

URSZULA ZAJĄCZKOWSKA, MATEUSZ PIĄTKOWSKI, ALICJA DOŁKIN-LEWKO,
WŁODZIMIERZ BURACZYK

Zróżnicowanie struktury igieł polskich populacji sosny zwyczajnej na powierzchni doświadczalnej w LZD w Rogowie

Diversity of needles structure of the selected Polish populations
of *Pinus sylvestris* L. on the experimental plots in the Forest
Experimental Station in Rogów

ABSTRACT

Zajączkowska U., Piątkowski M., Dołkin-Lewko A., Buraczyk W. 2020. Zróżnicowanie struktury igieł polskich populacji sosny zwyczajnej na powierzchni doświadczalnej w LZD w Rogowie. Sylwan 164 (10): 842-849. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2020051>.

The anatomical and morphological diversity of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles was investigated in nine Polish populations grown on the experimental plots at the Forest Experimental Station of the Warsaw University of Life Sciences – SGGW (Rogów, Central Poland). The experiment started in 1966 and the needle samples were collected from the trees cut down during the thinning treatment in 2016. The following needle traits were measured: (1) length, (2) width, (3) thickness, (4) cross-sectional area of the transfusion tissue, (5) epidermis thickness, (6) width to thickness of the needle cross section ratio, (7) distance between the vascular bundles, (8) number of resin ducts, and (9) length of the needle scales. The results showed that trees from the provenances differ with respect to the studied needle features, however, the differences, for individual traits, are relatively small and in most cases are statistically insignificant as measured by the Kruskal-Wallis test. Statistically significant differences ($p < 0.05$) were found only in case of such features as the number of resin ducts and the length of needle scales. The results may suggest that the environmental conditions of the Polish lowland are not sufficiently diversified to induce clear differences between the individual morphological and anatomical traits of pine needles. However, despite the relatively small differences between the studied populations regarding individual traits, the use of the UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean) dendrogram, taking into consideration the combined effect of all the examined traits of needles, allowed to separate geographically the tested Polish provenances into three groups: I – mid-western (Rogów, Bolewice, Spała, Karsko, Gubin, Tabórz), II – north-eastern (Rospuda, Starzyna) and III – south-eastern (Janów Lubelski). It is suggested that this may be related both to the ability of Scots pine to adapt to local conditions as well as the possibility that the geographical groups of tested populations originated from three different main glacial refugia.

KEY WORDS

needle structure, resin ducts, Scots pine, provenance experiment, UPMGA dendrogram

ADDRESSES

Urszula Zajączkowska ⁽¹⁾ – e-mail: urszula.zajaczkowska@wl.sggw.pl
Mateusz Piątkowski ⁽¹⁾, Alicja Dołkin-Lewko ⁽¹⁾, Włodzimierz Buraczyk ⁽²⁾

(1) Samodzielny Zakład Botaniki Leśnej, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

(2) Katedra Hodowli Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Wstęp

Sosna zwyczajna (*Pinus sylvestris* L.) wyróżnia się rozległym obszarem naturalnego zasięgu, rozciągającym się w kierunku wschód-zachód na dystansie około 14 tys. km, a w kierunku północ-południe około 2,7 tys. km, jak również występowaniem w bardzo zróżnicowanych warunkach klimatycznych i glebowych [Boratyński 1993]. Wiąże się to z silnym zróżnicowaniem fenotypowym tego gatunku, dotyczącym zarówno cech morfologicznych, jak też produkcyjnych i jakościowych. Zróżnicowanie fenotypowe sosny zwyczajnej w różnych warunkach środowiskowych na terenie Polski było opisywane przez wielu autorów, jednak szczególną wartość dla oceny zmienności międzypopulacyjnej mają porównawcze doświadczenia proveniencyjne [Giertych 1997]. W 1966 roku założono w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym SGGW w Rogowie powierzchnię doświadczalną, na której znajduje się 16 krajowych populacji cząstkowych sosny zwyczajnej [Szeligowski i in. 2015]. W 2016 roku została tam wykonana trzebież obejmująca 9 populacji, a uzyskany materiał wykorzystano do badań cech morfologicznych i produkcyjnych. Częścią tego programu badawczego jest niniejsza praca, której celem było porównanie anatomii i morfologii igieł, co pozwoliło na przetestowanie hipotezy, czy zróżnicowane warunki siedliskowe polskiego niżu mogą wywołać wyraźne różnice wielkości parametrów igieł sosny pochodzących z badanych populacji.

Cechy morfologiczne i anatomiczne igieł sosny zwyczajnej wykazują bardzo duże zróżnicowanie w zależności od siedliska, szerokości geograficznej, wysokości nad poziomem morza, zabiegów hodowlanych w drzewostanie i wieku drzewa, a także w obrębie jednego osobnika w zależności od położenia w koronie [Staszkiwicz 1993]. Zmienność aparatu asymilacyjnego u tego gatunku była w Polsce w ubiegłych latach przedmiotem stosunkowo licznych prac badawczych [Bobowicz, Korczyk 1994; Bobowicz i in. 2000, 2007; Urbaniak i in. 2003; Pawlaczek i in. 2010], jednak porównywanie wartości liczbowych odnoszących się do cech anatomicznych i morfologicznych igieł u drzew różnych pochodzeń z terenu Polski, określonych na osobnikach różnego wieku i rosnących w zróżnicowanych warunkach środowiskowych, jest silnie utrudnione. Możliwość takie stwarzają badania prowadzone na powierzchniach proveniencyjnych, zapewniających porównywalne warunki wzrostu drzew i procedury zbioru próbek. Dotychczas jednak odczuwa się wyraźny niedostatek informacji pochodzących z tego typu powierzchni z sosną zwyczajną różnych pochodzeń z terenu Polski.

Materiał i metody

Badania przeprowadzono na materiale z populacji sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z powierzchni doświadczalnej założonej w 1966 roku w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym SGGW w Rogowie, leśnictwo Lipce, oddz. 44j. Powierzchnię zlokalizowano na gruntach porolnych na siedlisku, które w 1966 roku zostało określone jako bór mieszany świeży (BMśw), a po rewizji planu urządzania lasu w 1989 roku przeklasyfikowane na las mieszany świeży (LMśw) [Zielony 1993]. Doświadczenie obejmowało 16 krajowych populacji, którym przypisano następujące kody: 1 – Rogów, 2 – Bolewice, 3 – Janów Lubelski, 4 – Rospuda, 5 – Lipowa, 6 – Spała, 7 – Dłużek, 8 – Karsko, 9 – Starzyna, 10 – Ruciane, 11 – Gubin, 12 – Jegiel, 13 – Rychtal, 14 – Tabórz, 15 – Supraśl, 16 – Nowy Targ. Powierzchnie badawcze zostały rozmieszczone losowo w układzie bloków z 5 powtórzeniami. Bliższe informacje dotyczące powierzchni proveniencyjnej zostały podane w pracy Szeligowskiego i in. [2015].

Wykorzystany w niniejszej pracy materiał badawczy pochodził z drzew ściętych w 2016 roku w ramach trzebieży i dotyczył 9 proveniencji: Rogów, Bolewice, Janów Lubelski, Rospuda, Spała, Karsko, Starzyna, Gubin oraz Tabórz. Liczba drzew z poszczególnych populacji zawierała się w przedziale 10-16 (Starzyna – 10, Rospuda – 11, Bolewice i Spała – 12, Rogów – 13, Janów Lubelski – 14, Tabórz – 15). Z każdego drzewa zostały pobrane 3 roczne pędy znajdujące się w trzecim okółku od wierzchołka pnia głównego. Ze środkowej części każdego pędu pobrano po dwie pary igieł, na których wykonano pomiary następujących parametrów: długość, szerokość i grubość igły, długość błonkowej łuski u nasady igieł, liczba przewodów żywicznych, grubość epidermy, odległość między wiązkami naczyniowymi oraz powierzchnia przekroju poprzecznego tkanki transfuzyjnej. Obliczono również stosunek szerokości i grubości przekroju poprzecznego w środkowej części igły. Pomiary długości igły i błonkowej łuski wykonano na świeżo zebrany materiał przy pomocy suwmiarki analogowej. Badania pozostałych parametrów przeprowadzono na preparatach mikroskopowych przygotowanych z materiału utrwalonego w etanolu o stężeniu 50%. Preparaty przekrojów poprzecznych wykonano ręcznie żyłką ze środkowej części igły i zamknięto w glicerynie. Badania anatomiczne przeprowadzono przy użyciu mikroskopu optycznego Olympus BX-61. Pomiary parametrów igieł wykonano na fotografiach mikroskopowych analizowanych w programie ImageJ.

Analizy statystyczne przeprowadzono z wykorzystaniem programu statystycznego PAST 3 [Hammer i in. 2001]. Do oceny istotności różnic między populacjami zastosowano nieparametryczny test Kruskala-Wallisa, który przy wartości $p < 0,05$ wskazuje na istotne statystyczne różnice między próbami. W przypadku stwierdzenia istotności różnic wykonano także test Manna-Whitneya, ukazujący istotne statystyczne różnice między poszczególnymi parami badanych populacji. Badane parametry igieł poddano transformacji liniowej, której wyniki wykorzystano do analizy składowych głównych (PCA – Principal Component Analysis) [Krzanowski 2000] oraz konstrukcji dendrogramu metodą średnich połączeń UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean) [Sokal, Michener 1958; Sokal, Sneath 1963; Nei 1996] z wykorzystaniem dystansu euklidesowego.

Wyniki

Długość igieł w badanych proveniencjach zawierała się w przedziale 3,5-10,0 mm (tab. 1), a średnie dla poszczególnych populacji przyjmowały wartości od 6,4 mm (Janów Lubelski) do 7,5 mm (Gubin). Szerokość igieł wahała się w zakresie od 1,32 do 1,99 mm. Najmniejszą średnią wartość tego parametru zanotowano dla populacji Karsko (1,62 mm), a największą dla populacji ze Spały (1,70 mm) oraz Gubina (1,70 mm). Grubość igieł przyjmowała wielkość od 0,67 do 1,00 mm. Najmniejszą średnią wartość tej cechy stwierdzono dla populacji Starzyna (0,76 mm), a największą dla Rogowa (0,83 mm) oraz Bolewic (0,83 mm). Powierzchnia pola przekroju poprzecznego tkanki transfuzyjnej zawierała się w przedziale od 0,210 do 0,466 mm². Średnia wielkość tego parametru dla poszczególnych populacji przyjmowała wielkości od 0,304 mm² (Karsk) do 0,348 mm² (Janów Lubelski). Grubość epidermy wykazywała zróżnicowanie w zakresie od 17 do 30 μm. Średnia wartość tej cechy była najniższa u sosen z Janowa Lubelskiego (21,3 μm), a najwyższa u drzew z Rospudy (24,3 μm). Iloraz szerokości i grubości przekroju poprzecznego w środkowej części igły wahał się w zakresie 1,73-2,42. Minimalne średnie wartości tej cechy zanotowano u sosen z Bolewic (1,9), a maksymalne na powierzchni z drzewami pochodzącymi z Janowa Lubelskiego (2,11). Zakres zmienności liczby przewodów żywicznych na przekrojach poprzecznych badanych igieł zawierał się w przedziale od 8 do 23. Największą liczbą przewodów (17,7) cechowały

Tabela 1.

Średnia (\pm odchylenie standardowe) wartości cech igieł 9 proveniencji sosny zwyczajnej na powierzchni w Rogowie
 Mean (\pm standard deviation) value of needle traits for nine Scots pine provenances on the experimental plot in Rogów

	Rogów (1)	Bolewiec (2)	Janów Lubelski (3)	Rospuda (4)	Spała (6)	Kąrsko (8)	Starzyna (9)	Gubin (11)	Tabórz (14)	P
Długość igły Needle length [mm]	6,9 \pm 0,9	6,9 \pm 1,0	6,4 \pm 1,7	6,6 \pm 1,1	6,9 \pm 1,2	6,4 \pm 1,2	6,7 \pm 1,6	7,5 \pm 1,4	7,0 \pm 1,0	0,449
Szerokość igły Needle width [mm]	1,66 \pm 0,15	1,65 \pm 0,15	1,67 \pm 0,15	1,66 \pm 0,16	1,70 \pm 0,15	1,62 \pm 0,18	1,63 \pm 0,10	1,70 \pm 0,16	1,65 \pm 0,15	0,940
Grubość igły Needle thickness [mm]	0,83 \pm 0,09	0,83 \pm 0,07	0,79 \pm 0,07	0,78 \pm 0,07	0,81 \pm 0,09	0,81 \pm 0,08	0,76 \pm 0,05	0,82 \pm 0,08	0,80 \pm 0,07	0,550
Pole tkanki transfuzyjnej Transfusion tissue area [mm ²]	0,33, \pm 0,05	0,32 \pm 0,06	0,32 \pm 0,06	0,32 \pm 0,07	0,35 \pm 0,06	0,33 \pm 0,07	0,30 \pm 0,03	0,34 \pm 0,05	0,32 \pm 0,05	0,845
Grubość epidermy Epid E epidermis thickness [μ m]	22,4 \pm 2,0	22,1 \pm 1,7	21,3 \pm 2,3	24,3 \pm 2,7	22,2 \pm 1,7	22,1 \pm 2,2	22,2 \pm 2,8	21,6 \pm 1,7	22,5 \pm 1,5	0,137
Iloraz: szerokość/grubość igły Ratio: width/thickness	2,02 \pm 0,14	1,99 \pm 0,11	2,11 \pm 0,14	2,12 \pm 0,06	2,10 \pm 0,11	2,01 \pm 0,11	2,16 \pm 0,09	2,07 \pm 0,18	2,05 \pm 0,10	0,085
Odległość między wiązkami Distance between bundles [μ m]	380 \pm 77	374 \pm 75	384 \pm 59	378 \pm 70	359 \pm 66	341 \pm 68	358 \pm 50	370 \pm 63	368 \pm 52	0,785
Liczba przewodów żywicznych Number of resin ducts	13,4 \pm 2,0	14,0 \pm 2,0	17,7 \pm 2,7	13,3 \pm 2,5	14,0 \pm 1,8	12,8 \pm 1,9	12,6 \pm 0,9	13,7 \pm 1,3	13,5 \pm 2,5	0,0005
Długość błonkowatej łuski Length of leaf scales [mm]	7,87 \pm 1,00	8,19 \pm 0,96	8,62 \pm 1,05	7,79 \pm 1,12	8,47 \pm 1,13	7,81 \pm 0,67	8,57 \pm 1,29	9,00 \pm 0,93	8,27 \pm 1,00	0,039

p – prawdopodobieństwo testowe w teście Kruskala-Wallis; p – p-value in Kruskal-Wallis test

się sosny z Janowa Lubelskiego, zaś najmniejszą sosny z proveniencji ze Starzyny (12,6). U badanych pochodzeń długość błonkowej łuski u nasady igieł wahała się w zakresie od 6 do 11 mm. Średnio najkrótsze łuski występowały w populacji z Rospudy (7,79 mm), zaś najdłuższe u pochodzenia ze Starzyny (9,00 mm).

Badane populacje sosny zwyczajnej różniły się istotnie strukturą igieł jedynie pod względem długości błonkowej łuski oraz liczby przewodów żywicznych. W przypadku długości okryw krótkopędowych stwierdzono istotne różnice między populacją nr 11 z Gubina a populacjami nr 1 z Rogowa, nr 4 z Rospudy i nr 8 z Karska. Populacja nr 8 z Karska różniła się statystycznie również od populacji nr 3 z Janowa Lubelskiego (tab. 2). Istotnie statystycznie różnice liczby przewodów żywicznych zaobserwowano między populacją nr 3 z Janowa Lubelskiego a wszystkimi innymi badanymi proveniencjami (tab. 3). Istotne są także różnice między proveniencjami z Gubina (11) i Starzyny (9).

Zaobserwowano zgodność w kierunkach zwrotu wektorów PCA w przypadku takich cech jak długość i grubość igły, powierzchnia tkanki transfuzyjnej oraz długość błonkowej łuski u nasady igieł. Z kolei zgodność w zwrocie wektorów wystąpiła w przypadku takich parametrów jak szerokość igły, grubość epidermy, liczba przewodów żywicznych, odległość między wiązkami oraz iloraz szerokości do grubości igły (ryc. 1).

Linia w punkcie dystansu euklidesowego ustawiona na dendrogramie UPGMA (ryc. 2), wynosząca 0,28, pozwoliła na rozdzielenie badanych populacji na 3 grupy:

Tabela 2.

Prawdopodobieństwo testowe w teście Manna-Whitneya dla długości błonkowatych łusek u nasady igieł
p-value in Mann-Whitney test for the length of needle scales

	2	3	4	6	8	9	11	14
1	0,3659	0,0788	0,9533	0,1799	0,9471	0,1784	0,0138*	0,2963
2		0,2997	0,4953	0,5218	0,3604	0,4252	0,0557	0,8629
3			0,0735*	0,6783	0,0306	0,9764	0,2118	0,3658
4				0,1817	0,8617	0,1772	0,0106*	0,3470
6					0,1337	0,8423	0,1204	0,6579
8						0,1104	0,0015*	0,2224
9							0,3175	0,5365
11								0,0534

oznaczenia proveniencji jak w tabeli 1; provenance denotes as in table 1

*istotne przy $p=0,05$; significant at $p=0,05$

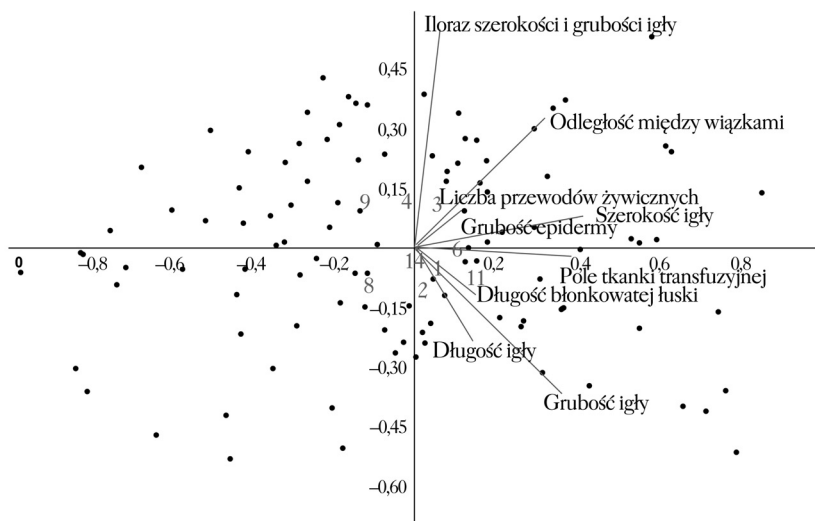
Tabela 3.

Prawdopodobieństwo testowe w teście Manna-Whitneya dla liczby kanałów żywicznych
p-value in Mann-Whitney test for number of resin ducts

	2	3	4	6	8	9	11	14
1	0,5591	0,0004*	0,7629	0,6603	0,2600	0,2062	0,9263	0,8783
2		0,0012*	0,4855	0,9564	0,1661	0,1705	0,7885	0,8170
3			0,0018*	0,0015*	0,0001*	0,0003*	0,0005*	0,0006*
4				0,6431	0,5513	0,4158	0,7611	0,7159
6					0,1346	0,0778	0,9172	0,6595
8						0,6518	0,1654	0,3620
9							0,0404*	0,2207
11								0,9321

oznaczenia proveniencji jak w tabeli 1; provenance denotes as in table 1

*istotne przy $p=0,05$; significant at $p=0,05$



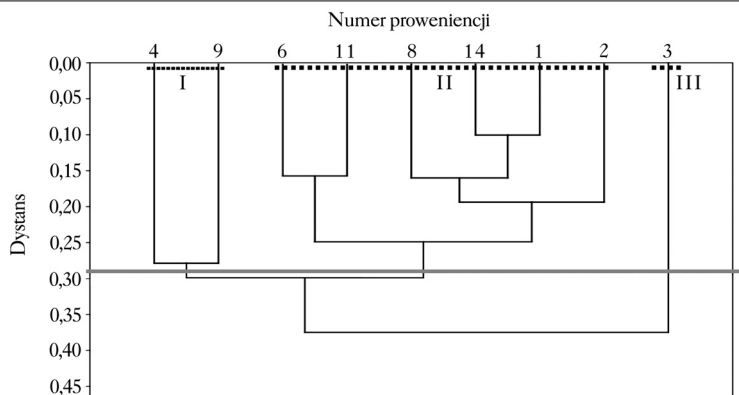
Ryc. 1.

Analiza składowych głównych parametrów igieł 9 proveniencji sosny zwyczajnej

Principal Component Analysis of Scots pine needles traits of nine provenances

Iloraz szerokości i grubości igły – needle width to thickness ratio, Odległość między wiązkami – distance between bundles, Liczba przewodów żywicznych – number of resin ducts, Grubość epidermy – epidermis thickness, Szerokość igły – needle width, Pole tkanki transfuzyjnej – transfusion tissue area, Długość błonkowej łuski – length of needle scales, Grubość igły – needle thickness, Długość igły – needle length

oznaczenia proveniencji jak w tabeli 1; provenance denotes as in table 1



Ryc. 2.

Dendrogram 9 proveniencji sosny zwyczajnej skonstruowany metodą średnich połączeń (UPGMA) z wykorzystaniem dystansu euklidesowego

Dendrogram of nine Scots pine provenances constructed by the method UPGMA using Euclidean distance

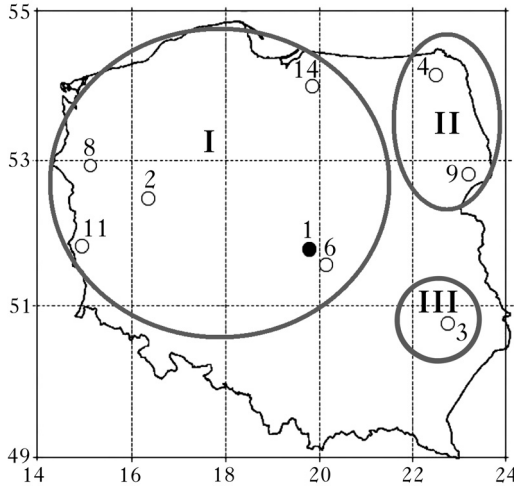
oznaczenia proveniencji jak w tabeli 1; provenance denotes as in table 1

I: Rospuda (4) i Starzyna (9),

II: Spała (6), Gubin (11), Karsko (8), Tabórz (14), Rogów (1) i Bolewice (2),

III: Janów Lubelski (3).

Przestrzenny rozkład proveniencji wskazuje, że wyodrębnione grupy populacji zlokalizowane są w trzech obszarach geograficznych Polski: północno-wschodnim (I), środkowo-zachodnim (II) oraz południowo-wschodnim (III) (ryc. 3).



Ryc. 3.

Położenie geograficzne 9 proveniencji sosny zwyczajnej pogrupowanych metodą UPMGA
 Geographical positions on the map of Poland the locations of nine Scots pine provenances grouped by the UPMGA method
 oznaczenia proveniencji jak w tabeli 1; provenance denotes as in table 1

Dyskusja

Badania budowy anatomicznej i morfologicznej igieł sosny zwyczajnej z 9 proveniencji z terenu Polski rosnących na powierzchni doświadczalnej w LZD w Rogowie wskazują, że sosny z porównywanych populacji różnią się między sobą analizowanymi cechami, jednak różnice te są dla pojedynczych cech stosunkowo niewielkie i w większości przypadków, oceniane testem Kruskala-Wallisa, okazały się statystycznie nieistotne. Różnice istotne (dla $p < 0,05$) stwierdzono jedynie w przypadku długości okryw krótkopędowych i liczby przewodów żywicznych. Długość okryw krótkopędowych nie była parametrem szczegółowo analizowanym w badaniach dotyczących struktury igieł sosny zwyczajnej. Liczba przewodów żywicznych w igle była natomiast cechą zwykle uwzględnianą w tego typu badaniach, które często wskazywały na istotne zróżnicowanie tej cechy w różnych warunkach siedliskowych i geograficznych [Staszkiwicz 1993]. Otrzymane w niniejszej pracy wyniki mogą więc wskazywać, że warunki siedliskowe polskiego niżu są zbyt mało zróżnicowane, aby wywołać wyraźne różnice w większości cech morfologicznych i anatomicznych igieł sosny pochodzących z badanych populacji. Należy jednak zaznaczyć, że wyniki analizy składowych głównych sugerują, że u badanych proveniencji długość okryw krótkopędowych mogła być powiązana z długością i grubością igieł oraz powierzchnią tkanki transfuzyjnej, natomiast liczba przewodów żywicznych z szerokością igły, odległością między wiązkami, ilorazem szerokości do grubości igły oraz grubością epidermy.

Pomimo stosunkowo niewielkich różnic między badanymi populacjami, dotyczących pojedynczych cech, zastosowanie metody dendrogramu UPGMA, uwzględniającej łącznie wszystkie badane cechy igieł, pozwoliło jednak na geograficzne pogrupowanie badanych proveniencji z terenu Polski na 3 grupy: I – środkowo-zachodnią (Rogów, Bolewice, Spała, Karsko, Gubin, Tabórz), II – północno-wschodnią (Rospuda, Starzyna) i III – południowo-wschodnią (Janów Lubelski). Można przypuszczać, że jest to związane ze zdolnością przystosowania się sosny do lokalnych warunków i utrwalenia tego w genotypie. Z drugiej strony nie można wykluczyć, że sosny z tych trzech wyodrębnionych grup mogą pochodzić z różnych refugium połodowcowych. Analiza mapy hipotetycznych kierunków głównych dróg migracji leśnego materiału rozmnożeniowego sosny zwyczajnej z refugium europejskich na teren Polski [Nowakowska 2007] może sugerować związki między grupą I a kierunkiem iberyjskim, grupą II a kierunkiem ze środkowej

Rosji oraz grupą III a kierunkiem alpejskim i bałkańskim. Potwierdzenie tej sugestii wymagałoby jednak weryfikacji w dalszych badaniach, szczególnie molekularnych. Dodatkowych informacji w tym zakresie mogą dostarczyć także wyniki dalszych badań na zebranych materiale z tej samej powierzchni doświadczalnej – odnoszące się do innych cech morfologicznych, wzrostowych oraz produkcyjnych drzew badanych populacji.

Literatura

- Bobowicz M. A., Korczyk A. F. 1994. Interpopulational variability of *Pinus sylvestris* L. in eight Polish localities expressed in morphological and anatomical traits of needles. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 63 (1): 67-76.
- 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.). *Leś. Pr. Bad.* 3: 69-80.
- Bobowicz M. A., Stephan B. R., Prus-Głowański W. 2000. Genetic variation of F1 hybrids from controlled crosses between *Pinus montana* var. *rostrata* and *Pinus sylvestris* in anatomical needle traits. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae* 69 (3): 207-214.
- Boratyński A. 1993. Systematyka i geograficzne rozmieszczenie. W: Białobok S., Boratyński A., Bugała W. [red.]. *Biologia sosny zwyczajnej*. Sorus, Poznań – Kórnik. 45-69.
- Giertych M. 1997. Zmienność proveniencyjna sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce. *Sylwan* 141 (8): 5-20.
- Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4 (1): 1-9.
- Kruskal W. H., Wallis W. A. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47 (260): 583-621.
- Krzanowski W. J. 2000. *Principles of multivariate analysis: a user's perspective*. Oxford University Press.
- Mann H. B., Whitney D. R. 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of Mathematical Statistics* 18: 50-60.
- Nei M. 1996. Phylogenetic analysis in molecular evolutionary genetics. *Annual Review of Genetics* 30: 371-403.
- Nowakowska J. A. 2007. Zmienność genetyczna polskich wybranych populacji sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) na podstawie analiz polimorfizmu DNA. *Prace Badawcze Leśnictwa. Rozprawy i Monografie* 9: 1-118.
- Pawlaczyk E. M., Bobowicz M. A., Korczyk A. F. 2010. Zmienność trzech naturalnych populacji *Pinus sylvestris* L. z różnych siedlisk Puszczy Białowieskiej oszacowana cechami igieł. *Leś. Pr. Bad.* 71 (1): 83-92.
- Sokal R. R., Michener C. D. 1958. A statistical method for evaluating systematic relationships. *The University of Kansas Scientific Bulletin* 38: 1409-1438.
- Sokal R. R., Sneath P. H. A. 1963. *Principles of numerical taxonomy*. Freeman, San Francisco.
- Staszkiwicz J. 1993. Zmienność morfologiczna szpilek, szyszek i nasion. W: Białobok S., Boratyński A., Bugała W. [red.]. *Biologia sosny zwyczajnej*. Sorus, Poznań – Kórnik. 33-43.
- Szeligowski H., Buraczyk W., Drozdowski S., Gawron L. 2015. Wartość hodowlana polskich populacji sosny zwyczajnej na powierzchni doświadczalnej w Rogowie. *Sylwan* 159 (12): 997-1007. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2015050>.
- Urbaniak L., Karliński 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.
- Zielony R. [red.]. 1993. *Warunki przyrodnicze lasów doświadczalnych SGGW w Rogowie*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.