

TERESA RYMER-DUDZIŃSKA

## Indykacja skażenia środowiska leśnego na podstawie zróżnicowania wybranych cech dendrometrycznych drzewostanów sosnowych

Indication of contamination in forest environment as based on diversity  
of selected dendrometric features of pine stands

**Abstract.** The goal of the work consisted in studying the impact of industrial emissions on tree growth, and in estimation of tree features used as environment contamination indicators. The research was carried out in pine stands growing in three zones different for their degree of contamination by industrial emissions. From two features being under study the height growth rate proved to be better indicator than the dbh growth rate. The former may serve to comparing growth of trees and stands growing in various conditions. The dbh growth rate is also a good indicator, but it is less precise. It can be used only in conditions of heavy impact of the factor under study.

**Key words:** industrial emissions, tree growth, height growth rate, dbh growth rate

### Wprowadzenie

**B**adania przedstawione w niniejszej pracy były w większości sfinansowane przez Zakład Ekologii i Ochrony Środowiska IBL w ramach tematu "Doskonalenie metod technicznych i biologicznych oceny stanu środowiska leśnego w strefie silnych skażeń". Zakład Ekologii i Ochrony Środowiska prowadził wieloletnie badania nad tym tematem. Były to m.in. obserwacje wzrostu, zróżnicowania i wydzielania się drzew w drzewostanach sosnowych na stałych powierzchniach badawczych położonych na terenach o różnym stopniu skażenia od słabego do silnego (Głąbiński 1991, Falencka-Jabłońska i inni 1993).

W latach 1991-1993 do badań tych zostali włączeni pracownicy Katedry Produkcyjności Lasu SGGW. Powierzono im wykonanie badań nad zmianami z wiekiem różnych charakterystyk drzew rosnących w drzewostanach o słabym, średnim i silnym stopniu skażenia i podjęcie próby ustalenia ewentualnego wpływu emisji na wielkość tych charakterystyk.

Katedra Produkcyjności Lasu SGGW w latach 1986-1990 prowadziła podobne, ale szerzej zakrojone badania nad wpływem emisji przemysłowych na wzrost drzewostanów sosnowych na terenie nadleśnictw Olkusz i Świerklaniec (strefa silnych skażeń). Badano m.in. kształtowanie się wzrostu wysokości drzew (Rymer-Dudzińska 1990a, 1991), wzrostu

pierśnicy (Rymer-Dudzińska 1990b, 1992), liczb kształtu (Wróblewski 1990a, 1990b, 1993), przyrostu grubości wzdłuż strzały (Michalak, Siekierski 1990, 1991), uszkodzeń wierzchołków drzew (Bruchwald, Michalak 1991a, 1991c), stanu koron drzew (Bruchwald, Michalak 1991c,d), naturalnego wydzielania się drzew (Siekierski 1990), klasy bonitacji (Bruchwald 1991a), struktury socjalnej drzewostanu (Michalak 1992). Syntezą tych badań było opracowanie modelu wzrostu dla drzewostanów znajdujących się pod wpływem emisji przemysłowych (Bruchwald 1991b).

Celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu emisji przemysłowych na wzrost drzew oraz ocena zastosowanych charakterystyk drzew jako mierników skażenia.

Mając na uwadze doświadczenia zdobyte w poprzednich badaniach, spośród wielu charakterystyk drzew, do analizy, jako najlepsze na tym etapie, wybrano dwie: tempo wzrostu wysokości i tempo wzrostu pierśnicy. Obie cechy wyznaczono z matematycznych modeli opracowanych przez Bruchwalda (1977, 1985, 1987) dla drzewostanów rosnących w niezakłóconych warunkach wzrostu.

Wzór przedstawiający wzrost wysokości sosen ma postać:

$$h = B \cdot A = B \left( \frac{W}{30 + 0,278675 w^{1,2}} \right)^{0,00007 W^2 - 0,0005 W + 1,8}$$

gdzie:

- $h$  – wysokość drzewa,
- $W$  – wiek drzewa,
- $B$  – tempo wzrostu wysokości (wysokość, jaką drzewo osiągnie, względnie osiągnęło w wieku 100 lat),
- $A$  – określony funkcją wieku współczynnik będący ilorazem wysokości drzewa i wysokości w wieku 100 lat.

Model wzrostu pierśnicy ma postać:

$$d = C \cdot T = \left[ \frac{(0,2 W + 10)}{29,7466224} \right] \sqrt{\frac{W^2}{W^2 + 25}}$$

gdzie:

- $d$  – pierśnica drzewa,
- $W$  – wiek pierśnicowy, który określa liczbę lat drzewa, liczoną od momentu uzyskania przez drzewo wysokości 1,3 m,
- $C$  – tempo wzrostu pierśnicy (pierśnica, jaką drzewo osiągnie, względnie osiągnęło, w wieku 100 lat),
- $T$  – określony funkcją wieku pierśnicowego współczynnik będący ilorazem pierśnicy drzewa w danym wieku i w wieku 100 lat.

Zmiany tempa wzrostu wysokości ( $B$ ) i tempa wzrostu pierśnicy ( $C$ ) z wiekiem są wskaźnikami zgodności wzrostu drzewostanu lub drzewa z modelem. W przypadku gdy wzrost jest zgodny z modelem - tempo wzrostu jest stałe w ciągu całego życia drzewa, albo częściej, oscyluje wokół pewnej stałej wartości. Wystąpienia takiej prawidłowości można

oczekiwać w drzewostanach podobnych do uwzględnionych w danym modelu, w tym przypadku w drzewostanach rosnących w niezakłóconych warunkach wzrostu. W innych drzewostanach, a szczególnie znajdujących się w strefie stałego oddziaływania jakiegoś czynnika, należy spodziewać się, iż przebieg tempa wzrostu wysokości i grubości drzew będzie wykazywał odchylenia od przedstawionego wzorca.

W niniejszej pracy omówione będą zmiany tempa wzrostu wysokości i grubości drzew w drzewostanach rosnących w środowisku o różnym stopniu skażenia emisjami przemysłowymi. Podjęta będzie także próba udzielenia odpowiedzi na następujące pytania:

- w jakim stopniu zmiany tempa wzrostu są odzwierciedleniem zachodzących zmian we wzroście drzew pod wpływem emisji przemysłowych?
- czy tempo wzrostu wysokości i grubości jest dobrym i dostatecznie precyzyjnym miernikiem zachodzących zmian?

### **Materiał empiryczny i metodyka badań**

Materiał stanowiło 70 drzew próbnych z 14 drzewostanów, w których w latach wcześniejszych pracownicy ZEiOŚ IBL założyli stałe powierzchnie badawcze. Są to powierzchnie o numerach 101, 102, 103, 104 położone w strefie słabych skażeń (Nadl. Szczebra i Rajgród), 1, 3, 5, 6, 21, 22, 23, 24 leżące w strefie średnich skażeń (Nadl. Kozienice i Garwolin) oraz 105 i 106 ze strefy silnych skażeń (Nadl. Świerkianiec). Prawie wszystkie powierzchnie zlokalizowano w drzewostanach rosnących na siedlisku Bśw. Wiek badanych drzewostanów wahał się od około 40 do około 140 lat.

Z bezpośredniego sąsiedztwa każdej powierzchni wybrano po pięć drzew próbnych. Drzewa te poddano pełnej analizie pniowej. Po ich ścięciu ustalono wiek drzewa, zmierzono jego długość z zaokrągleniem do 1 cm, a następnie przecięto je na pierśnicy oraz w środkach sekcji. W drzewostanach o średniej wysokości wynoszącej nie więcej niż 16 m zastosowano sekcje jednowymiarowe, natomiast w drzewostanach o średniej wysokości powyżej 16 m – sekcje mieszane: do wysokości 2 m sekcje jednowymiarowe, powyżej dwuwymiarowe (0,5 m; 1,5 m; 2,5 m; 3,5 m; 5 m; 7 m itd.). W miejscach przecięcia drzew oraz na przekroju podstawy drzewa określono liczbę rocznych przyrostów (słojów) oraz wykonano pomiary grubości w pięcioletnich okresach. Analizę zmian grubości i wysokości wykonano w latach kalendarzowych 1992 (1991), 1987, 1982 itd. aż do początku życia drzew. Pomiary grubości wykonano w dwóch kierunkach z zaokrągleniem do 0,5 mm. W niniejszym opracowaniu wykorzystano jedynie pomiary wykonane na pierśnicy.

W toku dalszych prac ustalono dla poszczególnych drzew:

- wysokość na końcu każdego pięcioletniego okresu (drogą interpolacji na podstawie liczby słojów na poszczególnych przekrojach i wysokości ich położenia),
- tempo wzrostu wysokości wzorem 1, jako iloraz wartości wysokości na końcu okresu i wartości współczynnika A dla wieku drzewa odpowiadającego końcowi okresu,

**TABELA**  
**Charakterystyka drzew próbnych**

Nr pow.	Nadl. Oddział	Typ siedl. lasu	Klasa Krafra	Nr drzewa	Wiek	d <sub>1,3</sub> [cm]	h [m]
<b>Strefa niskiego skażenia</b>							
101	Szczebra	Bśw	II	1	41	17,2	16,36
			II	2	40	14,6	15,63
			I	3	41	18,4	18,56
			II	4	41	16,0	17,10
			II	5	40	18,5	16,00
102	Szczebra	Bśw	II	1	69	26,4	24,80
			II	2	67	25,7	22,25
			I	3	76	30,9	24,45
			I	4	72	34,8	25,55
			II	5	79	28,2	24,00
103	Rajgród	Bśw	I	1	117	41,5	27,50
			II	2	116	30,3	29,60
			I	3	117	41,9	29,20
			I	4	114	40,0	27,00
			I	5	108	37,9	28,15
104	Rajgród	Bśw	I	1	65	27,6	24,20
			I	2	70	30,0	26,90
			I	3	70	28,9	23,40
			I	4	73	30,5	24,13
			I	5	65	31,9	24,45
<b>Strefa średniego skażenia</b>							
1	Kozienice	Bśw	II	1	54	16,8	17,42
			II	2	53	19,8	16,95
			II	3	55	17,6	15,80
			II	4	56	17,5	17,90
			II	5	54	20,5	15,43
3	Kozienice	Bśw	II	1	105	41,1	25,65
			II	2	136	34,5	24,26
			II	3	154	41,3	24,75
			II	4	147	34,1	24,93
			III	5	143	30,7	22,40
5	Kozienice	Bśw	II	1	52	21,2	17,85
			II	2	52	22,7	17,76

*cd. tabeli na następnej stronie*

			II	3	52	18,8	16,70
			II	4	52	19,3	17,48
			II	5	60	18,7	18,85
6	Kozienice	Bśw	I	1	213	53,0	25,20
			III	2	144	33,8	23,50
			II	3	116	38,1	25,20
			III	4	118	38,5	24,52
			II	5	117	34,5	22,95
21	Garwolin	BMśw	II	1	78	33,6	22,00
			II	2	79	32,7	20,65
			II	3	80	35,2	23,50
			II	4	81	29,1	22,80
			I	5	79	32,6	23,10
22	Garwolina	Bśw	II	1	54	19,7	14,55
			II	2	50	14,6	14,40
			II	3	49	19,7	14,43
			I	4	51	21,8	16,20
			II	5	51	24,4	15,45
23	Garwolin	Bśw	II	1	97	34,7	21,10
			II	2	97	33,5	22,35
			II	3	103	31,5	21,30
			II	4	96	28,7	22,62
			II	5	99	40,1	21,12
24	Garwolin	Bśw	II	1	41	14,7	13,32
			II	2	39	14,3	12,60
			II	3	38	15,7	14,33
			II	4	39	19,1	14,22
			II	5	39	15,7	15,40

**Strefa silnego skażenia**

105	Świerklaniec	Bśw	I	1	108	22,9	14,80
			II	2	111	23,4	13,75
			I	3	108	29,0	14,49
			II	4	107	21,7	14,56
			II	5	107	21,8	14,99
106	Świerklaniec	Bśw	II	1	73	16,8	13,87
			II	2	70	17,1	12,06
			II	3	71	14,6	13,07
			I	4	71	18,5	12,95
			II	5	69	16,8	13,50

- tempo wzrostu pierśnicy wzorem 2, jako iloraz wartości pierśnicy na końcu okresu i wartości współczynnika T dla wieku pierśnicowego odpowiadającego końcowi okresu.

Ogólna charakterystyka drzew próbnych oraz drzewostanów, w których one rosły jest przedstawiona w tabeli.

## Wyniki badań

### Zmiana tempa wzrostu wysokości drzew z wiekiem

We wszystkich badanych drzewostanach, bez względu na ich położenie w różnych strefach skażenia, w młodym wieku drzew występowało dosyć duże zróżnicowanie wielkości tempa wzrostu wysokości u poszczególnych sosen w obrębie tego samego drzewostanu. W miarę starzenia się drzew różnice w tempie wzrostu wysokości malały i u starszych drzew były bardzo małe.

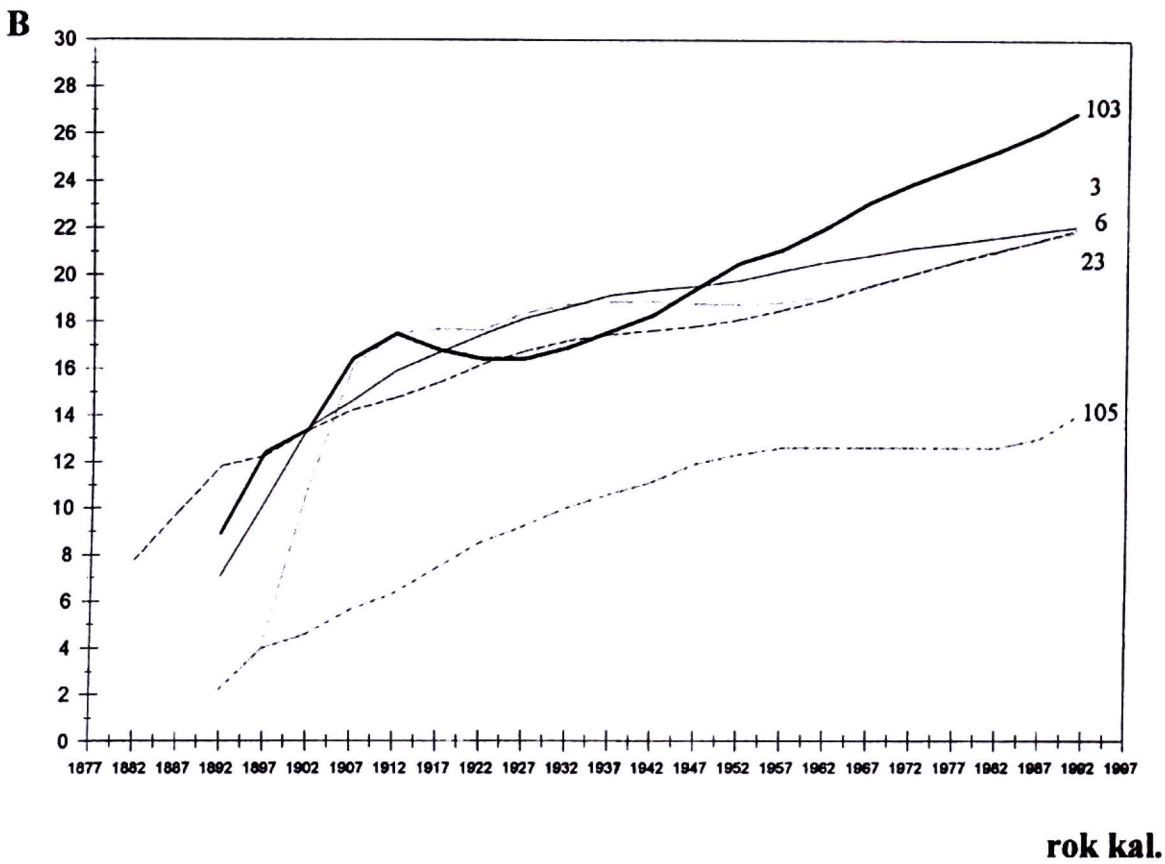
Charakter zmian tempa wzrostu wysokości u drzew pochodzących z tej samej powierzchni był mniej więcej jednakowy u wszystkich albo u większości drzew.

Bardziej szczegółowo przedstawiono zmiany tempa wzrostu wysokości u poszczególnych drzew w innych opracowaniach (Rymer-Dudzińska, Dudek, Michalak i inni 1991, 1996, Bruchwald, Rymer-Dudzińska, Dudek i inni 1993).

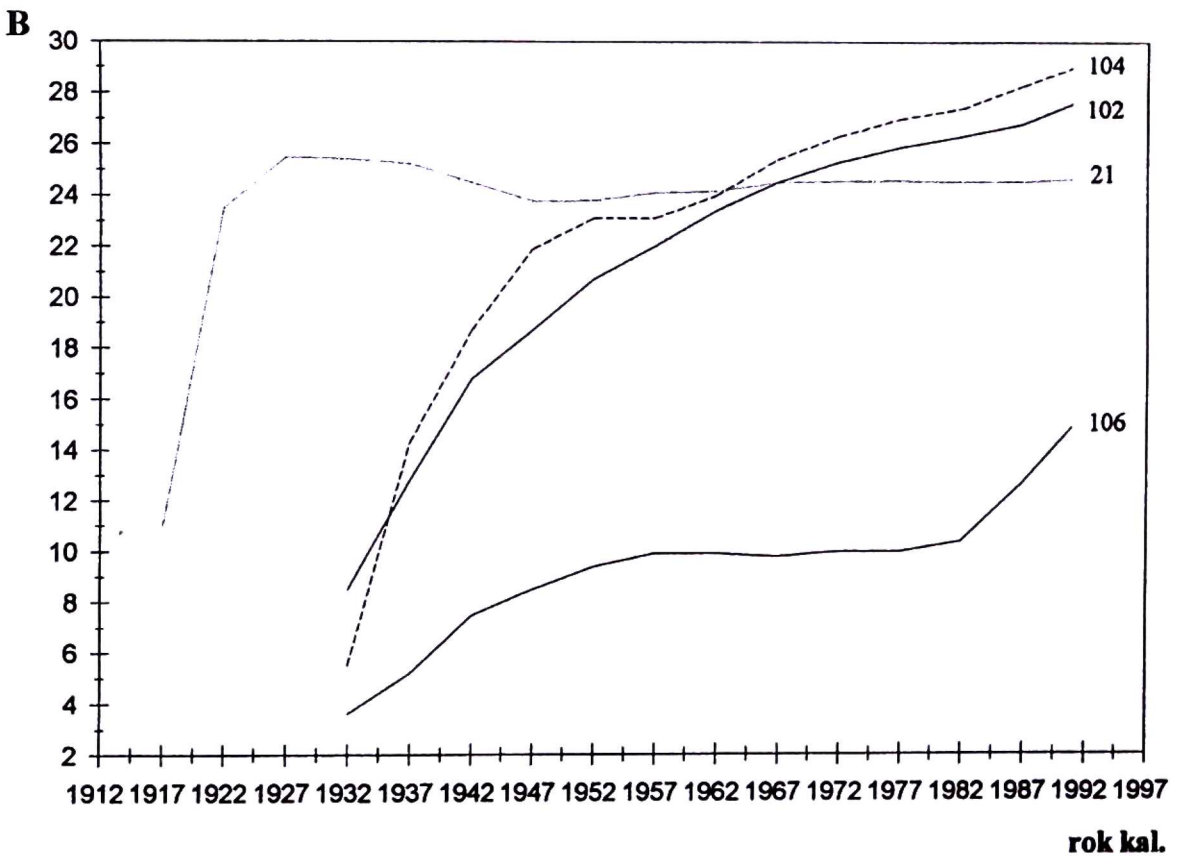
W celu porównania zmian tempa wzrostu wysokości z wiekiem w drzewostanach z różnych stref skażenia obliczono średnie wartości tempa wzrostu dla poszczególnych drzewostanów. Było to możliwe dzięki podobnym zmianom tempa wzrostu wysokości drzew w poszczególnych drzewostanach. Należy jednak mieć na uwadze, że posługiwanie się średnimi wartościami jest pewnym uproszczeniem, szczególnie w młodym wieku drzew (kilka pierwszych okresów), kiedy – jak wspomniano – zmienność tempa wzrostu wysokości drzew jest duża. W starszym wieku nie ma to większego znaczenia.

Na rycinach (1, 2, 3) przedstawiono przebieg tempa wzrostu wysokości w drzewostanach o zbliżonym wieku, ale pochodzących z różnych stref skażenia. Wyraźnie zróżnicowane są średnie wartości tempa wzrostu w poszczególnych grupach wiekowych drzewostanów w zależności od ich położenia.

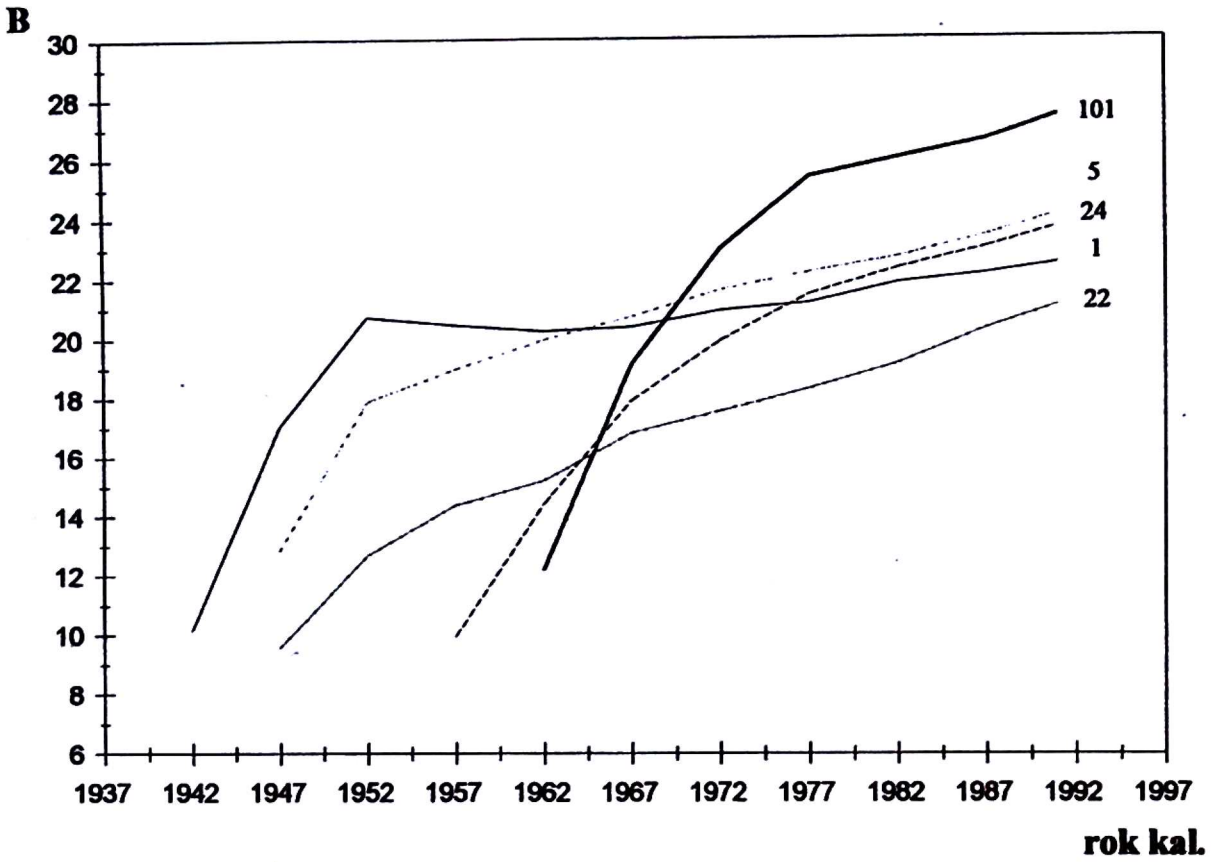
W najstarszej grupie drzewostanów (ryc. 1), najniższe tempo wzrostu przez cały okres życia drzew utrzymuje się w drzewostanie ze strefy silnego skażenia (pow. 105). W porównaniu z nim tempo wzrostu w drzewostanach ze strefy o średnim (pow. 3, 6 i 23) i o słabym skażeniu (pow. 103) jest dużo wyższe. Największe różnice w wartości B zaznaczają się w młodym wieku drzewostanów (nie brano pod uwagę trzech pierwszych okresów) i po roku 1947. Do tego roku tempo wzrostu w drzewostanach ze stref o słabym i średnim skażeniu kształtuje się mniej więcej na tym samym poziomie. Po tym okresie w drzewostanie o słabym skażeniu tempo wyraźnie rośnie i wzrost ten utrzymuje się do momentu ścięcia drzew. W 1992 r. tempo wzrostu wysokości na pow. 103 wynosi prawie 27 m, gdy tymczasem w drzewostanach z Nadleśnictwa Kozienice i Garwolin (okolice Elektrowni Kozienice) przeciętnie równa się około 22 m, a w drzewostanie z Nadleśnictwa Świerklańc - 14 m. Różnice w tempie wzrostu wysokości są więc bardzo duże, szczególnie między



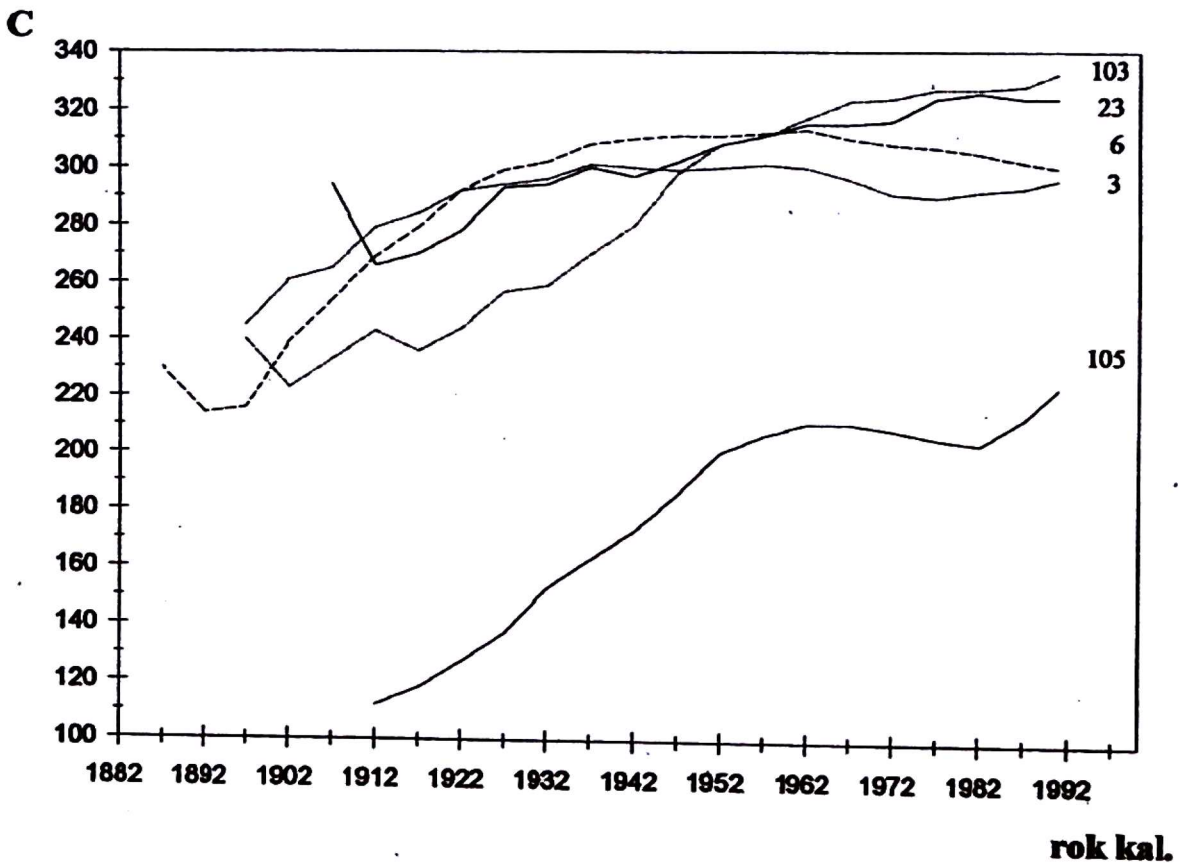
RYC. 1. Średnie wartości tempa wzrostu wysokości w drzewostanach najstarszych



RYC. 2. Średnie wartości tempa wzrostu wysokości w drzewostanach w średnim wieku

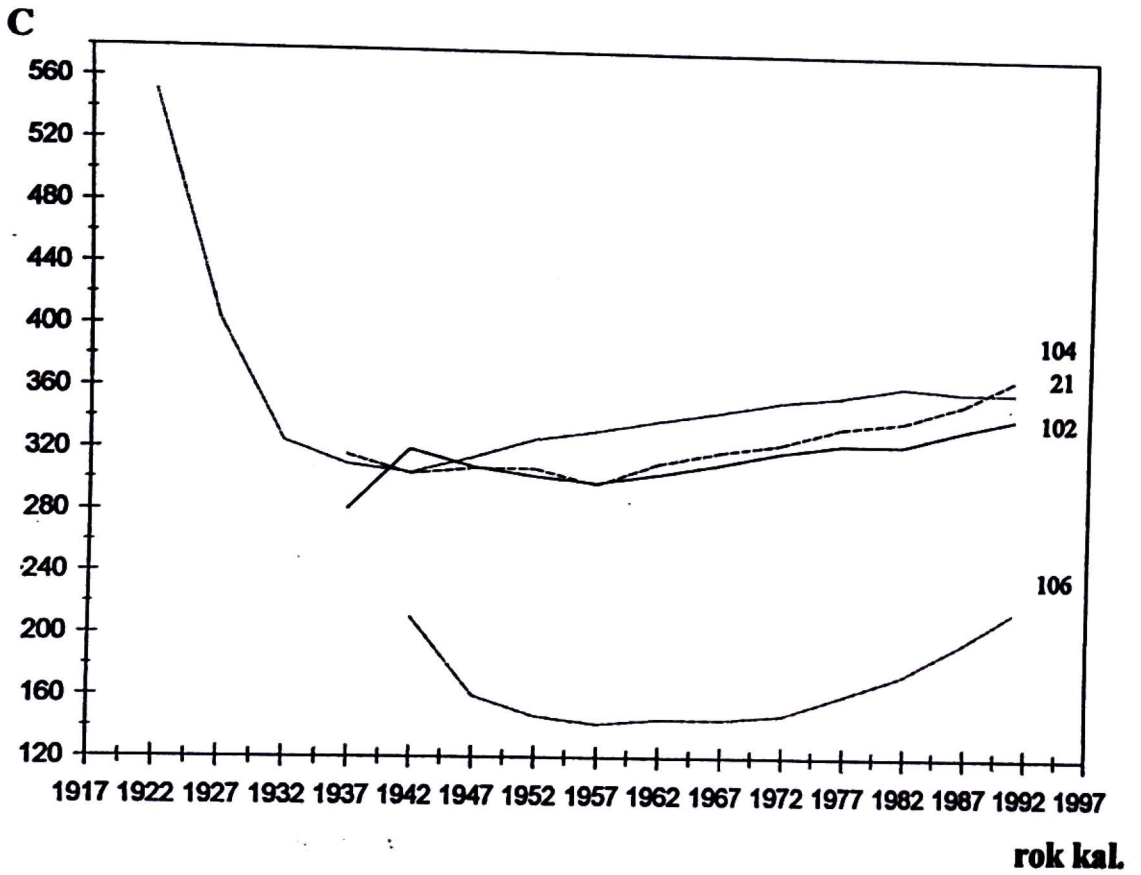


RYC. 3. Średnie wartości tempa wzrostu wysokości w drzewostanach najmłodszych

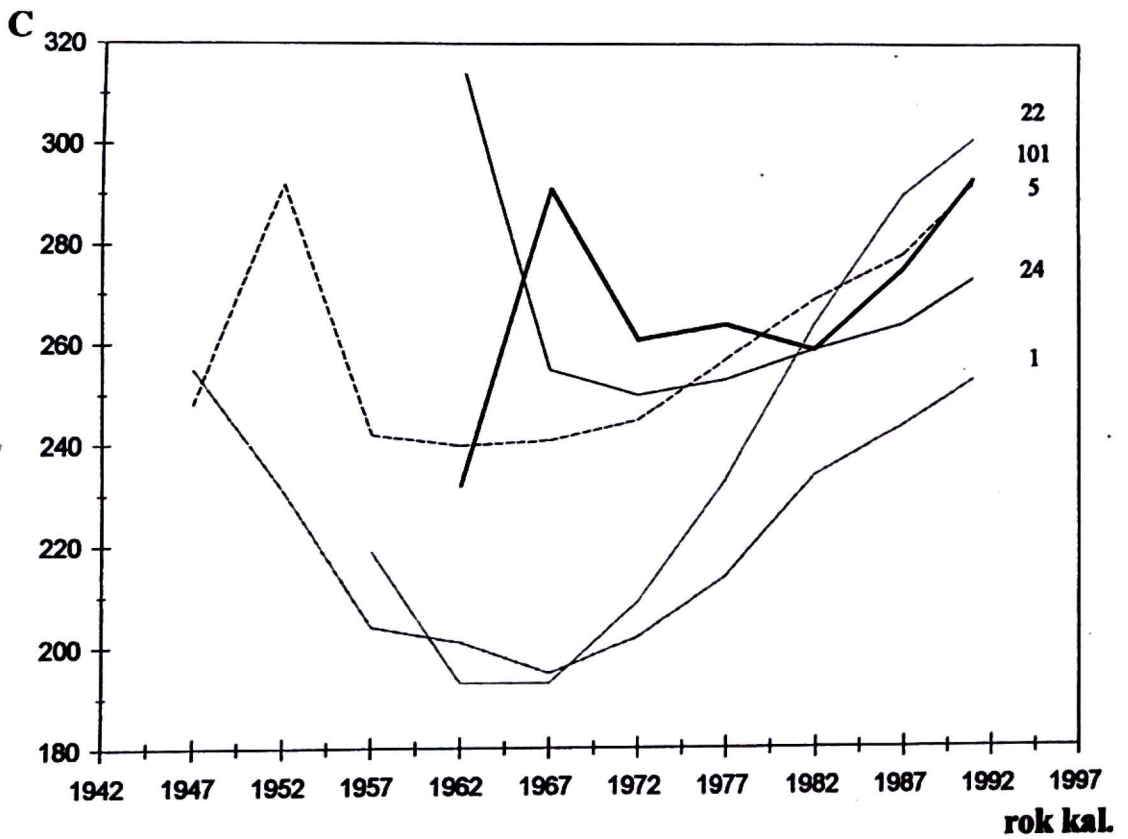


RYC. 4. Średnie wartości tempa wzrostu pierśnicy w drzewostanach najstarszych





RYC. 5. Średnie wartości tempa wzrostu pierśnicy w drzewostanach o średnim wieku



RYC. 6. Średnie wartości tempa wzrostu pierśnicy w drzewostanach najmłodszych

tempem wzrostu z drzewostanów o słabym i o silnym skażeniu (różnica 13 m). W drzewostanie z Nadleśnictwa Rajgród (pow. 103) tempo wzrostu wysokości jest dwukrotnie większe niż w drzewostanie ze Świerklańca (pow. 105).

W drzewostanach o średnim wieku (ryc. 2) układ linii ilustrujących zmianę tempa wzrostu wysokości z wiekiem jest podobny jak w najstarszych drzewostanach. Przez cały okres obserwacji tempo wzrostu wysokości osiąga najniższe wartości w drzewostanie ze Świerklańca (pow. 106). W drzewostanach ze strefy słabego (pow. 102 i 104) i średniego skażenia (pow. 21), w młodym wieku – do około 35 roku życia, osiąga wartości zbliżone do siebie. Po 35 roku życia tempo wzrostu wysokości w drzewostanach o słabym skażeniu wyraźnie rośnie i osiąga większe wartości niż w drzewostanie z Kozienic.

Różnice w tempie wzrostu wysokości w drzewostanach o średnim wieku, rosnących w strefach słabych, średnich i silnych skażeń, są znacznie większe niż w najstarszych drzewostanach.

W grupie drzewostanów najmłodszych (ryc. 3) są tylko drzewostany pochodzące ze strefy słabych (pow. 101) i średnich skażeń (pow. 1, 5, 22, 24). W młodym wieku, do około 20-25 roku życia, wielkość tempa wzrostu wysokości w drzewostanach z obu stref skażeń jest podobna. Po tym okresie tempo wzrostu wysokości w drzewostanie o słabym skażeniu wyraźnie rośnie i w wieku ścięcia drzew różnica wynosi około 4 m.

We wszystkich grupach wiekowych drzewostanów stwierdzono wyraźne różnice w wielkości tempa wzrostu wysokości, związane z położeniem ich w różnych strefach skażeń.

Z charakterystyki warunków meteorologicznych (Dunikowski 1995) wynika, że w okresie prawie ostatnich 25 lat (1966-1990) najbardziej korzystne warunki hydrotermiczne w okresie wegetacyjnym, wyrażone współczynnikiem "K", występowały w Polsce południowej (stacja Katowice), nieco gorsze w północno-wschodniej części (stacja Suwałki), a najgorsze – zagrożenie wystąpienia suszy – w Polsce środkowej. Mimo tych stosunkowo najlepszych warunków tempo wzrostu wysokości drzew w drzewostanach Nadleśnictwa Świerklaniec osiągnęło bardzo małe wartości. Tempo wzrostu wysokości w drzewostanach z okolic Elektrowni Kozienice, ze względu na bardzo złe warunki hydrotermiczne, mogło być niższe niż w sprzyjających warunkach.

Jeżeli chodzi o przebieg zmian tempa wzrostu wysokości z wiekiem (kształt linii), to w starszych drzewostanach zaobserwowano na ogół stały wzrost tempa wzrostu wysokości, tylko w niektórych drzewostanach (pow. 23 i 105) wystąpiły 30-35 letnie okresy stabilizacji, a dopiero po nich wzrost tempa wzrostu wysokości.

W drzewostanach o średnim wieku wystąpiła stabilizacja tempa wzrostu wysokości w drzewostanie ze strefy średnich skażeń (pow. 21) oraz 20-letni okres stabilizacji w drzewostanie ze strefy silnych skażeń, a w późniejszym okresie ponowny wzrost. W drzewostanach ze strefy słabych skażeń przez cały okres życia drzew zaobserwowano wzrost tempa wzrostu wysokości.

W najmłodszych drzewostanach (strefa niskich i średnich skażeń), przez cały okres życia drzew występował wzrost tempa wzrostu wysokości. Powiększanie się tempa wzrostu wysokości z wiekiem świadczy o tym, że drzewa te nie osiągnęły jeszcze swoich poten-

cyjnych wielkości tempa wzrostu. Jest to zrozumiałe u drzew młodych. U drzew starszych może wynikać ze sposobu odnowienia drzewostanu (drzewostany z Kozienic pochodzą prawdopodobnie z naturalnego odnowienia), złych warunków wzrostu w młodym wieku, albo niezupełnej odpowiedniości modelu wzrostu dla tych drzewostanów. W żadnej grupie wiekowej nie zauważono gwałtownych zmian tempa wzrostu wysokości świadczących o silnym wpływie jakiegoś czynnika na wzrost badanych drzewostanów.

Podsumowując rozważania nad kształtowaniem się tempa wzrostu wysokości w badanych drzewostanach, można stwierdzić co następuje.

- Tempo wzrostu wysokości w drzewostanach o zbliżonym wieku, rosnących na tym samym lub podobnym siedlisku (Bśw, BMśw), ale w różnych strefach skażeń, osiąga różne wielkości. W strefie silnych skażeń przez całe życie drzew jest zdecydowanie najniższe. W strefie średnich i słabych skażeń do wieku około 25-35 lat ma zbliżone wartości, następnie z wiekiem się różnicuje i w efekcie w strefie słabych skażeń jest większe, a średnich – mniejsze.
- W żadnej ze stref skażenia nie zauważono skokowych zmian wielkości tempa wzrostu wysokości drzew świadczących o silnym oddziaływaniu jakiegoś czynnika na wzrost drzew. Wpływ ten jest powolny, ale długotrwały.
- Niższe wartości tempa wzrostu wysokości w drzewostanach położonych w sąsiedztwie Elektrowni Kozenice, niż w drzewostanach położonych w strefie słabych skażeń nie wynikają bezpośrednio z działalności elektrowni, zaznaczyły się one już bowiem przed jej uruchomieniem. Być może, że emisje z elektrowni wpłynęły na dalsze obniżanie się tempa wzrostu wysokości, ale na razie nie można tego udowodnić.
- Z badań wynika, że tempo wzrostu wysokości jest dobrym miernikiem warunków wzrostu drzew i drzewostanów, jednak jego wielkość jest wypadkową oddziaływania wielu czynników na wzrost drzew. W związku z tym nie zawsze można wyłącznie na jego podstawie jednoznacznie określić przyczyny obserwowanych zmian.

### **Zmiana z wiekiem tempa wzrostu pierśnicy drzew**

W badanych drzewostanach wartości tempa wzrostu pierśnicy u drzew z tego samego drzewostanu, mimo że są to drzewa z tej samej albo sąsiedniej klasy biosocjalnej, są bardzo zmienne. Ze wzrostem wieku drzewa różnice w wartościach tempa na ogół zmniejszają się.

Podobnie przebieg tempa wzrostu pierśnicy u poszczególnych drzew jest zróżnicowany. Zaobserwowano trzy typy jego zmian. Szczegółowiej to zagadnienie przedstawiono w poprzednich pracach (Rymer-Dudzińska i inni 1991, Bruchwald i inni 1993).

W celu porównania wartości tempa wzrostu pierśnicy drzew z drzewostanów rosnących w strefie słabych, średnich i silnych zanieczyszczeń obliczono średnie wartości tempa wzrostu dla poszczególnych drzewostanów. Porównania dokonano dla drzewostanów o zbliżonym wieku (ryc. 4, 5, 6).

W grupie najstarszych drzewostanów (ryc. 4) najniższe wartości tempa wzrostu pierśnicy, podobnie jak tempa wzrostu wysokości, występują w drzewostanie ze strefy silnych skażeń (pow. 105). Przez cały okres życia drzew różnica w tempie wzrostu pierśnicy w drzewostanie ze strefy o silnym skażeniu i w pozostałych drzewostanach jest bardzo duża. W wieku ścięcia drzew wynosi ona średnio 8 cm. Jeszcze większa jest różnica między tempem wzrostu pierśnicy drzew w drzewostanie z Nadleśnictwa Świerklaniec (pow. 105) i z Nadleśnictwa Rajgród (pow. 103), wynosi ona około 11 cm. Tempo wzrostu pierśnicy drzew ze strefy o małym skażeniu (pow. 103) do około 50 roku życia jest mniejsze niż w drzewostanach ze strefy średniego skażenia (pow. 3, 6, 23). Po tym wieku zrównuje się i następnie osiąga większe wartości.

W drzewostanach w średnim wieku układ linii przedstawiających zmianę tempa wzrostu pierśnicy z wiekiem jest podobny jak w najstarszych drzewostanach. Tempo wzrostu pierśnicy w drzewostanach ze strefy o silnym skażeniu osiąga przez całe życie drzew najmniejsze wartości. W drzewostanie ze strefy o średnim skażeniu (pow. 21) osiąga największe wartości, a w dwu drzewostanach ze strefy słabego skażenia (pow. 102 i 104) nieco niższe. W wieku ścięcia drzew różnica w wielkości tempa wzrostu pierśnicy w drzewostanie ze Świerklańca i w pozostałych drzewostanach jest bardzo duża i wynosi około 14 cm.

W grupie drzewostanów najmłodszych pochodzących ze strefy średnich skażeń (pow. 1, 5, 22, 24) i ze strefy słabych skażeń (pow. 101) zróżnicowanie tempa wzrostu pierśnicy w młodym wieku jest bardzo duże i maleje z wiekiem. W wieku ścięcia drzew tempo wzrostu waha się od 25 do 30 cm. W drzewostanie ze strefy słabych skażeń osiąga jedną z wyższych wartości.

Podsumowując badania nad tempem wzrostu pierśnicy drzew, należy podkreślić, że wyraźne są różnice między tempem wzrostu pierśnicy drzew z drzewostanów pochodzących ze strefy silnych skażeń i z drzewostanów ze strefy średnich oraz słabych skażeń. Różnice w wartości tempa wzrostu pierśnicy w drzewostanach ze strefy średnich i słabych skażeń są małe i znak ich jest zmienny. Raz większe jest tempo wzrostu z drzewostanów ze strefy słabych skażeń, innym razem – z drzewostanów ze strefy średnich skażeń. Większe tempo wzrostu pierśnicy w drzewostanach ze strefy średnich skażeń, w okresie, kiedy tempo wzrostu wysokości jest mniejsze, prawdopodobnie jest krótkotrwałe i może być związane ze zmniejszeniem się zagęszczenia drzew w tych drzewostanach (Falencka-Jabłońska, Głabiński, Kotowski 1993) i wystąpieniem przyrostu grubości z prześwietlenia. Dokładne ustalenie tego wymagałoby jednak bardziej wnikliwej analizy.

Z badań wynika, że tempo wzrostu pierśnicy jest dobrym miernikiem wpływu emisji na wzrost drzew tylko w drzewostanach pochodzących ze strefy silnych skażeń, natomiast w drzewostanach ze strefy średnich skażeń może sugerować nieprawidłowe wnioski.

## Dyskusja

We wcześniejszych badaniach nad tempem wzrostu wysokości drzew w drzewostanach znajdujących się pod wpływem silnych emisji przemysłowych (Nadleśnictwo Olkusz i Świerklaniec) (Rymer-Dudzińska 1990a, 1991) stwierdzono spadek średniej wartości

tempa wzrostu wysokości drzew w większości drzewostanów (odpowiednio 90 i 80%). W drzewostanach z Nadleśnictwa Olkusz rosnących na gorszych siedliskach i o niższym poziomie wody gruntowej spadek zaznaczył się we wszystkich drzewostanach w tym samym czasie (po 1955 roku) i miał bardzo gwałtowny przebieg. W drzewostanach ze Świerklańca, rosnących na ogół na żyzniejszych siedliskach i o większej wilgotności, spadek tempa wystąpił w różnym czasie i miał łagodny przebieg. W wyniku tych badań stwierdzono również istnienie zależności wielkości tempa wzrostu wysokości od jakości siedliska i od poziomu wody gruntowej. Na gorszych siedliskach o małej wilgotności tempo wzrostu wysokości było mniejsze.

W większości tych drzewostanów Bruchwald (1991a) stwierdził obniżanie się klasy bonitacji drzewostanu rozumianej jako wysokość górna drzewostanu w wieku 100 lat. Bezpośrednią przyczyną spadku przeciętnej wartości tempa wzrostu wysokości drzew i obniżenia się klasy bonitacji w omawianych drzewostanach było zahamowanie albo całkowity zanik przyrostu wysokości drzew. Zarejestrowali to zjawisko w swoich badaniach Bruchwald i Michalak (1991a, 1991c). W analizowanych drzewostanach przeciętnie 50% drzew nie przyrastało na wysokość. Procentowy udział drzew bez przyrostu był zależny od wieku drzewostanu i z wiekiem rósł. W niektórych starszych drzewostanach był bliski 100%.

Podobne stwierdzenia odnośnie udziału drzew o zahamowanym wzroście na wysokość (pow. 105) oraz spadku klasy bonitacji (pow. 105 i 106) na stałych powierzchniach IBL w Świerklańcu zawarte są w opracowaniu Głabińskiego (1992). Wyniki te nie znalazły odzwierciedlenia w wielkości tempa wzrostu wysokości. Przeciętna wartość tempa wzrostu wysokości na obu powierzchniach wzrosła. Na pow. 105 wzrost zaznaczył się tylko w ostatnim okresie obserwacji i był niewielki. Na pow. 106 wzrost jest wyraźny i zaznaczył się w dwóch ostatnich okresach (jest to zgodne z obserwacjami Głabińskiego 1991). Brak spadku przeciętnej wartości tempa wzrostu wysokości na badanych powierzchniach może wynikać z tego, że do badań wzięto drzewa z I i II klasy biosocjalnej, a więc drzewa o najlepszej kondycji. W świetle przytoczonych danych należy sądzić, że przeciętne wartości tempa wzrostu wysokości są mniejsze od stwierdzonych dla I i II klasy Krafta, a różnice w przeciętnych wartościach tempa wzrostu wysokości w drzewostanach sosnowych rosnących na terenach o silnym i słabym skażeniu są większe niż stwierdzone w tych badaniach.

## Podsumowanie i wnioski

- W badanych drzewostanach sosnowych, o zbliżonym wieku, rosnących na tym samym lub podobnym siedlisku (Bśw, BMśw), ale w różnych strefach skażenia, tempo wzrostu wysokości osiągnęło różne wielkości. W strefie silnego skażenia przez całe życie drzew było ono zdecydowanie najmniejsze. W strefie średnich i słabych skażeń w młodym wieku (do około 25-35 lat) miało zbliżone wartości, w starszym wieku – większe wartości w strefie słabych skażeń.
- Tempo wzrostu wysokości jest dobrym miernikiem wzrostu drzew i całych drzewostanów. Może służyć do porównywania wzrostu drzew i drzewostanów znajdujących się w różnych warunkach, np. w różnych strefach skażenia. Należy jednak pamiętać, że jest ono wypadkową oddziaływania różnych czynników na

wzrost drzew i drzewostanów. Na jego wielkość mogą wpływać oprócz skażenia terenu również cechy genetyczne drzew, warunki meteorologiczne, sposób odnowienia drzewostu, żerowanie owadów itp. Dlatego nie zawsze na podstawie samej jego wielkości można jednoznacznie stwierdzić, co jest istotną przyczyną obserwowanego wzrostu drzew.

- W badanych drzewostanach tempo wzrostu pierśnicy tak samo jak tempo wzrostu wysokości osiągnęło zdecydowanie najmniejsze wartości w drzewostanach znajdujących się w strefie silnych skażeń. W drzewostanach pochodzących ze strefy słabych i średnich skażeń wartości tempa wzrostu pierśnicy nie były wyraźnie zróżnicowane. Tempo wzrostu pierśnicy jest miarą mniej precyzyjną niż tempo wzrostu wysokości i może być stosowane tylko w warunkach silnego oddziaływania badanego czynnika.
- W badanych drzewostanach nie stwierdzono skokowych zmian w wielkości tempa wzrostu wysokości i tempa wzrostu pierśnicy świadczących o silnym i okresowym oddziaływaniu jakiegoś czynnika na wzrost drzew. Wpływ emisji przemysłowych był powolny i długotrwały i odbił się na wielkości tempa wzrostu wysokości i pierśnicy.

## Literatura

1. **Bruchwald A.**, 1977. Change in top height of pine forest stands with age. Bull. Acad. Pol. Sc., Ser. Biol., 5: 335-342.
2. **Bruchwald A., Dudzińska T., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L.**, 1985. Wstępne wyniki badań nad produktywnością drzewostanów świerkowo-sosnowych północno-wschodniej Polski. Sylwan, 1985, 9: 1-12.
3. **Bruchwald A.**, 1988. Diameter growth of trees in Scots pine stand - a mathematical approach. Ann. Warsaw Agric. Univ. - SGGW-AR, For. and Wood Technol. 1988, 36, 35-41.
4. **Bruchwald A.**, 1991a. Forming of site indices in pine stands growing under the influence of industrial emissions. Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR, For. and Wood Technol., 41: 51-59.
5. **Bruchwald A.**, 1991b. Modele wzrostowe dla drzewostanów sosnowych będących pod wpływem emisji przemysłowych. W: Metody oceny stanu i zmian zasobów leśnych, Wyd. SGGW-AR, 76: 182-192.
6. **Bruchwald A., Michalak K.**, 1991a. Damages of the tree tops in the stands of the Olkusz chief forestry. Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR, For. and Wood Technol. 1991, 41: 43-46.
7. **Bruchwald A., Michalak K.**, 1991b. Defoliation of tree crowns in the pine stands of the Olkusz chief forestry. Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR, For. and Wood Technol. 1991, 41: 47-50.

8. **Bruchwald A., Michalak K.**, 1991c. Damages of tree tops in Scots pine stands of the Świerklaniec chief forestry. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR, For. and Wood Technol.* 1991, 41: 61-64.
9. **Bruchwald A., Rymer-Dudzińska T., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L., Siekierski K., Bosiak P., Łukasik J., Matosek U.** 1993. Charakterystyka przyrostu wysokości i grubości w wybranych drzewostanach sosnowych w strefie silnych i słabych skażeń emisjami przemysłowymi. Maszynopis w Zakładzie Ekologii i Ochrony Środowiska IBL i w Katedrze Produkcyjności Lasu SGGW.
10. **Dunikowski St.**, 1995. Charakterystyka warunków pogodowych w latach 1991-1994 na terenach objętych badaniami, na podstawie materiałów obserwacyjnych ze stacji Katowice, Kozienice i Suwałki. Maszynopis w Zakładzie Ekologii i Ochrony Środowiska IBL.
11. **Falencka-Jabłońska M., Głabiński J., W. Kotkowski**, 1993. Wpływ Elektrowni Kozienice na środowisko leśne - synteza badań. *Prace IBL*, 763: 27-60.
12. **Głabiński J.**, 1992. Dendrometryczna charakterystyka drzewostanów sosnowych na powierzchniach badawczych w Nadleśnictwie Świerklaniec. Maszynopis w Zakładzie Ekologii i Ochrony Środowiska IBL.
13. **Michalak K., Siekierski K.**, 1990. Pattern of diameter increment along the stem in the pine stands of the Olkusz chief forestry. *Annals of Warsaw Agricultural University - SGGW-AR, Forestry and Wood Technology*, 40: 3-17.
14. **Michalak K., Siekierski K.**, 1991. Pattern of the diameter increment along the stem in pinestands of the Świerklaniec chief forestry. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR, For. and Wood Technol.*, 41: 27-36.
15. **Michalak K.**, 1992. Social structure of pine stands being under the influence of industrial emissions. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR, For. and Wood Technol.*, 43: 39-45.
16. **Rymer-Dudzińska T.**, 1990a. Change of the height growth rate in pine stands growing under the influence of industrial emissions. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. - SGGW-AR, For. and Wood Technol.*, 40: 19-25.
17. **Rymer-Dudzińska T.**, 1990b. Change of the b.h. diameter growth rate of pine trees in the stands growing under the influence of industrial emissions. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. - SGGW-AR, For. and Wood Technol.*, 40: 27-34.
18. **Rymer-Dudzińska T.**, 1991. Pattern of the height growth rate changes in pine stands growing under the influence of industrial emissions. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR, For. and Wood Technol.*, 41: 37-41.
19. **Rymer-Dudzińska T., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L., Siekierski K., Bosiak P., Łukasik J., Matosek U.**, 1991. Wzrost grubości i wysokości drzew w drzewostanach sosnowych sąsiadujących z Elektrownią Kozienice. Maszynopis w Zakładzie Ekologii i Ochrony Środowiska IBL i w Katedrze Produkcyjności Lasu SGGW.

20. **Rymer-Dudzińska T.**, 1992. Diameter growth rate of pine stands in the Świerklaniec chief forestry. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR, For. and Wood Technol.*, 43: 21-25.
21. **Rymer-Dudzińska T., Dudek A., Michalak K., Wróblewski L., Siekierski K., Bosiak P.**, 1996. Height and diameter growth of trees from I and II Kraft class in pine stands neighbouring on the Kozienice power-station. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR, For. and Wood Technol.*, 47: 3-12.
22. **Siekierski K.**, 1990. Preliminary results of investigations on the process of self-thinning in the stands of the Olkusz chief forestry. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. SGGW-AR, For. and Wood Technol.*, 40: 55-59.
23. **Wróblewski L.**, 1990a. Change of the breast-height form factor ( $F_2$ ) with age in the pine stands of the Olkusz chief forestry. *Annals of Warsaw Agricultural University - SGGW-AR, Forestry and Wood Technol.*, 40: 47-50.
24. **Wróblewski L.**, 1990b. Change of the true form factor ( $F_{0.1}$ ) with age in the pine stands of the Olkusz chief forestry. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW-AR, Forestry and Wood Technol.*, 40: 51-53.
25. **Wróblewski L.**, 1993. Changes in the breast-height form factor ( $F_2$ ) and the true form factor ( $F_{0.1}$ ) with age in Scots-pine stands of the forest division Świerklaniec. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW-AR, Forestry and Wood Technology*, 1993, 44: 19-21.

*Zakład Dendrometrii  
i Nauki o Produkcyjności Lasu SGGW  
Rakowiecka 26/30, 02-528 Warszawa  
e-mail les\_kpl@delta.sggw.waw.pl*

## **Summary**

### **Indication of contamination in forest environment as based on diversity of selected dendrometric features of pine stands**

The research was carried out in pine stands growing in three zones of contamination with industrial emissions in the zones of slight, medium, and heavy contamination. The goal of the work consisted in studying the impact of industrial emission on tree growth and in estimating the features covered by the studies as indicators of environmental contamination. The results are given below.

The height growth rate reached different magnitudes in pine stands under study. The stands were of similar age, growing on the same site type or on similar one (Bśw, BMśw) but in different zones of contamination. It was decidedly the lowest in the zone of heavy contamination, and it concerned the whole length of life of trees. It had similar values in young age (up about 25-35 years) in the zones of medium and heavy contamination, while it got higher values at older age in the zone of slight contamination.



The height growth rate is a good indicator of the growth of trees and entire stands. It may serve for comparing the growth of trees and stands growing in various conditions, e.g. in various zones of contamination. One must remember that it is the result of action of various factors on the growth of trees and stands. Its size can be influenced by, apart of area contamination, also genetic features of stands, meteorological conditions, stand regeneration method, insect feeding etc. For this reason its size cannot always precisely explain what is the significant cause of tree growth observed.

In the stands under study, the dbh growth rate, in the same way as the height growth rate, reached decidedly the lowest values in the stands being in the zone of heavy contamination. In stands from the zone of slight and medium contamination the values of dbh growth rates were not clearly differentiated. The dbh growth rate is the indicator less precise than the height growth rate and it can be used only in the conditions of heavy impact of the factor under study.

No jumping changes in the size of height growth rate and dbh-growth rate were found in the stands under study, that could evidence a strong and periodical influence of factor on tree growth. The impact of industrial emissions was slow and long lasting and it was reflected in the size of height and dbh growth rate.