mg SO₂/m²/dobę (Włoszakowice). W tych warunkach drzewa najgrubsze posiadały średnio o 0,57 cm krótsze igły od igieł zebranych z drzew 2 klasy Uricha. Redukcja długości igieł u drzew najgrubszych może być przyczyną, że średnia długość igieł drzew 2 klasy Uricha jest większa od długości igieł drzew w tej samej klasie grubości w dwóch pozostałych obiektach.

TABELA 3
Średnia długość igieł (cm) w klasach wieku drzewostanów i klasach Uricha

Poziom zanieczyszczeń	Klasa wieku	Klasa Uricha			Średnia
		1	2	3	
1. Włoszakowice	I (71–80)	6,08	6,34	6,13	6,18
	II (81–90)	6,98	7,53	6,77	7,09
	III (91–100)	7,14	7,63	6,89	7,22
	\bar{x}	6,73	7,17	6,60	6,83
2. Sieraków	I	5,76	5,90	6,20	5,96
	II	4,87	5,83	6,58	6,09
	III	5,57	5,75	6,22	5,84
	\bar{x}	5,73	5,83	6,33	5,96
3. Oborniki	I	6,06	6,73	6,43	6,41
	II	5,94	6,09	6,61	6,21
	III	5,88	6,58	6,74	6,40
	\bar{x}	5,96	6,47	6,59	6,34

Zawartość SO₂ w powietrzu miała wyraźny wpływ na długość korony drzewa. Średnia długość korony drzew w Nadleśnictwie Włoszakowice (tab. 5) była mniejsza o 0,81 m (Sieraków) i 0,60 m (Oborniki). Odpowiednia różnica dla drzew najgrubszych jest jeszcze większa i wynosi 1,29 m (Sieraków) i 1,64 m (Oborniki).

TABELA 4
Masa igrzeł suchych (MS) i świeżych (MW) w klasach wieku i klasach Uricha

Poziom zanieczyszczeń wieku	Klasa	Klasa Uricha					
		1		2		3	
		MS	MW	MS	MW	MS	MW
1. Włoszakowice I							
	I	2,79	6,64	3,80	8,69	3,72	8,24
	II	4,67	11,65	4,67	11,85	4,39	10,94
	III	4,87	10,86	4,65	10,20	4,63	10,05
	Σ	12,33	29,15	13,12	30,74	12,74	29,23
2. Sieraków I							
	I	3,23	7,74	3,33	7,57	3,61	8,30
	II	2,97	6,93	2,72	6,57	4,27	8,94
	III	3,36	7,79	3,48	7,74	4,07	9,12
	Σ	9,56	22,46	9,53	21,88	11,95	26,36
3. Oborniki I							
	I	3,52	8,05	4,62	9,64	4,34	9,00
	II	3,75	8,97	3,93	9,60	4,54	10,94
	III	3,90	9,01	4,34	9,76	4,58	10,23
	Σ	11,17	26,03	12,89	29,00	13,46	30,17

TABELA 5
Średnia długość korony drzew w klasach wieku i klasach Uricha

Poziom zanieczyszczeń	Klasa wieku	Klasa Uricha			Średnia
		1	2	3	
1. Włoszakowice	I	3,70	4,35	6,71	4,92
	II	5,38	5,27	6,64	5,76
	III	5,94	6,26	7,15	6,45
	\bar{x}	5,01	5,29	6,83	5,71
2. Sieraków	I	4,73	5,99	6,99	5,90
	II	4,89	6,21	7,55	6,22
	III	5,32	7,19	9,81	7,44
	\bar{x}	4,98	6,46	8,12	6,52
3. Oborniki	I	3,97	6,50	7,85	6,11
	II	4,30	5,98	8,69	6,32
	III	4,69	5,94	8,87	6,50
	\bar{x}	4,32	6,14	8,87	6,31

Sucha masa 100 par igieł z drzew najgrubszych była w Nadleśnictwie Włoszakowice mniejsza o 0,02–0,28 g od suchej masy igieł z drzew 2 klasy Uricha. W pozostałych obiektach masa igieł zebranych z drzew najgrubszych była najczęściej wyraźnie większa od masy igieł z drzew 1 i 2 klasy Uricha.

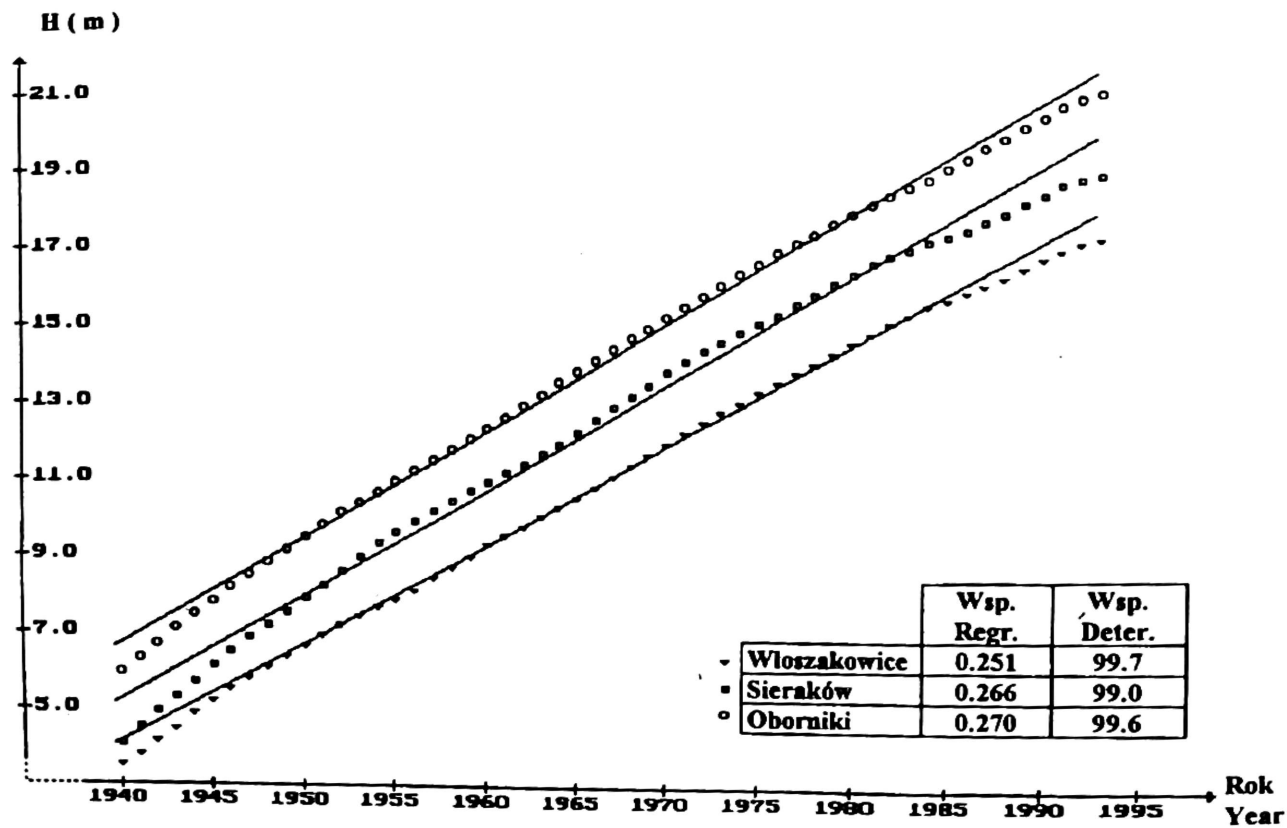
Wzrost wysokości drzew

Wzrost wysokości drzew w okresie 1940–1993 na przykładzie drzewostanów 81–90 letnich obrazuje rycina 1. Jako miarę trendu wzrostu wysokości drzew w badanych obiektach przyjęto współczynnik regresji liniowej. Okazało się, że jego wielkość jest związana z poziomem zanieczyszczeń powietrza. Współczynniki regresji dla badanych obiektów wynosiły 0,251 (Włoszakowice), 0,266 (Sieraków) oraz 0,270 (Oborniki).

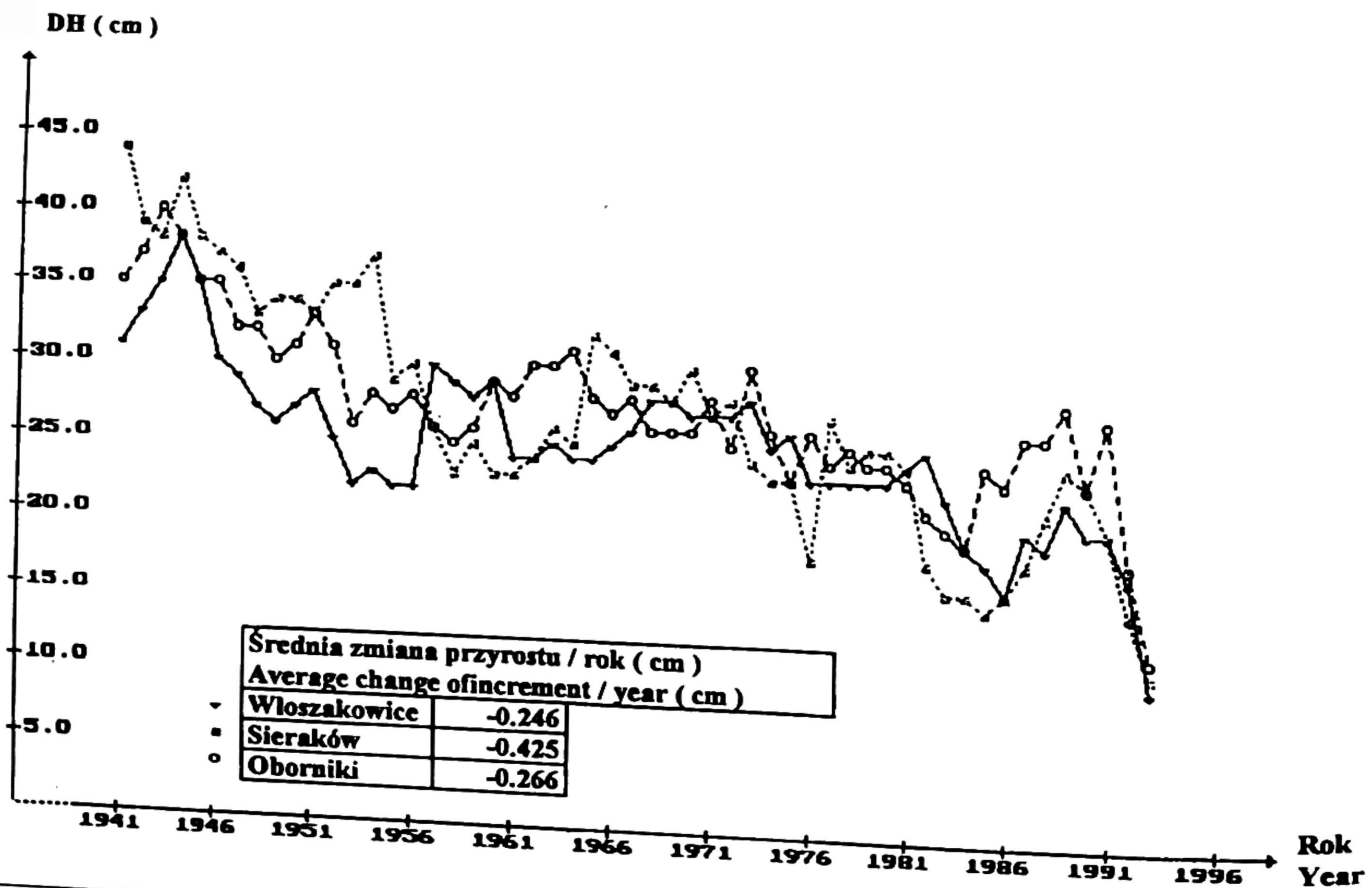
Wyniki analizy wariancji wskaźnika trendu wysokości dla całego okresu 1940–1993 oraz kolejnych okresów 5-letnich zawiera tabela 6. Trendy wysokości różnią się istotnie między badanymi obiektami leśnymi, klasami wieku i klasami Uricha. Dotyczy to całego rozpatrywanego czasu, okresów 5-letnich i 10-letnich. Bardziej szczegółowe omówienie wyników analizy statystycznej będzie przedmiotem odrębnego opracowania.

Podsumowanie

Badania wykazały, że wskaźniki trendu wzrostu wysokości sosny zwyczajnej ustalone dla trzech 10 letnich stopni wieku i dla trzech klas grubości Uricha różnią się istotnie w obiektach o różnym poziomie zanieczyszczeń powietrza. Wielkość tych wskaźników maleje wraz ze wzrostem zawartości SO₂. Dotyczy to zarówno całego okresu 1940–1993 jak i kolejnych okresów 5 i 10 letnich.



RYC. 1. Tempo wzrostu wysokości drzew w badanych drzewostanach w latach 1940–1993



RYC. 2. Roczne przyrosty wysokości drzew w badanych drzewostanach w latach 1941–1993

TABELA 6
Wyniki analizy wariancji wskaźnika trendu wysokości

Źródło zmienności	Stopnie swobody	Suma kwadratów	Średni kwadrat	F _(obl.)	F _{0,05}	F _{0,01}
1. Dla całego okresu 1940–1933						
A	2	0,0184	0,0092	21,48**	3,08	4,81
B	2	0,0060	0,0030	7,00**	3,08	4,81
A*B	4	0,0083	0,0021	4,84**	2,46	3,50
C	2	0,0285	0,0143	33,31**	3,08	4,81
A*C	4	0,0048	0,0012	2,80*	2,46	3,50
B*C	4	0,0009	0,0002	0,54	2,46	3,50
A*B*C	8	0,0050	0,0006	1,47	2,03	2,68
<hr/>						
Błąd	108	0,0462	0,0004			
<hr/>						
Całkowita	134	0,0182				
<hr/>						
2. Dla okresów 5-letnich						
A	2	0,2098	0,1049	43,37**	3,00	4,63
B	2	0,0729	0,0365	15,07**	3,00	4,63
A*B	4	0,0199	0,0050	2,05	2,38	3,34
C	2	0,3069	0,1534	63,45**	3,00	4,63
A*C	4	0,0223	0,0056	2,30	2,38	3,34
B*C	4	0,0185	0,0046	1,92	2,38	3,34
A*B*C	8	0,0415	0,0052	1,14*	1,95	2,53
D	9	2,7412	0,3050	126,14**	1,89	2,43
A*B	18	0,1182	0,0066	2,72**	1,61	1,95
B*D	18	0,1329	0,0074	3,05**	1,61	1,95
C*D	18	0,0610	0,0034	1,40	1,61	1,95
A*B*D	36	0,4524	0,0126	5,20**	1,43	1,65
A*C*D	36	0,2191	0,0061	2,52**	1,43	1,65
B*C*D	36	0,1779	0,0049	2,04**	1,43	1,65
A*B*C*D	72	0,5273	0,0073	3,03**	1,30	1,45
<hr/>						
Błąd	1080	2,6116	0,0024			
<hr/>						
Całkowita	1349	7,7372				

- A — poziomy zanieczyszczeń
 B — klasy wieku
 C — klasy Uricha
 D — okresy 5-letnie
 * — istotne różnice na poziomie ufności 0,05
 ** — istotne różnice na poziomie ufności 0,01

Efektom wzrostu SO₂ do poziomu 30,8 mg SO₂/m²/dobę były ponadto następujące zmiany w drzewostanach:

- spadek wartości wskaźnika trendu wzrostu wysokości drzew (z poziomu 0,266 i 0,270 do poziomu 0,251),
- obniżenie się tendencji wzrostowej drzew ocenianej wg klasyfikacji jakości drzew metodą IUFRO (wzrost procentowego udziału drzew o opóźnionym tempie wzrostu z 1,6 i 6,7 do 19,9%),
- przyspieszenie naturalnego procesu wydzielania się drzew, czego efektem jest występowanie drzew tej samej klasy wysokości,
- znaczny spadek udziału drzew o najwyższej jakości pnia (od 21,6–24,3 do 0,4%),
- wzrost udziału drzew o koronach krótkich (długość mniejsza od 1/4 wysokości drzewa),
- redukcja aparatu asymilacyjnego spowodowana redukcją długości koron oraz zmniejszoną długością i masą igieł u drzew najgrubszych zaliczonych do 3 klasy Uricha.

Literatura

1. **Białobok S., Boratyński A., Bugała W.** Biologia sosny zwyczajnej. PAN Instytut Dendrologii. Sorus. Poznań-Kórnik, 1993.
2. **Grabczyński S., Orzeł S., Rutkowska L., Reiner J.** Wzrost drzew i drzewostanów w warunkach silnych skażeń regionów przemysłowych. Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa, 24, 1990.
3. **Kozłowski T.T., Constantinidou H.A.** Responses of woody plants to environmental pollution. Part I. Sources and types of pollution and plant responses. Forest. Abs, 47, 1986.
4. **Miś R.** Regulation of wood production in endangered forest ecosystems. Ecological basis for forest management and development of forest ability to fulfill mansided functions. Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa, 1992.
5. **Oleksyn J.** Effect of sulphur dioxide on net photosynthesis and dark respiration of Scots pine individuals differing in susceptibility to this gas. Arch. Ochr. Środowiska (2–4), 1981.
6. **Oleksyn J.** Height growth of different European Scots pine *Pinus sylvestris* L. provenances in a heavily polluted and a control environment. Environ. Pollut. 55 (4), 1988.
7. **Oleksyn J., Giertych M.** Results of a 70-years old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenance experiment in Puławy, Poland–Silvae Genetica 33 (1), 1984.
8. **Trampler T., Dmyterko E.**: Obszary zagrożenia środowiska przyrodniczego oraz stan i prognoza zagrożenia lasów. Biuletyn IBL. Nr 3, Warszawa 1987.

Summary

The work presents results of one measurement of nine stands of Scots pine situated in three forest divisions located in the Polish Lowland and characterized by different levels of air contamination (14.1, 17.5 and 30.8 mg SO₂/m²/day). All the examined stands were growing in similar soil conditions (true podzolic soils formed from shallow coarse sandy soils deposited on glaciofluvial loose sandy soils). The plant community was determined as *Leucobryo pinetum*.

The material for analysis were results of height measurements taken from 135 cut sample trees from the period 1930–1993 as well as results of the measurements of diameter breast height and quality classification of all standing trees in 1993. Furthermore, length and weight of fresh and dry needles were measured and the length of tree crowns evaluated.

Analysis of variance showed significance of differences of the height growth trend coefficient (linear regression coefficient) for the entire period 1940–1993 as well as for all the consecutive 5 and 10 year periods, Urich classes and age classes of the examined stands. Moreover, the increase of the sulfur dioxide level to 30.8 mg SO₂/m²/day caused the following changes in stands:

- a drop in the value of the height growth trend coefficient of trees (from the level of 0,266 and 0,270 to the level of 0,251),
- a decrease in the growth trend of trees evaluated according to the quality classification by IUFRO method (increase of the percentage share of trees with a slowed down tendency of growth from 1.6 and 6.7 to 19,9%),
- an acceleration of the natural process of self thinning of trees as evidenced by the occurrence of trees of the same height class,
- a considerable decline in the share of trees with the highest quality of the stem (from 21.6–24.3 to 0,4%),
- an increase in the share of trees with short crowns (length smaller than 1/4 of the tree height),
- a reduction of the assimilation apparatus caused by the contraction of the crown size and smaller length and weight of needles from the thickest trees.