

SŁAWOMIR WILCZYŃSKI, NORBERT SZYMAŃSKI

## Pionowe strefy oraz piętra dendroklimatyczne w Beskidach Zachodnich\*

Altitudinal dendroclimatic zones and belts in the Beskidy Zachodnie Mountains

### ABSTRACT

Wilczyński S., Szymański N. 2014. Pionowe strefy oraz piętra dendroklimatyczne w Beskidach Zachodnich. Sylwan 158 (6): 463-472.

The aim of this study was to investigate differences in radial increment reaction of Norway spruces from the Beskidy Zachodnie Mountains (S Poland). Spruce stands were located at different altitudes and slope aspect. Two altitudinal zones were distinguished by a separating altitude of 900 m a.s.l. The dendrochronological belts, consistent in terms of radial increment, amount to 200-250 m in the lower zone, and narrow down to ca. 100 m in the upper one. Factor differentiating radial increment of spruces at various altitudes was temperature in September of previous year as well as precipitation in March and June of current year.

### KEY WORDS

tree ring, dendroclimatic belts, *Picea abies*, Beskidy Zachodnie Mountains

### ADDRESSES

Sławomir Wilczyński – e-mail: slawomirwilczynski1963@wp.pl

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

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

### Wstęp

Regionalizacja przyrodniczo-leśna Polski dotyczy przestrzennego zróżnicowania walorów gospodarczych i środowiskowych oraz zagrożeń obszarów leśnych, z kolei regionalizacja klimatyczna opisuje przestrzenne zróżnicowanie warunków klimatycznych naszego kraju. Interesującym byłoby opracowanie regionalizacji, która łączyłaby aspekt fizyczny środowiska, jakim są warunki klimatyczne, z biologicznym, związanym ze zdolnością drzew do określonych reakcji przyrostowych. Ten typ przestrzennej klasyfikacji mógłby mieć znaczenie ekologiczne i gospodarcze, zwłaszcza dla leśnictwa. Możliwa byłaby wtedy konfrontacja z istniejącymi strefami klimatyczno-wysokościowymi i ewentualna weryfikacja leśnej bazy nasiennej [Fonder i in. 2007].

Dotychczasowe badania podobieństwa sekwencji różnych cech słoików drewna umożliwiły identyfikację gatunków drzew [Tardif i in. 2001; Pederson i in. 2004; Feliksik, Wilczyński 2008; Wilczyński 2010, 2013], ich wieku [Carrer, Urbinati 2004; de Luis i in. 2009], a także cech siedliska zajmowanego przez drzewa [Piovesan i in. 2005; Bijak 2007; Friedrichs i in. 2009; Wilczyński, Wertz 2012]. Pozwoliły one także wyznaczać obszary, na których drzewa wykazywały podobne reakcje przyrostowe będące skutkiem panujących tam warunków klimatycznych [Mäkinen i in.

\* Badania zrealizowane zostały z funduszu na działalność statutową UR w Krakowie, Wydział Leśny (DS/3416) finansowanej przez MNiSW.

2000; Wilczyński i in. 2001; Feliksik, Wilczyński 2004; Frank, Esper 2005; Koprowski, Zielski 2006; Wilczyński, Feliksik 2007; Bijak 2011]. W badaniach przestrzennej dystrybucji sygnału klimatycznego wykorzystywano także wskaźnik proporcji, który opisuje zbiorowe reakcje przyrostowe drzew dotyczące wzrostu lub spadku przyrostu radialnego w poszczególnych latach [Spain, Pilcher 1994; Kelly i in. 2002; Hughes i in. 2001; Wilczyński 2010]. Udowodniono wielokrotnie, że wraz z wysokością n.p.m. zmienia się wrażliwość drzew na określone elementy klimatyczne. Przyrost na grubość drzew z wyższych położeń górskich ograniczany jest zwykle przez niedobór ciepła w okresie wegetacji, związany często z nadmiernymi opadami i zamurzeniem [Feliksik, Wilczyński 2000, 2002; Wilson, Hopfmueller 2001; Wang i in. 2005; Li i in. 2006; Savva i in. 2006; Cai, Liu 2013]. Powyższe badania były inspiracją do wykorzystania cechy dotyczącej zbiorowych zachowań przyrostowych drzew do próby opracowania pionowej regionalizacji dendroklimatycznej.

Celem badań było: i) wyodrębnienie na obszarze Beskidów Zachodnich pionowych pasów, w których świerki wykazują odmienne krótkookresowe reakcje przyrostowe, ii) zidentyfikowanie elementów klimatycznych, które przyczyniły się do charakterystycznych reakcji przyrostowych świerków rosnących na różnych wysokościach oraz iii) zidentyfikowanie wskaźnika, który pozwoliłby oszacować wysokość n.p.m., na której rosły drzewa.

## Material i metody

Na silnie zróżnicowanym orograficznie obszarze Beskidów Zachodnich wybrano 31 drzewostanów świerkowych w wieku około 100 lat. Drzewostany rosły na wysokościach od 500 m do 1350 m n.p.m., na stokach o różnej wystawie, na terenie nadleśnictw: Węgierska Górka (drzewostany o numerze 1, 2, 3), Bielsko (4, 5, 6), Wisła (7, 8, 9), Ujsoły (10, 11, 12), Sucha Beskidzka (16, 17, 18), Andrychów (19, 20, 21); Ustroń (22, 23, 24, 25), Jeleśnia (13, 14, 15, 31) oraz w Babiogórskim Parku Narodowym (26, 27, 28, 29, 30). W każdym drzewostanie wybrano po 25 zdrowych osobników z warstwy drzew panujących lub współpanujących. Z pnia każdego drzewa pobrano po dwa odwierty na wysokości 1,3 m nad gruntem, równoległe do warstwy. Na każdym odwiercie pomierzono szerokości słoików rocznych drewna. Poprawność datowania słoików zweryfikowano za pomocą programu COFECHA [Holmes 1986]. W każdym roku wartości dwóch serii szerokości słoików danego drzewa uśredniono, tworząc chronologie osobnicze. Następnie dla każdej z 31 populacji drzew obliczono chronologiczne ciągi wskaźników proporcji ( $P$ ) – stanowiskowe chronologie proporcji. Wartość  $P$  wskazuje na udział drzew, które zwiększyły w danym roku przyrost radialny w stosunku do roku poprzedniego. Analizowano wspólny dla wszystkich drzew okres 1930-2002 ( $n=73$ ). Po 2002 roku nastąpiło silne osłabienie świerków oraz rozpad całych drzewostanów, co mogło wpłynąć na zakłócenia w ich zachowaniach przyrostowych, dlatego okresu tego nie analizowano. W dendrochronologii wskaźnik  $P$ , określane także mianem „interval trend” [Schweingruber i in. 1990; Meyer 1998-1999], obliczany jest ze wzoru:

$$P_i = \frac{k}{n}$$

gdzie:

$k$  – liczba drzew zwiększających w roku  $i$  szerokość słoja w stosunku do słoja z roku poprzedniego,

$n$  – liczba wszystkich drzew danej populacji cząstkowej.

Wskaźnik proporcji jest miarą jednorodności reakcji przyrostowych drzew.  $P$  przyjmuje wartości od 0 (0%) do 1 (100%). Gdy w określonym roku wszystkie drzewa zwiększyły przyrost radialny,

to  $P=1$ . Z kolei  $P=0$  oznacza, że wszystkie drzewa zmniejszyły przyrost. Skrajne lub bliskie skrajnym wartości  $P$  wskazują na bardzo wysoką jednorodność ich reakcji przyrostowych.  $P=0,5$  (50%) oznacza najniższy stopień jednorodności i wskazuje, że połowa z nich zwiększyła, natomiast druga połowa zmniejszyła szerokość słoja [Schweingruber i in. 1990; Meyer 1998-1999]. Chronologie wskaźników proporcji obrazują zatem coroczne zmiany stopnia jednorodności reakcji przyrostowych drzew danej populacji.

Do klasyfikacji chronologii stanowiskowych oraz identyfikacji czynników determinujących zmienność reakcji przyrostowych świerków wykorzystano analizę składowych głównych (PCA). W oparciu o wykres ospiska w dalszych analizach uwzględniono dwie pierwsze składowe główne: PC1 oraz PC2. Na podstawie rozrzutu chronologii względem ładunków czynnikowych PC1 i PC2 ustalono, że to druga składowa główna różnicowała chronologie na grupy wysokościowe. Następnie testowano położenie chronologii względem ładunków czynnikowych PC2, czyli współczynników korelacji chronologii z PC2, kolejno dla coraz większej liczby chronologii. W ten sposób zbadano użyteczność ładunku PC2 w wyznaczaniu położenia wysokościowego populacji drzew. Porównanie wartości PC2 z wybranymi parametrami klimatycznymi umożliwiło identyfikację elementów klimatycznych opisanych przez drugą składową. W tym celu zastosowano metodę korelacji bootstrapowej szacującej siłę współzmienności wartości PC2 ze średnią miesięczną temperaturą powietrza oraz miesięcznymi sumami opadów atmosferycznych. W obliczeniach uwzględniono okres od września roku poprzedzającego przyrost (rok poprzedni) do września roku, w którym tworzony był każdorazowo słoje drewna (rok bieżący). W tym celu wykorzystano program komputerowy DendroClim2002, stosując metodę rosnących interwałów czasowych (forward evolutionary intervals) [Biondi, Waikul 2004]. Szacowanie współczynników korelacji rozpoczęto dla okresu 1931-1980 ( $n=50$ ), następnie interwał ten powiększono kolejno o jeden rok, kończąc obliczenia dla okresu 1931-2002 ( $n=72$ ). Obliczone istotne wartości współczynników korelacji ( $p \leq 0,05$ ) wpisywano kolejno od 1980 roku aż do 2002 roku. Powyższa metoda pozwala zredukować błąd szacowania siły korelacji oraz zbadać stabilność relacji klimat – przyrost radialny wraz ze zwiększającym się wiekiem drzew oraz zmieniającymi się warunkami klimatycznymi [Biondi, Waikul 2004].

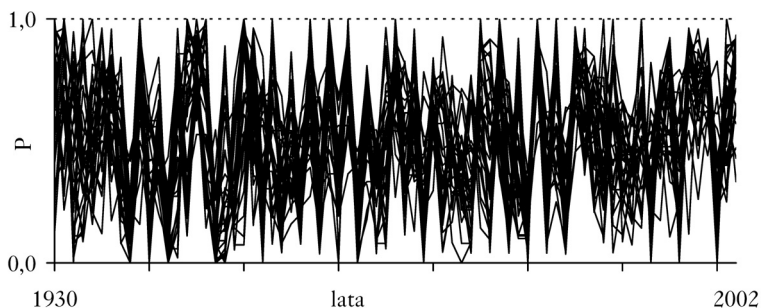
Dane klimatyczne pochodziły ze stacji meteorologicznych IMGW w Żywcu oraz Aleksandrowicach. Są to jedyne na tym terenie stacje posiadające odpowiednio długie i jednorodne ciągi danych pomiarowych. Wykorzystywanie danych ze stacji odległych od stanowisk badawczych jest praktykowane w sytuacji braku stacji znajdujących się tuż obok stanowisk badawczych [Chen i in. 2010; Wu i in. 2013]. Położenie stacji ma oczywiście konsekwencje w sile uzyskiwanych związków klimat – przyrost drzew. Z porównania danych ze stacji położonych na różnych wysokościach wynika jednak, że kierunek zmian wielkości obu analizowanych parametrów klimatycznych był podobny. Ponadto brak możliwości wykorzystania danych z lokalnych stacji meteorologicznych zniwelowano w ten sposób, że nie badano relacji klimat – przyrost drzew oddzielnie dla 31 stanowisk, lecz analizowano wartości PC2, która jest wypadkową wszystkich chronologii proporcji.

## Wyniki

Stanowiskowe chronologie proporcji nie wykazują zmienności długofalowej (trendu), która jest często charakterystyczna dla chronologii szerokości słoików, cechują się natomiast wyraźną zmiennością krótkookresową (ryc. 1). Stopień jednorodności reakcji przyrostowych drzew zmieniał się z roku na rok. W niektórych latach zaobserwowano bardzo wysoką jednorodność reakcji przyrostowych –  $P$  było równe lub bliskie 1 lub 0. W innych latach jednorodność była bardzo niska, o czym świadczą wartości  $P$  równe lub bliskie 0,5 (ryc. 1).

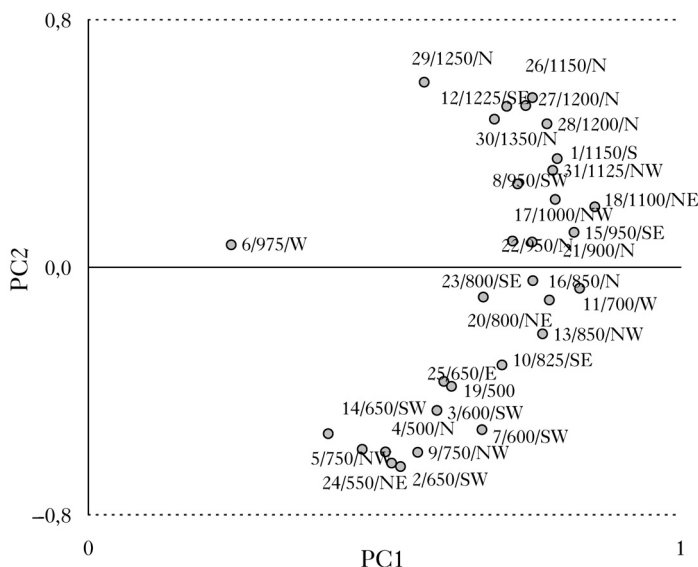
Dwie pierwsze składowe główne wyjaśniały łącznie 63% zmienności badanych chronologii, przy czym PC1 wyjaśniała 46%, natomiast PC2 17%. PC1 była zatem bardziej efektywna w wyjaśnianiu zmienności reakcji przyrostowych badanych świerków. Rozrzut 31 chronologii względem ładunków czynnikowych obu składowych głównych wskazuje, że niemal wszystkie silnie korelowały dodatnio z PC1 (ryc. 2). Jednak na podstawie ładunków PC1 nie możemy wydzielić grup chronologii związanych z wysokością, na której rosły reprezentowane przez nie drzewostany.

W oparciu o wartości ładunków PC2 wyróżniono dwie grupy chronologii. Pierwszą z nich stanowiły chronologie świerków rosnących w strefie wysokościowej od 500 m do 900 m n.p.m. W tym przypadku ładunki czynnikowe miały znak ujemny (ryc. 3). Drugą grupę tworzyły chronologie drzewostanów położonych w strefie powyżej 900 m n.p.m. – ładunki czynnikowe miały



Ryc. 1.

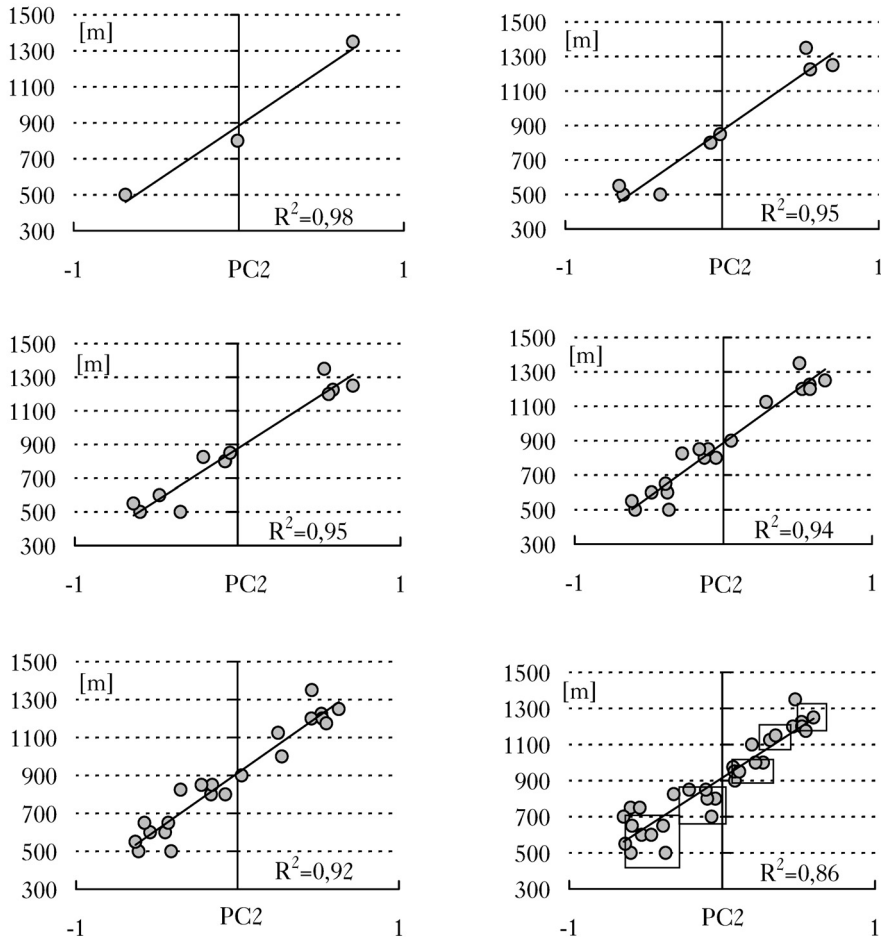
Stanowiskowe chronologie proporcji  
Site proportion chronologies



Ryc. 2.

Położenie stanowiskowych chronologii proporcji (punkty) względem ładunków PC1 i PC2  
Site proportion chronologies (dots) in relation to the PC1 and PC2 loadings

podano: numer, wysokość n.p.m. oraz wystawę poszczególnych drzewostanów  
number, altitude and exposure of individual spruce stands are given



Ryc. 3.

Położenie stanowiskowych chronologii proporcji (punkty) względem ładunków PC2 oraz wysokości n.p.m. oraz skupienia chronologii z poszczególnych pięter dendroklimatycznych (prostokąty)

Site proportion chronologies (dots) in relation to the PC2 loadings and altitude as well as clustering into chronologies of each dendroclimatic belt (rectangular)

analizy wykonano dla różnej liczby chronologii; analyses were carried for different number of chronologies

znak dodatni. W oparciu o wartości ładunków PC2 można ustalić w ramach obu stref węższe pasy wysokościowe (piętra), w których świerki wykazują podobne do siebie reakcje przyrostowe, będące skutkiem oddziaływania czynnika opisywanego przez drugą składową główną. W pierwszej strefie chronologie tworzą dwa mniejsze skupienia (ryc. 3). W pierwszym z nich znajdują się chronologie drzewostanów świerkowych położonych pomiędzy 500 a 750 m n.p.m., natomiast w drugim chronologie populacji rosnących w pasie pomiędzy 700 a 900 m n.p.m. Aby sprecyzować wysokość pasów w tej strefie, konieczne wydaje się w przyszłości zwiększenie liczby stanowisk. W drugiej strefie, powyżej 900 m n.p.m., wyróżnić można co najmniej 3 skupienia chronologii, reprezentujących drzewostany rosnące w pasach o wysokości około 100 m.

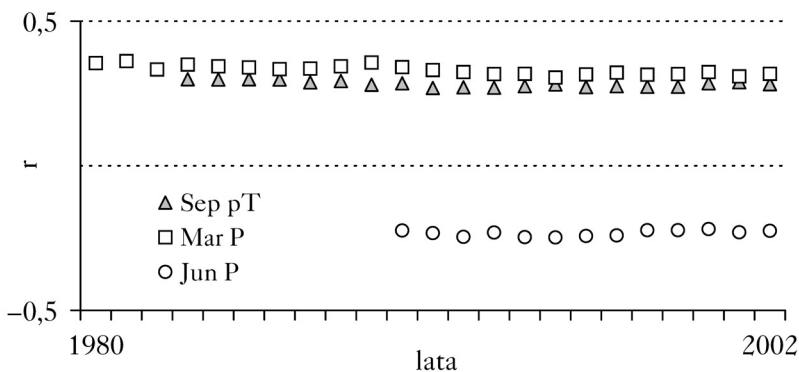
Wartości ładunków PC2 dla poszczególnych chronologii rosną wraz z wysokością n.p.m., lecz nie w sposób liniowy. Rozrzut chronologii wokół linii regresji jest zdecydowanie większy

w pierwszej, niżej położonej strefie wysokościowej. Nie można zatem zawsze w sposób precyzyjny oszacować wysokości n.p.m., na której rosła dana populacja drzew. Maksymalna odległość od linii regresji (liczona wzdłuż osi Y) chronologii z pierwszej strefy wyniosła około 200 m, natomiast w drugiej strefie nie przekroczyła 100 m. Wyjątkiem jest tu stanowisko położone najwyżej (1350 m n.p.m.; ryc. 3). Im wyżej położone były drzewostany, tym błąd popełniany przy określaniu położenia wysokościowego danego drzewostanu był mniejszy. Analiza współzmienności wartości PC2 oraz termicznych i pluwialnych parametrów klimatycznych wykazała, że druga składowa istotnie ( $\alpha=0,05$ ) dodatnio korelowała z temperaturą września poprzedniego roku oraz z sumą opadów marca i ujemnie z sumą opadów czerwca bieżącego roku (ryc. 4). Powyższe elementy klimatyczne zadecydowały o różnicach w krótkookresowym rytmie przyrostowym świerków rosnących na różnych wysokościach n.p.m.

## Dyskusja

Badane w pracy drzewostany świerkowe rozmieszczone były na stosunkowo dużym obszarze Beskidu Żywieckiego, Śląskiego i Małego. Drzewa rosły na różnych wysokościach oraz wystawach. Jednak różnice w reakcjach przyrostowych badanych świerków zarysowały się jedynie w profilu pionowym. Pionowe zróżnicowanie warunków klimatycznych odegrało większą rolę w różnicowaniu rytmu przyrostowego świerków niż poziome oraz związane z wystawą. Jest to ważne spostrzeżenie, bowiem często to odmienne warunki klimatyczne panujące w różnych regionach geograficznych różnicują reakcje przyrostowe drzew [Richter i in. 1991; Mäkinen i in. 2000; Wilczyński i in. 2001; Wilczyński, Skrzyszewski 2003; Feliksik, Wilczyński 2004; Frank, Esper 2005; Koprowski, Zielski 2006; Wilczyński, Feliksik 2007; Bijak 2011].

Uzyskane wyniki wskazują, że to warunki termiczne początku poprzedniej jesieni, pluwialne przedwiośnia oraz początku lata w roku formowania słoju składały się na czynnik, który różnicował reakcje przyrostowe badanych drzew. Tłumaczyć można to tym, że temperatura we wrześniu decyduje w dużym stopniu o kontynuowaniu procesu odkładania przez drzewa materiałów zapasowych, wykorzystywanych często zimą oraz na wiosnę [Ermich 1963]. Ma ona także wpływ na zawiązywanie oraz proporcję pąków organów generatywnych i wegetatywnych [Bastide, Vredenburg 1970], decydując o możliwościach przyrostowych drzew w następnym roku [Cha-



Ryc. 4.

Istotne wartości kroczących w przód interwałów korelacji bootstrapowej ( $r$ ) między PC2 i średnią miesięczną temperaturą powietrza (T) oraz miesięczną sumą opadów atmosferycznych (P)

Significant values for forward evolutionary intervals of bootstrap correlation ( $r$ ) between PC2 and average monthly temperature (T) and total monthly precipitation (P)

p – miesiąc poprzedniego roku; the month of the previous year

łupka i in. 1975]. Podczas ciepłej jesieni kontynuowany jest także wzrost systemów korzeniowych [Hoffmann, Lyr 1973]. Ich wielkość ma wpływ na potencjał przyrostowy drzewa w kolejnym sezonie wegetacyjnym. Rytm przyrostowy świerków modelowany był także przez sumy opadów atmosferycznych marca oraz czerwca bieżącego roku. Wraz z wysokością n.p.m. rośnie zapotrzebowanie drzew na ciepło [Feliksik, Wilczyński 2000, 2002; Wang i in. 2005; Savva i in. 2006]. Ich wzrost ogranicza także nadmiar opadów latem, co wiąże się między innymi ze zwiększonym wtedy zachmurzeniem, które zmniejsza dopływ bezpośredniego promieniowania słonecznego do drzew rosnących w chłodnych, wysokich położeniach górskich [Feliksik, Wilczyński 2000, 2002; Wilson, Hopfmueller 2001; Li i in. 2006; Cai, Lin 2013]. Z kolei wczesną wiosną niedobór bezpośredniego promieniowania słonecznego opóźnia początek procesów biochemicznych i fizjologicznych zapoczątkowujących aktywność kambium waskularnego [Ladefoget 1952]. Ponadto opady pod koniec zimy zwykle utrwalają pokrywę śnieżną, która także opóźnia rozpoczęcie wegetacji drzew. Zmarznięty grunt oraz silne promieniowanie słoneczne w tym okresie są przyczyną występowania zjawiska suszy fizjologicznej. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają zatem spostrzeżenia Schmidt-Vogta [1977] o ograniczającej przyrost świerków roli krótkiego okresu wegetacyjnego oraz suszy fizjologicznej. Okazuje się, że świerki rosnące na różnych wysokościach n.p.m. wykazywały odmienną wrażliwość na powyższe czynniki.

W konsekwencji na obszarze Beskidów Zachodnich udało się wyróżnić dwa główne pasy wysokościowe, które określono mianem stref dendroklimatycznych. Granica pomiędzy nimi przebiega na wysokości około 900 m n.p.m. W każdej z nich świerki wykazują swoisty rytm przyrostowy. Spostrzeżenia powyższe korespondują z badaniami dotyczącymi zróżnicowania warunków roślinno-glebowych Beskidów [Chodzicki 1947; Aleksandrowicz 1960a, b; Bernadzki 1963; Baran 1968; Adamczyk i in. 1980; Kasprovicz 1996]. Wyniki badań Aleksandrowicza [1960a, b] wskazują na konieczność podzielenia regła dolnego na regiel dolny i środkowy, pomiędzy którymi granica przebiegać powinna na wysokości około 900 m n.p.m. Zgodnie z tą koncepcją wyodrębniona w pracy pierwsza strefa dendroklimatyczna obejmuje regiel dolny, natomiast strefa druga regiel środkowy i górny. Z kolei w ramach obu stref wysokościowych można wyróżnić węższe pasy wysokościowe, w których świerki wykazują bardzo podobny (jednorodny) krótkookresowy rytm przyrostowy. Pasy te zostały określone mianem pięter dendroklimatycznych.

Cechy rytmu przyrostowego świerków zmieniają się równoległe do zmieniających się wraz z wysokością warunków klimatycznych. Zmiany tych cech nie mają jednak charakteru liniowego, na co wpływ mogły mieć na przykład różne czynniki o charakterze nieklimatycznym. Należy podkreślić, że wraz z wysokością n.p.m. rośnie siła oddziaływania na przyrost radialny świerków specyficznych dla danej wysokości warunków klimatycznych. Świadczą o tym bardziej zwarte skupienia chronologii proporcji oraz węższe piętra dendroklimatyczne.

## Wnioski

✦ Na obszarze Beskidów Zachodnich odmiennie warunki klimatyczne, związane z wysokością n.p.m., różnicowały krótkookresowy rytm przyrostowy świerków. Na badanym obszarze wyróżniono dwie strefy wysokościowe, w których świerki wykazują odmienny krótkookresowy rytm przyrostowy. Granica pomiędzy obu strefami dendroklimatycznymi przebiega na wysokości 900 m n.p.m. W obu strefach wyróżniono także węższe pasy wysokościowe, tzw. piętra dendroklimatyczne, w ramach których świerki wykazują podobny rytm przyrostowy. Wysokość pięter stopniowo zmniejszała się wraz z wysokością n.p.m., z około 200-250 m w dolnej części pierwszej strefy do około 100 m w strefie górnej. Precyzyjne ustalenie wysokości pięter wymaga jednak gęstszej sieci stanowisk.

- ✦ Czynnikiem różnicującym reakcje przyrostowe świerków z różnych wysokości były warunki termiczne początku jesieni roku poprzedzającego przyrost oraz warunki pluwalne przedwiośnia i początku lata roku formowania słoików. Na przyrost radialny świerków rosnących powyżej 900 m n.p.m. szczególnie niekorzystny wpływ miał nadmiar opadów w czerwcu. Z kolei na przyrost świerków rosnących poniżej 900 m n.p.m. niekorzystny wpływ miały wysoka temperatura powietrza we wrześniu poprzedniego roku oraz wysokie opady w marcu bieżącego roku.
- ✦ Wskaźnikiem umożliwiającym określenie w przybliżeniu wysokości, na której rosły drzewa, był ładunek drugiej składowej głównej. Oszacowanie wysokościowego położenia drzewostanu możliwe było już na podstawie trzech stanowiskowych chronologii proporcji, a błąd szacunku położenia drzewostanu malał wraz z wysokością n.p.m.

## Literatura

- Adameczyk B., Gerlach T., Obrębska-Starkłowa B., Starkel L. 1980. Zonal and azonal aspects of the agriculture-forest limit in the Polish Carpathians. *Geografia Polska* 43: 71-84.
- Aleksandrowicz B. W. 1960a. Typy lasów u źródeł Wisły. *Sylvan* 104 (7): 1-21.
- Aleksandrowicz B. W. 1960b. Lasobory Beskidu Śląskiego. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa* 206.
- Baran S. 1968. Gleby świerczyn Żywiecczyzny. *Sylvan* 104 (6): 45-58.
- Bastide J. G. A., Vredenburg C. L. M. 1970. The influence of weather conditions on the seed production of some forest trees in Netherlands. *Meded. Bosbouwproefst. Wageningen*. 102.
- Bernadzki E. 1963. Typy siedliskowe lasu na utworach godulskich w Beskidzie Śląskim. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa* 262: 119-195.
- Bijak S. 2007. Tree growth- climate response in relation to habitat type in spruce stands of the Borecka Primeval Forest. W: Haneca K. [red.]. *TRACE – Tree Rings in Archeology, Climatology and Ecology* 5: 54-59.
- Bijak S. 2011. Influence of drought on radial growth of Norway spruce in north-eastern Poland. W: Marten-Theunissen M. [red.]. *TRACE – Tree Rings in Archeology, Climatology and Ecology* 9: 28-33.
- Biondi F., Waikul K. 2004. DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computational Geosciences* 30: 303-311.
- 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 response to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. *Ecology* 85: 730-740.
- Chałupka W., Giertych M., Królikowski Z. 1975. The effect of cone crops on growth in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Arboretum Kórnickie* 20: 201-212.
- Chen F., Yuan Y., Wei W., Yu S., Li Y., Zhang R., Zhang T., Shang H. 2010. Chronology development and climate response analysis of Schrenk spruce (*Picea schrenkiana*) tree-ring parameters in the Urumqi River Basin, China. *Geochronometria* 36: 17-22.
- Chodzicki E. 1947. Krainy, dzielnice i obwody leśno-fizjograficzne południowo-zachodniej Polski. *Sylvan* 91 (1): 32-79.
- 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 Seria 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. *Zprawodaj 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 Ser. A – Forestry* 44: 87-96.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2004. Dendroclimatological regions of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) in western Poland. *European Journal of Forest Research* 123: 39-43.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2008. Sygnał klimatyczny w słojach *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. oraz *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.). *Sylvan* 152 (6): 3-13.
- Fonder W., Matras J., Załęski A. 2007. Leśna baza nasienna w Polsce. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- 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.
- Friedrichs D. A., Neuwirth B., Winiger M., Löffler J. 2009. Methodologically induced differences in oak site classifications in a homogeneous tree-ring network. *Dendrochronologia* 27: 21-30.



- Hoffmann G., Lyr H. 1973. Charakterisierung des Wachstumsverhaltens von Pflanzen durch Wachstumsschemata. *Flora* 162: 81-98.
- 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.
- Hughes M. K., Kuniholm P. L., Eischeid J. K., Garfin G., Griggs C. B., Latini C. 2001. Aegean tree-ring signature years explained. *Tree-Ring Research* 57: 67-73.
- Kasprzowicz M. 1996. Zróżnicowanie i przekształcenie roślinności pięter reglowych masywu Babiej Góry (Karpaty Zachodnie), Sorus, Idee Ekologiczne 9.
- Kelly P. M., Leuschner H. H., Briffa K. R., Harris I. C. 2002. The climatic interpretation of pan-European signature years in oak ring-width series. *Holocene* 12 (6): 689-694.
- Koprowski M., Zielski A. 2006. Dendrochronology of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from two range centres in lowland Poland. *Trees* 20 (3): 383-390.
- Ladefoged K. 1952. The periodicity of wood formation. *Biol Skrifter Kgl Dansk Videnskabskabernes Selskab* 7.
- 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.
- de Luis M., Novak K., Čufar K. 2009. Size mediated climate-growth relationships in *Pinus halepensis* and *Pinus pinea*. *Trees* 23: 1065-1073.
- Mäkinen H., Nöjd P., Mielikäinen K. 2000. Climatic signal annual growth variation of Norway spruce (*Picea abies*) along a transect from central Finland to the Arctic timberline. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 769-777.
- Meyer F. D. 1998-1999. Pointer year analysis in dendroecology: a comparison of methods. *Dendrochronologia* 16-17: 193-204.
- Pederson N., Cook E. R., Jacoby G. C., Peteet D. M., Griffin K. L. 2004. The influence of winter temperatures on the annual radial growth of six northern range margin tree species. *Dendrochronologia* 22: 7-29.
- Piovesan G., Biondi F., Bernabei M., Di Filippo A., Schirone B. 2005. Spatial and altitudinal bioclimatic zones of the Italian peninsula identified from a beech (*Fagus sylvatica* L.) tree-ring network. *Acta Oecologica* 27: 197-210.
- Richter K., Eckstein D., Holmes R. L. 1991. The dendrochronological signal of pine trees (*Pinus* sp.) in Spain. *Tree-Ring Bulletin* 51: 1-13.
- Savva Y., Oleksyn J., Reich P. B., Tjoelker M. G., Vaganov E. A., Modrzyński J. 2006. Interannual growth response of Norway spruce to climate along an altitudinal gradient in the Tatra Mountains, Poland. *Trees* 20: 735-746.
- Schmidt-Vogt H. 1977. Die Fichte. I. Taxonomie, Verbreitung, Morphologie, Ökologie, Waldgesellschaften. Parey, Hamburg, Berlin.
- Schweingruber F. H., Eckstein D., Serre-Bachet F., Bräker O. U. 1990. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer in dendrochronology. *Dendrochronologia* 8: 9-38.
- Spain J., Pilcher J. R. 1994. Signature years in European oak chronologies A.D. 1600-1750 and possible climatic causes. W: Frenzel B. [red.]. *Climatic trends and anomalies in Europe 1675-1715. Paleoclimate Research* 13: 123-131.
- Tardif J., Conciatori F., Bergeron Y. 2001. Comparative analysis of the climatic response of seven boreal tree species from Northwestern Quebec, Canada. *Tree-Ring Research* 57 (2): 169-181.
- 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.
- Wilezyński S. 2010. Uwarunkowania przyrostu radialnego wybranych gatunków drzew z Wyżyny Kieleckiej w świetle analiz dendrochronologicznych. *Zeszyty Naukowe UR w Krakowie, Rozprawy* 464 (341).
- Wilezyński S. 2013. Krótkookresowe reakcje przyrostowe jodły, świerka i sosny rosnących w jednorodnych warunkach siedliskowych. *Sylwan* 157 (6): 442-452.
- Wilezyński S., Feliksik E. 2007. Local chronologies and regional diversity of dendrochronological signal of Douglas fir in Poland. *Geochronometria* 26: 69-80.
- Wilezyński S., Krapiec M., Szychowska-Krapiec E., Zielski A. 2001. Regiony dendroklimatyczne sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Polsce. *Sylwan* 145 (8): 53-61.
- Wilezyński S., Skrzyszewski J. 2003. Dendrochronology of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the mountains of Poland. *Journal of Forest Science* 49 (3): 95-103.
- Wilezyński S., Wertz B. 2012. Sygnał klimatyczny w seriach przyrostów radialnych drzew na przykładzie jodły pospolitej i modrzewia europejskiego. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie* 30: 66-74.
- Wilson R. J. S., Hopfmueller M. 2001. Dendrochronological investigations of Norway spruce along an elevation transect in the Bavarian Forest, Germany. *Dendrochronologia* 19 (1): 67-79.
- Wu G., Xu G., Chen T., Liu X., Zhang Y., An W., Wang W., Fang Z., Yu S. 2013. Age-dependent tree-ring growth responses of Schrenk spruce (*Picea schrenkiana*) to climate – A case study in the Tianshan Mountain, China. *Dendrochronologia* 31: 318-326.

**SUMMARY****Altitudinal dendroclimatic zones and belts in the Beskidy Zachodnie Mountains**

We examined 31 Norway spruce stands aged ca 100 years and located in the Beskidy Zachodnie Mountains (southern Poland). The spruces were growing at different altitudes and slope aspect. Two cores per tree were extracted from 25 trees in each stand. Tree-ring width was measured and site proportion chronologies were constructed to illustrate changes of homogeneity of radial increment reactions over the time (fig. 1). Based on the principal component analysis it was concluded that the differences in spruce radial increment reactions were influenced by climatic factor related to the altitude, which dominates over the climatic factor related to latitude and slope aspect (fig. 2). Two dendroclimatic zones were distinguished. The previous zone included lower subalpine forest below 900 m a.s.l., while the latter one covered mid and upper subalpine forest above this altitude (fig. 2 and 3). Identification of tree stands altitude was possible based on the value of the second principal component (fig. 3). The dendrochronological belts that are very similar in terms of radial increment range 200-250 m in the lower zone, and narrow down to ca. 100 m above 900 m altitude. This may be significant when verifying altitudinal spruce seed zones in mountainous regions. It was also concluded that the factor differentiating spruce radial increment at various altitudes was temperature in September of the preceding year as well as precipitation in March and June of the current year (fig. 4).