

SŁAWOMIR WILCZYŃSKI, NORBERT SZYMAŃSKI

Sygnal klimatyczny w seriach przyrostów rocznych świerków z regla dolnego oraz górnego w Tatrach*

Climatic signal in the tree-ring series of Norway spruces from the lower and upper montane forest belt in the Tatra Mountains

ABSTRACT

Wilczyński S., Szymański N. 2015. Sygnal klimatyczny w seriach przyrostów rocznych świerków z regla dolnego oraz górnego w Tatrach. Sylwan 159 (12): 1008-1017.

The study analysed short-term rhythm of radial increments of spruces from different elevations and their climate drivers. Two Norway spruce stands were chosen at the lower and upper montane forest belt in Roztoka Valley (DR) (1000-1050 m asl, 49°13'N, 20°04'E) and in Hala Gąsienicowa (HG) (1500-1550 m asl, 49°13'N, 20°04'E). 20 trees were sampled and one increment core was taken per tree. The sampled trees were dominant or co-dominant individuals without visible damage. To remove the age trend, the tree-ring widths values were standardized to annual sensitivity indices. Principal components analysis, bootstrapped correlation and pointer years analysis were used to classify sensitivity of investigated series and identify the climate factors, which determined annual variability of the radial increments. Pointer years were also determined by using interval trend method. The first principal component (PC1) accounts for 39% of the variance among all tree-ring series. The second component (PC2) accounts for 15% of the variance among the tree-ring series and divides the series into two groups. This grouping seems to express the lower and higher locations of the sites. The sensitivity series of spruces from both sites had different as well as similar features. These differences resulted from different tree's reaction to temperature in early spring and precipitation in spring and summer. The similarity of increment reactions of spruce from both sites was caused by their similar sensitivity to sunshine duration and precipitation in January, temperature in June and July, sunshine duration in June. Cluster analysis confirmed the impact of the climatic factors on differences of increment reactions of spruces. A number of the pointer years was higher at site located in the upper montane forest belt. Their chronology also consisted a stronger climatic signal. The climatic sensitivity which was specificity for a given climatic belt was recorded into individual tree series. For that reason, the tree-ring width series of trees are useful in the estimate of a climate-increment relationship. They can also be used to dividing dendroclimatic belts.

KEY WORDS

radial increment, *Picea abies*, Tatra Mts, climate

ADDRESSES

Sławomir Wilczyński – e-mail: s.wilczynski@ur.krakow.pl

Norbert Szymański – e-mail: szymanski.norbert@wp.pl

Zakład Ochrony Lasu, Entomologii i Klimatologii Leśnej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie;
al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków

*Badania zostały sfinansowane z dotacji przyznanej przez MNiSW na działalność statutową.

Wstęp

Przestrzenne zróżnicowanie krótkookresowego rytmu przyrostowego drzew jest skutkiem ich odmiennej wrażliwości na czynnik klimatyczny. Rytm ten zobrazowany jest przez chronologiczny ciąg różnych parametrów słoju drewna. Każdy region lub piętro klimatyczne posiadają swoje warunki klimatyczne, które jako tzw. sygnał klimatyczny zapisywane są wyraźnie w chronologiach stanowiskowych, lokalnych oraz regionalnych. Chronologie uwypuklają bowiem wspólne cechy przyrostowe drzew tworzących lokalną lub regionalną populację. Potwierdzeniem tego mogą być wyniki badań dendroklimatycznych prowadzonych nad świerkiem w regionach górskich. Wskazują one, że rytm zmian wielkości przyrostów radialnych jego populacji cząstkowych kształtowany jest przez zmieniające się wraz z wysokością warunki klimatyczne [Kienast i in. 1987; Dittmar, Elling 1999; Feliksik, Wilczyński 2002, 2003; Rolland i in. 2000; Wilson, Hopfmüller 2001; Savva i in. 2006; Levanič i in. 2009; Czajka 2012]. Fakt ten znajduje odbicie w przebiegu ich chronologii stanowiskowych i dzięki temu możliwe jest na przykład wyznaczanie pięter o charakterze dendroklimatycznym [Wilczyński, Szymański 2014a].

Zróżnicowanie przebiegu serii szerokości słoju drzew danej populacji jest często większe niż pomiędzy chronologiami stanowiskowymi w danym regionie klimatycznym [Wilczyński 2010]. Wynika ono ze zmienności genetycznej drzew oraz oddziaływania na ich wzrost różnych, przypadkowych czynników. Pomimo to serie osobnicze są z powodzeniem wykorzystywane w badaniach dendroklimatycznych [Carrer, Urbinati 2004, 2006; Yu i in. 2008; Wang i in. 2009; Wilczyński, Szymański 2015].

Celem pracy było zbadanie, (i) czy poszczególne świerki wykazują charakterystyczny dla danego piętra klimatycznego rytm przyrostowy, (ii) czy posiadają one wspólne cechy przyrostowe oraz (iii) jakie elementy klimatyczne o tym zadecydowały. Niniejsze badania miały na celu stwierdzenie przydatności osobniczych serii szerokości słoju w poszerzaniu wiedzy o wymaganiach klimatycznych świerka pospolitego oraz możliwości ich wykorzystania w wyodrębnianiu pięter dendroklimatycznych.

Materiał i metody

Do badań wybrano dwa drzewostany (stanowiska) świerkowe. Pierwszy z nich położony był w reglu dolnym (umiarkowanie chłodne piętro klimatyczne), w Dolinie Roztoki (DR), na wysokości 1000-1050 m n.p.m. (49°13'N, 20°04'E), natomiast drugi w reglu górnym (chłodne piętro klimatyczne), na Hali Gąsienicowej (HG), na wysokości 1500-1550 m n.p.m. (49°14'N, 20°00'E). W obu drzewostanach wybrano po 20 około 100-letnich świerków z I klasy biosocjalnej Krafca, bez zewnętrznych oznak chorobowych. Z ich pni pobrano po jednym wywiercie.

Szerokość słoju rocznych drewna zmierzono za pomocą przyrostomierza BEPD-3 Biotronik. Poprawność datowania słoju sprawdzono programem COFECHA [Holmes 1986]. Wartości szerokości słoju transformowano, obliczając w każdym roku wskaźnik przyrostowy, tzw. czułość roczną (c) (ang. annual sensitivity) [Douglass 1920; Fritts 1976]. Miało to na celu redukcję zmienności długookresowej oraz uwypuklenie zmienności krótkookresowej (z roku na rok) w seriach drzew. W konsekwencji każde drzewo reprezentowane było przez serię szerokości słoju oraz serię czułości.

Stopień jednorodności reakcji przyrostowych drzew obu populacji, reprezentatywność chronologii stanowiskowych, siłę sygnału klimatycznego oraz przeciętną czułość (zmienność szerokości słoju z roku na rok) oszacowano za pomocą odpowiednich wskaźników: rbt (średni współczynnik korelacji wszystkich par serii czułości), EPS (wskaźnik reprezentatywności chrono-

logii), SNR (stosunek zmienności krótkookresowej do zmienności długookresowej) [Wigley i in. 1984] oraz MS (średnia czułość) [Douglass 1920; Fritts 1976]. Do klasyfikacji świerków, ze względu na cechy ich krótkookresowego rytmu zmian wielkości przyrostów radialnych, wykorzystano analizę głównych składowych (PCA). Grupowania drzew dokonano w oparciu o wartości ładunków czynnikowych (współczynników korelacji) serii czułości z wyodrębnionymi głównymi składowymi. Na podstawie wykresu osypiska do dalszych analiz włączono dwie pierwsze składowe – PC1 oraz PC2. W celu identyfikacji czynników wpływających na przyrost radialny świerków z obu stanowisk wykorzystano metodę korelacji bootstrapowej [Biondi, Waikul 2004], korelując wartości PC1 i PC2 z wartościami miesięcznymi temperatury powietrza, opadów atmosferycznych oraz usłonecznienia od września roku poprzedzającego przyrost do września roku formowania słoja (rok bieżący) ($m=13$). Zastosowano metodę kroczących 50-letnich interwałów. Pierwszy analizowany okres obejmował lata 1927-1976. Następnie był on przesuwany kolejno o jeden rok do przodu. Pozwoliło to ocenić stabilność czasową relacji klimat–przyrost radialny. Powyższe analizy wykonano za pomocą programu komputerowego DendroClim2002 [Biondi, Waikul 2004].

W celu weryfikacji wyników uzyskanych za pomocą analizy PCA zastosowano analizę skupień (CA). W tym przypadku zmiennymi było 40 39-elementowych szeregów współczynników korelacji. Zostały one obliczone pomiędzy 40 seriami czułości drzew i 39 (3×13) wyżej wymienionymi wskaźnikami klimatycznymi. Dla każdego stanowiska obliczono na ich podstawie średnie współczynniki korelacji dla każdego parametru klimatycznego.

Przeprowadzono także analizę lat wskaźnikowych. Wyznaczono je za pomocą metody tzw. trendu interwałowego (ang. interval trend) [Schweingruber i in. 1990; Meyer 1998-1999], obliczając wskaźniki IT :

$$IT_i = 100 \cdot m/n [\%]$$

gdzie:

- m – liczba drzew zwiększających w roku i szerokość słoja w stosunku do słoja z poprzedniego roku,
- n – liczba wszystkich badanych drzew.

Wyróżniono dwa rodzaje lat wskaźnikowych – pozytywne ($IT \geq 95\%$) oraz negatywne ($IT \leq 5\%$). Następnie analizowano warunki klimatyczne panujące w latach negatywnych oraz w roku je poprzedzającym.

Dane klimatyczne z lat 1927-2006 pochodziły ze stacji meteorologicznej IMGW w Zakopanem oraz na Kasprowym Wierchu. Dane z obu stacji uśredniono, tworząc stację hipotetyczną, która lepiej reprezentowała strefę, w której rosły badane drzewa. Konieczność utworzenia jednej stacji wynikała z faktu, że wskaźniki klimatyczne porównywano z wartościami głównych składowych, czyli ze zmiennymi, które wyodrębniono na podstawie serii świerków obu populacji łącznie. Ponadto porównywano ze sobą warunki klimatyczne w latach wskaźnikowych dwóch populacji drzew, które rosły w odmiennych warunkach klimatycznych.

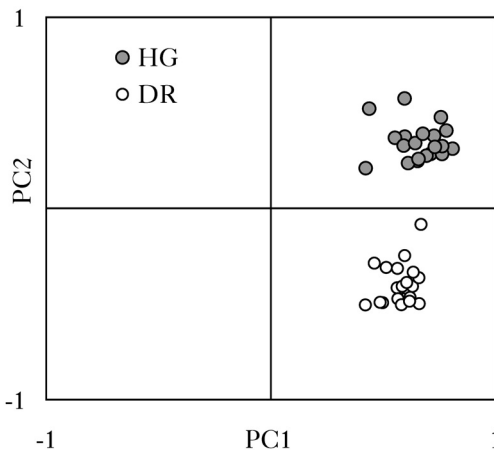
Wyniki

Świerki z regła górnego (HG) charakteryzowały się w stosunku do drzew z regła dolnego (DR) większą jednorodnością corocznych reakcji przyrostowych ($r_{bt}=0,529$). Ich stanowiskowa chronologia cechowała się większą reprezentatywnością ($EPS=0,957$), silniejszym sygnałem klimatycznym ($SNR=22,5$) oraz większą wrażliwością na krótkookresowe impulsy płynące ze strony środowiska ($MS=0,155$). Wskaźniki dla stanowiska DR wyniosły: $r_{bt}=0,463$, $EPS=0,945$, $SNR=17,3$ oraz $MS=0,139$.

Dwie pierwsze główne składowe wyjaśniły 54% wspólnej zmienności serii czułości, przy czym PC1 wyjaśniała 39% ich zmienności, natomiast PC2 15%. Serie czułości świerków z obu stanowisk były dodatnio skorelowane z PC1, natomiast PC2 różnicowała je na dwie grupy (ryc. 1). Serie świerków z Doliny Roztoki ujemnie korelowały z PC2, natomiast serie z Hali Gąsienicowej dodatnio. PC1 opisywała zatem czynniki mające podobny wpływ na przyrost świerków z obu stanowisk. Z kolei PC2 opisywała czynniki, na które drzewa obu populacji wykazywały odmienną wrażliwość. Ich identyfikację przeprowadzono, korelując wartości obu składowych z różnymi parametrami klimatycznymi. Okazało się, że PC1 dodatnio korelowała ze średnią temperaturą czerwca i lipca, sumą opadów stycznia oraz sumą usłonecznienia czerwca roku formowania słoja. Stwierdzono także ujemne związki pomiędzy PC1 a sumą usłonecznienia grudnia poprzedniego roku oraz stycznia bieżącego roku (ryc. 2). Z kolei PC2 ujemnie korelowała ze średnią temperaturą marca i kwietnia oraz sumą opadów czerwca roku formowania słoja. Większość powyższych relacji była stabilna w okresie 1927-2006. Jednak statystyczna istotność części z nich zanikała w ostatnich latach (relacje z opadami bieżącego czerwca), a część ujawniała się dopiero pod koniec analizowanego okresu (relacje z usłonecznieniem i opadami stycznia) (ryc. 2).

W trakcie analizy skupień serie współczynników korelacji utworzyły dwie grupy (ryc. 3), analogiczne jak w przypadku analizy PCA serii czułości (ryc. 1). Wynika stąd, że różnice rytmu przyrostowego świerków z obu stanowisk były skutkiem ich odmiennej wrażliwości na warunki klimatyczne (termiczne, pluwialne oraz solarne) obu pięter. Obliczone w dalszej kolejności średnie współczynniki korelacji serii czułości drzew z poszczególnymi parametrami klimatycznymi korespondowały z wyżej opisanymi wynikami analizy głównych składowych (ryc. 2, 4). Wynika z nich, że drzewa na obu stanowiskach wykazywały odmienną wrażliwość na temperaturę marca, kwietnia i czerwca, na opady czerwca i lipca oraz na usłonecznienie marca i czerwca roku formowania słoja (ryc. 4).

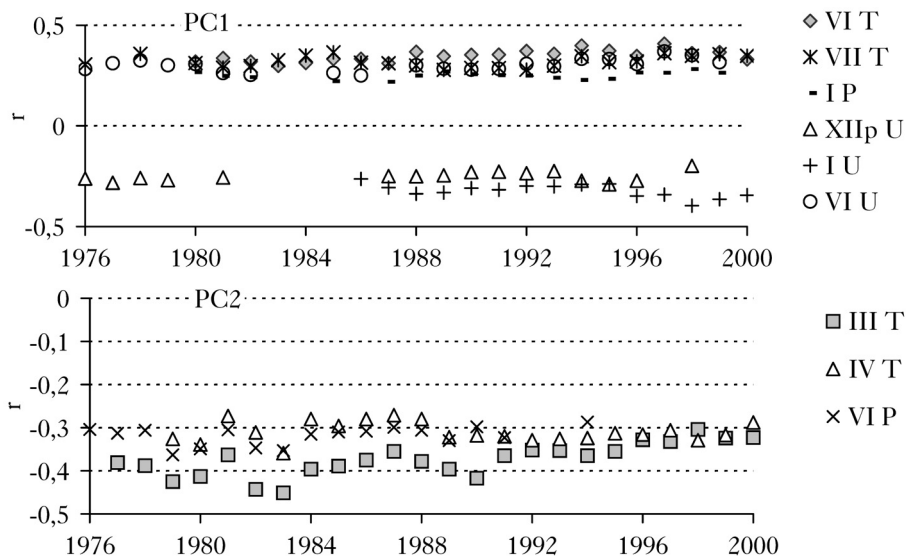
W populacji świerków z Hali Gąsienicowej stwierdzono 16 lat negatywnych oraz 11 pozytywnych, czyli o 5 więcej niż w świerków z Doliny Roztoki, które wytworzyły 12 lat wskaźnikowych negatywnych oraz 10 pozytywnych (ryc. 5). Większa liczba lat wskaźnikowych na stanowisku HG koresponduje z wyższymi wartościami wskaźników rbt oraz SNR. Lata wskaźnikowe stanowiły jednak tylko 33,7% (HG) oraz 27,5% (DR) analizowanych lat. Wynikać to może z wysokiego kryterium przyjętego do ich wyznaczania. Warto podkreślić, że na obu stanowiskach wystąpiło



Ryc. 1.

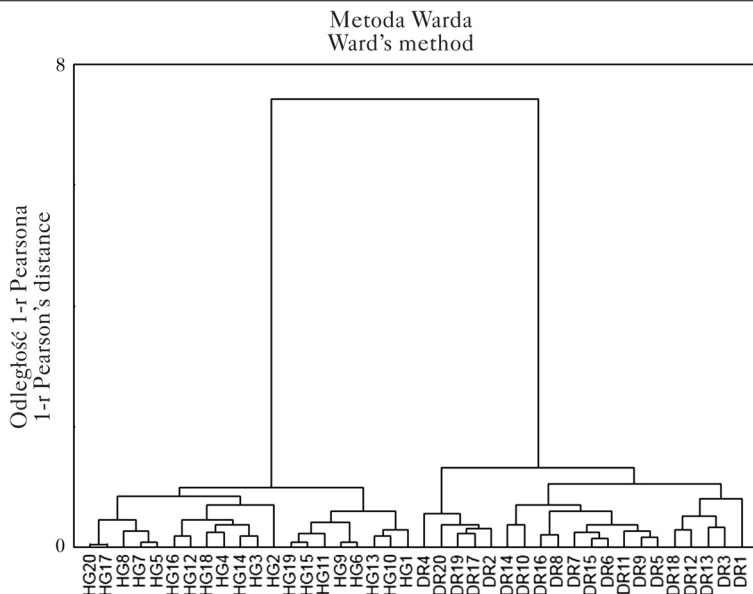
Położenie serii czułości stanowiska z regla górnego (HG) i dolnego (DR) względem wartości ładunków PC1 i PC2

Annual sensitivity series from site at the upper (HG) and lower (DR) montane forest belt in relation to the PC1 and PC2 loadings



Ryc. 2.

Istotne ($p < 0,05$) współczynniki korelacji bootstrap dla interwałów ruchomych między PC1 i PC2 a miesięczną temperaturą (T), opadami (P) i usłonecznieniem (U) miesięcy danego roku oraz roku poprzedniego (p) Significant ($p < 0,05$) bootstrap correlation coefficients for moving intervals between PC1, PC2 and monthly temperature (T), precipitation (P) and sunshine duration (U) in individual months of current and previous year (p)

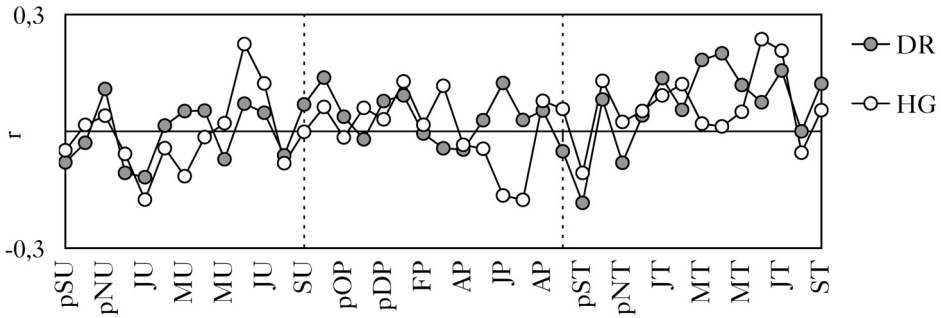


Ryc. 3.

Grupowanie świerków według ich wrażliwości na czynnik klimatyczny

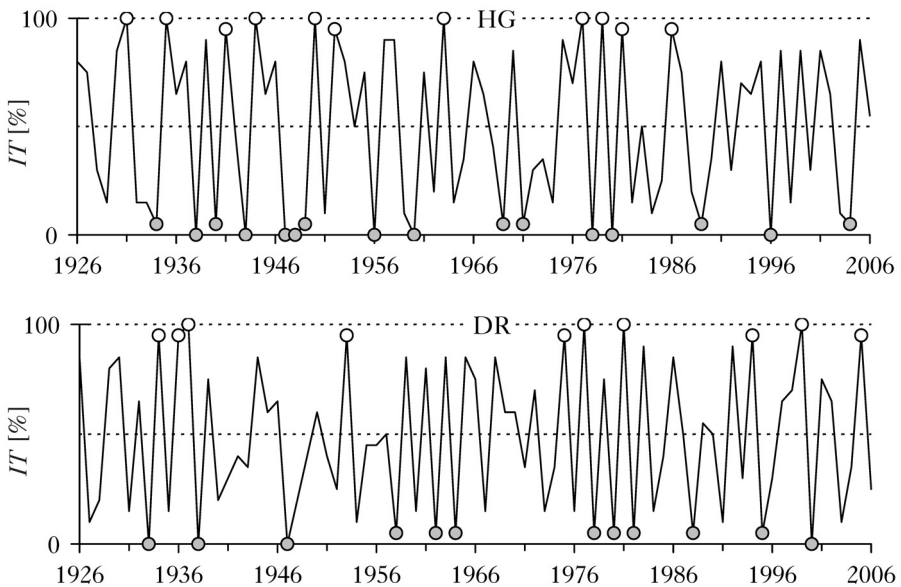
Clusters of Norway spruces based on similarity of their response to climatic factor

Jako zmiennych użyto współczynników korelacji obliczonych między wartościami czułości rocznej i miesięczną temperaturą, opadami oraz usłonecznieniem miesięcy poprzedniego i bieżącego roku (ryc. 4) Variables comprised the correlation coefficients between annual sensitivity indices and monthly temperatures, precipitation, and sunshine duration of different months of previous and current year were used (fig. 4)



Ryc. 4.

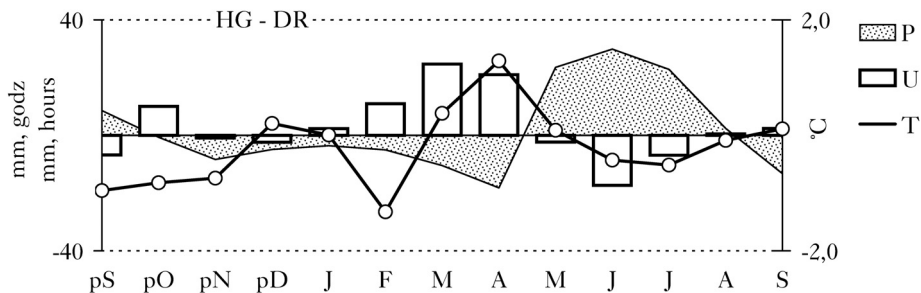
Średnie współczynniki korelacji między seriami czułości a miesięczną temperaturą (T), opadami (P) oraz usłonecznieniem (U) od poprzedniego września (pS) do września roku formowania słoja (S)
 Mean correlation coefficients between annual sensitivity series and monthly temperature (T), precipitation (P) and sunshine duration (U) from previous September (pS) till current September (S)



Ryc. 5.

Stanowiskowe chronologie wskaźników *IT* oraz lata wskaźnikowe pozytywne (białe punkty) i negatywne (czarne punkty)
 Site chronologies of *IT* indices with positive (white dots) and negative pointer years (black dots)

tylko sześć tych samych lat wskaźnikowych – 1938, 1947, 1977, 1978, 1980 oraz 1981 rok. Zdarzył się także jeden przypadek, kiedy w 1934 roku na stanowisku HG wystąpił rok negatywny, natomiast na stanowisku DR wystąpił wtedy rok pozytywny (ryc. 5). Z analizy warunków klimatycznych lat wskaźnikowych wynika, że świerki z regła górnego, w odróżnieniu od tych z regła dolnego, wykształcały lata negatywne w następnym roku po chłodnej jesieni (wrzesień-listopad), w roku, w którym luty był mroźnym miesiącem, a koniec zimy i przedwiośnie (marzec-kwiecień) były stosunkowo ciepłe, słoneczne i bezopadowe oraz gdy okres wiosenno-letni (maj-lipiec) był mokry, pochmurny i chłodny (ryc. 6).



Ryc. 6.

Różnice wartości miesięcznych temperatury (T), opadów (P) oraz usłonecznienia (U) lat wskaźnikowych negatywnych ze stanowisk HG i DR w okresie od poprzedniego września (pS) do bieżącego września (S) Differences of monthly temperature (T), precipitation (P) and sunshine duration (U) of negative pointer years in HG and DR sites from previous September (pS) till current September (S)

Dyskusja

Wyniki dotychczasowych badań dendroklimatycznych wskazują, że świerki rosnące na różnych wysokościach nad poziomem morza mają odmienny rytm przyrostowy, kształtowany przez panujące tam warunki klimatyczne [Kienast i in. 1987; Rolland i in. 2000; Wilson, Hopfmüller 2001; Feliksik, Wilczyński 2002, 2003; Savva i in. 2006; Czajka 2012; Liu i in. 2013; Wilczyński, Szymański 2014a, b]. W reglu dolnym odmienności te ujawniają się przy różnicy wysokości 200-250 m. Wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza odległość ta maleje. Przy górnej granicy regła górnego wynosi ona już około 100 m [Wilczyński, Szymański 2014a]. Wynika to z badań dotyczących różnic rytmu przyrostowego populacji świerka z Beskidów opartych na analizie przebiegu chronologii stanowiskowych. Okazuje się, że również poszczególne osobniki rosnące w różnych piętrach klimatycznych Tatr różnią się wrażliwością na czynnik klimatyczny. Należy przypomnieć, że różnica wysokości obydwu stanowisk wyniosła 500 m. Drzewa z regła górnego były bardziej wrażliwe na działanie czynnika klimatycznego. Świadczyła o tym większa jednorodność ich reakcji przyrostowych, wyższa przeciętna czułość i siła sygnału klimatycznego zawartego w ich chronologiach oraz większa liczba lat wskaźnikowych.

Prezentowane w niniejszej pracy wyniki wskazują, że świerki z obu stanowisk wykazywały odmienną wrażliwość na temperaturę poprzedniej jesieni. Drzewa rosnące w reglu dolnym często po cieplej jesieni wytwarzały lata wskaźnikowe negatywne, co można tłumaczyć groźnym w skutki opóźnieniem procesu drewnienia pędów. Z kolei u drzew z regła górnego takie relacje nie zachodziły. Zapewne były one lepiej przystosowane do szybko nadchodzącej zimy. Świerki na obu stanowiskach wykazywały także odmienną wrażliwość na temperaturę powietrza w marcu i kwietniu. Przedłużająca się zima miała negatywny wpływ na przyrost świerków z regła dolnego, natomiast na świerki z regła górnego nie miało to większego wpływu. Wynika to z faktu, że w wyższych partiach gór zima zwykle trwa o wiele dłużej, przez co aktywność ich kambium jest opóźniona i przyrost na grubość ogranicza się do krótkiego sezonu letniego. Pierwsze podziały kambium u świerków z regła górnego często mają miejsce dopiero na początku czerwca [Ermich 1963]. Odmienny wpływ temperatury powietrza pod koniec zimy na wielkość przyrostów radialnych świerków z dolnego i górnego regła potwierdzają także wyniki innych badań [Savva i in. 2006; Wilczyński, Szymański 2014b]. Początek procesów wzrostowych u drzew po zimowym spoczynku jest zależny do temperatury powietrza [Hänninen, Tănino 2011; Rossi i in. 2011]. Jej wzrost pod koniec zimy skutkuje wcześniejszą aktywacją kambium waskularnego, a w konsekwencji szyb-

szym tworzeniem i różnicowaniem się komórek ksylemu [Bourdeau 1959; Szaniawski i in. 1997; Rossi i in. 2007; Deslauriers i in. 2008; Gruber in. 2009]. Pisek i Winkler [1958] wskazują, że po łagodnej i krótkiej zimie świerki szybciej odzyskują zdolności asymilacyjne i przyrostowe. Z niniejszych badań wynika jednak, że powyższe zależności słabną wraz ze wzrostem wysokości nad poziomem morza.

Uzyskane wyniki wskazują, że długotrwałe bezpośrednie promieniowanie słoneczne na początku zimy szkodziło wszystkim świerkom w podobny sposób, natomiast pod koniec zimy wpływało negatywnie na przyrost drzew głównie z regla górnego. Szkodliwość nadmiernego promieniowania słonecznego na przedwiośniu wiąże się z występowaniem suszy fizjologicznej. Jest to zjawisko niebezpieczne głównie dla drzew z wyższych partii gór, gdzie gleba jest głębiej i bardziej zmrożona, a natężenie promieniowania słonecznego jest większe. Negatywny wpływ promieniowania na początku zimy może świadczyć pośrednio o braku opadów i mroźnej pogodzie – zjawiskach, które przyczyniają się do głębszego zamarzania gleby niechronionej przez pokrywę śniegu. Równocześnie należy podkreślić pozytywną rolę, jaką w obu piętrach odgrywał pochmurny i obfity opady styczeń. Z kolei mroźny luty negatywnie wpływał na świerki w reglu górnym, gdzie drzewa były bardziej narażone na groźne wysuszające działanie mroźnych wiatrów.

Nadmierne opady podczas wiosny oraz lata szkodziły przede wszystkim świerkom z regla górnego, natomiast pozytywnie wpływały na przyrost świerków z regla dolnego. Opady i związane z nimi zachmurzenie w okresie wegetacji obniżają temperaturę powietrza, czynnika szczególnie deficytowego na dużych wysokościach. Powyższe spostrzeżenia potwierdzają także wyniki dotychczasowych badań dendroklimatycznych [Dittmar, Elling 1999; Wilson, Hopfmüller 2001; Cai, Liu 2013; Wilczyński, Szymański 2014a, b]. Opady i duża wilgotność powietrza powodują wzrost zawartości wody w drzewie. Skutkuje to zwiększeniem turgoru komórek oraz intensyfikacją rozszerzania się i wzrostu komórek kambium [Major, Johnsen 2001; Steppe i in. 2006]. Z kolei deficyt wody w okresie letnim może powodować ograniczenie lub nawet wcześniejsze zakończenie aktywności kambium [Pichler, Oberhuber 2007; Levanič i in. 2009]. Wnioski płynące z powyższych badań należy z ostrożnością odnosić do warunków górskich, gdzie czynnikiem minimum jest głównie temperatura powietrza. Wysoko w górach wilgoci jest zwykle pod dostatkiem. Duża wilgotność powietrza oraz zwilżanie liści przez skroploną parę poprawia bilans wodny roślin [Katz i in. 1989; Burgess, Dawson 2004; Breshers i in. 2008]. Jednocześnie warunki takie nie ograniczają dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego. Wysoko w górach staje się ono ważnym substytutem ciepła, które w ograniczonym stopniu dostarczane jest do drzew przez powietrze [Gričar i in. 2006]. Wyniki niniejszych badań wskazują także, że coroczna zmienność temperatury powietrza oraz usłonecznienia w pierwszej połowie lata miały podobny wpływ na zmienność wielkości przyrostów radialnych świerków na obu stanowiskach. Drzewa z wyższych położen górskich cierpią jednak bardziej z powodu deficytu ciepła w okresie intensywnego wzrostu [Feliksik, Wilczyński 2000, 2002, 2003; Wilson, Hopfmüller 2001; Wilczyński i in. 2004; Frank, Esper 2005; Wang i in. 2005; Li i in. 2006; Savva i in. 2006; Cai, Liu 2013].

Opisane powyżej różnice dotyczące wrażliwości świerków z regla dolnego oraz górnego na warunki klimatyczne panujące w obu piętrach należy uznać za znaczące. Świadczy o tym duża odległość pomiędzy wyodrębnionymi skupieniami świerków oraz stosunkowo wysoki procent zmienności serii szerokości słoików wyjaśniany przez drugą główną składową.

Podsumowanie

Warunki klimatyczne panujące w reglu dolnym oraz górnym Tatr były przyczyną występowania odmiennych krótkookresowych reakcji przyrostowych rosnących tam świerków. Pojedyncze

drzewa zapisywały w szerokościach słoików drewna charakterystyczne dla danego piętra warunki pogodowe z szerokiego okna klimatycznego, obejmującego okres wegetacyjny oraz poprzedzające go sezony. Piętro umiarkowanie chłodne regla dolnego oraz chłodne regla górnego można zatem uznać za odrębne piętra dendroklimatyczne, a serie osobnicze szerokości słoików można wykorzystywać w procesie wyodrębniania tego rodzaju pięter. Ponadto serie szerokości drzew okazały się być wartościowym źródłem informacji o wrażliwości świerka pospolitego na czynnik klimatyczny.

Świerki z regla górnego wykazywały większą wrażliwość na zmieniające się z roku na rok warunki klimatyczne. Masowo i silnie zmniejszały one przyrosty radialne, głównie z powodu niedoboru ciepła i nadmiernych opadów w okresie lata. Negatywny wpływ na ich kondycję przyrostową miało też długotrwałe bezpośrednie promieniowanie słoneczne występujące pod koniec zimy. Z kolei świerki z regla dolnego ograniczały przyrost na grubość głównie po długiej zimie oraz z powodu niedoboru opadów na początku lata.

Literatura

- Biondi F., Waikul K. 2004. DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computational Geosciences* 30: 303-311.
- Bourdeau P. F. 1959. Seasonal variations of the photosynthetic efficiency of evergreen conifers. *Ecology* 40: 63-67.
- Breshears D. D., McDowell N. G., Goddard K. L., Dayem K. E., Martens S. N., Meyer C. W., Brown K. M. 2008. Foliar absorption of intercepted rainfall improves woody plant water status most during drought. *Ecology* 89: 41-47.
- Burgess S. S. O., Dawson T. E. 2004. The contribution of fog to the water relations of *Sequoia sempervirens* (D. Don): foliar uptake and prevention of dehydration. *Plant Cell Environment* 27: 1023-1034.
- Cai Q., Liu Y. 2013. Climatic response of three tree species growing at different elevations in the Lüliang Mountains of Northern China. *Dendrochronologia* 31: 311-317.
- Carrer M., Urbinati C. 2004. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. *Ecology* 85 (3): 730-740.
- Carrer M., Urbinati C. 2006. Long-term change in the sensitivity of tree-ring growth to climate forcing in *Larix decidua*. *New Phytologist* 170: 861-872.
- Czajka B. 2012. Wpływ wysokości nad poziomem morza na wrażliwość klimatyczną świerka pospolitego w masywie Babiej Góry. *SiM CEPL w Rogowie* 2 (30): 91-97.
- Deslauriers A., Rossi S., Anfodillo T., Saracino A. 2008. Cambial phenology, wood formation and temperature thresholds in two contrasting years at high altitude in southern Italy. *Tree Physiology* 28: 863-871.
- Dittmar C., Elling W. 1999. Jahringbreite von Fichte und Buche in Abhängigkeit von Witterung und Höhe. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 118: 251-270.
- Douglass A. E. 1920. Evidence of climate effects in the annual rings of trees. *Ecology* 1: 24-32.
- Ermich K. 1963. The inception and the end of the annual tree-ring formation in *Fagus sylvatica* L., *Abies alba* Mill., and *Picea excelsa* L. in Tatra Mountains. *Ekologia Polska* A 11 (13): 311-336.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2000. Dendroclimatological analysis of the Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from the Beskid Śląski Mountains. *Beskydy* 13: 161-170.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2002. Variability of tree-ring sizes of the Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) growing at different altitudes. *Folia Forestalia Polonica A – Forestry* 44: 87-96.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2003. Termiczne uwarunkowania przyrostu tkanki drzewnej świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) w reglu dolnym Beskidu Żywieckiego. *Acta Agraria et Silvicultura Series Silvestris* 41: 15-24.
- Frank D., Esper J. 2005. Characterization and climate response patterns of a high-elevation, multi-species tree-ring network in the European Alps. *Dendrochronologia* 22: 107-121.
- Fritts H. C. 1976. *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London.
- Gričar J., Zupančič M., Cufar K., Koch G., Schmitt U., Oven P. 2006. Effect of local heating and cooling on cambial activity and cell differentiation in the stem of Norway spruce (*Picea abies*). *Annals of Botany* 97: 943-951.
- Gruber A., Zimmermann J., Wieser G., Oberhuber W. 2009. Effects of climate variables on intra-annual stem radial increment in *Pinus cembra* (L.) along the alpine treeline ecotone. *Annals of Forest Science* 66: 503.
- Hänninen H., Tanino K. 2011. Tree seasonality in a warming climate. *Trends Plant Science* 16: 412-416.
- Holmes R. L. 1986. Quality control of crossdating and measuring a user manual for program COFECHA. W: Holmes R. L., Adams R. K., Fritts H. C. [red.]. *Tree-ring chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin. Chronology Series 6, University of Arizona, Tucson.* 41-49.

- Katz C., Oren R., Schulze E. D., Milburn J. A. 1989. Uptake of water and solutes through twigs of *Picea abies* (L.) Karst. Trees 3: 33-37.
- Kienast F., Schweingruber F. H., Bräker O. U., Schär E. 1987. Tree-ring studies on conifers along ecological gradients and the potential of single-year analysis. Canadian Journal of Forest Research 17: 683-696.
- Levanič T., Gričar J., Gagen M., Jalkanen R., Loader N. J., McCarroll D., Oven P., Robertson I. 2009. The climatic sensitivity of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the southeastern European Alps. Trees 23: 169-180.
- Li J., Gou X., Cook E. R., Chen F. 2006. Tree ring based drought reconstruction for the central Tien Shan are in northwest China. Geophysical Research Letters 33.
- Liu J., Qin Ch., Kang S. 2013. Growth response of *Sabina tibetica* to climate factors along an elevation gradient in South Tibet. Dendrochronologia 3: 255-265.
- Major J. E., Johnsen K. H. 2001. Shoot water relations of mature black spruce families displaying a genotype × environment interaction in growth rate. III. Diurnal patterns as influenced by vapour pressure deficit and internal water status. Tree Physiology 21: 579-587.
- Meyer F. D. 1998-1999. Pointer years analysis in dendroecology: a comparison of methods. Dendrochronologia 16-17: 193-204.
- Pichler P., Oberhuber W. 2007. Radial growth response of coniferous forest trees in an inner Alpine environment to heat-wave in 2003. Forest Ecology and Management 242: 688-699.
- Pisek A., Winkler E. 1958. Assimilationsvermögen und Kohlenstoffhaushalt in der Krone von Fichten (*Picea excelsa* Link.) und Rotbuchenbaumen (*Fagus sylvatica* L.). Planta 51: 518-543.
- Rolland C., Desplanque C., Michalet R., Schweingruber F. H. 2000. Extreme tree rings in Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Fir (*Abies alba* Mill.) stands in relation to climate, site, and space in the southern French and Italian Alps. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 32 (1): 1-13.
- Rossi S., Deslauriers A., Anfodillo T., Carraro V. 2007. Evidence of threshold temperatures for xylogenesis in conifers at highaltitudes. Oecologia 152: 1-12.
- Rossi S., Morin H., Deslauriers A., Plourde P. Y. 2011. Predicting xylem phenology in black spruce under climate warming. Global Change Biology 17: 614-625.
- Savva Y., Oleksyn J., Reich P., Tjoelker M., Vaganov E., Modrzyński J. 2006. Interannual growth response of Norway spruce to climate along an altitudinal gradient in the Tatra Mountains, Poland. Trees 20: 735-746.
- Schweingruber F. H., Eckstein D., Serre-Bachet F., Bräker O. U. 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. Dendrochronologia 8: 9-38.
- Steppe K., De Pauw D. J. W., Lemeur R., Vanrolleghem P. A. 2006. A mathematical model linking tree sap flow dynamics to daily stem diameter fluctuations and radial stem growth. Tree Physiology 26: 257-273.
- Szaniawski R., Żelawski W., Wierzbicki B. 1977. Wymiana gazowa i gospodarka wodna. W: Białobok S. [red.]. Nasze drzewa leśne. Świerk pospolity. PWN, Warszawa – Poznań. 131-152.
- Wang T., Ren H., Ma K. 2005. Climatic signals in tree ring of *Picea schrenkiana* along an altitudinal gradient in the central Tianshan Mountains, northwestern China. Trees 19: 735-741.
- Wang X., Zhang Y., McRae D. J. 2009. Spatial and age-dependent tree-ring growth responses of *Larix gmelinii* to climate in northeastern China. Trees 23: 875-885.
- Wigley T. M. L., Briffa K. R., Jones P. D. 1984. On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. Journal of Applied Meteorology and Climatology 23: 201-213.
- Wilczyński S. 2010. Uwarunkowania przyrostu radialnego wybranych gatunków drzew z Wyżyny Kieleckiej w świetle analiz dendroklimatologicznych. Zeszyty Naukowe UR w Krakowie 464 (341).
- Wilczyński S., Feliksik E., Wertz B. 2004. Diversification of climatic requirements of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the upper forest zone. EJPAU, Forestry 7 (1).
- Wilczyński S., Szymański N. 2014a. Pionowe strefy oraz piętra dendroklimatyczne w Beskidach Zachodnich. Sylwan 158 (6): 463-472.
- Wilczyński S., Szymański N. 2014b. Lata wskaźnikowe świerka pospolitego w Beskidach Zachodnich. Sylwan 158 (12): 883-892.
- Wilczyński S., Szymański N. 2015. Klimatyczne przyczyny krótkookresowych reakcji przyrostowych jodły pospolitej z pogórza oraz regla dolnego. Sylwan 159 (5): 361-371.
- Wilson R. J. S., Hopfmüller M. 2001. Dendrochronological investigations of Norway spruce along an elevational transect in the Bavarian Forest, Germany. Dendrochronologia 19: 67-79.
- Yu G., Liu Y., Wang X. 2008. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in Qilian juniper (*Sabina przewalskii* Kom.). Trees 22: 197-204.