

HENRYK FOBER

## Wpływ zanieczyszczonego środowiska na cechy morfologiczne sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.)\*

### Abstract

Fober H. 1997. Effect of environmental pollution on the morphological characters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Arbor. Kórnickie 42: 199-215.

Growth of Scots pine and development status of terminal shoots has been studied on two 15-year-old provenance field experiments; the first located in Czapury exposed to plant pollutants with sulfur, fluoride and aluminium compounds, and the second in Kórnik as a control environment. Investigations were focusing on pine trees of three provenances only, which represent the wide natural range of Scots pine in Europe. They are Serebryanskoe from northern Russia, Rychtal from Poland and Zahorie from Slovakia. In comparison with the control area, height growth of trees in Czapury is reduced by 30%, length of terminal shoots by 8%, length and weight of needles by 22% and total dry weight of shoot needles, wood and bark by 42%, 35% and 30%, respectively. The results obtained in this experiment confirm existence of significant differences among provenances with respect to environment pollution, with the greatest susceptibility to pollutants of trees from Rychtal, which are the best growing ones in control plots. The negative effect of pollutants on development of terminal shoots is evident in the upper layer of the crown only, thus there exists a significant interaction between localities and crown layer of trees for many characters.

*Additional key words:* provenance, terminal shoots, needle length, whorls.

*Address:* H. Fober, Polish Academy of Sciences, Institute of Dendrology, 62-035 Kórnik, Poland.

### WSTĘP

Charakterystyka morfologiczna odzwierciedla warunki środowiska w jakich drzewo rośnie i równocześnie jest najprostszym kryterium oceny przebiegu jego procesów fizjologicznych. W porównaniu z innymi gatunkami, sosna zwyczajna jest szczególnie wrażliwa na zanieczyszczenia, co zostało wielokrotnie wykazane w licznych badaniach porównawczych (Białobok 1980). Z drugiej strony istnieje bardzo duża zmienność genetyczna sosny zwyczajnej, często o charakterze klinalnym, dotycząca

---

\* Pracę wykonano w ramach projektu badawczego Nr 6 P205 033 07, finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 1994-1997.

nie tylko cech morfologicznych i fizjologicznych, ale również wrażliwości na działanie antropogenicznych czynników abiotycznych.

Celem pracy było poznanie wpływu zanieczyszczeń przemysłowych środowiska dwutlenkiem siarki, fluorem i jonami glinu na wzrost drzew oraz rozwój pędów bieżącego przyrostu z uwzględnieniem ich części składowych, to znaczy igieł, pędów, drewna i kory. Równoczesne obserwacje na dwóch różnych powierzchniach doświadczalnych, jednej, będącej pod wpływem imisji toksycznych związków, oraz drugiej, porównawczej powierzchni nieskażonej, o takim samym zestawie populacji sosny zwyczajnej, daje możliwość określenia interakcji między genotypem a środowiskiem.

Szczególony nacisk położono na zróżnicowanie cech pędów z różnych poziomów korony drzewa, aby poznać warunki, w jakich zawiązują się pączki kwiatowe. Znana jest bowiem strefowość występowania kwiatów w koronach sosny, szczególnie u drzew rosnących w zwarciu. Kwiaty żeńskie występują wówczas raczej w części wierzchołkowej drzewa, podczas gdy męskie w części dolnej (Chałupka 1993).

#### MATERIAŁY I METODYKA

Badania prowadzono na dwóch proveniencyjnych powierzchniach doświadczalnych sosny zwyczajnej – w Kórniku oraz w Czapurach. Obie powierzchnie zostały założone w 1982 roku w ramach międzynarodowego doświadczenia IUFRO. Powierzchnia doświadczalna w Czapurach jest zlokalizowana w pobliżu Zakładów Nawozów Fosforowych, w związku z czym środowisko jest tam skażone głównie dwutlenkiem siarki i związkami fluoru, a niskie pH gleby powoduje wysoką zawartość dostępnego glinu (Oleksyn i Białobok 1986, Karolewski i Giertych 1995).

Wiosną 1995 roku wybrano na obu powierzchniach trzy proveniencje sosny z europejskiej części zasięgu tego gatunku, a mianowicie Serebrianskoe z północnej Rosji, Rychtal z Polski oraz Zahorie ze Słowacji (tab. 1). Każda z proveniencji była

Tabela 1

Pochodzenie drzew wybranych do badań.

Table 1

Origin of trees used in the experiment.

Kraj Country	Proweniencja Provenance	Nr IUFRO No.	Dług. geogr. Long.	Szer. geogr. Lat.	Wys. n.p.m. Alt.
Rosja Russia	Serebrianskoe	3	29°07'E	58°50'N	80 m
Polska Poland	Rychtal	8	17°55'E	51°08'N	190 m
Słowacja Slovakia	Zahorie	16	17°03'E	48°16'N	160 m

Tabela 2

Istotność zmiennych analizy wariancyjnej (test *F*) dla różnych cech.

Table 2

Results of *F* test after variance analysis.

Źródło zmienności Source of variation	P	L	O	P × L	P × O	L × O	P × L × O	R
Stopnie swobody Degrees of freedom	2	1	5	2	10	5	10	2
Cecha Traits								
Wysokość drzewa Tree height	*	**		**				–
Pierśnica DBH	–	*		–				–
Długość pędu Shoot length	**	*	**	*	–	*	–	–
Średnica pędu Shoot diameter	–	**	**	–	–	*	–	*
Długość igieł Needle length	**	**	**	**	–	*	–	–
Liczba pączków Buds number	–	–	**	–	–	–	–	*
Sucha masa 1 pączka Mean weight of bud	–	–	**	–	–	–	–	**
Sucha masa igieł Needles dry weight	–	**	**	–	–	**	–	**
Procent suchej masy igieł Percent of needle d.w.	**	*	–	–	–	–	–	–
Sucha masa 1 igły Mean d.w. of needle	–	**	**	–	–	**	–	**
Sucha masa drewna Wood dry weight	**	**	**	–	–	**	–	*
Sucha masa kory Bark dry weight	*	**	**	–	–	**	–	**

Źródło zmienności / Source of variation:

P – proveniencje / provenances

L – lokalizacje / localizations

O – okółki / whorls

– brak istotnego zróżnicowania / non-significant;

\* istotność na poziomie 0,05 / significant at 0.05 level;

\*\* istotność na poziomie 0,01 / significant at 0.01 level.

reprezentowana przez 9 losowo wybranych drzew (po 3 w trzech powtórzeniach). W marcu 1995 roku pomierzono wysokości i pierśnice tych drzew oraz pobrano do pomiarów biometrycznych całe pędy szczytowe ostatniego przyrostu z sześciu górnych okółków każdego drzewa. Na zebranym materiale wykonano pomiary całkowitej długości pędu od podstawy do pączka szczytowego, średnicy pędu w połowie jego długości, świeżej i suchej masy wszystkich igieł, suchej masy 50 par igieł, długości igieł, suchej masy drewna oraz kory wraz z łykiem, liczby pączków i suchej masy pączków oraz określono procentowy udział suchej masy igieł w ich świeżej masie.

Otrzymane wyniki poddano analizie wariancyjnej. Istotności różnic wyrażone wartościami współczynnika  $F$  Snedecora podano w tabeli 2. Na podstawie wyników pomiarów obliczono ponadto wskaźnik średniej suchej masy jednego milimetra długości igły oraz stosunek świeżej masy igieł do świeżej masy pędu.

## WYNIKI

## A. Wpływ lokalizacji

Analiza wariancyjna wykazała istotny wpływ lokalizacji powierzchni doświadczalnej na wysokość badanych drzew i ich pierśnicę oraz na wielkość i masę poszczególnych organów z wyjątkiem pączków (tab. 2), których średnia liczba na pędzie oraz średnia sucha masa jednego pączka były takie same na obu powierzchniach.

Tabela 3

Średnie dla powierzchni doświadczalnych wartości mierzonych cech.

Table 3

Mean values of measurements for experimental areas.

Cecha / Traits	Lokalizacja powierzchni doświadczalnej Localization	
	Kórnik	Czapury
Wysokość drzew (m) Tree height	6,50	4,52
Pierśnica (cm) DBH	8,9	7,5
Długość pędu (cm) Shoot length	36,5	33,4
Średnica pędu (mm) Shoot diameter	6,8	6,0
Długość igieł (mm) Needle length	79	62
Sucha masa igieł (g) Needles dry weight	16,2	9,4
Procent suchej masy igieł (%) Percent of needle dry weight	45,2	45,9
Sucha masa 1 igły (mg) Mean dry weight of needle	34,5	26,5
Sucha masa drewna (g) Wood dry weight	3,8	2,6
Sucha masa kory (g) Bark dry weight	3,0	2,2
Stosunek świeżej masy igieł do pędu Ratio of needles to shoots in f.w.	1,94	1,56
Średnia sucha masa 1 mm igły (mg) Mean needle d.w. per 1 mm of length	0,44	0,43

Średnia wysokość drzew w Kórniku wynosiła 6,50 m, a średnica 8,9 cm, podczas gdy w Czapurach odpowiednie wartości wynosiły 4,52 m i 7,5 cm (tab. 3). Słaby wzrost drzew na powierzchni w Czapurach odzwierciedlił się również w przyrostach rocznych. Pędy szczytowe były średnio krótsze o 3 cm i lżejsze o 22 g, stąd też suche masy drewna, kory i igieł miały niższe wartości. Długość igieł wynosiła w Czapurach 62 mm, podczas gdy w Kórniku 79 mm. Natomiast igły w Czapurach posiadały nieco wyższy niż w Kórniku procentowy udział suchej masy w ich świeżej masie, charakteryzowały się zatem mniejszym uwodnieniem tkanek.

Stosunek świeżej masy wszystkich igieł na pędzie do świeżej masy pędu (pączki, drewno i kora) wynosił w Kórniku średnio 1,94, natomiast w Czapurach 1,56. Wskaźnik suchej masy 1 mm długości igły był podobny u drzew z obu lokalizacji i wynosił odpowiednio 0,44 dla Kórnika i 0,43 dla Czapur.

## B. Zróznicowanie proveniencyjne

Badane populacje różniły się statystycznie istotnie między sobą pod względem wysokości drzew, wielkości przyrostu długości pędów szczytowych, długości igieł, procentu suchej masy igieł w stosunku do ich świeżej masy oraz pod względem suchej masy drewna i kory (tab. 2).

Średnie wartości mierzonych cech dla proveniencji.

Tabela 4

Mean values of measurements for provenances.

Table 4

Cecha / Traits	Proveniencja / Provenances		
	Serebryanskoe	Rychtal	Zahorie
Wysokość drzew (m) Tree height	5,09	6,00	5,47
Długość pędu (cm) Shoot length	31,5	37,5	35,8
Długość igieł (mm) Needle length	63	78	70
Procent suchej masy igieł (%) Percent of needle dry weight	46,6	45,2	44,8
Sucha masa drewna (g) Wood dry weight	2,5	3,9	3,3
Sucha masa kory (g) Bark dry weight	2,3	3,0	2,4
Stosunek świeżej masy igieł do pędu Ratio of needles to shoots in f.w.	1,95	1,65	1,81
Średnia sucha masa 1 mm igły (mg) Mean needle d.w. per 1 mm of length	0,46	0,41	0,43

Spośród badanych populacji, drzewa polskiej proveniencji z nadleśnictwa Rychtal osiągnęły najwyższą średnią wysokość – 6,0 m, nieco niższe były drzewa proveniencji słowackiej Zahorie – 5,47 m, a najniższe rosyjskiej Serebryanskoe – 5,09 m (tab. 4). Takie samo uszeregowanie populacji dotyczy pozostałych cech różnicujących proveniencje, z wyjątkiem procentu suchej masy igieł w ich świeżej masie, który jest najwyższy dla igieł proveniencji północnorosyjskiej Serebryanskoe. A zatem w zależności od proveniencji, całkowita długość pędu rocznego wahała się od 31,5 cm do 37,5 cm, długość igieł od 63 mm do 78 mm, sucha masa drewna od 2,5 g do 3,9 g i sucha masa kory od 2,3 g do 3,0 g (tab. 4).

Wartość stosunku świeżej masy igieł do świeżej masy pędu jest najwyższa dla proveniencji północnorosyjskiej Serebryanskoe i wynosi 1,95, nieco niższa dla proveniencji Zahorie ze Słowacji – 1,81 i najniższa dla proveniencji polskiej Rychtal – 1,65. Wartości wskaźnika suchej masy 1 mm długości igły szeregują proveniencje w tej samej kolejności i wynoszą odpowiednio 0,46, 0,43 i 0,41.

### C. Różnice między okółkami drzewa

Długość pędów szczytowych oraz sucha masa poszczególnych organów, to znaczy igieł, drewna i kory, a także średnia masa jednego pączka, przyjmują coraz mniejsze wartości w poszczególnych okółkach w kierunku od wierzchołka drzewa do podstawy korony (tab. 5). Różnice między dwoma pierwszymi górnymi okółkami są nieznaczne, jednak począwszy od trzeciego okółka obserwujemy już bardzo wyraźny spadek wartości poszczególnych cech. I tak w szóstym dolnym okółku drzewa, w porównaniu z pierwszym górnym, długość igieł jest mniejsza o 22%, masa pojedynczej igły o 50%, a masa wszystkich igieł na pędzie o 75%. Długość pędu jest mniejsza o 65%, natomiast sucha masa drewna i kory odpowiednio o 93% i 88%.

Stosunek świeżej masy igieł do świeżej masy pędu przybiera coraz wyższe wartości w kierunku od wierzchołka drzewa do jego podstawy i wynosi 1,45 dla pierwszego okółka od góry, a 4,64 dla szóstego. Natomiast wskaźnik suchej masy 1 mm długości igły wynosi 0,53 w pierwszym górnym okółku drzewa i systematycznie maleje w dół korony drzewa, przyjmując wartość 0,31 w szóstym okółku.

### D. Wpływ interakcji proveniencji i lokalizacji

Niektóre cechy, a przede wszystkim średnia wysokość drzew i długość igieł zależą od wzajemnego oddziaływania proveniencji i lokalizacji powierzchni doświadczalnych (tab. 2). W mniejszym stopniu (istotnie na poziomie 0,05), interakcja ta wpływa na długość pędów szczytowych.

W warunkach kontrolnych, na powierzchni zlokalizowanej w Kórniku, najwyższe okazały się drzewa proveniencji Rychtal z Polski – 7,68 m, wyraźnie dystansując

Średnie wartości mierzonych cech dla okółków.

Tabela 5

Mean values of measurements for whorls.

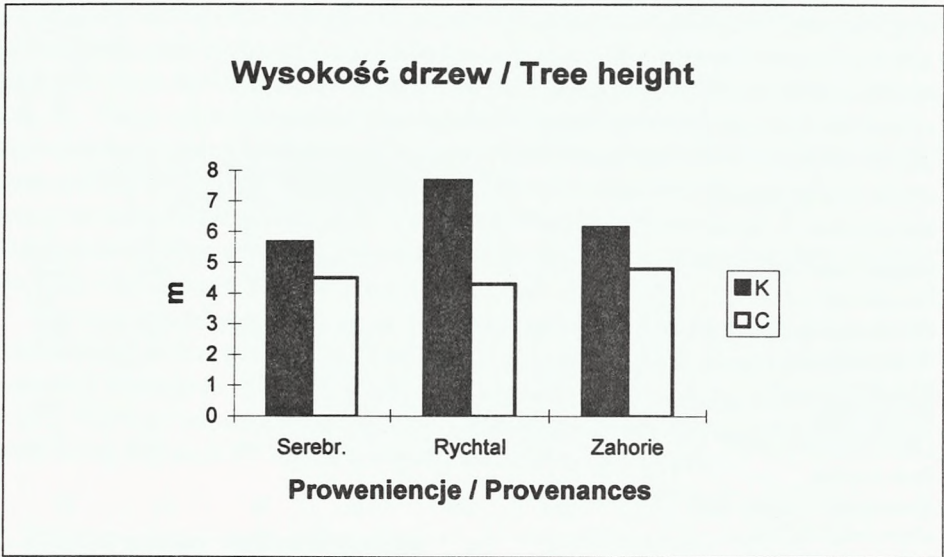
Table 5

Cecha / Traits	Kolejny numer okółka od wierzchołka drzewa Whorl number from tree top					
	1	2	3	4	5	6
Długość pędu (cm) Shoot length	46,6	46,1	41,8	31,8	26,9	16,6
Średnica pędu (mm) Shoot diameter	8,6	8,5	7,7	5,5	4,7	3,3
Długość igieł (mm) Needle length	78	74	73	69	66	61
Liczba pączków (szt.) Buds number	6,2	5,9	5,5	4,6	4,6	3,3
Sucha masa 1 pączka (mg) Mean weight of bud	154	155	112	74	61	27
Sucha masa igieł (g) Needles dry weight	18,5	19,1	16,1	10,1	8,5	4,6
Sucha masa 1 igły (mg) Mean dry weight of needle	41	37	35	29	25	19
Sucha masa drewna (g) Wood dry weight	5,9	5,6	4,3	1,8	1,3	0,4
Sucha masa kory (g) Bark dry weight	4,3	4,2	3,3	1,8	1,4	0,5
Stosunek świeżej masy igieł do pędu Ratio of needles to shoots in f.w.	1,45	1,61	1,80	2,43	2,71	4,64
Średnia sucha masa 1 mm igły (mg) Mean needle d.w. per 1 mm of length	0,53	0,50	0,48	0,42	0,38	0,31

pozostałe, to znaczy proveniencje Zahorie – 6,15 m i Serebryanskoe – 5,67 m (ryc. 1). Na powierzchni doświadczalnej w Czapurach drzewa były znacznie niższe, osiągając odpowiednio 4,29 m, 4,79 m i 4,50 m wysokości. Zwraca przy tym uwagę fakt najmniejszej wysokości drzew proveniencji Rychtal.

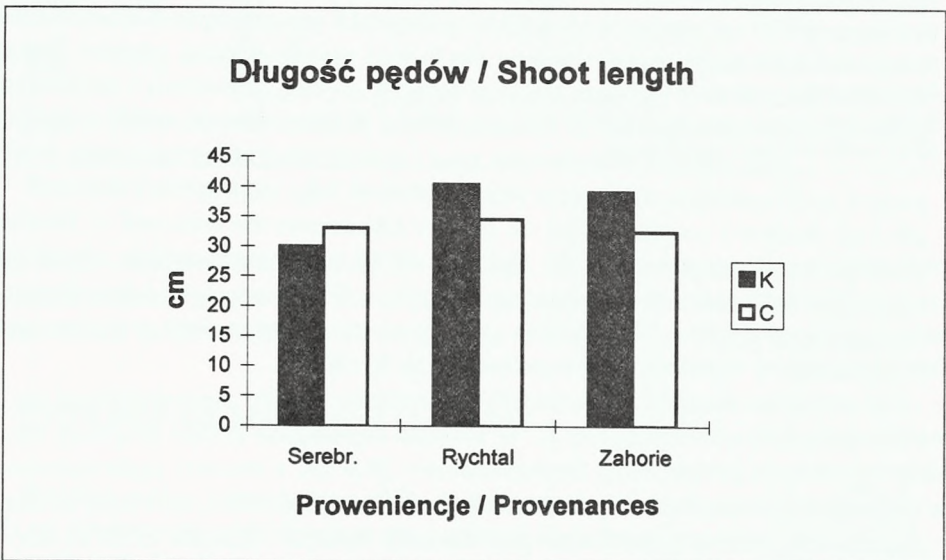
Pod względem długości pędów szczytowych różnice między poszczególnymi proveniencjami były niewielkie (ryc. 2). W Kórniku najmniejsze średnie przyrosty wykazywały drzewa proveniencji Serebryanskoe – 30,0 cm, a warunki środowiskowe w Czapurach nie spowodowały ich zmniejszenia, lecz przeciwnie, niewielki wzrost – do 33,1 cm. Natomiast u drzew proveniencji Rychtal i Zahorie obserwujemy w Czapurach zmniejszenie przyrostów w porównaniu z Kórnikiem odpowiednio o 5,8 cm i 6,7 cm.

Podobny obraz otrzymujemy na histogramie przedstawiającym długość igieł (ryc. 3). Na powierzchni w Kórniku najdłuższe igły miały drzewa proveniencji



Ryc. 1. Średnia wysokość drzew badanych proveniencji na powierzchni doświadczalnej w Kórniku (K) i Czapurach (C).

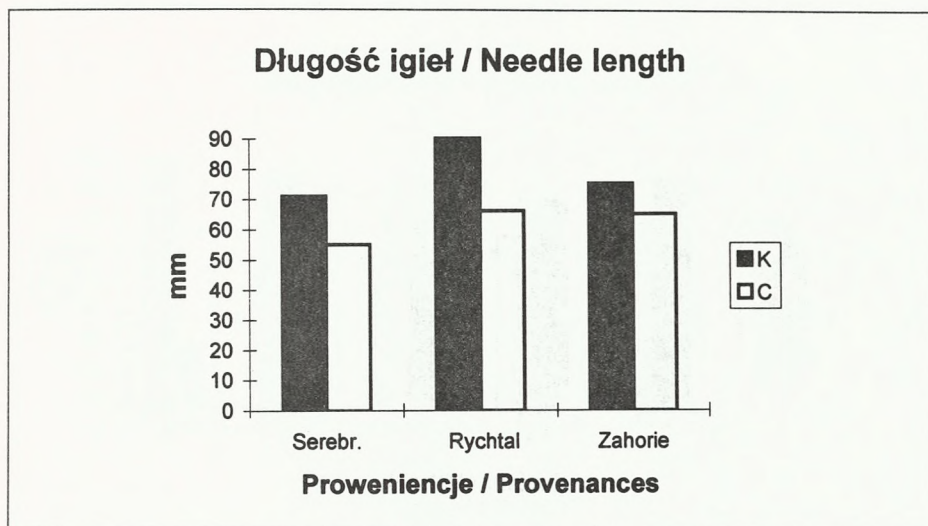
Fig. 1. Mean tree height of the studied provenances for the experimental areas in Kórnik (K) and Czapury (C).



Ryc. 2. Średnia dla proveniencji długość pędów szczytowych na powierzchni doświadczalnej w Kórniku (K) i Czapurach (C).

Fig. 2. Mean shoot length of the studied provenances for the experimental areas in Kórnik (K) and Czapury (C).





Ryc. 3. Średnia długość igieł u drzew badanych proveniencji na powierzchni doświadczalnej w Kórniku (K) i Czaporach (C).

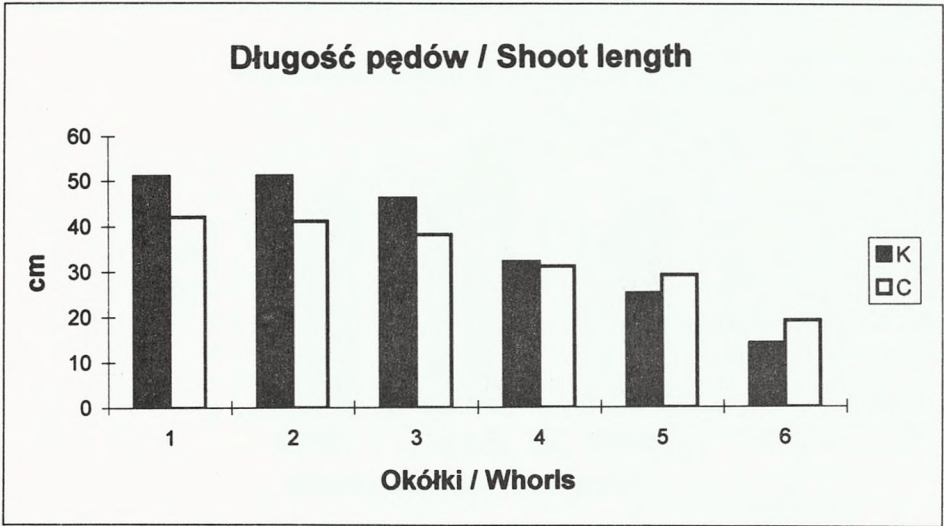
Fig. 3. Mean needle length of the studied provenances for the experimental areas in Kórnik (K) and Czaporach (C).

Rychtal – 90 mm, a znacznie krótsze proveniencji Zahorie i Serebryanskoe, odpowiednio 75 mm i 71 mm. W Czaporach igły były znacznie krótsze, i to u drzew każdej proveniencji, przy czym w przypadku proveniencji Rychtal i Zahorie ich długości wynosiły odpowiednio 66 mm i 65 mm. Proveniencja Serebryanskoe zajmuje w Czaporach trzecie miejsce pod względem omawianej cechy z igłami długości 55 mm.

#### E. Wpływ interakcji między lokalizacją powierzchni doświadczalnej a poziomem w koronie drzewa

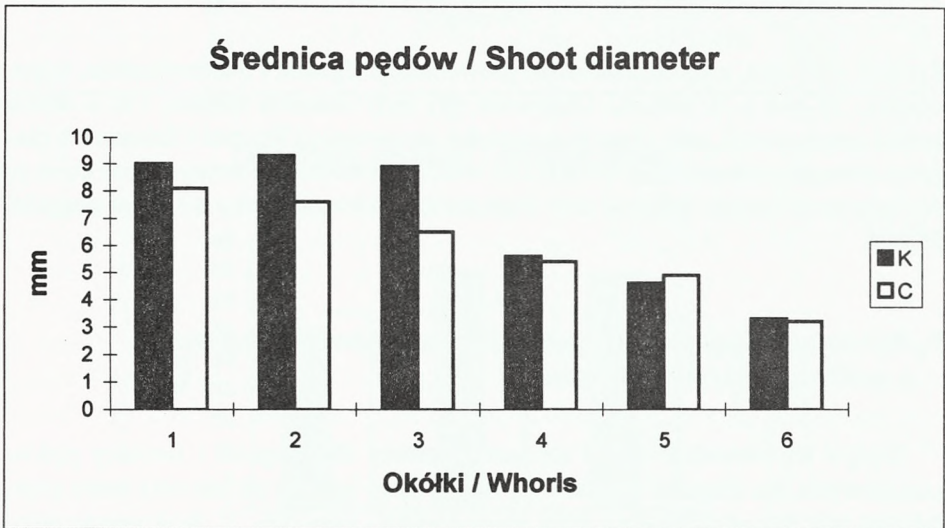
Wpływ tej interakcji okazał się bardzo istotny dla długości i średnicy pędów szczytowych, dla długości i całkowitej suchej masy igieł na pędzie oraz masy pojedynczej igły, jak również dla suchej masy drewna i kory (tab. 2). Praktycznie tylko cechy pączków nie zależały od wpływu tej interakcji.

Przedstawiony histogram (ryc. 4) jest charakterystyczny dla zależności mierzonej cechy od wzajemnego wpływu lokalizacji powierzchni i umiejscowienia pędu w koronie drzewa. Wspomniany już spadek wartości długości pędu szczytowego w kierunku dolnej części korony drzewa jest wyraźniejszy i bardziej zróżnicowany w Kórniku niż w Czaporach. Stąd w trzech górnych okółkach drzewa bieżące przyrosty pędów szczytowych na powierzchni w Czaporach są wyraźnie mniejsze niż w Kórniku.



Ryc. 4. Średnia długość pędów szczytowych w różnych okółkach drzewa na powierzchni doświadczalnej w Kórniku (K) i Czapurach (C).

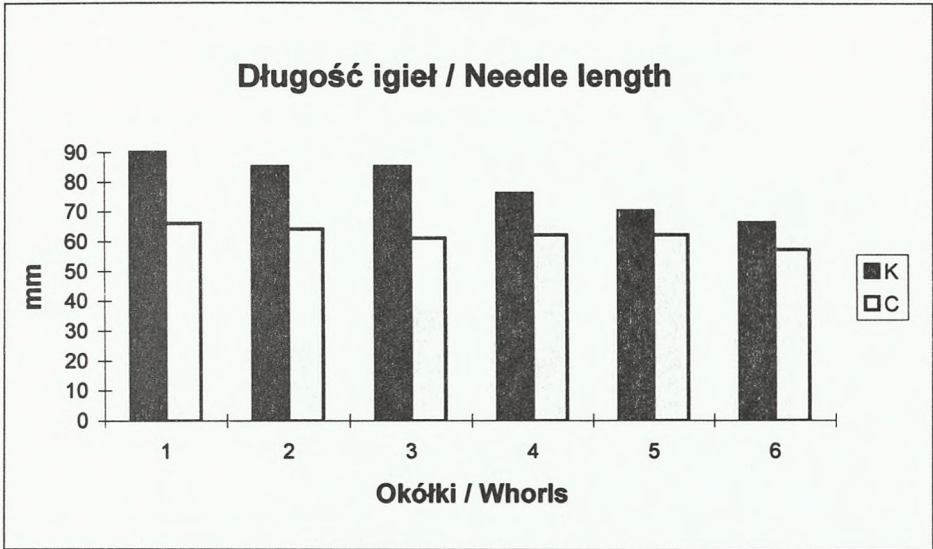
Fig. 4. Mean shoot length in whorls for the experimental areas in Kórnik (K) and Czapury (C).



Ryc. 5. Średnica pędów szczytowych w różnych okółkach drzewa na powierzchni doświadczalnej w Kórniku (K) i Czapurach (C).

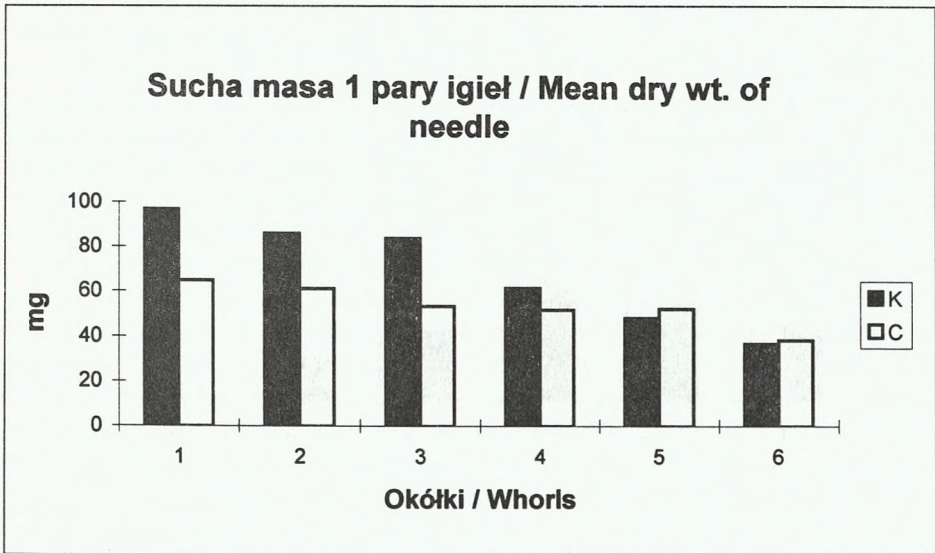
Fig. 5. Mean shoot diameter in whorls for the experimental areas in Kórnik (K) and Czapury (C).

niku, podczas gdy w dolnych okółkach drzewa przyrosty pędów w Czapurach są podobne, a nawet większe, jak na przykład w czwartym, piątym i szóstym okółku. Podobny układ histogramów dotyczy średnicy pędu w połowie jego długości (ryc. 5).



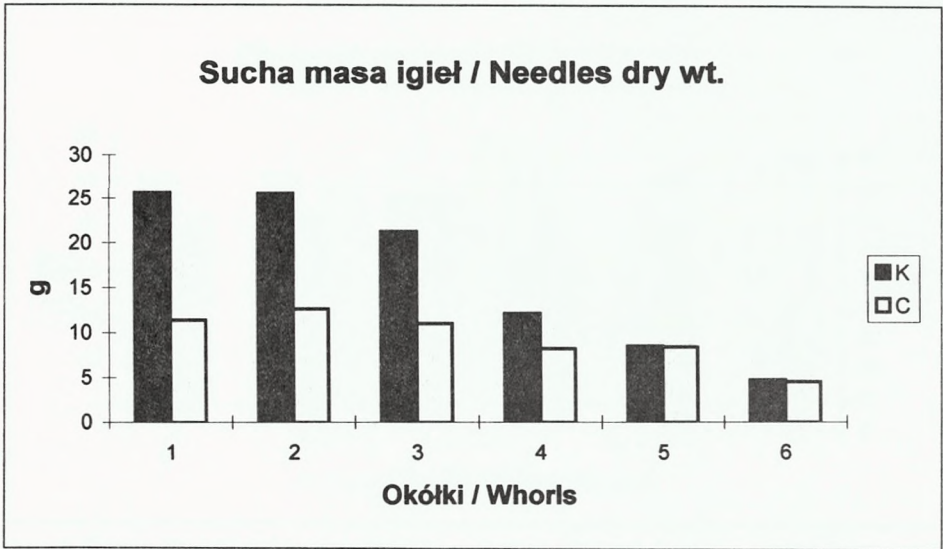
Ryc. 6. Średnia długość igieł w różnych okółkach drzewa na powierzchni doświadczalnej w Kórniku (K) i Czapurach (C).

Fig. 6. Mean needle length in whorls for the experimental areas in Kórnik (K) and Czapury (C).



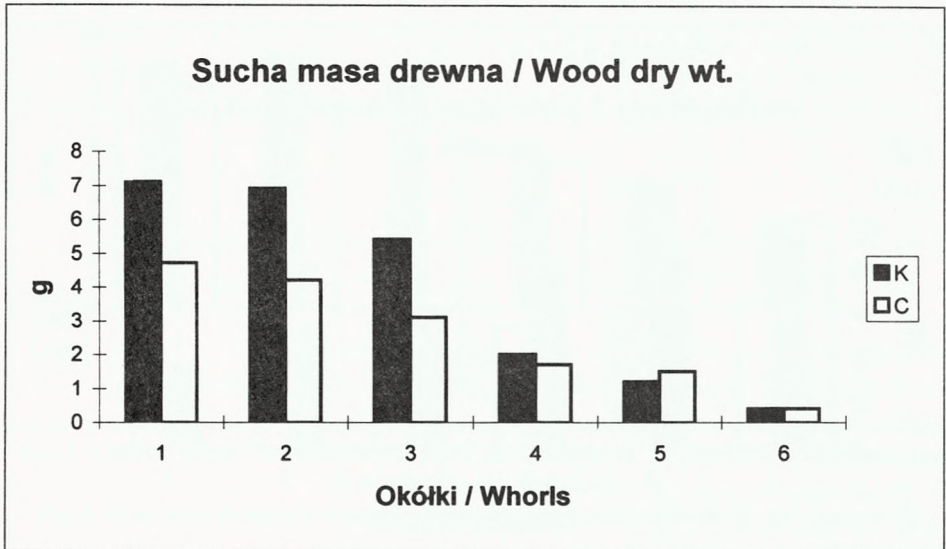
Ryc. 7. Średnia sucha masa 1 pary igieł w różnych okółkach drzewa na powierzchni doświadczalnej w Kórniku (K) i Czapurach (C).

Fig. 7. Mean dry weight of needle in whorls for the experimental areas in Kórnik (K) and Czapury (C).



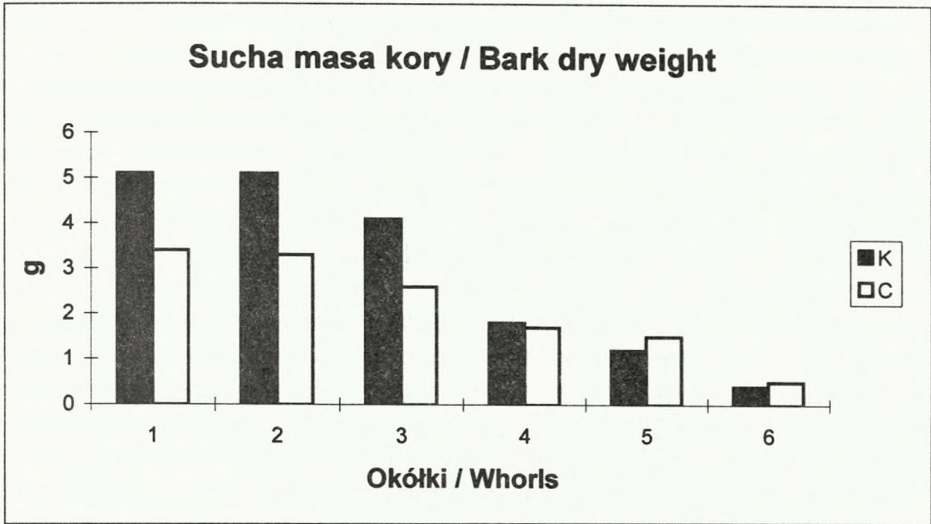
Ryc. 8. Średnia sucha masa igieł pędów szczytowych w różnych okółkach na powierzchni doświadczalnej w Kórniku (K) i Czapurach (C).

Fig. 8. Mean needle dry weight of shoots in whorls for the experimental areas in Kórnik (K) and Czapury (C).



Ryc. 9. Średnia sucha masa drewna pędów szczytowych w różnych okółkach drzewa na powierzchni doświadczalnej w Kórniku (K) i Czapurach (C).

Fig. 9. Mean wood dry weight of shoots in whorls for the experimental areas in Kórnik (K) and Czapury (C).



Ryc. 10. Średnia sucha masa kory pędów szczytowych w różnych okółkach drzewa na powierzchni doświadczalnej w Kórniku (K) i Czapurach (C).

Fig. 10. Mean bark dry weight of shoots in whorls for the experimental areas in Kórnik (K) and Czapury (C).

Na powierzchni doświadczalnej w Kórniku charakterystyczna była duża różnica w wartościach tej cechy między trzema górnymi okółkami, które praktycznie były mało zróżnicowane, a czwartym okółkiem. W Czapurach średnica pędu zmniejszała się równomiernie ku podstawie korony drzewa.

W porównaniu z powierzchnią w Kórniku, igły u drzew rosnących w Czapurach były znacznie krótsze i słabiej zróżnicowane w poszczególnych okółkach (ryc. 6). Należy zaznaczyć, że nawet w dolnych okółkach drzew, długość igieł w Czapurach była mniejsza niż w Kórniku. Natomiast sucha masa jednej pary igieł w dwóch najniższych okółkach drzewa była większa w Czapurach niż w Kórniku (ryc. 7), w pozostałych okółkach odwrotnie.

Również pod względem suchej masy wszystkich igieł na pędzie, a także masy drewna czy kory, stwierdzono duże różnice między Kórnikiem a Czapurami w wartościach dla górnych okółków i brak różnic dla dwóch najniższych badanych okółków (ryc. 8, 9 i 10). Ponadto na powierzchni w Kórniku największe różnice w wartościach wyżej wymienionych cech zaznaczyły się między trzecim a czwartym okółkiem.

#### DYSKUSJA

Wiele czynników wpływa na wzrost i rozwój drzewa, a wśród nich właściwości genetyczne, jakość siedliska oraz lokalne czynniki bioekologiczne. O wpływie potencjału genetycznego informują nas proveniencyjne doświadczenia porównawcze.

Ze względu na bardzo szeroki zasięg geograficzny naturalnego występowania, sosna zwyczajna charakteryzuje się dużą genetyczną zmiennością cech morfologicznych. Zostało to wielokrotnie opisane w licznych publikacjach (Przybylski 1972, Giertych 1993, Staszkiwicz 1993). Potwierdzają to wyniki analizy wariacyjnej różnych cech przedstawione w tabeli 2. Ze względu na małą liczbę badanych populacji, trudno na podstawie wyników tego doświadczenia wnioskować o klinalnym charakterze zmienności jakiegokolwiek cechy, niemniej jednak można w nawiązaniu do literatury stwierdzić zgodność czy potwierdzenie uzyskiwanych uprzednio danych na temat zmienności sosny, również o charakterze klinalnym.

Najważniejszą cechą charakteryzującą badane populacje jest wysokość drzew oraz ich pierśnica. Spośród badanych proveniencji, polska z nadleśnictwa Rychtal wykazała średnio najlepszy wzrost wysokości i grubości pnia, charakteryzowała się też największym bieżącym przyrostem pędów szczytowych gałęzi okółkowych. Średnia wysokość drzew badanych proveniencji jest zgodna z wynikami pracy Oleksyna i Rachwała (1994) i kolejność tych populacji jest taka sama, jak na doświadczalnej powierzchni porównawczej w Niepołomicach. Potwierdzone zostały zatem doniesienia o najlepszym wzroście sosen z centralnej Europy i o słabszym wzroście sosen zarówno z północnej Rosji, jak i z południa Europy oraz doniesienia o klinalnym charakterze zmienności tej cechy dla proveniencji środkowo- i północnoeuropejskich (Gunia i Żybura 1989).

Badane proveniencje różnią się istotnie także pod względem długości igieł i stopnia ich uwodnienia. Różnicuje je zatem jakość aparatu asymilacyjnego, który poprzez produkcję asymilatów wpływa znacząco na rozwój pozostałych organów drzewa. Najdłuższe igły mają drzewa proveniencji Rychtal, a najkrótsze północno-rosyjskiej Serebrianskoe. Potwierdza to wyniki uzyskane w doświadczeniu założonym w Puszczy Niepołomickiej, również pod względem tej cechy (Oleksyn i Rachwał 1994).

Należy zwrócić uwagę, że najlepiej rosnące drzewa populacji Rychtal charakteryzują się najniższą wartością stosunku świeżej masy igieł do świeżej masy pędu (tab. 4). W tym przypadku wartość tego stosunku nie charakteryzuje stopnia defoliacji pędów, czyli zmian ilościowych w aparacie asymilacyjnym, lecz wykazuje zmiany jakościowe, które mogą wynikać z wyższej wydajności fotosyntetycznej igieł drzew tej proveniencji. W porównaniu z proveniencją Serebrianskoe, lepiej rosnące drzewa populacji Rychtal i Zahorie mają też niższy procent suchej masy igieł w stosunku do ich świeżej masy, co oznacza silniejsze uwodnienie igieł. O dużym znaczeniu aparatu asymilacyjnego dla wzrostu i produktywności drzew może świadczyć dodatnia istotna korelacja między wysokością drzew i długością igieł (Oleksyn i Rachwał 1994). Długość igieł nie koreluje natomiast z wiekiem drzewa (Lemke i Woźniak 1992), jest to zatem cecha związana z pochodzeniem, a nie ze stadium rozwojowym sosny. W dużym stopniu cecha ta jest związana z aktualnymi warunkami klimatu. Według Staszkiwicza (1993) długość igieł charakteryzuje rasy sosny w obrębie całego zasięgu. Populacje o bardzo krótkich igłach występują w północnej Szwecji,

Norwegii, Finlandii i w okolicach Murmańska w Rosji. W badaniach porównawczych proveniencje z centralnej Europy miały najdłuższe igły, a z południowych rejonów zasięgu sosny, najkrótsze (King 1965). Wiele danych przemawia za tym, że w pewnych regionach zasięgu sosny cecha ta jest skorelowana odwrotnie z szerokością geograficzną i wzniesieniem stanowiska nad poziomem morza. Uzyskane wyniki oraz dane z literatury wskazują na to, że długość szpilek sosny jest utrwaloną cechą genetyczną, charakterystyczną dla określonej rasy, wykazującą w niektórych regionach naturalnego zasięgu występowania tego gatunku zmienność o charakterze klinalnym. Według klasyfikacji Ruby'ego i Wrighta (1976), badane w niniejszym doświadczeniu sosny reprezentują różne odmiany geograficzne o znacznie różniących się cechach morfologicznych. I tak, proveniencja Serebryanskoe należy do *Pinus sylvestris* var. *rossica* Svoboda, proveniencja Rychtal do *P.s.* var. *polonica* Svoboda, a Zahorie do *P.s.* var. *carpatica* Domin. (Ruby i Wright 1976).

Różnice między lokalizacjami powierzchni doświadczalnych są istotne dla wszystkich badanych cech, z wyjątkiem cech dotyczących pączków szczytowych. W porównaniu z Kórnikami, na powierzchni doświadczalnej w Czapurach, będącej pod wpływem emisji przemysłowych i związanym z tym zanieczyszczeniem środowiska, drzewa są o 30% niższe, ich pędy szczytowe o 8% krótsze, pojedyncze igły o 22% krótsze i lżejsze, całkowita masa igieł na pędach szczytowych o 42% mniejsza, a masa drewna i kory mniejsza odpowiednio o 35% i 30%. Porównanie średnich dla lokalizacji wartości stosunków masy igieł do całych pędów (tab. 4) świadczy o większej szkodliwości zanieczyszczeń dla aparatu asymilacyjnego niż dla pozostałych organów drzewa. Ponieważ do analiz pobierano zdrowe pędy, bez widocznych objawów ich uszkodzeń w formie przebarwień, nekroz czy przedwczesnego opadu igieł, stąd obliczone wartości charakteryzują raczej cechy jakościowe, a nie ilościowe badanego materiału roślinnego. Sierota (1991) proponuje jako wskaźnik stopnia zanieczyszczenia środowiska wartość suchej masy 1 mm długości igły. W tym doświadczeniu średnie wartości obliczone dla obu powierzchni doświadczalnych niewiele różnią się między sobą (tab. 4) i nie stanowią odzwierciedlenia niekorzystnego wpływu, jaki wywiera zakład przemysłowy w Luboniu na badane drzewa rosnące w Czapurach. Wszystkie uzyskane wyniki świadczą o negatywnym wpływie skażeń na przyrost, ale poszczególne cechy różnie reagują na niekorzystne warunki.

W porównaniu z innymi gatunkami drzew, sosna zwyczajna jest bardzo wrażliwa na zanieczyszczenia środowiska (Białobok 1984, Krause 1987), chociaż tolerancyjna na obecność jonów glinu w podłożu (Konwińska 1995). Wpływ emisji przemysłowych objawia się w postaci zakłóceń w przebiegu procesów fizjologicznych oraz w zmianach cech morfologicznych (Białobok 1980). Badane w niniejszym doświadczeniu proveniencje różnią się między sobą pod względem wrażliwości na niekorzystne warunki środowiskowe w Czapurach. Stąd istotna wartość interakcji między proveniencjami a lokalizacją dla ważnych cech, takich jak wysokość drzew, długość pędów szczytowych czy długość igieł. Najlepiej rosnące na powierzchni w Kórniku drzewa proveniencji Rychtal, w Czapurach wykazują najstabszy wzrost wysokości i są tam

niższe o 44%. Sosny z populacji Serebryanskoe i Zahorie okazały się mniej wrażliwe, a ich wysokość w Czapurach jest mniejsza tylko o około 20% w porównaniu z Kórnikiem. Dane te potwierdzają wyniki wcześniejszych obserwacji Oleksyna i Białoboka (1986), Oleksyna (1988) oraz Oleksyna i in. (1992) o zróżnicowaniu proveniencyjnym oraz o wyższej wrażliwości drzew z populacji dobrze rosnących w normalnych, nieskażonych warunkach środowiskowych.

Przedstawione wyniki wykazują bardzo duże różnice między pędami z różnych okółków. Im niżej w koronie drzewa znajduje się pęd, tym wartości dla różnych cech są niższe, ale w największym stopniu zmniejsza się masa drewna i kory, odpowiednio o 94% i 91% w szóstym okółku w porównaniu z pierwszym, masa wszystkich igieł na pędzie o 75%, masa jednej igły o 50%, a jej długość o 22%. Są to wartości średnie, bowiem w warunkach zanieczyszczenia środowiska w Czapurach, drzewa wykazują odmienną charakterystykę pędów szczytowych w poszczególnych okółkach. Stąd istotny wpływ interakcji między lokalizacjami powierzchni a rozmieszczeniem okółków w koronie drzewa, statystycznie istotny dla bardzo licznych cech. Struktura budowy pędów szczytowych w dolnych okółkach drzew jest podobna w Kórniku i w Czapurach i brak różnic w ich cechach morfologicznych, które były przedmiotem obserwacji w niniejszym doświadczeniu. Natomiast w górnych okółkach, a szczególnie w pierwszych trzech od wierzchołka drzewa, wartości mierzonych cech są zdecydowanie wyższe na powierzchni doświadczalnej w Kórniku niż w Czapurach.

Uzyskane wyniki świadczą o dużym, a zarazem zróżnicowanym wpływie zanieczyszczonego środowiska na cechy morfologiczne poszczególnych organów sosny, stanowiące tylko pośrednie kryterium oceny stanu fizjologicznego badanych drzew i wskazują na potrzebę dalszych badań porównawczych, na przykład nad rozmieszczeniem substancji odżywczych w koronach tych drzew. Takie badania pozwolą lepiej poznać relacje między kondycją drzew w zdegradowanym środowisku a produktywnością nasion.

#### LITERATURA

- BIAŁOBOK S., 1980. Pine forest in a polluted environment. Papers IUFRO Symp. on Scots Pine Forestry of the Future. Kórnik, Poland: 77-93.
- BIAŁOBOK S., 1984. Controlling atmospheric pollution. W: TRESHOW M. (red.). Air Pollution and Plant Life: 451-478. John Wiley and Sons Ltd., Chichester-New York.
- CHAŁUPKA W. 1993. Fizjologia kwitnienia i obradzenia. W: BIAŁOBOK S., BORATYŃSKI A., BUGAŁA W. (red.) Biologia sosny zwyczajnej: 112-125. Sorus, Poznań-Kórnik.
- GIERTYCH M., 1993. Genetyka – Zmienność proveniencyjna. W: BIAŁOBOK S., BORATYŃSKI A., BUGAŁA W. (red.) Biologia sosny zwyczajnej: 325-339. Sorus, Poznań-Kórnik.
- GUNIA S., ŻYBURA H., 1989. Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) pochodzeń europejskich na uprawie porównawczej w Lasach Doświadczalnych SGGW-AR. Sylwan 133 (11-12): 7-18.
- KAROLEWSKI P., GIERTYCH M.J. 1995. Wpływ nawożenia wapniowego na poziom fenoli u sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w warunkach skażenia związkami glinu, siarki i fluoru. Arbor. Kórnickie 40: 169-184.



- KING J. P., 1965. Seed source  $\times$  environment interactions in Scots Pine. II. Needle length and color. *Silvae Genetica* 14 (5): 141-148.
- KONWIŃSKA A., 1995. Objawy toksyczności glinu u drzew. *Sylvan* 89 (4): 73-78.
- KRAUSE G.H.M., 1987. Impact of air pollutants on above-ground plant parts of forest trees. W: Paper presented at the Symposium on "Effects of air pollution on terrestrial and aquatic ecosystems". Commission of the European Communities, 18-22 May, 1987.
- LEMKE J., WOŹNIAK A., 1992. Charakterystyka niektórych ilościowych cech igieł nasłonecznionej i ocienionej części korony sosny zwyczajnej. *Sylvan* 136 (1): 7-13.
- OLEKSYN J., 1988. Height of different European Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances in a heavily polluted and a control environment. *Environmental Pollution* 1988, 55 (4): 289-299.
- OLEKSYN J., BIAŁOBOK S., 1986. Net photosynthesis, dark respiration and susceptibility to air pollution of 20 European provenances of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Environmental Pollution (Ser. A)* 40 (4): 287-302.
- OLEKSYN J., RACHWAŁ L., 1994. Wzrost europejskich populacji sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w doświadczeniu proveniencyjnym SP-IUFRO-1982 w Puszczy Niepołomickiej. *Sylvan* 88 (9): 57-69.
- OLEKSYN J., CHALUPKA W., TJOELKER M.G., REICH P.B., 1992. Geographic origin of *Pinus sylvestris* populations influences the effect of air pollution on flowering and growth. *Water, Soil, and Air Pollution* 62: 201-212.
- PRZYBYLSKI T., 1972. Variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) of Polish provenances. *Arboretum Kórnickie* 17: 121-167.
- RUBY J. L., WRIGHT J. W., 1976. A Revised Classification of Geographic Varieties in Scots Pine. *Silvae Genetica* 25: 169-175.
- SIEROTA Z., 1991. Biometryczne cechy aparatu asymilacyjnego jako pośrednie kryterium oceny kondycji życiowej sosny rosnącej w warunkach stresu. *Sylvan* 135 (4-6): 51-62.
- STASZKIEWICZ J., 1993. Zmienność morfologiczna szpilek, szyszek i nasion. W: BIAŁOBOK S., BORATYŃSKI A., BUGAŁA W. (red.) „Biologia sosny zwyczajnej”: 33-43. Sorus, Poznań-Kórnik.