

EDWARD FELIKSIK, SŁAWOMIR WILCZYŃSKI

Dendrochronologiczna charakterystyka sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z Kotliny Kłodzkiej i Karpat

Dendrochronological Characteristics of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.)
from the Kłodzko Downs and the Karpat Mountains

Wstęp i cel badań

Sosna zwyczajna stanowi ważny element drzewostanów nie tylko na nizu, ale również w górach. Obejmuje ona wiele naturalnych, cennych przyrodniczo oraz gospodarczo ras i klimatypów [13, 15]. Dendrochronologiczna charakterystyka wielu populacji sosnowych [3, 5, 17] o różnym, często nieznanym pochodzeniu, pozwala uzupełniać wciąż niepełną wiedzę o tym gatunku. Dendrochronologia jest tu pomocna w poznawaniu jego ekologii, pozwala także na wyodrębnianie obszarów o jednolitej reakcji przyrostowej różnych populacji drzew. Badania te opierają się na naturalnym procesie życiowym, jakim jest przyrost drzew na grubość i na rozpoznawaniu wpływu warunków siedliskowych na efektywność procesów fizjologicznych tych roślin.

Celem niniejszej pracy jest ocena podobieństwa rytmu corocznych zmian szerokości przyrostów kambialnych sosny zwyczajnej z obszaru Sudetów i Karpat oraz zakreślenie granic obszarów z populacjami sosny charakteryzującymi się wysokim stopniem homogeniczności dendraskal. Stanowić to będzie uzupełnienie tworzonej w Europie dendrochronologicznej sieci tego gatunku.

Metodyka

Materiał badawczy pochodził z 13 powierzchni reprezentujących drzewostany sosnowe rosnące na obszarze Karpat i Kotliny Kłodzkiej. Opis stanowisk zawiera tabela 1. Na każdej powierzchni wybrano do badań po piętnaście, ponad stuletnich drzew z grupy panujących lub współpanujących, bez objawów chorobowych i uszkodzeń.

TABELA 1
Opis stanowisk badanych populacji sosnowych

Region	Nr	Nazwa powierzchni badawczej (leśnictwo)	Nadleś- nictwo	Oddział	Symbol regionu	ϕ N	λ E	Wys. n.p.m.	Wystawa	Typ siedliskowy lasu
Kotlina Kłodzka	1	Wyszki [WYK]	-Bystrzyca	38	A	50 15	16 35	500	S	LMG
	2	Borowina [BOR]	Zdroje	247	A	50 29	16 25	650	S	BG
	3	Wambierzyce [WAB] Zdroje		12	A	50 26	16 27	600	SW	BMG
Beskid Śląski	4	Żelazno [ZEL]	Bardo	212	A	50 23	16 43	500	W	LMG
	5	Idzików [IDZ]	Międzylesie	39	A	50 18	16 45	550	W	LMG
	6	Bukowiec [BUK]	Wisła	132	B	49 34	18 56	650	N, NW	LG
Beskid Wysoki	7	Czantoria [CZA]	Ustroń	66	B	49 41	18 47	650	N, NW	LG
	8	Stryżawa [STR]	Sucha Beskidz.	169	B	49 41	19 26	700	N, NW	LG
	9	Majdan [MAJ]	Piwniczna	150	B	49 27	20 42	600	W	LG
Beskid Sądecki	10	Krynica [WIE]	Krynica Górską	86	B	49 24	21 01	670	W	LMG
	11	Magura [MAG]	Łosie	197	B	49 34	21 09	550	E	LG
Bieszczady	12	Wysowa [WYS]	Łosie	230	B	49 27	21 12	500	NE	LG
	13	Zagórz [ZAG]	Lesko	108	B	49 29	22 20	400	SW	Lwyz.

Z każdego drzewa, na wysokości pierśnicy, pobrano świdrem Presslera po dwa odwierty, wzdłuż średnicy równoległej do stoku. Materiał ten posłużył do pomiarów szerokości słoików przyrostów rocznych badanych drzew z dokładnością do 1/100 mm.

Metoda Hubera (10) oraz opracowany na jej podstawie program CATRAS [1] pozwoliły na rejestrację pomiaru, wykreślenie krzywych przyrostowych oraz ich wstępną czasową synchronizację. Do weryfikacji poprawności synchronizacji zastosowano program COFECHA [8].

Za pomocą programu ARSTAN [8] dla każdej badanej populacji sosny obliczono indeksy szerokości rocznych przyrostów oraz średnie ich wartości tworząc chronologiczne ciągi zwane dendroskalami. Program, poprzez indeksację szerokości słoików, eliminuje z dendroskal zakłócenia spowodowane zmiennymi, zewnętrznymi, nieklimatycznymi czynnikami, mającymi wpływ na indywidualną specyfikę przebiegu chronologii przyrostów drzew [2]. Między chronologiami reprezentującymi poszczególne powierzchnie obliczono wskaźniki zbieżności "Z" oraz współczynniki korelacji "R". Wskaźnik "Z" informuje (w %) o tym jak wiele odcinków krzywych dendrochronologicznych badanych drzew jest zbieżnych co do kierunku przebiegu, a ile przeciwbieżnych [10]. Współczynnik korelacji "R", obok stopnia zgodności corocznych zmian rozmiarów przyrostów tworzących dendroskale, określa podobieństwo długofalowej tendencji przyrostowej drzew [6].

Dla oceny zmienności szerokości słoików i homogeniczności badanych dendroskal zastosowano analizę głównych komponentów – ('principal component analysis') [7, 9]. Analiza ta pozwoliła określić skomplikowane interkorelacyjne zależności między szerokościami słoików rocznych badanych chronologii oraz oszacować wspólną wariancję tej cechy. W tym celu wariancja szerokości słoików wszystkich analizowanych dendroskal została rozłożona na tzw. główne komponenty "principal components" lub "eigenvektors" [6] zwane tu wektorami. Wektory te przedstawiają liniową kombinację danych wyjściowych (szerokości przyrostów rocznych drzew). Ich wzajemne relacje, obrazujące podobieństwo między chronologiami przyrostów przedstawiono, graficznie w układzie współrzędnych.

Wyniki badań

Analizy statystyczne 13 chronologii przyrostowych, reprezentujących badane populacje sosny, pozwoliły wyodrębnić 2 grupy wewnętrznie jednolite pod względem dendrochronologicznych wskaźników homogeniczności (tab. 2, ryc. 1). Jedną grupę tworzą populacje sosen z Kotliny Kłodzkiej (region A) zaś drugą – populacje karpackie (region B).

Pomiędzy dendroskalami kłodzkimi wszystkie wskaźniki zbieżności "Z" są statystycznie wysoce istotne – przy poziomie istotności $\alpha = 0,001$.

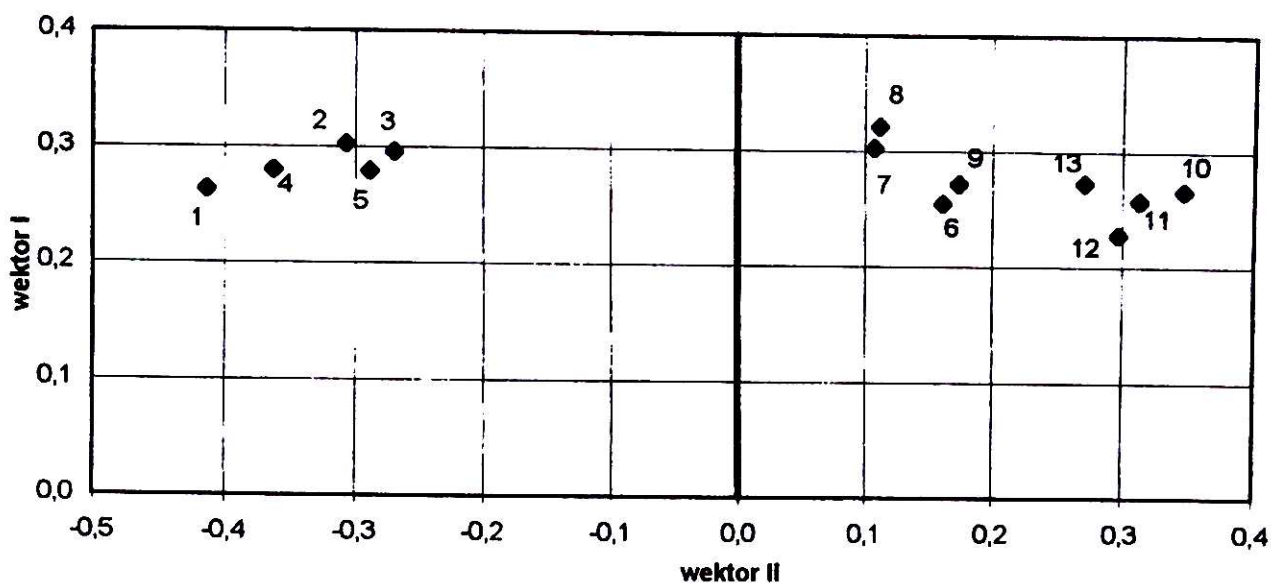
Analogiczny obraz wartości podobieństwa "Z", wyodrębniający homogeniczną grupę dendroskal, uzyskano w przypadku populacji sosny ze stanowisk karpackich. Wartości wskaźnika zbieżności wyraźnie obniżają się i przechodzą do niższych poziomów istotności ($\alpha = 0,01-0,05$) lub stają się w wielu przypadkach nieistotne, kiedy badamy podobieństwo dendroskal kłodzkich z karpackimi. Odrębność sosen z regionów A i B pod względem dendrochronologicznym potwierdzają wyniki przeprowadzonej pomiędzy nimi korelacji w zakresie średnich wartości szerokości przyrostów radialnych tworzonych przez sosny na

TABELA 2

Współczynniki korelacji "R" i wskaźniki podobieństwa "Z" między dendrokalami, obejmującymi roczniki przyrostów z lat 1892-1972

Z	WYK	BOR	WAB	ZEL	IDZ	BUK	CZA	STR	MAJ	WIE	MAG	WYS	ZAG
R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
WYK	A	***	***	***	***		***	*	**		*		***
BOR	0,81	A	***	***	***		***	**	**	*	*	**	***
WAB	0,70	0,83	A	***	***	***	***	**	*	*	**	**	**
ZEL	0,78	0,74	0,67	A	***	**	***	**	**	*	**	**	***
IDZ	0,61	0,60	0,54	0,77	A		**	*					
BUK	0,33	0,42	0,32	0,46	0,33	B	***	***	**	***	***	**	***
CZA	0,35	0,49	0,49	0,48	0,43	0,60	B	***	***	***	***	***	***
STR	0,35	0,57	0,58	0,47	0,41	0,62	0,76	B	***	***	***	**	***
MAJ	0,28	0,45	0,49	0,33	0,23	0,40	0,57	0,68	B	***	**	**	***
WIE	0,14	0,35	0,29	0,23	0,20	0,59	0,59	0,64	0,51	B	***	***	***
MAG	0,07	0,25	0,29	0,22	0,24	0,61	0,51	0,52	0,44	0,73	B	***	***
WYS	0,12	0,32	0,33	0,20	0,16	0,36	0,52	0,45	0,54	0,61	0,64	B	**
ZAG	0,31	0,42	0,28	0,33	0,30	0,58	0,65	0,65	0,55	0,70	0,64	0,51	B

Wartości krytyczne współczynnika korelacji R = 0,22 ($\alpha=0,05$), R = 0,28 ($\alpha=0,01$), R = 0,36 ($\alpha=0,001$) dla n \geq 80. Wartości istotne wskaźnika zbieżności Z: * dla $\alpha=0,05$, ** dla $\alpha=0,01$, *** dla $\alpha=0,001$.



RYC. 1. Analiza głównych komponentów. Rozkład chronologii 13 populacji sosny względem dwóch głównych wektorów

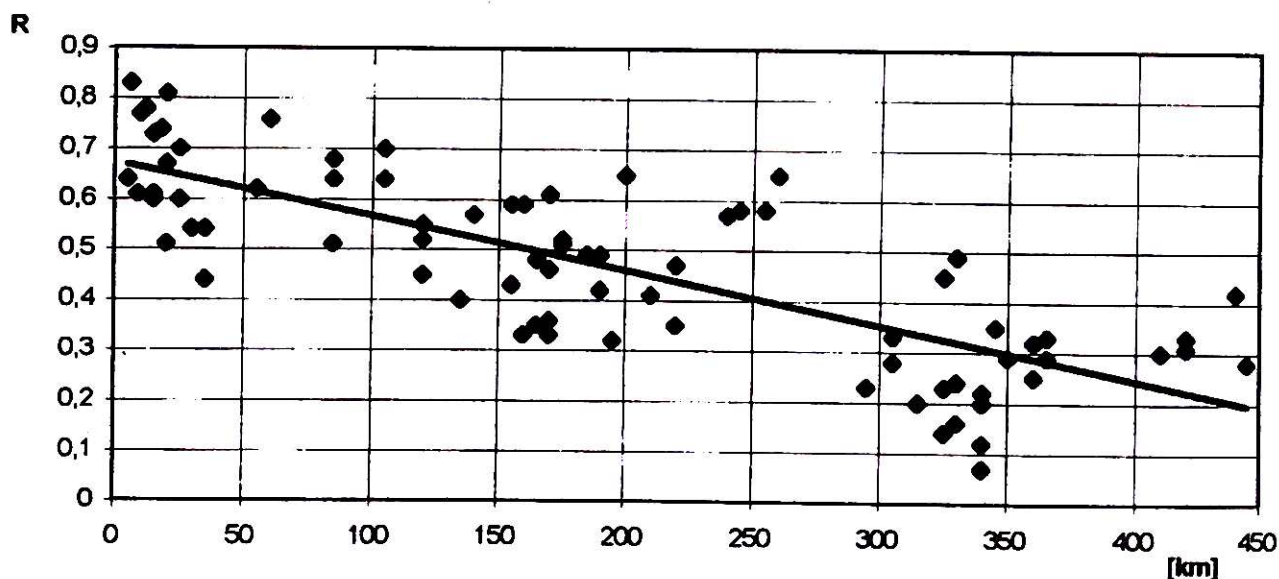
przestrzeni lat: 1892–1972. Wartości współczynników "R" w grupie kłodzkiej wahają się od 0,54 do 0,86 zaś wśród stanowisk karpaccich od 0,36 do 0,76. Natomiast w przypadku korelacji pomiędzy wielkością przyrostów rocznych sosen z Kotliny Kłodzkiej i Karpat wartości współczynnika "R" są przeważnie bardzo niskie, często poniżej poziomu istotności $\alpha = 0,05$ (tab. 2).

Kolejnym potwierdzeniem przestrzennego zróżnicowania homogeniczności dendroskal w zakresie rytmu corocznej zmienności wielkości przyrostów radialnych badanych populacji sosen jest graficzny obraz wyników statystycznej analizy głównych komponentów (ryc. 1).

Analiza ta wykazała, że pierwszy wektor opisuje 51% wspólnej dla wszystkich chronologii zmienności szerokości słoju rocznych, a drugi 17%. Oba wektory w sumie opisują prawie trzy czwarte ogólnej szerokości słoju. Położenie dendroskal względem pierwszego wektora jest w miarę jednorodne co sugeruje, że przyrost badanych sosen kształtowany był przez ponadregionalny czynnik, w małym stopniu zależny od przestrzennego usytuowania badanych populacji.

Względem drugiego wektora chronologie wyraźnie dzielą się na dwie grupy A – Kotlina Kłodzka i B – Karpaty. Względem tego wektora dendroskale różnicują się także w ramach obu grup, ale już zdecydowanie słabiej (ryc. 1). W obydwu grupach wzdłuż wektora II zaznacza się stopniowe "oddalanie się od siebie chronologii słoju" zgodnie ze wzrostem odległości reprezentowanych przez nie stanowisk sosny. W grupie chronologii karpaccich zauważalny jest podział na dwie mniejsze podgrupy: zachodnią złożoną z populacji: Bukowiec, Czantoria, Staryszawa i Majdan, oraz wschodnią grupującą stanowiska: Krynica, Magura, Wysowa i Zagórz.

Odległość między stanowiskami sosny wynosiła od kilku do ok. 450 km. Podobieństwo między chronologiami wyrażone wielkością współczynników korelacji wyraźnie spada wraz ze wzrostem odległości między nimi. Zależność wielkości współczynnika "R", a



RYC. 2. Zależność wielkości współczynnika korelacji między chronologiami a wzajemnym oddaleniem badanych populacji sosnowych

odległością między populacjami sosny przedstawia równanie regresji $y = -0,0011x + 0,674$ gdzie $R = -0,78$ (ryc. 2). Stwierdzono jednak przypadki, że dendroskale populacji odległych od siebie nawet o kilkaset kilometrów wykazywały dużą korelację przy poziomie istotności $\alpha=0,01$. Interesującym przykładem mogą być dendroskale z Zagórza w Bieszczadach oraz z Kotliny Kłodzkiej, odległe od siebie w linii prostej o około 450 km (tab. 2).

Dyskusja

Z przeprowadzonych analiz wynika, że ze wzrostem odległości między stanowiskami badanych sosen następował wyraźny spadek podobieństwa rytmu wahań szerokości słoików rocznych drewna. Takie same zależności stwierdzili autorzy badań telekonekcyjnych dotyczących innych gatunków takich jak: świerk, jodła, dąb [4, 12, 16].

Wyniki badań dendroklimatologicznych dowodzą, że głównym czynnikiem decydującym o corocznej zmienności szerokości przyrostów kambialnych drzew są warunki meteorologiczne [4, 6, 14]. W przypadku sosny zwyczajnej rosnącej w Polsce, istotny wpływ na wielkość przyrostów mają warunki termiczne i opadowe w określonych porach roku [3, 11, 17]. Na tej podstawie można sądzić, że przestrzenny zasięg zmienności tych elementów w klimacie Polski południowej zdecydował o podobieństwie dendroskal badanych drzew. Temperatura powietrza, na stosunkowo rozległych obszarach geograficznych, wykazuje niewielkie zróżnicowanie i wahania. Może być zatem silnym "sygnałem dendrochronologicznym" – pierwszy wektor – odpowiedzialnym za podobny rytm zmienności szerokości słoików wykazywany przez wszystkie badane populacje sosnowe. Natomiast opady atmosferyczne – drugi wektor – często wykazują zmienność na małej nieraz przestrzeni.

Wyniki uzyskane w niniejszej pracy wskazują na konieczność prowadzenia dalszych badań tego rodzaju, celem zagęszczenia sieci stanowisk sosnowych. Pozwoli to na rozszerzenie i wyraźniejsze określenie granic dendrochronologicznej homogeniczności różnych popula-

cji tego gatunku. Konieczne także wydają się szczegółowe badania dendroklimatyczne, które mogą dokładniej określić wielkość i charakter wpływu warunków klimatycznych na przyrost badanych drzew. Istotnym celem, w trakcie całokształtu badań jest możliwości konstrukcji homogenicznych chronologii słoju sosny z różnych regionów dla powiązania ich z tworzoną w Europie, od wielu lat, siecią dendrochronologii tego gatunku.

Wnioski

- Przeprowadzone analizy statystyczne pozwoliły wyodrębnić dwie grupy populacji sosny zwyczajnej charakteryzujących się wysoką dendrochronologiczną homogenicznością. Jedną grupę tworzyły populacje z Kotliny Kłodzkiej (A), drugą populacje z obszaru Karpat (B).
- Podobieństwo między dendroskalami poszczególnych populacji malało ze wzrostem odległości stanowisk. Statystycznie istotne podobieństwo przebiegu szerokości słoju stwierdzono jeszcze pomiędzy niektórymi populacjami oddalonymi od siebie około 450 km.
- Czynnikiem decydującym o podobieństwie dendroskal były prawdopodobnie warunki termiczne w poszczególnych latach zaś czynnikiem różnicującym – klimat pluwialny obok innych warunków siedliskowych.

Literatura

1. **Aniol R.**; Tree-ring analysis using CATRAS. Dendrochronologia 1, 1983.
2. **Cook E.**: A time-series analysis approach to tree-ring standardization. Diss. Univ. of Arizona, Tucson, 1985.
3. **Feliksik E., Jaskulski W.**: Badania dendroklimatyczne nad sosną pospolitą (*Pinus sylvestris* L.). Zesz. Nauk. AR w Krakowie nr 197, Leśnictwo Z. 16, 1985.
4. **Feliksik E.**: Badania dendroklimatyczne dotyczące jodły (*Abies alba* Mill) występującej na obszarze Polski. Kraków. Zesz. Nauk. AR Krakowie, Rozprawa habilitacyjna nr 151, 1990.
5. **Feliksik E., Wałęcka M.**: Badania dotyczące klimatycznych uwarunkowań wielkości przyrostów kambialnych kilku populacji sosny zwyczajnej występującej na obszarze Karpat. Zesz. Nauk. AR w Krakowie nr 270, Z. 23, 1992.
6. **Fritts H.**: Tree rings and climate. Academic Press, London, New York, 1976.
7. **Hartung J., Elpelt B.**: Multivariate Statistik – Lehr – und Handbuch der angewandten Statistik. Oldenbourg, München, 1984.
8. **Holmes R.L.**: Quality control of crossdating and measuring. A users manual for computer programs COFECHA and ARSTAN (w:) Holmes R.L., Adams R.K., Fritts H.C.: Tree-ring chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin. Chronology Series VI, Univ. of Arizona, Tucson, 1986.

9. **Holmes R.L.:** Dendrochronology Program Library. University of Arizona, Tucson, 1995.
10. **Huber B.:** Über die Sicherheit jahrringchronologischer Datierung. Holz als Roh – und Werkstoff, BD. 36, 1943.
11. **Makowiec M.:** Badania dendroklimatyczne nad sosną zwyczajną (*Pinus silvestris* L.) rosnącą na siedlisku boru świeżego w Puszczy Białowieskiej. SGGW–AR. Rozprawa doktorska, Warszawa, 1981.
12. **Müller–Stoll H.:** Vergleichende Untersuchungen über die Abhängigkeit der Jahrringfolge von Holzart, Standort und Klima. Bibl. Bot., Stuttgart, 1951.
13. **Schramm W.:** "Wdziary" sosnowe. Sylwan 4, 1913.
14. **Schweingruber F.H.:** Der Jahrring. Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendroklimatologie. Verlag Paul Haupt Bern und Stuttgart, 1983.
15. **Svoboda P.:** Lesni dreviny a jejich porosty. T.I. Praha. Statni Zem. Nakl., 1953.
16. **Ważny T.:** Aufbau und Anwendung der Dendrochronologie für Eichenholz in Polen. Diss. Univ. Hamburg, 1990.
17. **Zielski A.:** Wpływ temperatury i opadów na szerokość słoików rocznych drewna u sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w rejonie Torunia. Sylwan nr 2, 1996.

*Z Zakładu Klimatologii Leśnej
Akademii Rolniczej w Krakowie*

Summary

Dendrochronological characteristics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from the Kłodzko Downs and the Karpaty Mountains

Dendroscales of 13 Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations, being dendrochronologically homogenous, originating from mountain sites were statistically analyzed for their scientific discrimination. The width of tree annual rings was subject of the analysis.

The research showed a chronology differentiation into two groups: the western one (A) set up from the populations of the Kłodzko Downs area, and the eastern one (B) composed of populations descending from the Karpaty Mountains. Those chronologies have shown high mutual similarities within the groups discriminated. A distinct drop of homogeneity between the dendroscales occurred along the increasing distance between the sites where the pine trees grew. However, even at the distances of about 450 km some dendroscales showed a high similarity in the annual variability of tree ring width growth rhythms.