

# Wpływ wieku na odpowiedź przyrostową drzew na czynnik klimatyczny na przykładzie modrzewia europejskiego

Sławomir Wilczyński, Norbert Szymański, Bogdan Wertz, Elżbieta Muter

**Abstrakt.** W pracy zidentyfikowano elementy meteorologiczne, które zadecydowały o podobieństwie oraz o różnicach krótkookresowego rytmu przyrostowego modrzewia europejskiego będącego w różnym wieku. W tym celu w każdym z trzech drzewostanów pobrano po jednym odwiercie z 30 drzew. Badane drzewostany rosły obok siebie w podobnych warunkach siedliskowych. Do badań relacji klimat–przyrost wykorzystano analizę składowych głównych serii czułości. Stwierdzono, że przyczyną różnic rytmu przyrostowego populacji modrzewi była ich odmienna wrażliwość na warunki solarne poprzedniego października, solarno-termiczne lutego i marca oraz solarne czerwca i lipca roku formowania słoja. Różnicujący wpływ miały także warunki pluwalne sierpnia i września roku formowania przyrostu. Z kolei podobne cechy przyrostowe badanych populacji drzew były skutkiem podobnej wrażliwości drzew na warunki pluwalne poprzedniego września oraz czerwca roku formowania słoju drewna.

**Słowa kluczowe:** dendroklimatologia, słoje drewna, przyrost radialny, modrzew europejski

**Abstract.** *Age-dependent increment response of trees to climatic factor on example of European larch.* The study identified the meteorological elements, which decided about similarity and differences of a short-term increment rhythm of European larch in different age. For this purpose one core was extracted from 30 trees in each of three-stands. The stands were growing close to each other, in similar habitat conditions. The principal component analysis of sensitivity series was used to study the climate-growth relationship. It was found that differences in the increment rhythm of sample subpopulation came from their different sensitivity to: solar conditions in October of previous year as well as solar-thermal conditions in February and March and solar conditions of June and July in the year of tree-ring formation. Also precipitation of August and September in the year of tree-ring formation had influence on different incremental rhythm. On the other hand, the similar incremental response of trees from sample subpopulations was driven by similar sensitivity to the precipitations in the previous September as well as June in the year of tree-ring formation.

**Key words:** dendroclimatology, tree-ring, radial increment, European larch

## Wstęp

Badania dendroklimatologiczne dostarczają informacji między innymi o zmienności cech przyrostowych drzew oraz o czynnikach ją powodujących. Czynnik klimatyczny zwykle

decyduje o krótkookresowej zmienności wielkości tworzonych przez drzewa słoju drewna. Szerokość oraz inne parametry słoju mogą być traktowane jako wskaźnik ich aktualnej kondycji oraz zdolności przyrostowych. Odpowiedź przyrostowa drzew na poszczególne elementy klimatyczne modyfikowana jest przez takie czynniki jak: gatunek (Wilczyński 2010, 2013a), warunki glebowe (Wilczyński 2013b; Wilczyński i Wertz 2012), czy też pochodzenie (Oleksyn i in. 1993; Wilczyński i Kulej 2013). Czynnikiem takim jest także wiek drzew (Carrer i Urbinatti 2004, 2006; Wang i in. 2009; Koprowski 2012; Wu i in. 2013). Pomimo wielu badań nad wpływem wieku drzew na relacje klimat–przyrost radialny wiedza ta nadal pozostaje niepełna. Wynika to z trudności zachowania w warunkach naturalnych środowiska jednorodności pozostałych czynników modelujących przyrost drzew. Należy podkreślić, że wiek drzew jest, choć stosunkowo rzadko, uwzględniany w analizach dendroklimatologicznych, bowiem z reguły bada się drzewa najstarsze (Kirkpatrick 1981; Szeicz i MacDonald 1994, 1995; Ettl i Peterson 1995; Linderholm i Linderholm 2004; Carrer i in. 2007; Yu i in. 2008).

Celem pracy była ocena wrażliwości trzech populacji modrzewia europejskiego, będących w różnym wieku, na wybrane elementy klimatyczne. Testowane modrzewie rosły w podobnych warunkach siedliskowych. Przyjęto hipotezę, że krótkookresowy rytm przyrostowy modrzewi był rezultatem wpływu czynnika klimatycznego modelowanego przez wiek drzew.

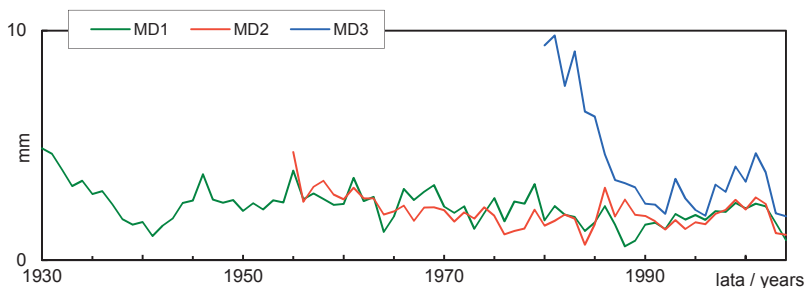
## Material i metody

Na terenie Nadleśnictwa Staszów (21.227705 E, 50.612467 N) wybrano trzy drzewostany modrzewiowe w wieku 80 (MD1), 55 (MD2) oraz 30 lat (MD3). Rosły one obok siebie, każdy na powierzchni ok. 0,5 ha, na glebie porolnej. W każdym drzewostanie (populacji cząstkowej) wybrano losowo 30 drzew. Z pnia każdego drzewa, na wysokości 1,3 m nad ziemią, pobrano po jednym wywiercie. Za pomocą mikroskopowego przyrostomierza, o dokładności pomiarowej 0,01 mm, na każdym wywiercie pomierzono szerokości słoju rocznych drewna. Za pomocą programu COFECHA (Holmes 1983) sprawdzono poprawność datowania słoju. Na podstawie serii szerokości słoju drzew danej populacji skonstruowano stanowiskową chronologię szerokości słoju (rzeczywistą). W dalszej kolejności szerokości słoju transformowano, obliczając w każdym roku indeks przyrostowy – tzw. czułość roczną ( $c$ ):  $c_i = 2 \cdot (x_i - x_{i-1}) \cdot (x_i + x_{i-1})^{-1}$  gdzie:  $x_i$  – szerokość słoja w roku  $i$ ,  $x_{i-1}$  – szerokość słoja w roku poprzednim (Douglass 1920). Następnie wartości serii czułości uśredniono, tworząc dla każdej populacji stanowiskową chronologię czułości. W ten sposób zredukowano trendy i długookresowe fluktuacje charakterystyczne dla serii oraz chronologii rzeczywistych, uwypuklając jednocześnie coroczną zmienność wielkości przyrostów radialnych. Analizowano wspólny dla wszystkich drzew okres od 1980 do 2004 roku ( $n = 25$ ). Reprezentatywność stanowiskowych chronologii czułości oceniono za pomocą wskaźnika EPS, który został obliczony w oparciu o indywidualne serie czułości drzew każdej z trzech populacji (Wigley i in. 1984). Do opisu zależności pomiędzy stanowiskowymi chronologiami czułości i ich klasyfikacji zastosowano analizę składowych głównych. Wprawdzie dysponowano tylko trzema zmiennymi, jednak pomimo to posłużono się tą metodą, aby wyeksponować wspólne oraz indywidualne cechy chronologii stanowiskowych. Zatem zasadniczy cel analizy składowych głównych, jakim jest redukcja liczby zmiennych był w tym przypadku drugorzędny. W trakcie analizy wyodrębniono trzy nowe zmienne, tzw. składowe główne PC1, PC2 oraz PC3. Składowe te wykorzystano następnie do identyfikacji elementów klimatu, które determinowały krótkookresowy rytm przyrostowy badanych modrzewi. Do poszukiwania współzmienności

między wyodrębnionymi składowymi a wybranymi elementami klimatycznymi wykorzystano metodę korelacji prostoliniowej. Wartości poszczególnych składowych głównych powiązano z wartościami miesięcznymi temperatury powietrza, opadów atmosferycznych oraz usłonecznienia z okresu: od września roku poprzedzającego przyrost do września roku formowania słoja. W ten sposób starano się wskazać elementy klimatu, które miały podobny wpływ na rytm przyrostowy modrzewi w 3 populacjach cząstkowych oraz te elementy, które kształtowały specyficzny rytm przyrostowy poszczególnych populacji drzew. Dane klimatyczne pochodziły ze stacji meteorologicznej IMGW w Kielcach. Była to najbliższa stacja dysponująca danymi pomiarowymi trzech elementów klimatycznych wykorzystanych w analizach.

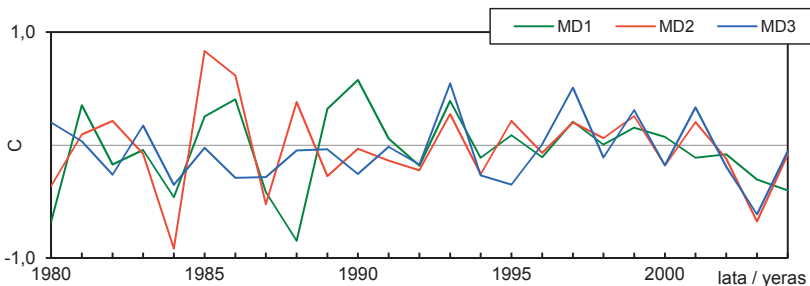
## Wyniki

Szerokość słoików rocznych badanych modrzewi cechowała się wyraźną zmiennością z roku na rok oraz długo- i średniookresowymi fluktuacjami (ryc. 1). Chronologie rzeczywiste różniły się poziomem przyjmowanych wartości oraz często odmiennym przebiegiem w niektórych interwałach rocznych oraz wieloletnich. W chronologiach czułości wyeksponowano zmienność coroczną oraz wyrównano wartość średnią (ryc. 2). Wskaźnik EPS najmłodszych (MD3) i średnich (MD2) pod względem wieku modrzewi wyniósł 0,98, natomiast najstarszych (MD1) 0,96. Poszczególne chronologie cechowały się zatem bardzo wysoką reprezentatywnością.



Ryc. 1. Stanowiskowe chronologie szerokości słoików

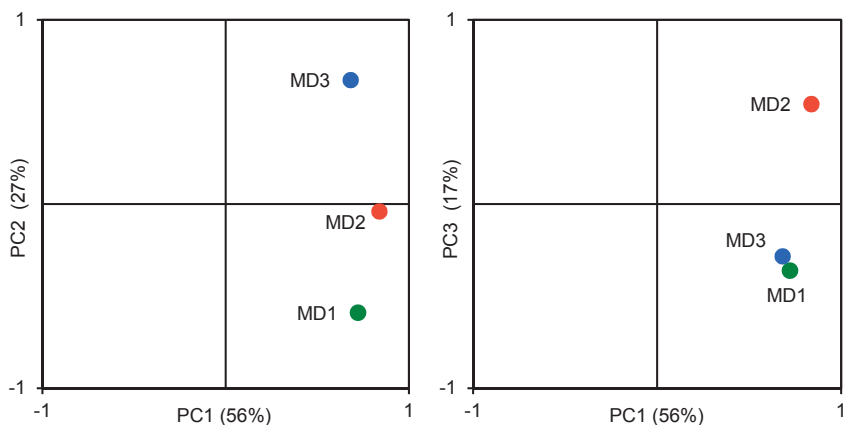
Fig. 1. Site tree-ring chronologies



Ryc. 2. Stanowiskowe chronologie czułości

Fig. 2. Site sensitivity chronologies

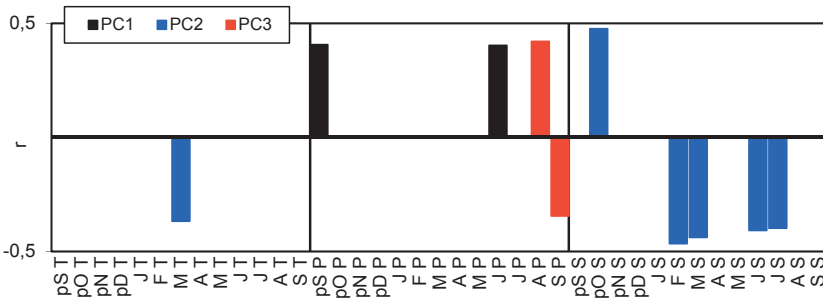
Procent wyjaśnianej przez pierwszą składową główną zmienności badanych chronologii wyniósł 56% (ryc. 3). Dobrze reprezentowała ona 3 badane chronologie stanowiskowe i była najskuteczniejsza w opisie zmienności reakcji przyrostowych badanych populacji modrzewi. Świadczą o tym wysokie wartości ładunków czynnikowych tej składowej z poszczególnymi chronologiami. PC1 grupowała zatem 3 chronologie stanowiskowe, które istotnie ( $p < 0,01$ ) dodatnio z nią korelowały. Z kolei PC2 oraz PC3 różnicowały chronologie, wyjaśniając odpowiednio 27% oraz 17% ich zmienności (ryc. 3). PC2 stosunkowo dobrze reprezentowała chronologie MD1 oraz MD3, natomiast PC3 głównie chronologię MD2 (ryc. 3). Łącznie trzy pierwsze składowe główne tłumaczyły 100% wariacji badanych chronologii.



**Ryc. 3.** Położenie chronologii czułości względem ładunków czynnikowych trzech pierwszych składowych głównych. W nawiasach podano procent wyjaśnianej wariacji chronologii wyjaśnianej przez poszczególne składowe główne

*Fig. 3. Position of the sensitivity chronologies with relation to the component loadings of the first three principal components. The brackets contain percentage of the variance of the chronologies explained by PC1, PC2, and PC3*

Uzyskane wyniki wskazują, że PC1 opisuje czynnik podobnie wpływający na krótkookresowy rytm przyrostowy trzech różnowiekowych populacji modrzewia, natomiast PC2 i PC3 opisują czynniki, na które modrzewie poszczególnych populacji wykazywały odmienną wrażliwość. Analiza wartości czynnikowych poszczególnych składowych głównych wskazuje, że PC1 istotnie ( $p < 0,05$ ) korelowała z sumą opadów września poprzedniego roku oraz czerwca roku formowania słoju (ryc. 4). Z kolei PC2 istotnie korelowała z sumą usłonecznienia poprzedniego października, średnią temperaturą bieżącego marca oraz sumą usłonecznienia lutego i marca, a także czerwca i lipca roku formowania słoju. Natomiast PC3 wykazywała istotną współzmienność z sumą opadów sierpnia i września roku formowania słoju (ryc. 4).



**Ryc. 4.** Istotne korelacje (na 95% poziomie ufności) pomiędzy głównymi składowymi wartościami miesięcznymi temperatury (T), opadów (P) oraz usłonecznienia (S) miesięcy od września poprzedniego roku (pS) do września roku bieżącego (S)

*Fig. 4. Significant correlations (at the 95% confidence limit) between the PCs and mean monthly temperature (T), precipitation (P), and sunshine (S) for all months from prior September (pS) to current September (S)*

## Dyskusja

W każdej z badanych populacji modrzewie charakteryzowały się bardzo wysoką jednorodnością corocznych reakcji przyrostowych, a ich chronologie cechowały się bardzo silnym sygnałem wysokiej częstotliwości. Skutkowało to wysoką reprezentatywnością chronologii. Można zatem wyniki dotyczące relacji klimat–przyrost rozszerzyć na populacje modrzewi będące w podobnym wieku oraz zajmujące podobne warunki siedliskowe. Zmienność warunków klimatycznych znalazła silne odbicie w corocznych reakcjach przyrostowych badanych drzew. Warto podkreślić, że w badaniu relacji klimat–przyrost radialny nie uwzględniliśmy, jak to zwykle się czyni, chronologii populacyjnych, lecz trzy, nowe zmienne wyodrębnione w trakcie analizy głównych składowych. Sposób ten okazał się wysoce efektywny w bezpośredniej identyfikacji czynników determinujących zmienność przyrostów radialnych różnowiekowych populacji modrzewi. Alternatywnym sposobem poszukiwań różnic w reakcjach przyrostowych drzew różnych populacji na czynnik klimatyczny może być analiza wariancji (Carrer i Urbinati 2004, 2006; Wang i in. 2009; Wu i in. 2013). Jest to jednak metoda pracochłonna, wymagająca analiz korelacyjnych lub regresyjnych poszczególnych serii drzew z kolejnymi parametrami klimatycznymi. W zaproponowanym przez nas przykładzie wprawdzie liczba zmiennych była niewielka, jednak nie umniejsza to roli i skuteczności analizy składowych głównych w takim procesie. Ważnym czynnikiem, w podobny sposób wpływającym na wielkość przyrostu radialnego modrzewi bez względu na ich wiek, były warunki pogodowe panujące późnym latem roku poprzedzającego przyrost radialny. Drzewa zwykle kończą przyrost na grubość we wrześniu i skupiają się jeszcze przez pewien czas na produkcji i gromadzeniu substancji zapasowych (Ladefoget 1952; Ermich 1963; Chalupa 1965; Nadezdin 1971). Wysokie opady we wrześniu hamują spadek poziomu wód gruntowych, co sprzyja kontynuacji aktywności przyrostowej drzew (Holstener-Jorgensen 1967) oraz ostatecznym ukształtowaniu pączków nowych organów wegetatywnych, asymilujących i produkujących substancje budulcowe. Ilość zgromadzonych asymilatów ma także istotny wpływ na kondycję drzew podczas nadchodzącej zimy. Istotnym elementem meteorologicznym, który także miał podobny wpływ na przyrost badanych

drzew, były opady w czerwcu, kiedy dochodzi do najintensywniejszych podziałów kambium waskularnego.

Bezpośrednie promieniowanie słoneczne jesienią decyduje o jakości i liczbie pączków organów generatywnych, z których powstają w następnym roku kwiaty oraz szyszki (La Bastide i Van Vredenburg 1970; Chałupka 1975; Fober 1976; Owens i Molder 1979; Hejnowicz 1982). Z kolei ich liczba negatywnie koreluje z wielkością przyrostu drewna (Eis i in. 1965; Chałupka i in. 1975, 1976). Wyniki naszych analiz potwierdzają te spostrzeżenia, a ponadto wskazują, że wpływ czynnika solarnego na przyrost radialny modrzewi zależny był od ich wieku. U najmłodszych drzew w przeciwieństwie do starszych proces kwitnienia i obradzania jeszcze nie zachodził. Ponadto zachmurzenie ogranicza z jednej strony dopływ energii (usłonecznienie), a z drugiej wychłodzenie gruntu i powietrza. Zmniejsza w ten sposób ryzyko wystąpienia przymrozków. Interpretacja ta wydaje się uzasadniona, okazało się bowiem, że najmłodsze i najstarsze drzewa w odmienny sposób reagowały na ten element w październiku roku poprzedzającego przyrost, miesiącu, w którym często występują wczesne przymrozki. Korony najmłodszych drzew znajdowały się bowiem w strefie przymrozkowej, natomiast korony najstarszych były ponad nią.

Ważnym czynnikiem kształtującym wielkość przyrostu na grubość badanych modrzewi, również uzależnionym od wieku drzew, był też szeroko rozumiany czynnik cieplny pod koniec zimy. Wpływ na ich rytm przyrostowy miała bowiem nie tylko temperatura powietrza, ale także bezpośrednie promieniowanie słoneczne będące ważnym źródłem ciepła aktywującego procesy wzrostu drzew. Także czas dopływu bezpośredniego promieniowania słonecznego w pełni sezonu wegetacyjnego był czynnikiem różnicującym rytm przyrostowy modrzewi. Zapewne czynnik ten modelował, w zależności od wieku drzew, czas aktywacji procesów życiowych wiosną oraz intensywność ich transpiracji w pełni sezonu wegetacji. Mają one bowiem różną wielkość i głębokość systemów korzeniowych, które muszą zaspokoić wzmożone zapotrzebowanie drzew na wodę w okresie letnim.

Kolejnym czynnikiem różnicującym zachowania przyrostowe badanych populacji modrzewi były warunki pluwalne występujące pod koniec lata. Obfite opady w tym czasie skutecznie ograniczają negatywny wpływ na wzrost drzew obniżającego się poziomu wód gruntowych (Holstener–Jorgensen 1967). Odmienne zachowanie drzew w średnim wieku sugeruje, że czynnik glebowy mógł odegrać tu pewną rolę. Fakt ten pokazuje także, jak ważne w interpretacji wyników badań dendroklimatycznych są dane dotyczące warunków glebowych, głównie jej wilgotności (Wilczyński i Wertz 2012; Wilczyński 2013b).

Wyniki badań wielu badaczy zajmujących się prezentowaną w niniejszej pracy problematyką wskazują, że wiek drzew może skutecznie modelować relacje klimat–przyrost radialny (Carrer i Urbinati 2004, 2006; Wang i in. 2009; Koprowski 2012; Wu i in. 2013). W odróżnieniu od powyżej cytowanych badań w naszej pracy uwzględniliśmy dodatkowo, oprócz termiki i opadów, także czynnik solarny. Okazało się, że jest to niezwykle ważny element meteorologiczny kształtujący wzrost modrzewi.

Uzyskane przez nas wyniki pozwoliły na charakterystykę wymagań klimatycznych modrzewi z uwzględnieniem wpływu na te relacje ich wieku. Wiek drzew znajduje bowiem odbicie w specyfice ich przyrostu na grubość cechy, która jest miarą wrażliwości drzewa na czynnik klimatyczny. Należy jednak podkreślić, że interpretacja biologiczna statystycznych zależności jest trudna i często może mieć charakter spekulacji. Koniecznym jest zatem łączenie badań o charakterze interdyscyplinarnym, aby móc skutecznie interpretować zależności klimat–przyrost.

## Podsumowanie

Czynnik klimatyczny okazał się głównym determinantem krótkookresowej zmienności przyrostów na grubość badanych modrzewi, a ich rytm przyrostowy uległ w dużym stopniu ujednoczeniu. Modrzewie bez względu na wiek wykazywały bowiem podobieństwo krótkookresowych reakcji przyrostowych. Wynikało to z ich podobnej wrażliwości na opady atmosferyczne występujące podczas września poprzedniego roku oraz w czerwcu roku formowania słoju. Najmłodsze modrzewie różniły się swoim rytmem przyrostowym od drzew najstarszych. Zdecydowała o tym ich odmienna wrażliwość na bezpośrednie promieniowanie słoneczne podczas poprzedniej jesieni, a także na przedwiośniu oraz latem w roku formowania słoja. Z kolei drzewa w średnim wieku wykazywały odmienną wrażliwość od pozostałych na ilość opadów występujących pod koniec bieżącego lata. Fakt ten może sugerować ewentualny wpływ na wzrost drzew warunków glebowych. Metoda składowych głównych umożliwiła bezpośrednią identyfikację elementów klimatycznych wpływających na podobieństwo, a także na różnice krótkookresowego rytmu przyrostowego modrzewi. Dzięki niej poszerzono wiedzę na temat wrażliwości tego gatunku drzewa na różne elementy klimatyczne, wrażliwości, która była w dużej mierze zależna od wieku drzew.

## Podziękowania

Badania wykonano w ramach działalności statutowej (DS/3416) finansowanej przez MNiSW.

## Literatura

- 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.
- Carrer M., Nola P., Eduard J.L., Motta R., Urbinati C. 2007. Regional variability of climate-growth relationships in *Pinus cembra* high elevation forests in the Alps. *J. Ecol.* 95: 1072–1083
- Chalupa V. 1965. Prubéh tlouštkoveho rustu u lesnich dřevin. *Prace Vyzkum. Ust Lesn CSSR* 30: 187–223.
- Chałupka W. 1975. Wpływ czynników klimatycznych na urodzaj szyszek u świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karst.) w Polsce. *Arbor. Kórnickie*, 20: 213–225.
- 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 Scot 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., Garman H., Bell L.H. 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. 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*, Ser A, 11 (13): 311–336.
- Ettl G.J., Peterson D.L. 1995. Extreme climate and variation in tree growth: individualistic response in subalpine fir (*Abies lasiocarpa*). *Global Change Biol.* 1: 231–241.
- Fober H. 1976. Relation between climatic factors and Scots pine (*Pinus sylvestris*) cone crops in Poland. *Arbor. Kórnickie*, 21: 367–374.
- Hejnowicz A. 1982. Budowa i rozwój wegetatywnych pąków sosny zwyczajnej *Pinus sylvestris* L. Inst. Dendrologii PAN, Kórnik.
- Holmes R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bull.* 43: 69–78.
- Holstener-Jorgensen H. 1967. Influences of forest management and drainage on groundwater fluctuations. *Forest Hydrology*. Pergamon Press, Oxford: 325–480.
- Kirkpatrick M. 1981. Spatial and age dependent patterns of growth in New England black birch. *Am. J. Bot.* 68: 535–543.
- Koprowski M. 2012. Long-term increase of March temperature has no negative impact on tree rings of European larch (*Larix decidua*) in lowland Poland. *Trees*, 26: 1895–1903.
- La Bastide J.G., Van Vredenburg C.L.H. 1970. The influence of weather conditions on the seed production of some forest trees in the Netherlands. Stichting Bosbouwproefstation 'De Dorschkamp', Waageningen, Mededeling 102.
- Ladefoget K. 1952. The periodicity of wood formation. *Biol Skrifter Kgl Dansk Videnskaebernes Selskab* 7.
- Linderholm H.W., Linderholm K. 2004. Age-dependent climate sensitivity of *Pinus sylvestris* L. in the central Scandinavian Mountains. *Boreal Environ. Res.* 9: 307–317.
- Nadezhdin V.V. 1971. Effect of seed provenance on the height growth of larch in the conifer. *Izd. Nauk.*, Moskwa.
- Oleksyn J., Fritts H.C., Hughes M.K. 1993. Tree-ring analysis of different *Pinus sylvestris* provenances, *Quercus robur*, *Larix decidua* and *L. decidua* x *L. kaempferi* affected by air pollution. *Arbor. Kórnickie*, 38: 89–109.
- Owens J.N., Molder M. 1979. Bud development in *Larix occidentalis*. II Cone differentiation and early development. *Can. J. Bot.* 57: 1557–1572.
- Szeicz J.M., MacDonald G.M. 1994. Age-dependent tree-ring growth responses of subarctic white spruce to climate. *Can. J. Forest. Res.* 23:120–132.
- Szeicz J.M., MacDonald G.M. 1995. Dendroclimatic reconstruction of summer temperatures in northwestern Canada since A.D. 1638 based on age-dependent modeling. *Quaternary Res.* 44: 257–266.
- 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. *J. Clim. App. Meteorol.* 23: 201–213.
- Wilczyński S. 2010. Uwarunkowania przyrostu radialnego wybranych gatunków drzew z Wyżyny Kieleckiej w świetle analiz dendroklimatologicznych. *Zesz. Nauk. UR, Kraków, Rozprawy*, 464 (341).
- Wilczyński S. 2013a. Krótkookresowe reakcje przyrostowe jodły, świerka i sosny rosnących w jednorodnych warunkach siedliskowych. *Sylwan*, 157 (6): 442–452.



- Wilczyński S. 2013b. Przyczyny krótkookresowych reakcji przyrostowych sosen z różnych siedlisk. *Sylvan*, 157 (9): 662–670.
- Wilczyński S., Kulej M. 2013. The influence of climate on the radial increment of larches of different provenances on the basis of the experiment in the Carpathian Mountains in Southern Poland. *Eur. J. Forest Res.* 132: 919–929.
- Wilczyński S., Wertz B. 2012. Sygnał klimatyczny w seriach przyrostów radialnych jodły popolitej oraz modrzewia europejskiego. *Studia i Materiały CEPL, Rogów*, 30 (1): 66–74.
- 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.
- 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

**Sławomir Wilczyński<sup>1</sup>, Norbert Szymański<sup>1</sup>, Bogdan Wertz<sup>2</sup>, Elżbieta Muter<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny,  
Zakład Ochrony Lasu, Entomologii i Klimatologii Leśnej  
rlwilczy@cyf-kr.edu.pl  
szymanski.norbert@wp.pl

<sup>2</sup> Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny,  
Zakład Biometrii i Produkcyjności Lasu  
b.wertz@ur.krakow.pl

<sup>3</sup> Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Leśny,  
Zakład Bioróżnorodności Leśnej  
rlkuchni@cyf-kr.edu.pl