

SŁAWOMIR WILCZYŃSKI

Modele „klimat-przyrost radialny” sosen z Tatr, Pienin i Ojcowa

The climate-radial growth models of Scots pines from the Tatra, Pieniny and Ojców national parks

ABSTRACT

The paper provides a description of climatic requirements of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees from five populations from the Tatra National Park, the Pieniny National Park and the Ojców National Park. Differences in climatic conditions between these parks were reflected in incremental behaviour of pines growing on these sites. The main factors limiting pine radial increments were: in the Tatra Mts. – warm weather in July, in the Pieniny Mts. – winter thermal conditions, while in Ojców – moisture conditions in the spring.

KEY WORDS

Pinus sylvestris, dendroklimatologia, dendroecologia, Tatry Mts., Pieniny Mts., Ojców

Wstęp

Jednym z głównych czynników wpływających na wielkość tworzonych przez drzewa słoików drewna są niewątpliwie warunki pogodowe, panujące zarówno przed, jak i w okresie wegetacji. Zmieniające się w czasie warunki pogodowe znajdują swoje odbicie w charakterystycznej sekwencji szerokości słoików drewna, będącej swoistym zapisem reakcji przyrostowych drzew. Badania dendroklimatologiczne stawiają sobie za cel między innymi poznanie wpływu warunków pogodowych na aktywność kambium drzew, której zewnętrznym wyrazem są szerokości słoików drewna. Można dzięki temu z dużym przybliżeniem określić wymagania różnych gatunków drzew w trakcie ich długiego zazwyczaj życia.

Sosna zwyczajna wrażliwa jest na różne elementy meteorologiczne, w zależności od warunków klimatycznych regionu, w którym rośnie [Schweingruber i in. 1979, Briffa i in. 1995]. W strefach gorących i ubogich w opady czynnikiem limitującym wzrost są głównie opady atmosferyczne okresu wegetacji. Na północy Eurazji przyrost sosen determinuje temperatura powietrza latem, w klimacie umiarkowanym środkowej Europy długość okresu wegetacji.

Zróznicowanie wzorów przyrostowych drzew danego gatunku, rosnących w odległych regionach geograficznych wydaje się być oczywiste, a wynika głównie z różnic w ich wymaganiach w stosunku do warunków klimatycznych panujących na danym obszarze [Schweingruber i in. 1979, Wilczyński i in. 2001]. Powstaje jednak pytanie – jak zmieniają się wymagania drzew na stosunkowo małych dystansach oraz jaką rolę odgrywa w tym przypadku

wysokość nad poziomem morza?

Celem niniejszych badań było ukazanie różnic oraz podobieństw wrażliwości na temperaturę powietrza oraz opady atmosferyczne drzew sosny zwyczajnej pięciu populacji cząstkowych, rosnących w chłodnych i wilgot-

SŁAWOMIR WILCZYŃSKI

Katedra Klimatologii Leśnej
Akademia Rolnicza
Al. 29 Listopada 46
31-425 Kraków
rlwilczy@cyf-kr.edu.pl

nych Tatrach, cieplejszych i uboższych w opady Pieninach oraz w Ojcowie koło Krakowa, terenie stosunkowo najcieplejszym i najuboższym w opady.

Materiał badawczy i metodyka

Do badań wybrano pięć drzewostanów sosnowych. Dwa z nich znajdowały się w Tatrzańskim Parku Narodowym (TPN) – 1200 m n.p.m. (Koryciska Wielkie i Łysa Polana), dwa w Pienińskim Parku Narodowym (PPN) – 600 m n.p.m. (Macelowa Góra i Zielone Skałki) oraz jeden w Ojcowskim Parku Narodowym (OPN) – 300 m n.p.m. Maksymalna odległość między stanowiskami wyniosła ok. 100 km, a różnica wysokości między stanowiskami – 900 m. W każdym drzewostanie wybrano 15 najstarszych, zdrowych drzew. Świdrem Presslera pobrano z ich pni po dwa wywierty na wysokości 1,3 m od ziemi. Wartości zmierzonych na wywiertach szerokości słoju rocznych drewna utworzyły chronologiczne sekwencje, które następnie poddano standaryzacji [Cook i Holmes 1986]. Dla każdej próby złożonej z 15 drzew (30 sekwencji) obliczono średnią szerokość słoja dla poszczególnych lat oraz odpowiednio średnią wartość indeksu przyrostowego. Utworzono w ten sposób 5 chronologii szerokości słoju oraz 5 chronologii indeksowanych.

Standaryzacja sekwencji szerokości słoju miała na celu wyekspozowanie krótkookresowej zmienności szerokości słoju powodowanej głównie przez czynnik pogodowy. Chronologie indeksowane pozbawione są zatem trendu starczego i długookresowych fluktuacji powodowanych głównie przez czynniki o charakterze nieklimatycznym.

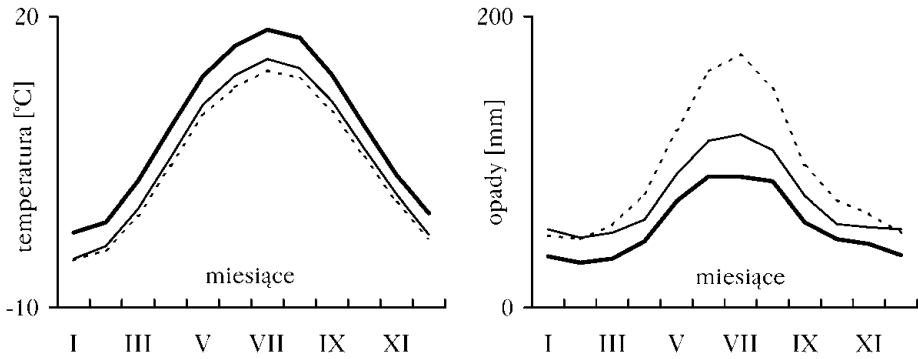
Do analizy chronologii zastosowano metodę głównych składowych (PCA), wskaźnika zbieżności (GL) [Eckstein i Bauch 1969], korelacji oraz regresji wielorakiej – response function [Fritts 1976] wykorzystującej procedurę „bootstrapped” [Guiot 1991, Fritts 1994], która opiera się na ocenie wielu prób losowych. Dla każdej próby obliczane są współczynniki regresji, na podstawie których obliczane są ostateczne wartości współczynników. Dane klimatyczne wykorzystane w analizach pochodziły ze stacji meteorologicznych IMGW w Zakopanem (860 m n.p.m.), Szczawnicy (506 m n.p.m.) oraz Krakowie (237 m n.p.m.).

Wyniki

Diagramy klimatyczne wskazują na wyraźne różnice warunków termiczno-pluwialnych Tatr, Pienin oraz Ojcowia (ryc. 1). Sosny „ojcowskie” rosły w regionie najcieplejszym i najbardziej suchym, natomiast sosny „tatrzańskie” w najchłodniejszym i najbardziej mokrym. Istnieje zatem podejrzenie, że w tych trzech regionach odmienne mogły być czynniki, które ograniczały wzrost rosnących tam drzew. Jednak poszczególne chronologie szerokości słoju, jak i chronologie indeksowane charakteryzują się podobnym przebiegiem. Wraz ze wzrostem odległości między stanowiskami podobieństwo między nimi stopniowo maleje, jednak cały czas pozostaje ono na statystycznie istotnym poziomie ($p < 0,05$). Zdecydowanie największe wartości współczynników zbieżności oraz korelacji mają chronologie pochodzące z danego regionu (tab. 1).

Aby stwierdzić – czy rytm przyrostowy drzew z poszczególnych stanowisk różni się i co o tym decyduje, zastosowano analizę składowych głównych z wykorzystaniem rotacji varimax i wyodrębniono z chronologii indeksowanych (zmienne) trzy pierwsze główne składowe (PC1, PC2, PC3). Ich liczbę ustalono na podstawie kryterium osypiska. Okazuje się, że wyjaśniają one łącznie aż 88% całkowitej zmienności badanych chronologii, przy czym pierwsza składowa wyjaśnia 54%, druga 20%, a trzecia 16%.

Przebieg wartości tych składowych przedstawiono na rycinie 2. Istnieje podejrzenie, że opisują one niezależne czynniki, determinujące zmienność poszczególnych chronologii. Stąd



Ryc. 1.

Diagramy klimatyczne dla stacji meteorologicznej w Zakopanem (TPN) (linie kropkowane), Szczawnicy (PPN) (linie cienkie) i Krakowie (OPN) (linie pogrubione)

Climatic diagrams of the meteorological station of Zakopane (TPN) (dotted lines), Szczawnica (PPN) (thin lines) and Kraków (thick lines)

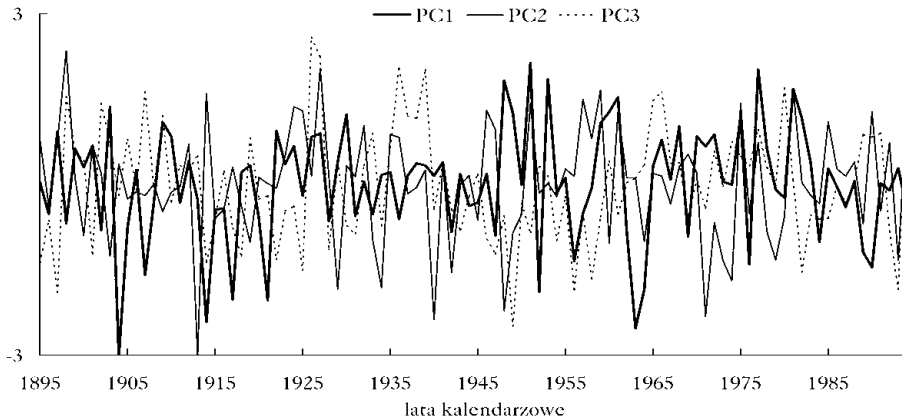
Tabela 1.

Wskaźniki zbieżności GL (%) chronologii szerokości słoików oraz współczynniki korelacji (r) chronologii indeksowanych dla okresu 1910-1990

Correlation coefficients (r) of tree-ring chronologies and coefficient of agreement GL (%) of indexed chronologies for the 1910-1990 period

GL / r	Region	Koryciska Wielkie	Łysa Polana	Macelowa Góra	Zielone Skałki	Ojców
Region	-	TPN	PPN	PPN	OPN	OPN
Koryciska	TPN	-	0,768***	0,345**	0,384***	0,330***
Łysa Polana	TPN	83,8***	-	0,385***	0,483***	0,444***
Macelowa	PPN	78,4***	75,7***	-	0,623***	0,345***
Zielone Skałki	PPN	75,7***	75,7***	86,5***	-	0,393***
Ojców	OPN	67,6**	64,9*	70,3***	73,8***	-

wartości istotne: * - p≤0,05; ** - p≤0,01; *** - p≤0,001
 significant values: * - p≤0.05; ** - p≤0.01; *** - p≤0.001



Ryc. 2.

Porównanie przebiegu wartości trzech pierwszych składowych głównych (PC1, PC2, PC3)

Comparison of scores of PC1, PC2 and PC3

też, do zbadania związków poszczególnych składowych ze zmiennymi wyjściowymi (chronologiami) obliczono współczynniki korelacji poszczególnych zmiennych z wyodrębnionymi trzema głównymi składowymi.

Stwierdzono, że obie chronologie sosen z Pienin mają z pierwszą główną składową (PC1) bardzo wysokie, dodatnie współczynniki korelacji (tab. 2). Ponad 50% zmienności zawartej w badanych chronologiach wyjaśniana jest przez tę główną składową. Z kolei druga główna składowa (PC2) silnie, dodatnio koreluje z chronologiami „tatrzańskimi”, natomiast trzecia (PC3) z chronologią sosen z Ojcowa (tab. 2). Wyniki te ilustruje rozkład chronologii względem ładunków dwóch pierwszych składowych, ukazujący te trzy grupy chronologii (ryc. 3).

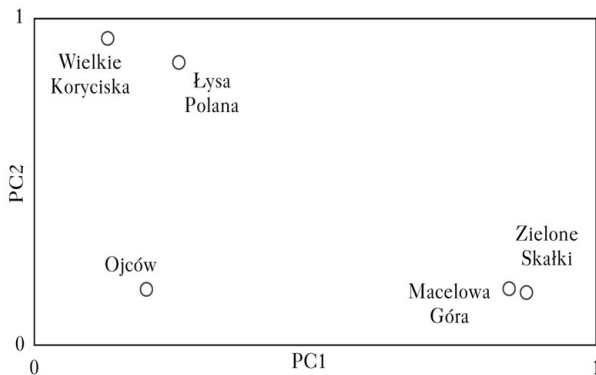
Na tej podstawie oraz bardzo dużych wartości współczynników zbieżności oraz korelacji chronologii z danego regionu (tab. 1) obliczono średnią chronologię dla Tatr oraz Pienin. Następnie zestawiono ponownie tak utworzone 3 regionalne chronologie (Tatry (TPN), Pieniny (PPN), Ojców (OPN)) z wartościami trzech pierwszych głównych składowych (PC1, PC2, PC3), obliczając między nimi współczynniki zbieżności oraz korelacji. W konsekwencji regionalna chronologia Pienin (PPN) najsilniejszą korelację oraz zbieżność ($p < 0,001$) miała z pierwszą składową główną (PC1), chronologia z Tatr (TPN) z drugą składową (PC2) ($p < 0,001$), natomiast chronologia z Ojcowa (OPN), jak wcześniej wykazano z trzecią składową (PC3) ($p < 0,001$) (ryc. 4).

Aby znaleźć odpowiedź na pytanie - jakie czynniki opisują kolejne trzy główne składowe, które determinują zmienność przyrostów radialnych sosen w poszczególnych regionach, korelowano wartości głównych składowych (PC1, PC2, PC3) z wartościami różnych elementów klimatycznych (ryc. 5). Okazało się, że pierwsza składowa (PC1) koreluje dodatnio ze średnimi temperatury lutego ($p < 0,05$), marca ($p < 0,01$) i sumami opadów czerwca ($p < 0,05$) oraz ujemnie z opadami września ($p < 0,05$). Druga główna składowa (PC2) koreluje dodatnio ze średnimi temperatury lipca ($p < 0,001$) oraz ujemnie z sumami opadów tego miesiąca ($p < 0,05$), natomiast trzecia składowa (PC3) koreluje dodatnio ze średnią temperaturą marca ($p < 0,05$), z sumami

Tabela 2.

Współczynniki korelacji głównych składowych
Correlation coefficients of the principal components

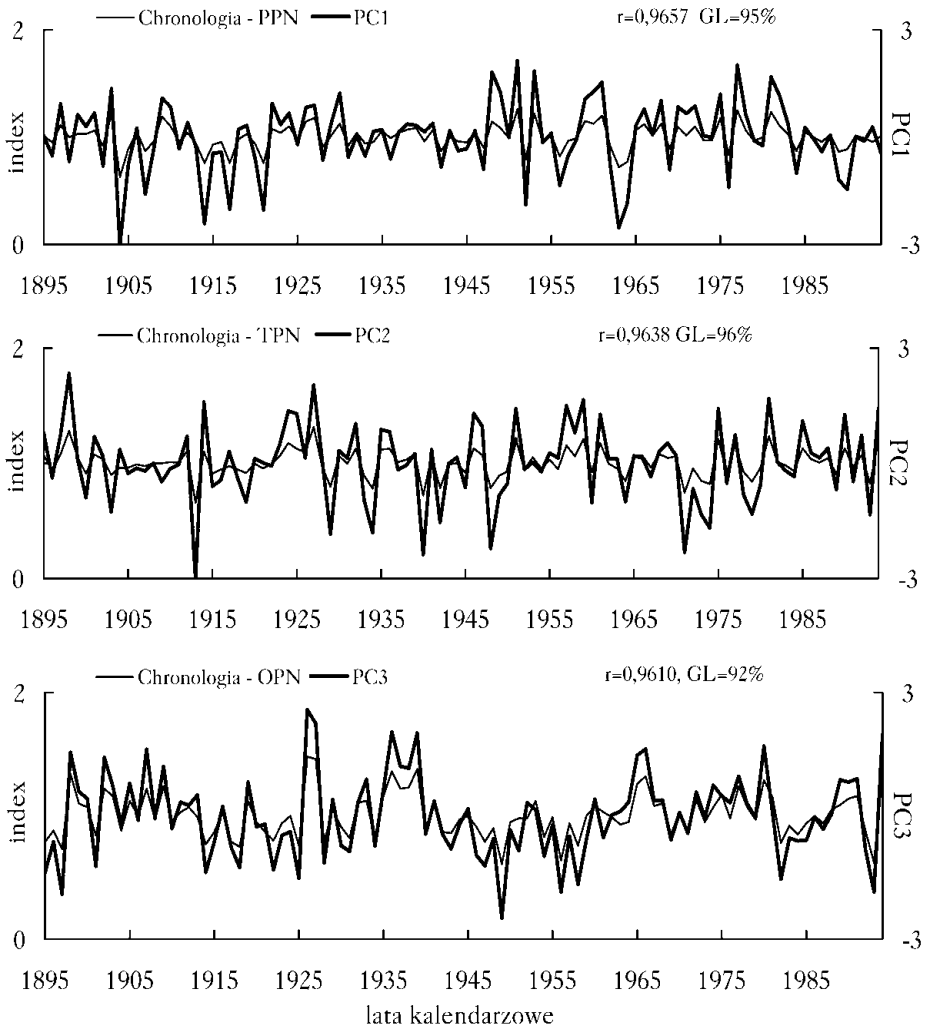
Region	Chronologie	PC1	PC2	PC3
TPN	Łysa Polana	0,2572	0,8657	0,2330
	Wielkie Koryciska	0,1306	0,9392	0,0552
PPN	Zielone Skalki	0,8550	0,1849	0,2039
	Macelowa Góra	0,8872	0,1719	0,0952
OPN	Ojców	0,1995	0,1706	0,9610



Ryc. 3.

Porównanie ładunków pierwszej (PC1) i drugiej składowej głównej (PC2)

Comparison of the loadings of the first (PC1) and second (PC2) principal component



Ryc. 4.

Porównanie przebiegu regionalnych chronologii indeksowanych z wartościami składowych głównych. Współczynnik korelacji (r) i zbieżności (GL)

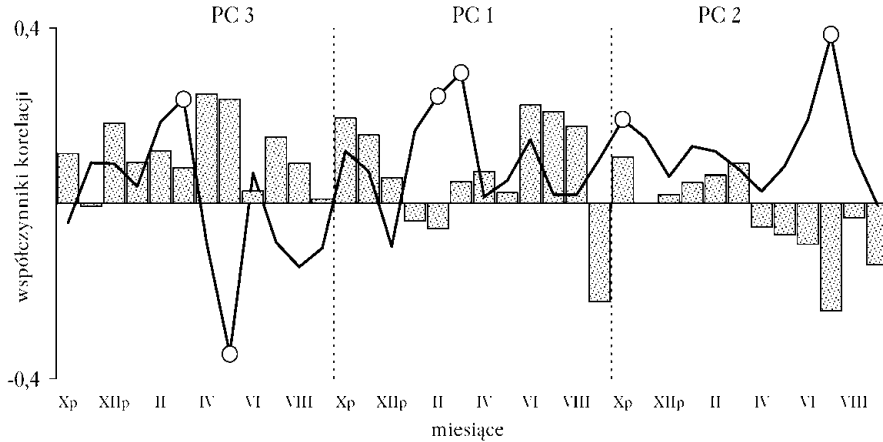
Comparison of regional index chronologies with PCs scores. Correlation coefficients (r) and coefficient of agreement (GL)

opadów kwietnia ($p<0,05$) oraz maja ($p<0,05$) i ujemnie ze średnią temperaturą tego miesiąca ($p<0,01$) (ryc. 5).

Możemy zatem postawić hipotezę o tym, że czynnikami determinującymi zmienność chronologii sosen mogły być: w Ojcowie (PC3) temperatura końca zimy (marzec) oraz opady i temperatura powietrza wiosną (głównie w maju); w Pieninach (PC1) – temperatura powietrza zimą (luty, marzec) oraz opady na początku (czerwiec) i na końcu lata (wrzesień); natomiast w Tatrach (PC2) temperatura powietrza latem (lipiec).

W celu weryfikacji tej tezy przeanalizowano bezpośrednie związki między wielkością przyrostów radialnych a wartościami poszczególnych elementów klimatu stosując metodę regresji wielorakiej. Współczynniki regresji (ryc. 6) pokazują, że sosny z Ojcowa tworzyły szerokie stoje

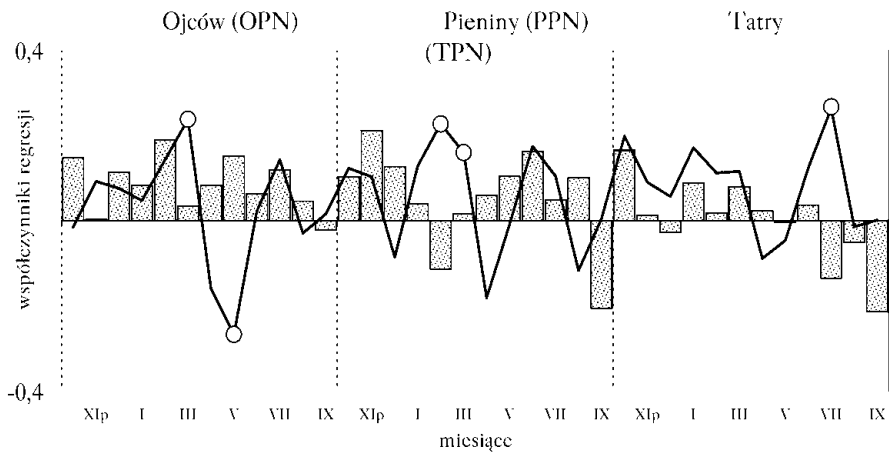
gdy zima obfitowała w opady (luty) i była przy tym krótka (ciepły marzec), natomiast wiosna (głównie maj) była chłodna i wilgotna. Sosny rosnące w Pieninach odkładały szerokie słoje gdy zima (luty, marzec) była ciepła i krótka, czerwiec obfitował w opady, a wrzesień był suchy. W Tatrach kambium sosen dzieliło się natomiast intensywnie w trakcie ciepłego i suchego lipca oraz podczas pogodnego września (ryc. 6). Wyniki te potwierdzają w dużej mierze wyniki analizy głównych składowych.



Ryc. 5.

Współczynniki korelacji między wartościami składowych głównych a miesięcznymi wartościami temperatury powietrza (linia) i opadów atmosferycznych (słupki) od października poprzedniego roku do września bieżącego roku. Analizowany okres 1910-1990. Wartości istotne ($p \leq 0,05$) (czarne słupki i kółka)

Correlations between each of the PC scores and monthly temperatures (line) and monthly precipitations totals (bars) from previous October to current September. Analysis period of 1910-1990. Significant values ($p \leq 0,05$) (black bars and circles)



Ryc. 6.

Wyniki analizy response function sosen z poszczególnych regionów dla miesięcznych wartości temperatury (linia) i opadów (słupki) od października poprzedniego roku do września roku bieżącego. Analizowany okres 1910-1990. Wartości istotne ($p \leq 0,05$) współczynników regresji wielorakiej (czarne słupki oraz kółka)

Response function for pines in each region for monthly temperature (line) and precipitation (bars) from previous October to current September. Analysis period 1910-1990. Significant values of coefficients of multiple regression ($p \leq 0,05$) (black bars and circles)

Dyskusja

Dotychczasowe badania dendroklimatologiczne sosny zwyczajnej na terenie Eurazji wskazują, że drzewa tego gatunku, rosnące na północy są wyjątkowo odporne na mrozy zimowe. Wymagają one jednak dużo ciepła w okresie lata [Ording 1941; Hustisch 1948; Mikola 1950; Leikola 1969; Briffa i in. 1990, 1995]. Z reguły u tamtejszych sosen nie stwierdzano istotnego wpływu opadów atmosferycznych na zmienność ich szerokości słoju, mimo że obszary te wcale nie należą do bogatych w opady. W Europie środkowej i południowej głównym czynnikiem modelującym wielkość przyrostów radialnych sosen są zazwyczaj opady i temperatura panujące w okresie wegetacji, a także temperatura miesięcy zimowych [Lührte 1991; Richter i in. 1991; Schweingruber i in. 1979; Wilczyński 1999]. Dominujący wpływ opadów atmosferycznych na przyrost drzew szczególnie uwidacznia się w regionach, w których brak jest dostatecznie dużych opadów w okresie ich najaktywniejszego wzrostu [Gassner i Christiansen-Weniger 1942; Richter i in. 1991; Linderson 1992; Wilczyński 1999].

Na podstawie uzyskanych w pracy wyników możemy stwierdzić, że modele zależności klimat-przyrost radialny sosen, rosnących w profilu północ-południe korespondują z modelami tych związków dla sosen rosnących wzdłuż profilu pionowego. Wysoko w górach podobnie jak i na północy najistotniejszy wpływ na przyrost radialny drzew odgrywa temperatura powietrza lata, choć temperatura zimą ma też wpływ na ich kondycję [Wilczyński 1999]. Drzewa rosnące powyżej 1000 m n.p.m., mimo występowania tam zimą bardzo niskiej temperatury były na nie wyjątkowo odporne. Wysoko w górach oraz na północy niedobór ciepła latem wydaje się być głównym czynnikiem, który ogranicza aktywność sosen. Ponadto w Tatrach duże opady latem były przeszkodą dla wzrostu drzew na grubość. W niższych położeniach górskich dominującą rolę zaczyna odgrywać już temperatura powietrza w miesiącach zimowych. Co ciekawe, sosny rosnące w Pieninach i w Tatrach kontynuowały proces wzrostu na grubość w trakcie suchego, pogodnego września. Ogrzewane bezpośrednio przez promienie słoneczne drzewa rekompensowały sobie w ten sposób niedobór ciepła w powietrzu. W górach w miesiącu tym sosny odkładają zatem istotną część słoja [Ermich 1959].

W ciepłym klimacie Ojcowa, główny wpływ na zmienność szerokości słoju miały warunki termiczno-wilgotnościowe pod koniec zimy oraz wiosną. Krótka, lecz śnieżna zima oraz duże opady podczas chłodnej wiosny tworzyły korzystny bilans wodny w okresie, w którym u drzew zachodzą intensywne procesy fizjologiczne aktywujące komórki kambium. Można zatem przypuszczać, że czynnikiem głównym determinującym zmienność chronologii badanych sosen była temperatura końca zimy, szczególnie istotna dla sosen z Pienin. Z kolei czynnikiem decydującym o charakterystycznym rytmie przyrostowym sosen z Tatr były warunki ciepłe lata, natomiast w Ojcowie warunki pluwialne wiosną.

Zróznicowanie wrażliwości drzew danego gatunku na czynnik klimatyczny dotyczy zatem zarówno obszarów bardzo odległych od siebie, jak i terenów bliskich, jednak położonych na różnych wysokościach nad poziomem morza. Drzewa zmieniają swoje wymagania dostosowując się do zmieniających się stopniowo wraz z wysokością warunków klimatycznych. Podobne obserwacje dotyczą świerka, u którego wraz z wysokością zwiększają się wymagania w stosunku do ciepła w okresie letnim i równoległe zmniejszają się one w stosunku do opadów tego okresu [Felixsik i Wilczyński 2000]. Tendencje te są jeszcze bardziej wyraźne jak w przypadku sosny. Co ciekawe świerki pozostają jednak nadal bardzo wrażliwe na niską temperaturę zimą [Felixsik i Wilczyński 2000, 2003].

Wnioski

- ✚ Im bliżej siebie rosły populacje drzew tym większe było podobieństwo chronologii szerokości słoików. Rytm przyrostowy sosen determinowany był różnymi czynnikami, mającymi jednak charakter klimatyczny. Główny wpływ na podobieństwo zmian wielkości słoików badanych drzew miały wartości temperatury pod koniec zimy.
- ✚ U najwyżej położonych sosen tatrzańskich głównym elementem limitującym wzrost drzew na grubość były warunki cieplne lata, głównie lipca. Ponadto tamtejsze sosny wykazywały największą odporność na niską temperaturę panującą zimą.
- ✚ Wraz ze zmniejszaniem się wysokości malała rola temperatury powietrza latem, zwiększał natomiast wpływ temperatury powietrza miesięcy zimowych. W Pieninach i Tatrach na wielkość przyrostów radialnych sosen dodatni wpływ miało ponadto ciepło promieni słonecznych pod koniec lata (wrzesień).
- ✚ W relatywnie najcieplejszym i najsuchszym regionie Jury Krakowskiej czynnikiem limitującym przyrost sosen były opady na wiosnę, głównie w maju.

Literatura

- Briffa K.R., Bartholin T.S., Eckstein D., Jones P.D., Karlen W., Schweingruber F.H., Zetterberg P. 1990. A 1,400-year tree-ring record of summer temperatures in Fennoscandia. *Nature* 346: 434-439.
- Briffa K.R., Jones D.P., Schweingruber F.H., Shiyatov S.G., Cook E.R. 1995. Unusual twentieth-century summer warmth a 1,000-year temperature record from Siberia. *Nature* 376: 156-159.
- Cook E.R., Holmes R.L. 1986. Users manual for program ARSTAN. (In:) 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 6, Univ. of Arizona, Tucson: 50-65.
- Eckstein D., Bauch J. 1969. Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. *Forstwiss. Cbl.* 88, 4: 230-250.
- Ermich K. 1959. Badania nad sezonowym przebiegiem przyrostu grubości pnia u *Pinus sylvestris* L. i *Quercus robur* L. *Acta Soc. Bot. Pol.* 28: 15-63.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2000. Climatic impact on the radial increment of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from the Ustroń Forest District. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 376, 29: 13-23.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2003. Termiczne uwarunkowania przyrostu tkanki drzewnej świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) w reglu dolnym Beskidu Żywieckiego. *Acta Agrar. Silv. Ser. Silv.* 41 (w druku).
- Fritts H.C. 1976. *Tree-Rings and Climate*. Acad. Press, New York, San Francisco, London.
- Fritts H.C. 1994. Quick help for PRECON – version 4.0. User manual.
- Gassner G., Christiansen-Weniger 1942. Dendroklimatologische Untersuchungen über die Jahresringentwicklung der Kiefern in Anatolien. *Nova Acta Leopoldina* 12, 80: 3-137.
- Glebov Z. E., Pogodina A. J. 1972. Rost drewościoew nekotorych typow bołotnych lesow Tomskogo Stacionara w swiazi s gidrotermiczeskimi usłowiami. (W:) Dendroklimatologia i radiouglerod. *Inst. Bot. AN. Litow. SSR Kaunas*: 120-126.
- Guiot J. 1991. Research report: The bootstrapped response function. *Tree-Ring Bull.* 51: 39-40.
- Hustisch I. 1948. The Scots pine in northernmost Finland and its dependence on the climate in the last decades. *Acta Bot. Fenn.* 42: 1-30.
- Leikola M. 1969. The influence of environmental factors on the diameter growth of forest trees. Auxanometric study. *Acta For. Fenn.* 92: 1-144.
- Linderson H. 1992. Dendroclimatological investigation in Southern Sweden. *Lundqua Report.* 34: 198-201.
- Lührte A., 1991. Dendroökologische Untersuchungen an Kiefern und Eichen in den stadtnahen Berliner Forsten. *Landschaftsentwicklung und Umweltforschung* 77, Techn. Univ. Berlin.
- Mikola P. 1950. On variations in tree growth and their significance to growth studies. *Commun. Inst. For. Fenn.* 38: 1-131.
- Ording A. 1941. Årninganalyser på gran og furu. *Medd. Nor. Skogforsøksves* 25: 101-354.
- Schweingruber F.H., Bräker O.U., Schär E. 1979. Dendroclimatic studies on conifers from central Europe and Great Britain. *Boreas* 8: 427-452.
- Wilczyński S. 1999. Dendroklimatologia sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) z wybranych stanowisk w Polsce. Rozpr. doktorska. *Kat. Klimat. Leśnej, AR w Krakowie*.
- Wilczyński S., Krapiec M., Szychowska-Krapiec E., Zielski A. 2001. Regiony dendroklimatyczne sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce. *Sylwan* 145, 8: 53-61.

SUMMARY**The climate-radial growth models of Scots pines from the Tatra, Pieniny and Ojców national parks**

The aim of the paper was to investigate differences in susceptibility to weather factors of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growing at different elevations above sea level in three relatively not distant regions in southern Poland. The studies were carried out in two pine stands in the Tatra National Park (TPN) – at 1100 m a.s.l. two - in the Pieniny National Park (PPN) – 800 m a.s.l. and one – in the Ojców National Park (OPN) at 300 m a.s.l. (Fig. 1). In each stand 15 oldest trees were selected to collect increment cores from a height of 130 cm above ground level. Subsequently, the tree-ring series were subjected to standardisation. Site tree-ring chronologies and site index chronologies were calculated for each sample of 15 trees.

It has been stated that the closer the distance between tree populations the greater was the likelihood of site tree-ring chronologies. The incremental rhythm of pines was determined by different factors, but they always were of a climate-related nature (Fig. 3, 4, 5). Temperatures towards the end of the winter period proved to have had the greatest impact on the potential changes in widths of the examined tree rings. In view of cold and moisture conditions of the Tatra Mountains (Fig. 1) the main factor limiting the width increment of pines was warm summer (mostly in July). Besides, the trees revealed the highest resistance to low temperatures in winters (Fig. 6). Along with the decrease in altitude the impact of thermal conditions in the summer period was less significant while the impact of air temperatures in the winter months appeared to perform an ever greater role (Fig. 6). In the warmest and driest Ojców National Park (Fig. 1) thermal and moisture conditions were the limiting factor during the spring (Fig. 6).