

Ewa M. Pawlaczyk¹ ✉, Maria A. Bobowicz¹, Adolf F. Korczyk²

Zmienność trzech naturalnych populacji *Pinus sylvestris* L. z różnych siedlisk Puszczy Białowiejskiej oszacowana cechami igieł

Variability of three natural populations of *Pinus sylvestris* L. from different sites of Białowieża Primeval Forest estimated using needle traits

Abstract: The aim of the study was to determine the intra- and interpopulation variation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), coming from three natural sites of the Białowieża Primeval Forest. Material for analysis was collected from pine trees in fresh coniferous forest site type – *Vaccinio vitis-ideae-Pinetum* (Gruszki population), fresh mixed coniferous forest site type – *Calamagrostio arundinacea-Piceetum* (Topiło population) and in fresh deciduous forest site type – *Tilio-Carpinetum* (Teremiski population). These sites vary considerably in terms of their fertility and moisture content.

Data collected from measurements of 14 morphological and anatomical traits were used for the purpose of statistical analysis. The most important methods applied in this study include the analysis of discriminant variables, Mahalanobis distances between trees together with the minimum spanning trees created on the basis of the shortest Mahalanobis distances, as well as agglomerative clustering using the nearest neighbour method, based on Euclidean distances and the *t* distribution and the *t*-Student test.

It was found that analyzed populations differ statistically in terms of investigated traits. In fresh coniferous forest (Gruszki population) and in fresh mixed coniferous forest (Topiło population) pine is a dominant or co-dominant species and these two forest site types create optimal development conditions for pine, which is confirmed by the results obtained in this study.

Key words: Scots pine, phenotypic variation

1. Wstęp

Sosnę zwyczajną jako gatunek eurosyberyjski cechuje bardzo rozległy obszar występowania, największy spośród gatunków rodzaju *Pinus*, skutkiem czego osobniki pochodzące z różnych rejonów Europy różnią się pod względem cech anatomiczno-morfologicznych i właściwości fizjologicznych. W wielu pracach (Białobok 1967; Staszkiwicz 1970; Krzakowa 1979, Szweykowski et Urbaniak 1982, Krzakowa et al. 1994; Giertych 1988, 1995, 1997; Prus-Głowacki 1991; Białobok et al. 1993, Szweykowski et al. 1994) potwierdzono, że większość cech morfologicznych, anatomicznych, fizjologicznych i odpornościowych zmienia się w sposób ciągły, klinarny wzdłuż osi południków i równoleżni-

ków, równoległe ze zmianami warunków siedliskowych, które kształtują ostatecznie daną cechę.

Cechy składające się na fenotyp osobnika wykształcają się podczas rozwoju ontogenetycznego, pod kontrolą informacji genetycznej zakodowanej w genach. Z zygot o jednakowym genotypie mogą powstać różne fenotypowo osobniki w zależności od warunków siedliskowych, w jakich się rozwijały. Wchodzą tu w grę przede wszystkim takie czynniki jak temperatura, oświetlenie, rodzaj podłoża czy obfitość pokarmu, których znaczenie dla ukształtowania fenotypu jest bardzo ważne. Należy tu również uwzględnić czynniki pochodne, zależne od występowania organizmów innych – współżyjących we wspólnym siedlisku i współzawodniczących o pokarm i przestrzeń życiową.

¹ Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Wydział Biologii, Zakład Genetyki, Umultowska 89, 61-614 Poznań,

✉ Fax, e-mail: ewapaw@amu.edu.pl, mabwa@amu.edu.pl

² Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Lasów Naturalnych, Park Dyrekcyjny 6, 17-230 Białowieża

Celem niniejszych badań jest poznanie fenotypowej zmienności *P. sylvestris* L., pochodzącej z trzech naturalnych populacji rosnących w zróżnicowanych warunkach siedliskowych w Puszczy Białowieskiej. Puszcza Białowieska reprezentuje wszystkie typy lasów niżowych, występujących w charakterystycznych zbiorowiskach leśnych, takie jak grądy, łęgi, olsy, bory mieszane, bory sosnowe, mszary sosnowe i bory bagienne. Badano wpływ czynników środowiskowych na fenotypową zmienność sosny zwyczajnej pod względem 14 cech morfologicznych i anatomicznych igieł, zarówno w aspekcie zmienności międzyosobniczej, jak i między populacyjnej.

Dotychczas ukazało się wiele prac opisujących zmienność morfologii i anatomii igieł sosny zwyczajnej. Prace te jednak traktowały o zmienności sosny z powierzchni doświadczalnych o wyrównanych warunkach siedliskowych (Bobowicz et al. 1994, 1995, 2007, Pawlaczyk et al. 1999) i z tego samego typu siedliska (Bobowicz et al. 2001 a, b, 2005).

Niniejsza praca dotyczy zmienności trzech populacji sosny zwyczajnej z Puszczy Białowieskiej rosnących na różnych typach siedlisk: boru świeżego *Vaccinio vitis-ideae-Pinetum* (populacja Gruszki), boru mieszanego świeżego *Calamagrostio arundinacea-Piceetum* (populacja Topiło) oraz lasu świeżego *Tilio-Carpinetum* (populacja Teremiski). Siedliska te znacznie się różnią pod względem żyzności i wilgotności, jednak reprezentują warunki optymalne pod względem tych cech dla rozwoju sosny zwyczajnej.

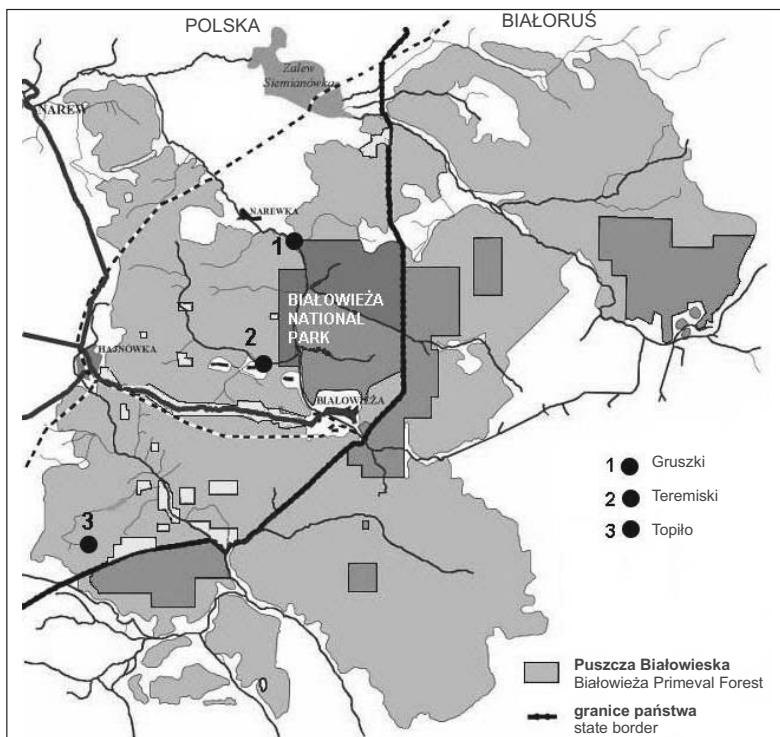
Wyniki wcześniejszych, lecz nielicznych prac prowadzonych nad zmiennością sosny z różnych siedlisk (Urbaniak 1998, Urbaniak et al. 2003, Woźniak et al. 2005) wskazywały na duże zróżnicowanie zarówno między populacyjnie, jak i międzyosobniczo sosny.

2. Materiał i metody

Materiał roślinny

Materiał badawczy stanowiły dwuletnie igły z 90 drzew sosny zwyczajnej *P. sylvestris* L. z Puszczy Białowieskiej. Puszcza ta stanowi zwarty kompleks leśny, rozciągający się na pograniczu ziem polskich i białoruskich, o łącznym obszarze 149 331 ha. Lasy tworzące Puszcę Białowieską stanowią odrębne jednostki – w części białoruskiej jest to Puszcza Świsłocka i reszta Puszczy Szereszewskiej, natomiast w części polskiej – Puszcza Ładzka (Sokołowski 1994). W Polsce 8,6% stanowi Białowiecki Park Narodowy, w którym rezerwat ścisły obejmuje 4 747,17 ha. W roku 1977 ścisły rezerwat Białowieckiego Parku Narodowego został przez UNESCO uznany za rezerwat biosfery, a dwa lata później wpisany na listę Światowego Dziedzictwa Ludzkości (Korczyk 1994).

Materiał do badań pochodził z trzech naturalnych siedlisk Puszczy Białowieskiej (ryc. 1) należących do zespołu: *Tilio-Carpinetum* – populacja Teremiski; *Vaccinio vitis-ideae-Pinetum* – populacja Gruszki; *Calama-*



Rycina 1. Lokalizacja badanych populacji
Figure 1. Location of studied populations
(http://www.parki.pl/parki_narodowe/bialowiecki_pn/turystyka/mapy.htm)

grostio arundinacea-Piceetum – populacja Topiło. Siedliska te różnią się pod względem żyzności i wilgotności (Korczyk 1994).

Las świeży *Tilio-Carpinetum* – siedlisko z moderem mułowym i mułem typowym, bez wyraźnego wpływu wody gruntowej, umiarkowanie świeże; poziom wody gruntowej głęboki; gleby brunatne lub płowe z piasków lodowcowych lub glin zwałowych; jest to żyzny las liściasty, w skład którego wchodzi: grab, dęby, lipa, klony, a także w znacznie mniejszym stopniu świerk.

Bór świeży *Vaccinio vitis-ideae-Pinetum* – siedlisko bez wyraźnego wpływu wody gruntowej (poniżej 1,5 m), umiarkowanie świeże, z piasków i żwirów sandrowych oraz rzecznych; drzewostany tego boru składają się głównie z sosny i świerka z pojedynczą domieszką brzozy i innych gatunków.

Bór mieszany świeży *Calamagrostio arundinacea-Piceetum* – siedlisko na ubogich piaszczystych glebach bielcowych z niskim poziomem wód gruntowych; drzewostan to subborealna odmiana *Serratulo-Pinetum*, odznacza się obecnością świerka jako subdominanta, brak natomiast w nim dębu (Matuszkiewicz i Matuszkiewicz 1973).

Metody

Z każdej populacji wybrano losowo 30 drzew i pobrano losowo 10 krótkopędów. W sumie przebadano 900 krótkopędów, po 300 z każdej populacji. Jedną igłą z krótkopędu posłużyła do wykonania preparatu z jej przekrojem poprzecznym, w celu zbadania cech anatomicznych, natomiast druga została użyta do badania cech morfologicznych. Przeanalizowano 14 cech morfologicznych i anatomicznych (tab. 1). Badane cechy zostały opisane w wielu wcześniejszych pracach (Bobowicz et al. 1994, 1995, 2001 a, b, 2005, Pawlaczyk et al. 1999).

Uzyskane dane biometryczne zostały następnie wprowadzone do programu statystycznego STATISTICA PL firmy StatSoft, w którym obliczono: charakterystyki zastosowanych cech (Ferguson et Takane 2007); współczynniki korelacji między cechami; rozkład i test *t*-Studenta (Ferguson et Takane 2007); analizę zmiennych dyskryminacyjnych; odległości Mahalanobisa między drzewami wraz z dendrytem zbudowanym na podstawie najkrótszych odległości Mahalanobisa.

3. Wyniki

Zmienność wewnątrzpopulacyjna

Z charakterystyk cech (tab. 1) wynika, że współczynnik zmienności wszystkich 14 cech igieł dla trzech populacji Gruszki, Teremiski i Topiło zawiera się w przedziale

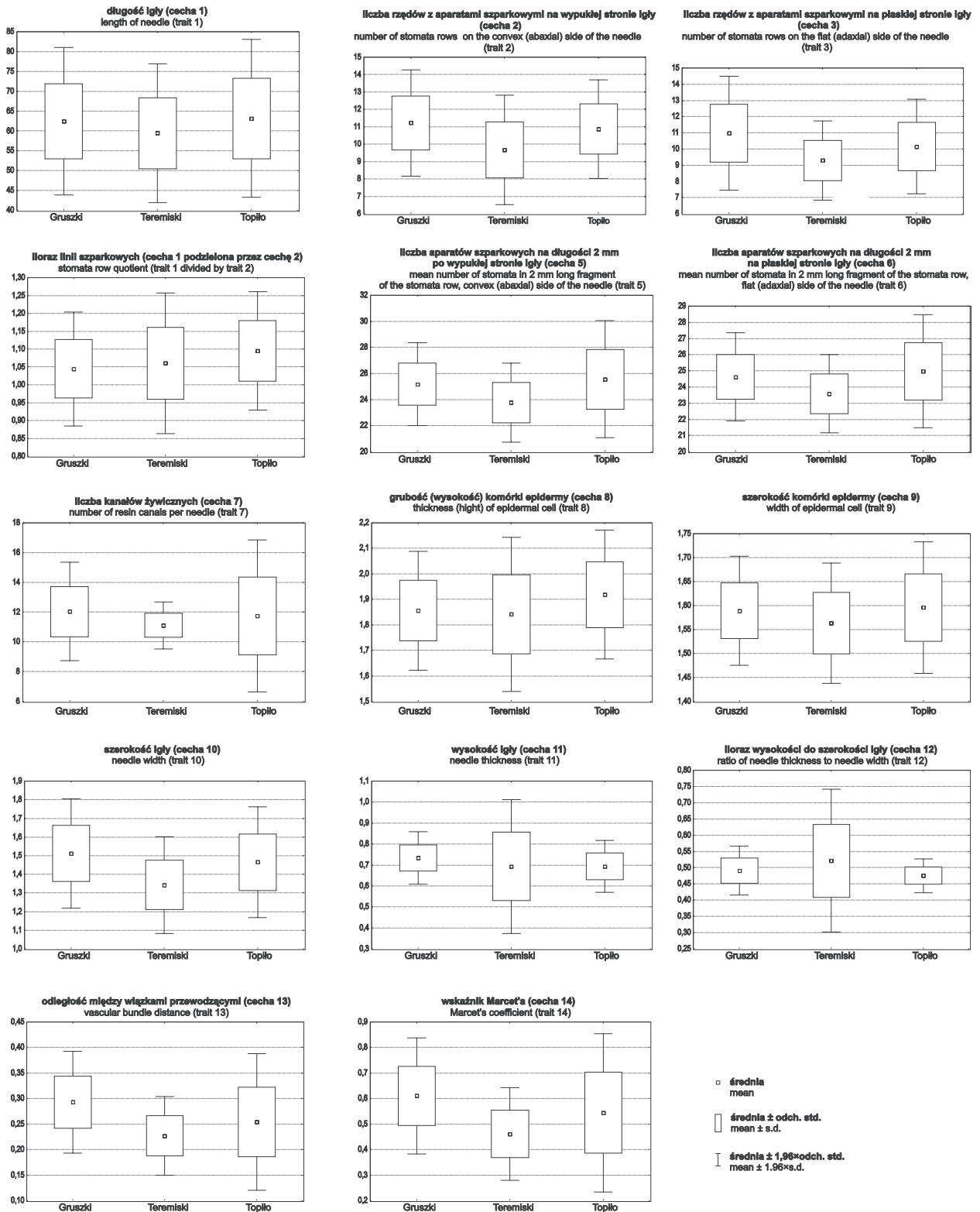
od 8% do 68%. Największą zmiennością charakteryzuje się stosunek wysokości do szerokości igły (cecha 12) oraz wysokość igły (cecha 11). Wartości te wynoszą dla cechy 12 – 67,58%, a dla cechy 11 – 64,89%. Największa zmienność tych cech występowała w populacji Teremiski. Największą zmiennością dla populacji Gruszki i Topiło charakteryzował się wskaźnik Marceta (cecha 14), dla którego współczynnik zmienności w populacjach kształtuje się następująco: Gruszki – 27,66%, Topiło – 34,78%. Natomiast najmniejszą zmiennością dla populacji Topiło (9,88%) i Gruszki (8,56%) charakteryzowała się szerokość komórki epidermy (cecha 9), a dla populacji Teremiski (8,59%) średnia liczba szparek przypadająca na 2 mm na płaskiej stronie igły (cecha 6). Porównanie średnich cech dla poszczególnych populacji zamieszczono na rycinie 2.

W celu stwierdzenia istotności różnic między średnimi cech poszczególnych drzew w populacjach dla każdej z cech obliczono rozkład *t*-Studenta. Na jego podstawie przeprowadzono testowanie oddzielnie dla każdej z wybranych cech igieł (ryc. 3). W wyniku przeprowadzonego testu stwierdzono, że wśród 14 morfologicznych i anatomicznych cech igieł cechami najlepiej różniącymi badane drzewa – na poziomie istotności $\alpha = 0.01$ i $\alpha = 0.05$ – były: długość igły (cecha 1) dla populacji: Gruszki i Teremiski, a wysokość igły (cecha 11) dla populacji Topiło. Dodatkową cechą różniącą drzewa w populacji Gruszki i Teremiski była szerokość igły (cecha 10), a w populacji Topiło – długość igły (cecha 1). Cechą najmniej różniącą drzewa, zarówno na poziomie istotności $\alpha = 0.01$, jak i $\alpha = 0.05$, w populacji Topiło i Gruszki był iloraz linii szparkowych (cecha 4), a w populacji Teremiski – szerokość komórki epidermy (cecha 9).

Zmienność wewnątrzpopulacyjna została opisana na podstawie analizy zmiennych dyskryminacyjnych w układzie pierwszych dwóch zmiennych dyskryminacyjnych U_1 i U_2 . Na podstawie obliczonych współczynników determinacji można stwierdzić, że największy wpływ na pierwszą zmienną dyskryminacyjną U_1 dla populacji Topiło miały cechy: szerokość igły (cecha 10), odległość pomiędzy wiązkami przewodzącymi (cecha 13) i wskaźnik Marceta (cecha 14), a na drugą zmienną dyskryminacyjną U_2 : długość igły (cecha 1) i szerokość igły (cecha 10). Dla populacji Gruszki takimi cechami dla pierwszej zmiennej dyskryminacyjnej U_1 były: długość igły (cecha 1) i szerokość igły (cecha 10), a dla drugiej zmiennej dyskryminacyjnej U_2 – długość igły (cecha 1). Dla populacji Teremiski cechą, która determinuje najsilniej pierwszą zmienną dyskryminacyjną U_1 , była długość igły (cecha 1), a drugą zmienną dyskryminacyjną U_2 – szerokość igły (cecha 10), wysokość igły (cecha 11) oraz liczba szparek na wypukłej stronie igły (cecha 5).

Tabela 1. Statystyki opisowe 14 morfologicznych i anatomicznych cech igieł badanych trzech populacji: średnia arytmetyczna (\bar{X}), odchylenie standardowe (*s.d.*), współczynnik zmienności (*V%*), minimum (*min*) i maximum (*max*)
 Table 1. The characteristics of 14 morphological and anatomical needle traits of three studied populations: arithmetical mean (\bar{X}), standard deviation (*s.d.*), variability coefficient (*V%*), minimum (*min*) and maximum (*max*) value

Nr No.	Cecha / Trait	Populacja Population	\bar{X}	<i>s. d.</i>	<i>V%</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
1	Długość igły Length of needle	Topiło	63.15	11.96	18.93	37.00	106.00
		Gruszki	62.46	11.02	17.64	36.00	90.00
		Teremiski	59.43	10.58	17.81	38.00	88.00
2	Liczba rzędów z aparatami szparkowymi na wypukłej stronie igły Number of stomata rows on the convex (abaxial) side of the needle	Topiło	10.87	2.06	18.97	5.00	16.00
		Gruszki	11.22	2.21	19.73	6.00	20.00
		Teremiski	9.67	2.20	22.78	5.00	19.00
3	Liczba rzędów z aparatami szparkowymi na płaskiej stronie igły Number of stomata rows on the flat (adaxial) side of the needle	Topiło	10.15	2.16	21.32	5.00	16.00
		Gruszki	10.97	2.41	21.96	5.00	23.00
		Teremiski	9.29	1.88	20.20	4.00	15.00
4	Iloraz linii szparkowych (cecha 2 podzielona przez cechę 3) Stomata row quotient (trait no 2 divided by trait no 3)	Topiło	1.09	0.20	18.62	0.63	1.83
		Gruszki	1.04	0.20	19.14	0.61	2.20
		Teremiski	1.06	0.21	20.25	0.62	2.00
5	Średnia liczba aparatów szparkowych na długości 2 mm na wypukłej stronie igły Mean number of stomata in 2 mm long fragment of the stomata row, convex (abaxial) side of the needle	Topiło	25.56	3.00	11.75	17.67	34.33
		Gruszki	25.18	2.39	9.49	18.33	33.33
		Teremiski	23.78	2.24	9.42	17.09	29.66
6	Średnia liczba aparatów szparkowych na długości 2 mm na płaskiej stronie igły Mean number of stomata in 2 mm long fragment of the stomata row, flat (adaxial) side of the needle	Topiło	24.97	2.60	10.41	18.67	33.33
		Gruszki	24.62	2.29	9.32	14.67	33.67
		Teremiski	23.59	2.03	8.59	17.66	30.00
7	Liczba kanałów żywicznych Number of resin canals per needle	Topiło	11.7	3.06	26.08	5	21
		Gruszki	12.0	2.26	18.80	7	20
		Teremiski	11.1	1.46	13.17	7	15
8	Grubość (wysokość) komórki epidermy Thickness (height) of epidermal cell	Topiło	1.919	0.24	12.84	1.30	2.86
		Gruszki	1.856	0.18	10.19	1.30	0.86
		Teremiski	1.841	0.29	16.04	1.04	2.86
9	Szerokość komórki epidermy Width of epidermal cell	Topiło	1.596	0.15	9.88	1.30	2.60
		Gruszki	1.589	0.13	8.56	1.30	2.34
		Teremiski	1.563	0.19	12.46	1.04	2.34
10	Szerokość igły (mierzona na przekroju poprzecznym) Needle width (measured on transverse section)	Topiło	1.4665	0.17	12.04	1.042	2.099
		Gruszki	1.5119	0.19	12.88	0.640	1.996
		Teremiski	1.3434	0.17	13.16	0.947	1.766
11	Grubość igły (mierzona na przekroju poprzecznym) Needle thickness (measured on transverse section)	Topiło	0.6940	0.08	12.84	0.460	1.356
		Gruszki	0.7334	0.09	12.63	0.510	1.280
		Teremiski	0.6932	0.44	64.89	0.486	1.371
12	Iloraz grubości do szerokości igły Ratio of needle thickness to needle width	Topiło	0.47	0.05	11.09	0.31	0.65
		Gruszki	0.49	0.10	20.65	0.38	0.64
		Teremiski	0.52	0.35	67.58	0.38	0.77
13	Odległość między wiązkami przewodzącymi Vascular bundle distance	Topiło	0.254	0.08	31.25	0.041	0.56
		Gruszki	0.292	0.07	23.64	0.028	0.55
		Teremiski	0.226	0.06	26.99	0.028	0.42
14	Wskaźnik Marceta [(cecha 10 × cecha 13) : cecha 11] Marcet's coefficient [(trait 10 × trait 13) : trait 11]	Topiło	0.545	0.18	34.78	0.104	1.205
		Gruszki	0.610	0.16	27.66	0.059	1.122
		Teremiski	0.461	0.15	32.41	0.027	0.897

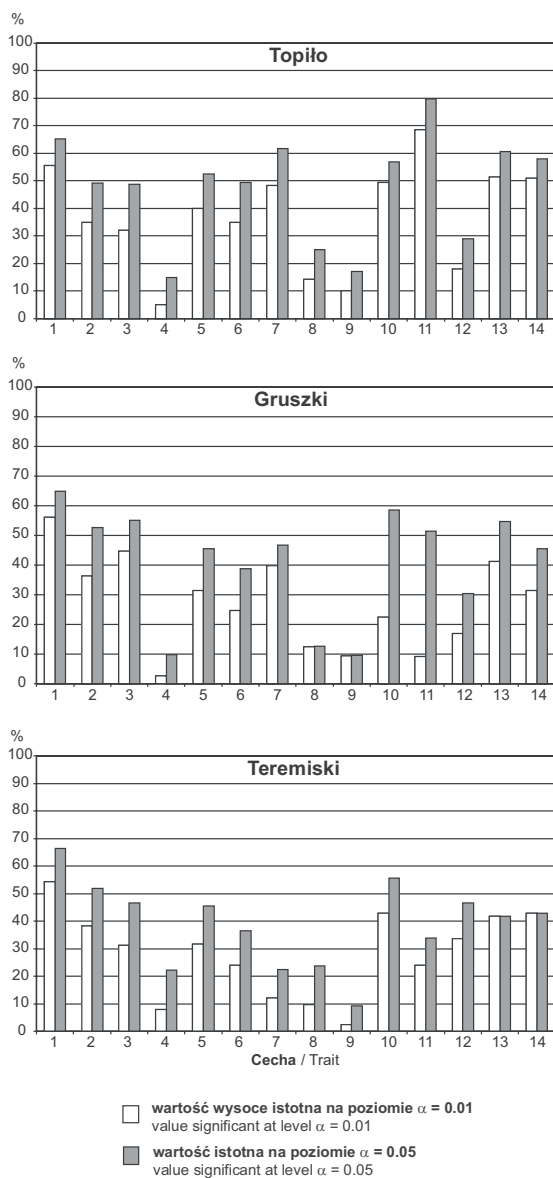


Rycina 2. Wartości średnie i odchylenia standardowe 14 morfologicznych i anatomicznych cech igieł trzech badanych populacji *Pinus sylvestris* L.

Figure 2. Means and standard deviation of 14 morphological and anatomical needles traits for three studied populations of *Pinus sylvestris* L.

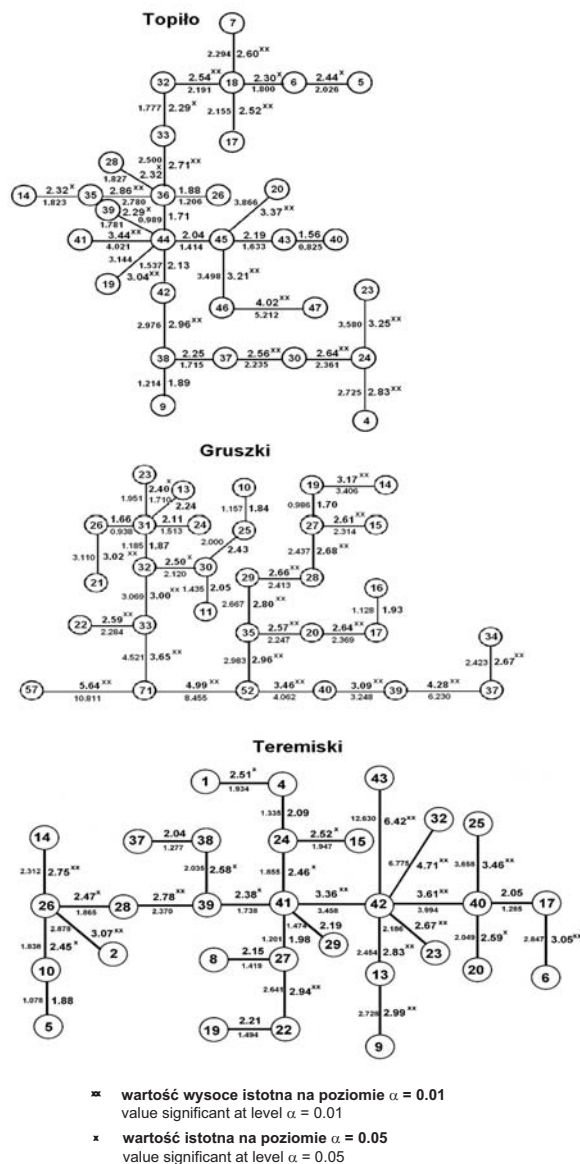
Na podstawie najkrótszych odległości Mahalanobisa dla badanych populacji narysowano dendryty (ryc. 4). W populacji Topiło wyróżniono 15 wysoce istotnych odległości na poziomie 0,01 i 21 istotnych odległości na poziomie 0,05. Największa odległość Mahalanobisa D^2 występuje pomiędzy drzewami 46 i 47 i wynosi 4,02, a najmniejsza pomiędzy drzewami 36 i 44 i wynosi 1,71. W populacji Gruszki występuje 17 statystycznie wysoce istotnych odległości na poziomie 0,01 i 19 istotnych

odległości na poziomie 0,05. Największa odległość Mahalanobisa występuje pomiędzy drzewami 57 i 71 i wynosi 5,64, a najmniejsza pomiędzy drzewami 26 i 31 i wynosi 1,66. Dendryt populacji Teremiski wskazuje na 13 wysoce istotnych odległości na poziomie 0,01 i 21 istotnych odległości na poziomie 0,05. Na uwagę zasługuje tutaj drzewo 42, które ma aż 6 najkrótszych odległości z innymi drzewami, tj. z drzewem 41, 43, 32, 40, 23 i 13. Największa odległość Mahalanobisa wystę-



Rycina 3. Różnice (w procentach) wykryte na podstawie testu t -Studenta pomiędzy drzewami sosny zwyczajnej wewnątrz badanych trzech populacji dla 14 morfologicznych i anatomicznych cech igieł

Figure 3. Differences (in percentage) detected by Student- t test between trees of Scots pine within three studied populations for 14 morphological and anatomical traits of needles



Rycina 4. Dendryt zbudowany na podstawie najkrótszych odległości Mahalanobisa (duże litery) wraz z wartościami statystyki F (małe litery) dla badanych trzech populacji *Pinus sylvestris*

Figure 4. Minimum spanning trees based on the shortest Mahalanobis distances (capital numbers) and F statistics (small numbers) for three studied populations of *Pinus sylvestris* L.

puje pomiędzy drzewami 42 i 43 i wynosi 6.42, a najmniejsza pomiędzy drzewami 5 i 10 i wynosi 1.88.

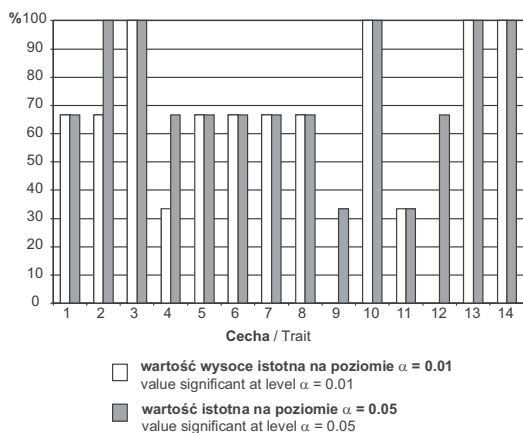
Zmienność między populacyjna

W celu stwierdzenia istotnych różnic między średnimi cech poszczególnych populacji obliczono rozkład *t*-Studenta i przeprowadzono testowanie, którego wynik przedstawiono na rycinie 5. Cechami najsilniej różniącymi badane populacje są: liczba rzędów aparatów szparkowych na płaskiej stronie igły (cecha 3), szerokość igły (cecha 10), odległość między wiązkami przewodzącymi (cecha 13) i wskaźnik Marceta (cecha 14). Natomiast cechami, które najslabiej różnią badane populacje, są: szerokość komórki epidermy (cecha 9) i wysokość igły (cecha 11).

Z analizy zmiennych dyskryminacyjnych w układzie pierwszych dwóch zmiennych dyskryminacyjnych U_1 i U_2 (ryc. 6A) wynika, że drzewa tworzące badane populacje wykazują tendencje do tworzenia grup. Pod względem skłonności drzew do tworzenia grup populacja z Topiła zajmuje miejsce pomiędzy populacjami z Gruszki i Teremisek.

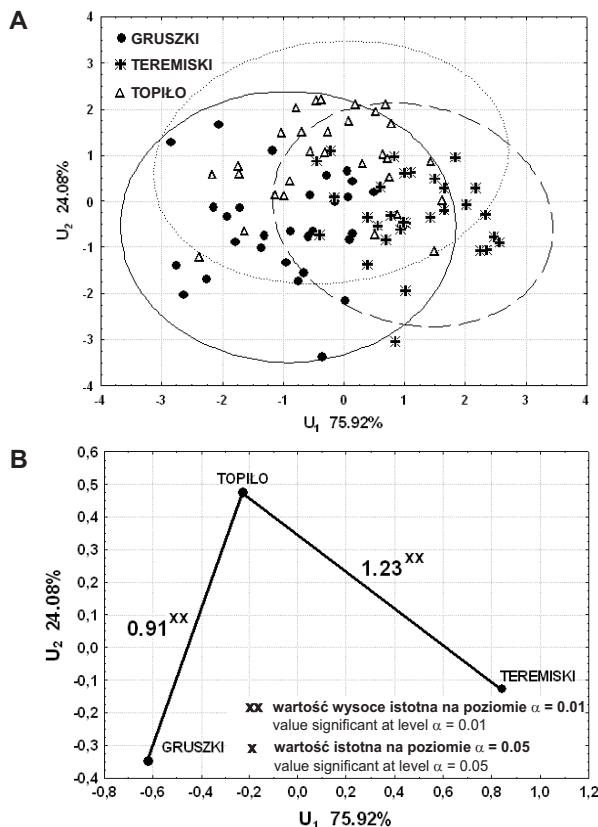
Na podstawie współczynników determinacji (w dokumentacji pracy) można stwierdzić, że na pierwszą zmienną dyskryminacyjną U_1 składają się głównie następujące cechy: szerokość igły (cecha 10), odległość pomiędzy wiązkami przewodzącymi (cecha 13) i wskaźnik Marceta (cecha 14), natomiast na drugą zmienną dyskryminacyjną U_2 : liczba szparek na wypukłej stronie igły (cecha 5) i odległość pomiędzy wiązkami przewodzącymi (cecha 13).

Na podstawie tablicy obliczonych odległości Mahalanobisa oraz statystyki *F* można stwierdzić, że odle-



Rycina 5. Różnice (w procentach) wykryte na podstawie testu *t*-Studenta pomiędzy populacjami sosny zwyczajnej dla 14 morfologicznych i anatomicznych cech igieł

Figure 5. Differences (in percentage) detected by Student-*t* test between populations of Scots pine for 14 morphological and anatomical traits



Rycina 6. Analiza zmiennych dyskryminacyjnych dla badanych trzech populacji sosny zwyczajnej z Puszczy Białowieskiej: A – w układzie pierwszych dwóch zmiennych dyskryminacyjnych U_1 i U_2 zawierających łącznie 100% informacji z zastosowanego zespołu 14 morfologicznych i anatomicznych cech igieł, B – z zaznaczeniem najkrótszych odległości Mahalanobisa

Figure 6. Results of (A) discriminant variables of Scots pine populations from Białowieża Primeval Forest on the plane of first two discriminant variables U_1 and U_2 containing 100% information of the applied set 14 morphological and anatomical needles traits and (B) together with the shortest Mahalanobis distances

głości Mahalanobisa między populacjami: Teremiski, Topiło i Gruszki są statystycznie istotne na poziomie $\alpha = 0,01$. Największa odległość Mahalanobisa występuje pomiędzy populacjami Gruszki i Teremiski i wynosi $D^2 = 1,48$

Rycina 6B, gdzie przedstawiono wynik analizy zmiennych dyskryminacyjnych wraz z odległościami Mahalanobisa pomiędzy populacjami, pokazuje, że najmniejsza odległość Mahalanobisa występuje między populacją Gruszki i Topiło.

4. Dyskusja

Pracą omawiającą zróżnicowanie pod względem cech morfologii igieł sosny z różnych siedlisk jest praca Woźniak i in. (2005), dotycząca dwóch populacji z Puszczy Noteckiej: pierwszej – rosnącej na torfowisku w Chlebowie, oraz drugiej – na glebach bielicowych w Bąblinie. Z zamieszczonych w pracy wyników można wnioskować, że zbadane populacje różnią się między sobą statystycznie istotnie, a cechami, które je najbardziej różnią, są długość igły oraz liczba rzędów z aparatami szparkowymi po obydwu stronach igły.

Inną pracą omawiającą zróżnicowanie sosny zwyczajnej pod względem morfologicznych cech igieł z różnych siedlisk jest praca Urbaniaka i in. (2003). Praca ta omawia zmienność trzech populacji z Borów Tucholskich, w tym dwu populacji rosnących na torfowisku wysokim (Jelenia Wyspa i Jeziorka Kozie) i jednej pochodzącej z boru świeżego (Chrobotkowy Bór). Z tej pracy wynikają wnioski podobne jak z poprzedniej, tzn. że cechą najbardziej różniącą populacje jest liczba rzędów z aparatami szparkowymi na wypukłej i na płaskiej stronie igły.

Natomiast z niniejszych badań wynika, że cechami, które najbardziej różnią badane populacje i które mają największy wpływ na otrzymany obraz zmienności są: szerokość igły, odległość między wiązkami przewodzącymi, wskaźnik Marceta oraz liczba rzędów aparatów szparkowych na płaskiej i wypukłej stronie igły.

Porównując wyniki niniejszej pracy z wynikami prac Woźniak i in. (2005) i Urbaniaka i in. (2003), można stwierdzić, że liczba rzędów po stronie wypukłej i płaskiej igły jest cechą różniącą populacje w znacznym stopniu. Ponadto można stwierdzić, że w populacjach na glebach bielicowych badane cechy morfologiczne mają podobną wartość, np. długość igły w populacji z Gruszek ma wartość 62,46, populacji Topiło – 63,15 i populacji Bąblin – 63,9, natomiast w populacjach z torfowiska (Chlebowo, Jelenia Wyspa i Jeziorka Kozie) i lasu świeżego (Teremiski) mają wartość niższą. I tak np. długość igły w populacji Chlebowo wynosi 55,2, Jelenia Wyspa i Jeziorka Kozie odpowiednio: 32,8 i 30,3, a Teremiski – 59,43. Na tej podstawie można wnioskować, że wartość cech morfologicznych rośnie wraz ze zbliżaniem się warunków rozwoju sosny zwyczajnej do optymalnych, a takie warunki występują w borze świeżym oraz w borze mieszanym świeżym.

Według Bobowicz i in. (1994, 1995, 2007) w pracach dotyczących tych cech w aspekcie zmienności prownienicyjnej, decydujący wpływ na zróżnicowanie populacji między sobą mają cechy morfologiczne, a mianowicie: liczba aparatów szparkowych na płaskiej i na wypukłej stronie igły oraz liczba rzędów z aparatami szparkowymi na wypukłej stronie igły.

Natomiast w niniejszej pracy, opisującej i porównującej zmienność populacji rosnących w naturalnych warunkach, nie można oddzielić zmienności genetycznej od zmienności środowiskowej. Badane populacje różniły się zarówno pod względem cech morfologicznych, jak i anatomicznych, takich jak: szerokość igły, odległość między wiązkami przewodzącymi, wskaźnik Marceta oraz liczba rzędów aparatów szparkowych na płaskiej i wypukłej stronie igły. Poza tym o wpływie środowiska na otrzymany obraz zmienności świadczy fakt, że badane cechy morfologiczne i anatomiczne mają większe wartości w populacji Gruszki i Topiło, co wskazuje na ich lepsze wykształcenie. W borze świeżym (populacja Gruszki) i borze mieszanym świeżym (populacja Topiło) sosna jest gatunkiem dominującym lub współdominującym, a panujące tam warunki są optymalne dla tego gatunku (ubogie gleby bielicowe składające się w dużej mierze z piasków i żwirów sandrowych), natomiast w lesie świeżym (populacja Teremiski) sosna jest jednym z gatunków domieszkowych (gleby żyzne brunatne i gliny zwałowe).

Z przeprowadzonych w niniejszej pracy badań zmienności wewnątrzpopulacyjnej wynika, że osobniki różnią się między sobą statystycznie istotnie oraz, że na otrzymany obraz zmienności wpływają i najbardziej różnią osobniki w poszczególnych populacjach następujące cechy: dla populacji Topiło – wysokość i długość igły, dla populacji Gruszki i Teremiski – długość i szerokość igły. Z analizy zmiennych dyskryminacyjnych wynika, że w poszczególnych populacjach drzewa tworzą skupiska. Populacje Gruszki i Teremiski tworzą po jednym skupisku pod względem cech morfologicznych i anatomicznych. Natomiast populacja z Topiła tworzy dwa skupiska. Na podstawie skonstruowanych dendrogramów można stwierdzić, że drzewa w poszczególnych populacjach tworzą po dwie grupy.

Wyniki prac dotyczące zmienności wewnątrzpopulacyjnej uzyskane na podstawie analizy cech anatomicznych igieł (Bobowicz et al. 2001a) wskazują, że cechami najbardziej różniącymi osobniki są: wysokość igły, wysokość komórki epidermy oraz odległość między wiązkami przewodzącymi. Zmienność pojedynczej populacji rosnącej w warunkach naturalnych była również badana na podstawie cech anatomicznych igieł (Bobowicz et al. 2001b). Na podstawie wyników uzyskanych w tej pracy można stwierdzić, że cechami najbardziej różniącymi badane osobniki i mającymi największy wpływ na otrzymany obraz zmienności są: wysokość igły, wysokość komórki epidermy i odległość między wiązkami przewodzącymi. Natomiast prace biorące pod uwagę cechy morfologiczne i anatomiczne razem (Bobowicz et al. 2005) wykazały, że takimi cechami są: liczba kanałów żywicznych, liczba rzędów z aparatami szparkowymi na płaskiej stronie igły, szerokość i

wysokość igły oraz odległość między wiązkami przewodzącymi.

5. Wnioski

1. Osobniki wewnątrz badanych populacji różnią się między sobą statystycznie istotnie pod względem zastosowanego zestawu 14 morfologicznych i anatomicznych cech igieł.

2. Poszczególne populacje tworzą wewnętrzne grupy i skupiska drzew.

3. Osobniki tworzące badane populacje najbardziej różnią się pod względem następujących cech: w populacji Topiło – wysokości i długości igły, w populacji Gruszki i Teremiski – długości i szerokości igły.

4. Populacje Topiło, Gruszki i Teremiski różnią się wysoce statystycznie istotnie pod względem wartości wybranych 14 morfologicznych i anatomicznych cech igieł.

5. Cechy, które najsilniej różnią populacje, to: szerokość igły, odległość między wiązkami przewodzącymi, wskaźnik Marceta oraz liczba rzędów aparatów szparkowych na płaskiej i wypukłej stronie igły

6. Bór świeży i bór mieszany świeży stwarzają bardziej dogodne warunki dla rozwoju sosny niż las świeży.

Podziękowania

Autorzy pragną podziękować Pani mgr Iwonie Witkiewicz i Panu mgr Romanowi Roszykiewiczowi za pomoc techniczną podczas wykonywania badań.

Literatura

- Białobok S. 1967. Zmienność cech morfologicznych i fizjologicznych w zależności od środowiska [w:] Zarys fizjologii sosny zwyczajnej. S. Białobok, W. Żelawski (ed.) Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Białobok S., Boratyński A., Bugała W. 1993. Biologia sosny zwyczajnej. Poznań – Kórnik, Sorus Press.
- Bobowicz M.A., Korczyk A.F., Breninek J. 1994. Variability of *Pinus sylvestris* L. plus trees of eight Polish provenances in traits of needle morphology and anatomy. *Biological Bulletin of Poznan*, 31: 33–49.
- Bobowicz M.A., Pawlaczyk E. M., Korczyk A.F. 2001a. The variation of the oldest trees in the natural Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) population of the Knyszyn Forest. Part I. The diversity in traits of needle anatomy. *Roczniki Dendrologiczne Akademii Rolniczej w Poznaniu*, 49: 97–107.
- Bobowicz M.A., Pawlaczyk E. M., Korczyk A.F. 2001b. The variation of the oldest trees in the natural Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) population of the Knyszyn Forest. Part II. Interpopulation variability in traits of needle anatomy among mature trees from Poland and the oldest trees from the Knyszyn Forest. *Roczniki Dendrologiczne Akademii Rolniczej w Poznaniu*, 49: 109–122.
- Bobowicz M.A., Pawlaczyk E. M., Zaborowska K. 2005. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from experimental plot in the Polanica Zdrój, in relation to the variability of maternal population from the top of the Szczeliniec Wielki mountain, expressed in morphology and anatomy of the needles. [w:] Variability and Evolution – new perspectives. (eds W. Prus-Głowacki & E.M. Pawlaczyk), Poznań Wydawnictwo Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, 321–339.
- Bobowicz M.A., Pawlaczyk E.M., Kaczmarek Z., Korczyk A.F. 2007. Odziedziczalność cech morfologicznych i anatomicznych igieł półrodeństwa drzew doborowych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Leśne Prace Badawcze*, 3: 69–80.
- Bobowicz M.A., Pieczyńska B., Sufryd A., Breninek J., Korczyk A.F. 1995. Inter-provenance variability of half-sib Scots pine progenies in traits of needle morphology and anatomy. *Biological Bulletin of Poznan* 32: 43–57.
- Ferguson G.A., Takane Y. 2007. Statistical analysis in psychology and education. McGraw-Hill.
- Giertych M. 1988. Interakcja genotypu ze środowiskiem oraz z wiekiem polskich proveniencji sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). *Arboretum Kórnickie*, 32: 159–169.
- Giertych M. 1995. Zmienność rodowa sosny i wybór drzew elitarnych. *Arboretum Kórnickie*, 40: 55–70.
- Giertych M. 1997. Zmienność proveniencyjna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce. *Sylvan*, 141(8): 5–20.
- Korczyk A.F. 1994. Określenie wpływu zanieczyszczeń na system reprodukcyjny poszczególnych roślin drzewiastych. [w:] *Utrzymane zróżnicowanie biologiczne ekosystemów leśnych Puszczy Białowieskiej*. Raport GEF 05/21685 Pol., Biuro GEF, Warszawa.
- Krzakowa M. 1979. Enzymatyczna zmienność międzypopulacyjna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.). Poznań, Wydawnictwo im. Adama Mickiewicza, 17: 1–45.
- Krzakowa M., Urbaniak L., Korczyk A.F., 1994. Chromatographic studies on phenolic compounds in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Bulletin de la Societé des Amis des Sciences et des Lettres de Poznan*, Ser. D, 30:11–21.
- Marcet E. 1967. Über den Nachweis spontaner Hybriden von *Pinus mugo* Turra und *Pinus sylvestris* L. auf Grund von Nadelmerkmalen. *Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft*, 77: 314–361.
- Matuszkiewicz W., Matuszkiewicz A. 1973. Przegląd fitosocjologiczny zbiorowisk leśnych Polski. Część 2. Bory sosnowe. *Phytocoenosis*, 2(4): 273–356.
- Pawlaczyk E.M., Bobowicz M.A., Korczyk A.F. 1999. Morphological variability of *Pinus sylvestris* L. progenies of the Gubin provenance in cultivation at Miłomłyn expressed in needle traits. *Biological Bulletin of Poznan*, 36: 93–102.
- Prus-Głowacki W. 1991. Biochemical polymorphism. [w:] Genetics of Scots pine. (eds M. Giertych & C. Matyas), Budapest, Akademia Kiado, 73–86.

- Przybylski T. 1970. Zmienność sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) polskich proveniencji. Kórnik, Instytut Dendrologii i Arboretum PAN.
- Sokołowski A.W. 1994. Przyroda Puszczy Białowieskiej i jej ochrona. *Kosmos*, 43, 1: 87–99.
- Staszkiwicz J. 1970. Systematyka i zmienność. [w:] Sosna zwyczajna *Pinus sylvestris* L. (red. S. Białobok), Warszawa, Arboretum Kórnickie – Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Szweykowski J., Urbaniak L. 1982. An interesting chemical polymorphism in *Pinus sylvestris* L. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 51: 441–452.
- Szweykowski J., Prus-Głowacki W., Hrynkiwicz J. 1994. The genetic structure of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) population from the top of Szczeliniec Wielki Mt., Central Sudetes. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 63(3–4): 315–324.
- Urbaniak L. 1998. Zróżnicowanie geograficzne sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z terenu Eurazji na podstawie cech anatomicznych i morfologicznych igieł. Wydawnictwo Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza. Poznań. 58: 1–142.
- Urbaniak L., Karlinski L., Popielarz R. 2003. Variation of morphological needle characters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations in different habitats. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 72 (1): 37–44.
- Woźniak T., Androsiuk P., Nowak D., Urbaniak L. 2005. The expression of morphological needle characters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations growing in various habitats in Puszcza Notecka. [w:] Variability and Evolution – new perspectives. (eds W. Prus-Głowacki & E.M. Pawlaczyk), Poznań, Wydawnictwo Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, 449–462.