

SŁAWOMIR WILCZYŃSKI, NORBERT SZYMAŃSKI, ŁUKASZ KOŁBUT

## Klimatyczne przyczyny krótkookresowych reakcji przyrostowych jodły pospolitej z pogórza oraz regla dolnego\*

Climatic drivers of short-term increment reactions of silver fir in the foothills and the lower montane forest zone

### ABSTRACT

Wilczyński S., Szymański N., Kołbut Ł. 2015. Klimatyczne przyczyny krótkookresowych reakcji przyrostowych jodły pospolitej z pogórza oraz regla dolnego. Sylwan 159 (5): 372-380.

The aim of this study was to i) determine similarities and differences in the increment reaction of silver firs growing at different elevation, ii) identify climatic factors, which caused these response, and iii) determine dendroclimatic zones and identify a site, where a tree grew on the basis of tree-ring widths series. Studied stands were located in the Ustroń Forest District at the elevation of: 500-550 m a.s.l. (foothill zone, 18°59' E, 49°43' N) and 800-850 m a.s.l. (lower montane forest zone, 18°58' E, 49°43' N). In each stand 20 dominant firs were selected and one increment core per tree was taken. Tree-ring widths (fig. 1) were transformed into annual sensitivity index (fig. 2). Principal component analysis was used to reduce a number of original variables and classify the tree-ring series. Response function analysis was used to determine climate-radial increment relationships. The standardized series of firs on both sites were different in terms of the climate influence (fig. 3). The analysed trees responded differently to solar and thermal conditions in previous autumn and current summer as well as to pluvial conditions at the beginning of winter and in the second half of summer. The investigated firs had also common increment characteristics. The trees from both sites responded similarly to thermal, solar and pluvial conditions in February, solar and pluvial conditions in May and temperature in winter and summer (fig. 4). Climatic signal of each elevation zone was recorded by each tree and depended on the climatic conditions in given area. On the basis of standardized tree-ring series, dendroclimatic regionalization can be created and the stand, where a tree grew, can be identified.

### KEY WORDS

dendroclimatology, radial increment, *Abies alba*, the Beskid Śląski Mountains

### ADDRESSES

Sławomir Wilczyński – e-mail: rlwilczy@cyf-kr.edu.pl

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

Łukasz Kołbut – e-mail: lkolbut@gmail.com

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

\*Praca powstała ze środków MNiSW przeznaczonych na działalność statutową (DS/3416) Wydziału Leśnego Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie.

## Wstęp

Drzewa danego gatunku rosnące w określonym regionie lub piętrze klimatycznym wykazują specyficzne cechy przyrostowe, które w dużej mierze kształtowane są przez panujące tam warunki klimatyczne. Charakterystyczny dla danego obszaru sygnał klimatyczny zapisywany jest przez drzewa na przykład w postaci określonych wielkości przyrostów na grubość [Fritts 1976]. Na tej podstawie można dokonywać regionalizacji o charakterze dendroklimatycznym, która łączy aspekt fizyczny, jakim są warunki meteorologiczne, z aspektem biologicznym, czyli odpowiedzią przyrostową roślin. Dotychczasowe badania dendroklimatyczne jodły pospolitej na obszarze Polski prowadzone były w oparciu o chronologie stanowiskowe oraz lokalne [Müller-Stoll 1951; Ermich 1955; Feliksik 1990; Feliksik i in. 2000; Koprowski, Gławęda 2007; Bijak 2010; Kaczka i in. 2012; Wilczyński 2010, 2013a; Wilczyński, Wertz 2012]. W odróżnieniu od chronologii, osobnicze serie cech słoju drewna charakteryzują się dużo większym zróżnicowaniem [Wilczyński 2010]. Przyczyną są zdarzenia o charakterze przypadkowym oraz cechy genetyczne drzew. Serie szerokości drzew były wykorzystywane głównie do badań klasyfikacyjnych o charakterze typologicznym. Pozwoliły one na identyfikację gatunku drzewa [Feliksik, Wilczyński 2008; Wilczyński 2010, 2013a; Wilczyński, Wertz 2012], jego wieku [Carrer, Urbinati 2004; Yu i in. 2008; Wilczyński i in. 2014] oraz wilgotnościowych cech siedliska glebowego [Wilczyński 2013b].

Powstaje zatem pytanie: czy serie szerokości słoju mogą być źródłem informacji o zróżnicowaniu relacji klimat – przyrost radialny, które są skutkiem zmieniających się wraz z wysokością warunków klimatycznych?

Celem pracy było ustalenie i) czy drzewa jodły pospolitej zapisały w szerokościach słoju charakterystyczny dla danego piętra sygnał klimatyczny, ii) jakie elementy klimatyczne kształtowały wielkość ich przyrostów radialnych, iii) czy w oparciu o serie szerokości słoju można zidentyfikować stanowisko, na którym rosły jodły, oraz wyznaczać piętra dendroklimatyczne.

Praca ma na celu poszerzenie wiedzy o wymaganiach klimatycznych jodły pospolitej oraz zaprezentowanie metody, która pozwoliłaby na wyznaczanie pięter dendroklimatycznych w górach oraz umożliwiła identyfikację miejsca wzrostu drzewa, co ułatwiłoby na przykład walkę z nielegalnym wyrębem.

## Materiał i metody

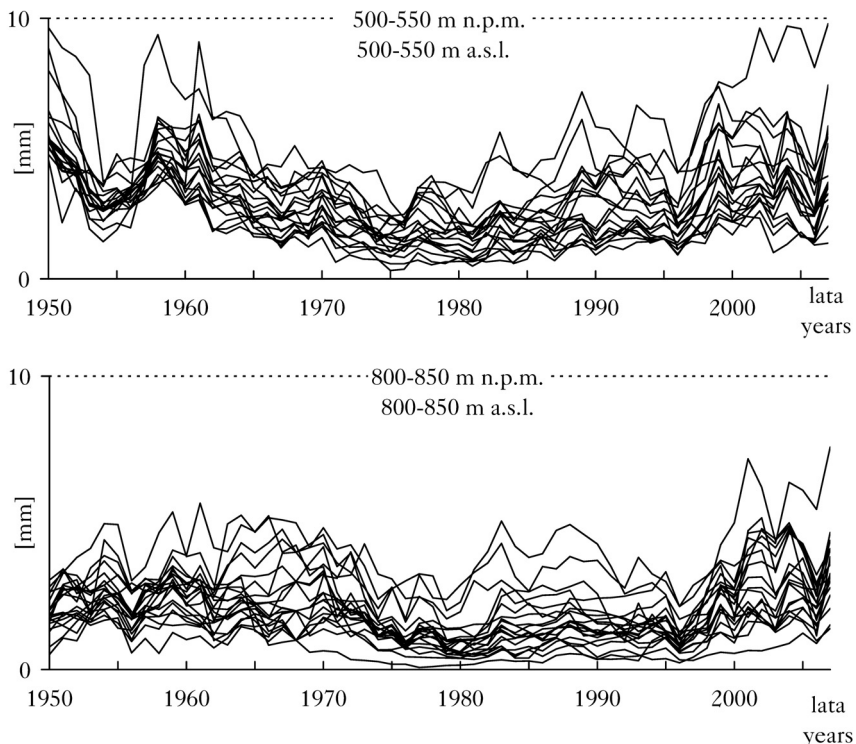
Na terenie Nadleśnictwa Ustroń wybrano dwa drzewostany z jodłą pospolitą w składzie. Pierwszy z nich był położony na wysokości 500-550 m n.p.m. (18°59' E, 49°43' N) w umiarkowanie ciepłym piętrze pogórza, natomiast drugi na wysokości 800-850 m n.p.m. (18°58' E, 49°43' N) w umiarkowanie chłodnym piętrze regla dolnego. Obydwa drzewostany rosły na siedlisku lasu mieszanego górskiego, na stokach o wystawie południowej. W każdym z nich nawiercono po 20 górujących, zdrowych jodeł w wieku około 110 lat. Z pnia każdego drzewa pobrano po jednym wywiercie – na wysokości pierśnicy, prostopadle do nachylenia stoku. Następnie na każdym wywiercie, za pomocą przyrostomierza optycznego firmy BIOTRONIK, pomierzono szerokości słoju rocznych drewna. Poprawność datowania słoju zweryfikowano za pomocą programu komputerowego COFECHA [Holmes 1983]. W celu wyeksponowania zmienności krótkookresowej wielkości przyrostów radialnych indeksowano wartości szerokości słoju, obliczając dla każdego roku indeks przyrostowy, tzw. czułość roczną (ang. annual sensitivity) [Douglass 1920; Wilczyński 2013a]. W konsekwencji każde drzewo było reprezentowane przez serię szerokości słoju oraz serię wartości czułości rocznych. Na podstawie serii czułości obliczono wskaźniki:  $r_{tt}$  (średni współczynnik korelacji serii, który wskazuje na stopień jednorodności reakcji przyrostowych drzew),

EPS (ang. expressed population signal, informuje o stopniu reprezentatywności chronologii, przy czym zalecana minimalna wartość EPS wynosi 0,85) oraz SNR (ang. signal-to-noise ratio, który informuje o sile sygnału klimatycznego zawartego w chronologii, zalecana minimalna wartość SNR wynosi 5,7) [Wigley i in. 1984; Wilczyński 2010].

W celu redukcji liczby zmiennych wejściowych (40 serii) oraz klasyfikacji obu rodzajów serii zastosowano analizę składowych głównych (PCA). Do ustalenia relacji klimat – przyrost radialny jodeł zastosowano zmodyfikowaną metodę regresji wielorakiej – tzw. funkcję odpowiedzi (ang. response function) [Fritts 1976]. W tym celu wykorzystano program komputerowy RESPO [Lough, Holmes 1989]. W pierwszej kolejności analizowano stanowiskowe chronologie czułości (zmiennie zależne), a następnie wartości pierwszej oraz drugiej składowej głównej (PC1, PC2), które zostały wyodrębnione w trakcie analizy osobniczych serii czułości. W powyższych analizach uwzględniono jako zmienne niezależne wartości miesięczne temperatury powietrza, opadów atmosferycznych oraz natężenia promieniowania słonecznego z okresu od września roku poprzedzającego przyrost do września bieżącego roku ( $m=13$ ), czyli roku, w którym formowany był słoń drewna. Analizowano okres 1951-2007 ( $n=57$ ). Dane klimatyczne pochodziły z odległej o kilka kilometrów stacji meteorologicznej Kubalonka, położonej na wysokości 780 m n.p.m.

## Wyniki

Serie szerokości słoików jodeł obu populacji charakteryzowały się zmiennością długo- i krótko-okresową (ryc. 1). Stopniowy spadek szerokości słoików był charakterystyczny dla większości



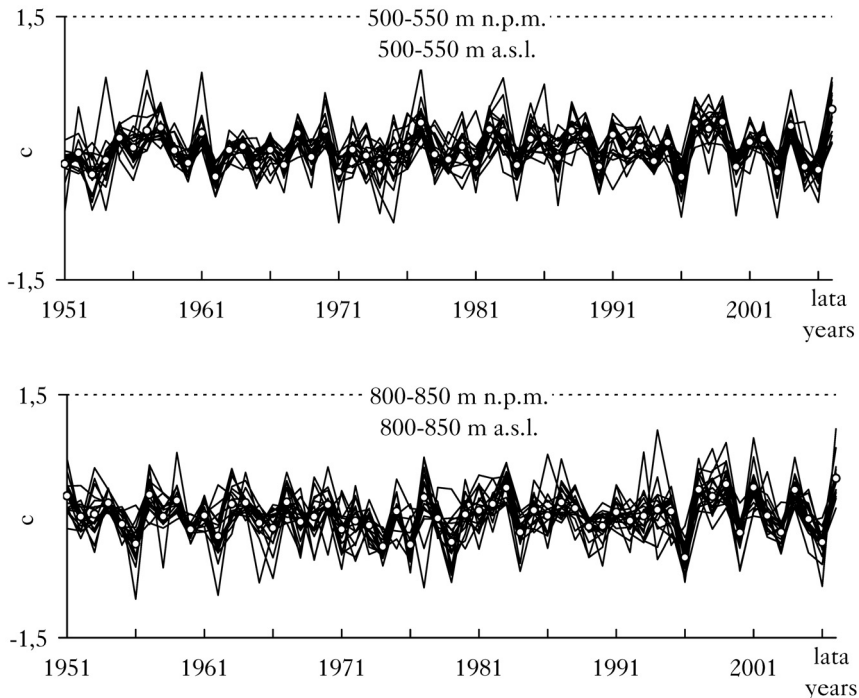
Ryc. 1.

Serie szerokości słoików jodeł  
Tree-ring width series of firs

drzew obu populacji, mniej więcej do początku lat 90. ubiegłego wieku. Potem drzewa stopniowo zaczęły zwiększać przyrosty radialne. Serie czułości mają wyraźnie zredukowaną zmienność długookresową oraz wyeksponowaną zmienność krótkookresową – z roku na rok. Stanowiskowe chronologie czułości eksponują cechy charakterystyczne dla większości drzew danej populacji, redukując zmienność osobniczą (ryc. 2).

Wskaźnik  $r_{bt}$  populacji jodeł z pogórza był nieco wyższy (0,581) od  $r_{bt}$  jodeł z regla dolnego (0,523). Dzięki stosunkowo wysokim wartościom  $r_{bt}$  oraz dużej liczbie serii obie chronologie charakteryzowały się wysoką reprezentatywnością – EPS wyniósł odpowiednio 0,965 oraz 0,956. Także wartości wskaźnika SNR chronologii drzew ze stanowiska z pogórza były wyższe (27,7) od SNR jodeł z regla dolnego (21,9), choć obie wartości należy uznać za wysokie. Wskazują one na występowanie w obu chronologiach silnego sygnału klimatycznego.

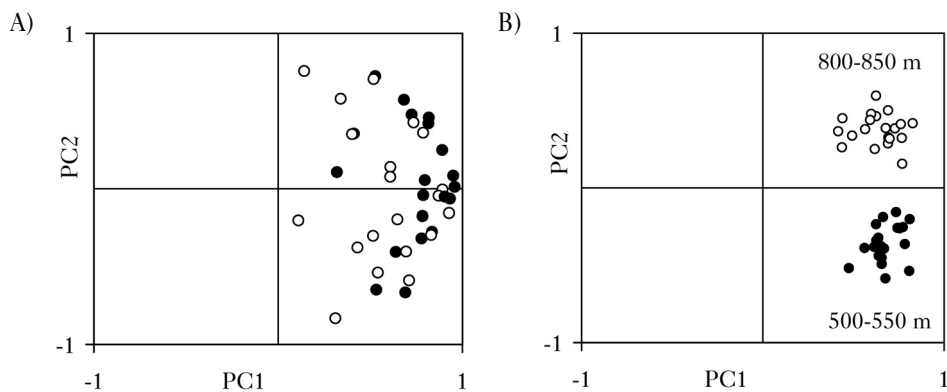
W oparciu o wartości ładunków czynnikowych PC1 i PC2 nie udało się logicznie poklasyfikować serii szerokości słoju (ryc. 3A). Z kolei serie czułości tworzą dwa odrębne skupienia, a czynnikiem różnicującym są ładunki PC2 (ryc. 3B). Pierwszą grupę tworzą serie drzew ze stanowiska na wysokości 800-850 m, które dodatnio korelują z PC2. Drugą grupę stanowią serie jodeł z wysokości 500-550 m n.p.m., korelując ujemnie z PC2. Wynika stąd, że PC2 opisuje czynnik, który był przyczyną odmiennych krótkookresowych reakcji przyrostowych jodeł z obu stanowisk. Wartości współczynników korelacji serii czułości z PC2 (ładunków czynnikowych) pozwalają wskazać stanowisko (populację), z której pochodziła dana seria (drzewo). Nie można tego uczynić w oparciu o ładunki PC1 – składowej, która integruje serie czułości drzew obu populacji stosunkowo silnie, dodatnio z nimi korelując (ryc. 3B).



Ryc. 2.

Serie czułości rocznej (linie) oraz stanowiskowa chronologia czułości (białe punkty)

Series of annual sensitivity index of firs (lines) and site sensitivity chronologies (white dots)



Ryc. 3.

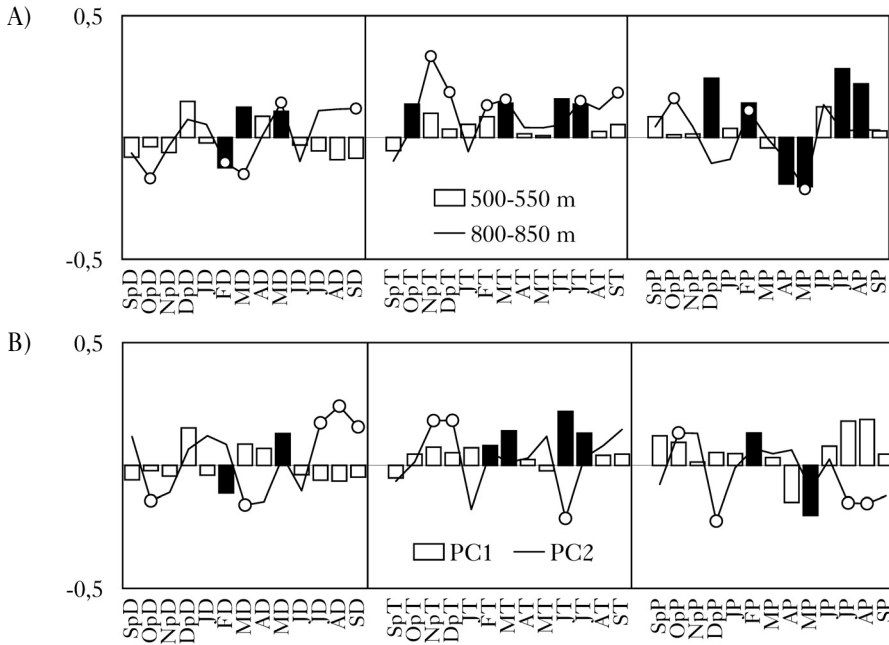
Położenie serii szerokości słojów (A) oraz serii czułości (B) względem ładunków czynnikowych PC1 i PC2  
Location of tree-ring width series (A) and annual sensitivity series (B) in relation to the PC1 and PC2 loadings

Wyniki analizy response function chronologii stanowiskowych wskazują, że jodły z pogórza wykazywały silną wrażliwość na promieniowanie słoneczne w lutym, marcu i maju roku formowania słojów, na temperaturę powietrza poprzedniego października, bieżącego marca, czerwca i lipca oraz na opady grudnia, lutego, kwietnia, maja, lipca i sierpnia roku formowania słoja (ryc. 4A). Z kolei zmienność przyrostów radialnych jodeł z regla dolnego była istotnie zależna od promieniowania słonecznego w październiku poprzedniego roku, lutym, marcu, maju oraz wrześniu bieżącego roku, temperatury powietrza poprzedniego listopada i grudnia oraz bieżącego marca, lipca i września, a także od ilości opadów atmosferycznych poprzedniego października oraz bieżącego lutego i maja (ryc. 4A).

Wyniki response function składowej pierwszej (PC1) wskazują, że jodły z obu stanowisk wykazywały podobną wrażliwość na promieniowanie słoneczne w lutym i maju, na temperaturę powietrza lutego, marca, czerwca i lipca oraz na opady lutego i maja roku formowania słoja (ryc. 4B). Z kolei wyniki dla PC2 wskazują, że jodły z obu stanowisk wykazywały odmienną wrażliwość na promieniowanie słoneczne października poprzedniego roku oraz marca, lipca, sierpnia i września roku formowania słojów, na temperaturę poprzedniego listopada i grudnia oraz bieżącego czerwca, a także na wielkość opadów w październiku i grudniu poprzedniego roku oraz w bieżącym lipcu i sierpniu (ryc. 4B).

## Dyskusja

Wyniki dotychczasowych badań dendroklimatycznych jodły pospolitej z obszaru Polski wskazują, że ważnym czynnikiem regulującym wielkość odkładanych przez nią słojów drewna są warunki termiczne sezonu zimowego [Müller-Stoll 1951; Ermich 1955; Feliksik 1990; Feliksik i in. 2000; Koprowski, Gława 2007; Bijak 2010; Wilczyński 2010, 2013a; Kaczka i in. 2012; Wilczyński, Wertz 2012]. Mroźne i długie zimy negatywnie wpływają na kondycję przyrostową jodły i skracają okres wegetacyjny, powodując, że odkłada ona wąskie słoje. Należy jednak dodać, że odporność jodły na mrozy związana jest z wilgotnością zajmowanego przez nią siedliska. Drzewa rosnące na glebach wilgotnych są odporniejsze na silne spadki temperatury podczas zimy. Zdolności przyrostowe jodły osłabia także niedobór opadów w okresie letnim [Feliksik 1990; Beuntgen i in. 2009; Hoffmann i in. 2009; Wilczyński 2010, 2013]. Ten negatywny wpływ potęgowany jest przez wysoką temperaturę powietrza. Dlatego jodła jest wrażliwa na zbyt wysoką temperaturę


**Ryc. 4.**

Zależność chronologii stanowiskowych (A) oraz PC1 i PC2 (B) od promieniowania słonecznego (D), temperatury (T) i opadów (P) w okresie od września poprzedniego roku (Sp) do września (S) roku bieżącego Relationship between site chronologies (A) or PC1 and PC2 (B) and solar radiation (D), temperature (T) and precipitation (P) in the period from September of previous year (Sp) to September (S) of current year wartości współczynników regresji (b) istotne dla  $p < 0,05$  oznaczono białymi kółkami oraz czarnymi słupkami regression coefficients (b) marked white circles and black columns are significant at  $p < 0,05$

w okresie letnim, głównie na terenach o stosunkowo niskich opadach [Feliksik 1990; Bijak 2010], choć nie tylko tam [Feliksik i in. 2000; Bronisz i in. 2010; Wilczyński 2010, 2013a]. W górach wraz z wysokością wpływ opadów na przyrost radialny jodły wyraźnie słabnie [Müller-Stoll 1951; Ermich 1955; Feliksik 1990; Kaczka i in. 2012]. Na jej przyrost na grubość wpływ mają także warunki pogodowe lata oraz jesieni poprzedzających dany rok przyrostowy [Ermich 1955; Bijak 2010; Wilczyński 2010; Kaczka i in. 2012]. Warunki pogodowe tego okresu mają wpływ na proces magazynowania przez drzewa substancji zapasowych wykorzystywanych zimą oraz na wiosnę, na ilość oraz jakość pąków organów wegetatywnych i generatywnych, które decydują o ilości aparatu asymilacyjnego oraz o obfitości obradzania, a także na proces drewnienia pędów. Eis [1970, 1973] wykazał, że suche i ciepłe lato poprzedzające rok formowania szyszek ma pozytywny wpływ na liczbę pąków generatywnych. Jednak o ich ostatecznym zróżnicowaniu i ewentualnym zamieraniu decydują warunki pogodowe jesieni. Mają one pośredni wpływ na przyrost drzew w następnym roku, a decyduje o tym bezpośrednio urodzaj nasion, który może znacząco wyczerpać siły vitalne drzew [Eis i in. 1965; Chałupka i in. 1975, 1976]. Z badań Ermicha [1960, 1963] wynika, że u jodeł rosnących w reglu dolnym, na wysokości około 1000 m, do pierwszych podziałów kambium waskularnego dochodzi w drugiej połowie maja, natomiast na pogórzach pod koniec kwietnia. Z kolei zakończenie tworzenia słoja drewna przypadało u nich odpowiednio na koniec sierpnia oraz na połowę września. Powyższe terminy są jednak płynne i zależą od warunków pogodowych danego roku. Wskazują one jednak, że jodły przyrastają także we wrześniu, co potwierdziły również wyniki naszych badań.

Badane przez nas populacje jodły pospolitej rosły w dwóch sąsiadujących ze sobą piętrach klimatycznych: w umiarkowanie ciepłym pogórzach oraz w umiarkowanie chłodnym reglu dolnego. Podobny wpływ na wielkość przyrostów radialnych obu populacji drzew miało kilka elementów meteorologicznych występujących w danym oraz poprzedzającym przyrost roku. Silne promieniowanie słoneczne w lutym szkodziło jodłom z obu stanowisk. Prawdopodobnie przyczyną było nadmierne nagrzewanie się pędów i igieł, co zwiększało transpirację przy jednoczesnym braku dostępu do wolnej wody w glebie. Mogło wtedy zachodzić zjawisko suszy fizjologicznej. Z kolei wysoka temperatura powietrza oraz obfite opady w lutym powiązane z dużym zachmurzeniem sprzyjały tworzeniu przez jodły w następnych miesiącach szerokich słoju. Pod wpływem wysokiej temperatury powietrza w marcu skracał się okres spoczynku zimowego, wcześniej uruchamiane były procesy wegetacyjne, co skutkowało zwiększeniem przyrostów radialnych przez jodły na obu stanowiskach. Ciepło dostarczane przez promienie słoneczne w maju stymulowało aktywność kambium waskularnego badanych drzew. Potwierdza to stwierdzony negatywny wpływ na przyrost jodeł z obu populacji wysokich opadów wiosennych i związane z tym zwiększone zachmurzenie, które ograniczało dopływ promieniowania słonecznego. Z kolei wysoka temperatura powietrza latem sprzyjała procesom transpiracji oraz fotosyntezy, dzięki którym badane drzewa produkowały substancje potrzebne do budowy nowych komórek drewna.

Udało się także zidentyfikować elementy klimatyczne, na które jodły z obu stanowisk reagowały w sposób odmienny. Należało do nich promieniowanie słoneczne w październiku poprzedniej jesieni, które (jak wykazano na początku dyskusji) prawdopodobnie decydowało o liczbie oraz jakości pąków wegetatywnych oraz generatywnych. Wiemy już, że intensywność kwitnienia i obradzania może mieć istotny wpływ na przyrost na grubość jodeł, gatunku okresowo obradzającego, lecz z częstością zależną od wysokości n.p.m. Kolejnym czynnikiem różnicującym wielkość przyrostu radialnego drzew obu populacji była temperatura powietrza panująca w listopadzie i grudniu poprzedniego roku. Można przypuszczać, że wpływała ona na proces drewnienia, a w konsekwencji na odporność jodeł na mrozy zimowe. Co ciekawe, zbyt wysoka temperatura w tym okresie szkodliwa była przede wszystkim dla drzew z pogórzach. Badane populacje jodeł odmiennie reagowały także na opady w grudniu. Wtedy tworzy się często pokrywa śnieżna, która zabezpiecza korzenie przed przemarzaniem. Może być ona też źródłem wody dostarczanej do gleby. Jej występowanie miało istotny, pozytywny wpływ na zmienność przyrostów jodeł z pogórzach. Nie dotyczyło to drzew z reglu dolnego, bowiem jest ona tam zwykle stałym elementem. Czynnikiem różnicującym rytm przyrostowy drzew z obu stanowisk było także promieniowanie słoneczne występujące w marcu. Jego negatywny wpływ na kondycję przyrostową jodeł zaznaczył się jedynie w reglu dolnym. Wynika stąd, że wcześniej opisany proces suszy fizjologicznej w wyższych położeniach górskich ma miejsce także w marcu. Z kolei na niedobór ciepła w okresie czerwcowych, intensywnych podziałów kambium bardziej wrażliwe były drzewa z pogórzach. Natomiast nadmiar opadów w lipcu i sierpniu niekorzystnie wpływał na przyrost jodeł z reglu dolnego, strefy obfitującej w opady, w której drzewa najbardziej cierpią z powodu niedostatku ciepła. Fakt ten potwierdza dodatni wpływ promieniowania słonecznego sezonu letniego na wielkość przyrostów radialnych jodeł rosnących w tej strefie.

Różnica wysokości i związana z nią odmiennność warunków klimatycznych, które powodują różnice w rytmie przyrostowym świerka pospolitego, wynosi w reglu dolnym około 200 m, a w reglu górnym zmniejsza się do około 100 m [Wilczyński, Szymański 2014]. W badanym przez nas przypadku różnica wysokości pomiędzy stanowiskami jodły wyniosła 300 m. Zatem ustalenie minimalnej różnicy wysokości, przy której mogą ujawnić się istotne różnice rytmu przyrostowego, wymaga dla tego gatunku drzewa dalszych badań. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość

wykorzystania serii szerokości słoju jodły pospolitej w wyznaczaniu pięt dendroklimatycznych. Jednak z powodu jej ograniczonego występowania w profilu pionowym Beskidów regionalizacja ta obejmować może obszar pogórza oraz regla dolnego.

## Wnioski

- ✦ Jodły z umiarkowanie ciepłego piętra klimatycznego pogórza charakteryzowały się odmiennymi cechami rytmu przyrostów radialnych w stosunku do jodeł, które rosły w umiarkowanie chłodnym piętrze regla dolnego. Różnice warunków klimatycznych występujące na odcinku 300 m w pionie okazały się na tyle duże, że znalazło to odbicie w przebiegu serii szerokości słoju drzew.
- ✦ Na wielkość tworzonych przez jodły słoju drewna miały wpływ różne elementy meteorologiczne panujące w sezonach danego oraz poprzedniego roku. Przyczyną różnic rytmu przyrostowego jodeł z obu stanowisk była ich odmienna wrażliwość na warunki solarne panujące podczas poprzedniej jesieni, pod koniec zimy oraz latem. Drzewa odmiennie reagowały także na warunki termiczne początku zimy oraz lata, a także na opady drugiej połowy lata.
- ✦ Drzewa z obu stanowisk oprócz różnic wykazywały podobną wrażliwość na warunki termiczne, solarne oraz pluwialne panujące w lutym, a także na warunki solarno-pluwialne wiosny. Podobny wpływ na wielkość tworzonych przez jodły słoju miała też temperatura powietrza pierwszej połowy lata.
- ✦ Standaryzowane serie szerokości słoju drewna pozwoliły na identyfikację stanowiska, z którego pochodziły badane jodły. Na ich podstawie możliwe jest także dokonywanie pionowej regionalizacji dendroklimatycznej terenów górskich. Potwierdzenie tej tezy wymaga jednak badań na większej liczbie drzew pochodzących z różnych wysokości.

## Literatura

- Beuntgen U., Brazdil R., Frank D., Esper J. 2009. Three centuries of Slovakian drought dynamics. *Climate Dynamics*. doi: 10.1007/s00382-009-0563-2.
- Bijak S. 2010. Tree-ring chronology of silver fir and its dependence on climate of the Kaszubskie Lakeland (northern Poland). *Geochronometria* 35: 91-94.
- Bronisz A., Bijak S., Bronisz K. 2010. Dendroklimatologiczna charakterystyka jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na terenie Gór Świętokrzyskich. *Sylwan* 154 (7): 463-470.
- Carrer M., Urbinati C. 2004. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. *Ecology* 85 (3): 730-740.
- Chałupka W., Giertych M., Królikowski Z. 1975. The effect of cone crops on growth in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Arbor. Kórnickie* 20: 201-212.
- Chałupka W., Giertych M., Królikowski Z. 1976. The effect of cone crops on growth in Scots pine on tree diameter increment. *Arbor. Kórnickie* 21: 361-366.
- Douglass A. E. 1920. Evidence of climate effects in the annual rings of trees. *Ecology* 1: 24-32.
- Eis S. 1970. Reproduction and reproductive irregularities of *Abies lasiocarpa* and *Abies grandis*. *Can. J. Bot.* 48 (1): 141-143.
- Eis S. 1973. Cone production of Douglas Fir and Grand Fir and its climatic requirements. *Can. J. For. Res.* 3 (1): 61-70.
- Eis S., Garman E. H., Ebell R. F. 1965. Relation between cone production and diameter increment of Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), Grand Fir (*Abies grandis* (Dougl.) Lindl.), and Western White Pine (*Pinus monticola* Dougl.). *Can. J. Bot.* 43: 1553-1559.
- Ermich K. 1955. Zależność przyrostu drzew w Tatrach od wahań klimatycznych. *Acta Soc. Bot. Polon* 24 (2): 245-273.
- Ermich K. 1960. O sezonowym przebiegu czynności miazgi i tworzenia słoja rocznego u *Fagus sylvatica* L. i *Abies alba* Mill. *Rocz. Dendrol. PTB* 14: 101-109.
- Ermich K. 1963. The inception and the end of the annual tree ring formation in *Fagus sylvatica* L., *Abies alba* Mill., and *Picea excelsa* Lk. in Tatra Mountains. *Ekologia Polska A* 11 (13): 311-336.
- Feliksik E. 1990. Badania dendroklimatologiczne dotyczące jodły (*Abies alba* Mill.) występującej na obszarze Polski. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie* 151.
- Feliksik E., Wilezyński S. 2008. Sygnał klimatyczny w słojach *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. oraz *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.). *Sylwan* 152 (6): 3-13.



- Feliksik E., Wilczyński S., Podlaski R. 2000. Wpływ warunków termiczno-pluwialnych na wielkość przyrostów radialnych sosny (*Pinus sylvestris* L.), jodły (*Abies alba* Mill.) i buka (*Fagus sylvatica* L.) ze Świętokrzyskiego Parku Narodowego. *Sylvan* 144 (9): 53-63.
- Fritts H. C. 1976. *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London.
- Hoffmann K., Beuntgen U., Kynel T., Brazdsil R., Esper J. 2009. On the potential of fir width data for summer drought reconstruction in southern Moravia, Czech Republic. W: Kaczka R. J. i in. [red.]. TRACE – Tree Rings in Archeology, Climatology and Ecology 7: 57-63.
- Holmes R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bull.* 43: 69-78.
- Kaczka R. J., Wiórkowski S., Czajka B., Skrzydłowski T. 2012. Zmiany wrażliwości klimatycznej jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) w naturalnym lesie dolnoeregłowym w Tatrach Polskich. *SiM CEPL, Rogów* 14 (30): 111-117.
- Koprowski M., Gławęda M. 2007. Dendrochronologiczna analiza przyrostów rocznych jodły pospolitej (*Abies alba* Mill.) na Pojezierzu Olsztyńskim (Nadleśnictwo Wichrowo). *Sylvan* 151 (11): 35-40.
- Lough J. M., Holmes R. L. 1989. Program RESPO modified for the DPL. Australian Institute of Marine Science, Townsville.
- Müller-Stoll H. 1951. Vergleichende untersuchungen über die Abhängigkeit der Jahrringfolge von Holzart, Standort und Klima. *Bibl. Bot.* 122.
- 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 dendrochronologicznych. *Zesz. Naukowe UR w Krakowie, Rozprawy* 464 (341).
- Wilczyński S. 2013a. Krótkookresowe reakcje przyrostowe jodły, świerka i sosny rosnących w jednorodnych warunkach siedliskowych. *Sylvan* 157 (6): 442-452.
- Wilczyński S. 2013b. Przyczyny krótkookresowych reakcji przyrostowych sosen z różnych siedlisk. *Sylvan* 157 (9): 662-670.
- Wilczyński S., Szymański N. 2014. Pionowe strefy oraz piętra dendroklimatyczne w Beskidach Zachodnich. *Sylvan* 158 (6): 463-472.
- Wilczyński S., Szymański N., Wertz B., Muter E. 2014. Wpływ wieku na odpowiedź przyrostową drzew na czynnik klimatyczny na przykładzie modrzewia europejskiego. *SiM CEPL, Rogów* 16 (40): 257-265.
- Wilczyński S., Wertz B. 2012. Sygnał klimatyczny w seriach przyrostów radialnych drzew na przykładzie jodły pospolitej i modrzewia europejskiego. *SiM CEPL, Rogów* 14 (30): 66-74.
- Yu G., Liu Y., Wang X. 2008. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in Qilian juniper (*Sabina przewalskii* Kom.). *Trees*. doi:10.1007/s00468-007-0170-y.