

Zmienność wzrostu promieniowego czterech proveniencji świerka pospolitego w warunkach środkowej Polski

Variation of radial growth of four Norway spruce provenances in central Poland

Marcin Klisz^{1*}, Szymon Jastrzębowski¹, Longina Chojnacka-Oźga², Jan Kowalczyk¹

¹ Instytut Badawczy Leśnictwa, Zakład Hodowli Lasu i Genetyki Drzew Leśnych, ul. Braci Leśnej 3, Sękocin Stary, 05-090 Raszyn;

² Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Katedra Hodowli, Wydział Leśny, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

*Tel. +48227150476, e-mail: m.klisz@ibles.waw.pl

Abstract. The purpose of this study was to determine the growth variability of four provenances of *Picea abies* on experimental plots in the Wyszaków Forest District, central Poland. The experiment was established as a system of random blocks with four repetitions per block. We selected 48 trees from each provenance and the increment cores were collected from sample trees. Standard measurements of the width of annual increments were performed using the WinDendro software. Raw data was then indexed and subject to dendroclimatic analyses based on the average monthly temperatures and precipitation of the period from 1969 to 2012. Furthermore, the COFECHA software was used to check the consistency of the data and to determine the pointer years. High data consistency as well as growth variability of particular provenances in response to climatic conditions were observed. The results obtained here will allow for an improved selection of populations best suited for growing in the climate of central Poland.

Keywords: dendrochronology, climate, pointer years, spruceless area

1. Wstęp

Świerk pospolity należy do głównych gatunków lasotwórczych w Polsce. Według Środonia (1976) gatunek ten tworzy w Polsce dwa odrębne obszary występowania. Centralna oraz północno-zachodnia Polska pozbawiona jest naturalnych stanowisk tego gatunku, choć jest tam on wprowadzany sztucznie. Jest to tak zwany pas bezświerkowy. Zagadnienie pochodzenia pasa bezświerkowego jest przedmiotem toczącej się od wielu lat dyskusji i doczekało się różnych teorii:

– jest to naturalna granica rozdzielająca świerka nizinnego i górskiego,

– jest to południowa granica zasięgu świerka z północno-zachodu, wyznaczającą jego niezakończoną migrację na południe (Szafer 1931, Schmidt-Vogt 1977),

– powstał on w wyniku celowej gospodarki leśnej na terenach niesprzyjających wzrostowi świerka (Hensel 1980, Broda 1998).

Ostatnia z wymienionych teorii znajduje potwierdzenie w najnowszych badaniach dotyczących wpływu klimatu na wzrost promieniowy świerka różnych proveniencji (Koprowski i Zielski 2006; Koprowski 2013).

Jednym z celów licznych badań proveniencyjnych nad możliwościami adaptacyjnymi świerka pospolitego pochodzącego

z i spoza naturalnego zasięgu było znalezienie populacji zdolnych rosnąć w warunkach pasa bezświerkowego (Giertych 1972, 2000; Krupski i Giertych 1996). Analizowano jednak głównie cechy przyrostowe i jakościowe. Nieliczne dotychczas badania proveniencyjne świerka pospolitego poświęcone były uwarunkowaniom genetycznym zależności wzrostu promieniowego od klimatu (Burczyk i Giertych 1988, 1991; Koprowski 2008). Wyniki podobnych badań dotyczących innych gatunków iglastych pozwalają przypuszczać, że takie zróżnicowanie istnieje (Oleksyn i Fritts 1991; Savva et al. 2002; Eilmann et al. 2013; Bijak 2013). Na genetyczne podłoże zróżnicowania reakcji przyrostowej na warunki klimatyczne wskazuje Spiecker (2002).

Według Koprowskiego (2013) reakcja przyrostowa na prognozowane zmiany klimatyczne będzie prawdopodobnie dotyczyć w równym stopniu populacji świerka z naturalnego zasięgu, jak i pasa bezświerkowego. Najnowsze badania dendroklimatyczne wskazują, że reakcja klimatyczna ma charakter ponadgatunkowy (w obrębie gatunków iglastych) (Bijak 2013) bądź ponadregionalny (Koprowski i Vitas 2010).

Celem badań było zweryfikowanie hipotezy o istnieniu zróżnicowania reakcji dendroklimatycznej pomiędzy północnymi proveniencjami świerka pospolitego w warunkach powierzchni doświadczalnej zlokalizowanej w centralnej Polsce.

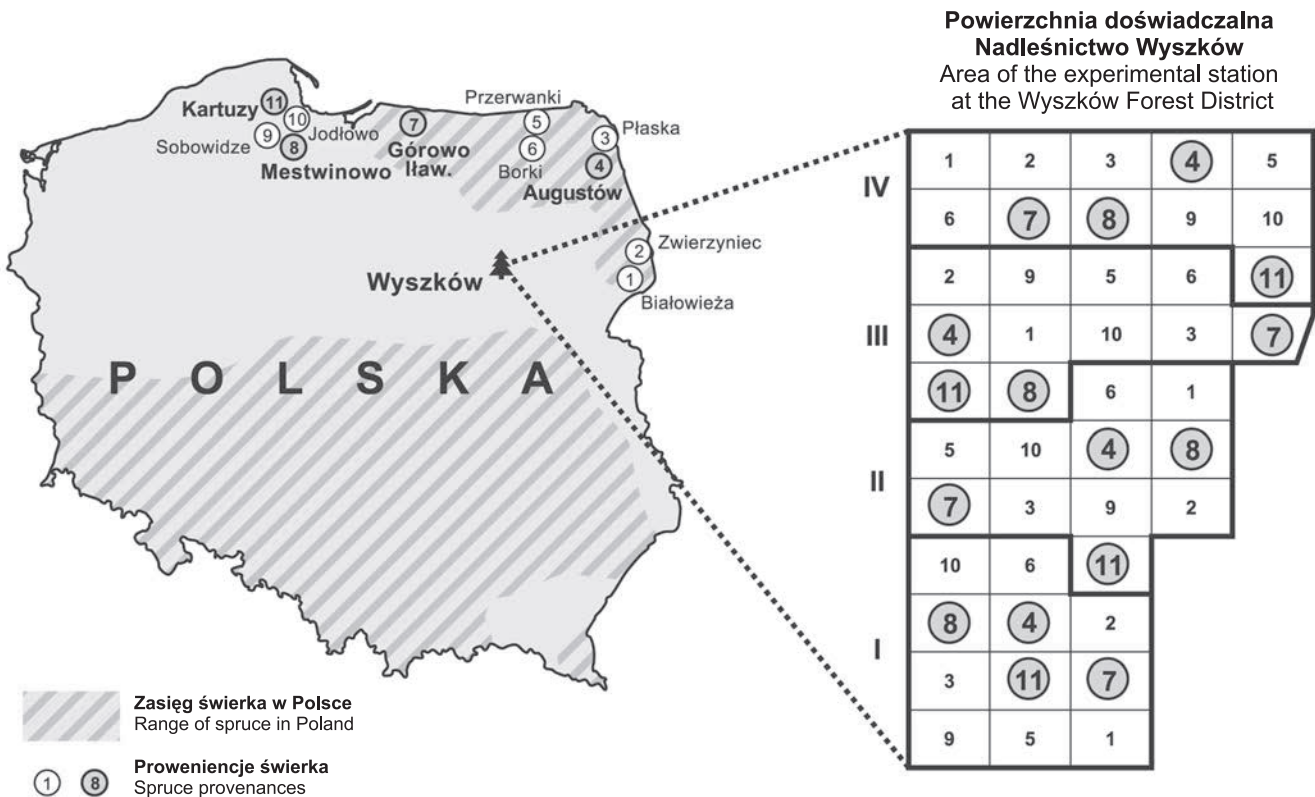
Wpłynęło: 23.07.2014 r., zrecenzowano: 18.08.2014 r., zaakceptowano: 29.08.2014 r.

2. Materiał i metody

Materiał badawczy stanowiły drzewa z powierzchni proveniencyjnej świerka pospolitego w Nadleśnictwie Wyszków, leśnictwo Dalekie, oddział 99i (52°41'24"N 21°33'58"E), założonej w 1963 roku. Do badań wytypowano cztery spośród jedenastu proveniencji świerka pospolitego z północnej Polski, po dwie charakteryzujące się produktywnością najlepszą – Kartuzy i Mestwinowo, i najgorszą – Augustów i Górowo Iławieckie (Matras et al. 2006; Kowalczyk dane niepublikowane). Jednocześnie proveniencje te reprezentowały populacje z naturalnego zasięgu świerka – Augustów i Górowo, oraz z pasa bezświerkowego – Kartuzy i Mestwinowo (ryc. 1).

Ze 192 drzew, po 48 drzew z każdej wytypowanej proveniencji, pobrano wywierty dordzeniowe z wysokości 1,3 m. Wywierty poddano standardowej preparatyce, następnie zmierzono szerokość przyrostów rocznych i utworzono sekwencje osobnicze dla każdego drzewa za pomocą programu WinDENDRO™. Ciągi pomiarowe poddano weryfikacji: sprawdzono poprawność datowania oraz homogeniczność serii programem COFECHA z pakietu DPL (Holmes 1999; Grissino-Mayer 2001). Serie o najniższych współczynnikach korelacji liniowej i niezgodności przebiegu odrzucono z dalszej analizy (łącznie odrzucono 10 serii). Następnie zbudowano chronologie każdej proveniencji: rzeczywistą i rezydualną – program ARSTAN z pakietu DPL (Cook 1985;

Cook et al. 1990). W procesie standaryzacji zastosowano filtr 64-letni. Chronologie poddano analizie wzajemnego podobieństwa, posługując się współczynnikiem zgodności GL, wartością t oraz współczynnikiem korelacji ($\alpha=0,05$). Do porównania wzorców przyrostowych analizowanych proveniencji świerka pospolitego wykorzystano metodę aglomeracji analizy skupień (Tryon 1939). Konstruując wykresy hierarchiczne, przyjęto odległość euklidesową do obliczania sąsiedztwa grup. Odległości pomiędzy skupieniami obiektów określono metodą pełnych wiązań, w której odległość między skupieniami jest zdeterminowana przez największą z odległości między dwoma dowolnymi obiektami należącymi do różnych skupień. Relacje 'klimat – przyrost' zbadano dla okresu 1980-2012, stosując matematyczny model funkcji odpowiedzi (program RESPO) (Briffa i Cook 1990). Jako parametry przyrostowe zastosowano wartości chronologii rezydualnych poszczególnych proveniencji. Charakterystyki klimatyczne (średnie miesięczne temperatury powietrza i miesięczne sumy opadów atmosferycznych) opracowano na podstawie danych rejestrowanych przez stację meteorologiczną IMGW w Warszawie. Zakres zmiennych klimatycznych obejmował 17 miesięcy: od maja roku poprzedzającego formowanie się słoja do września roku tworzenia się przyrostu. Lata wskaźnikowe wyznaczono za pomocą programu WEISER (Gonzalez 2001) osobno dla każdej proveniencji oraz wspólnie dla wszystkich pochodzeń. Przyjęto próg zgodności 80% przy minimalnej liczbie drzew 10 dla proveniencji.



Rycina 1. Lokalizacja analizowanych proveniencji i schemat powierzchni doświadczalnej
Figure 1. Location of the analyzed provenances and diagram of the experimental plot

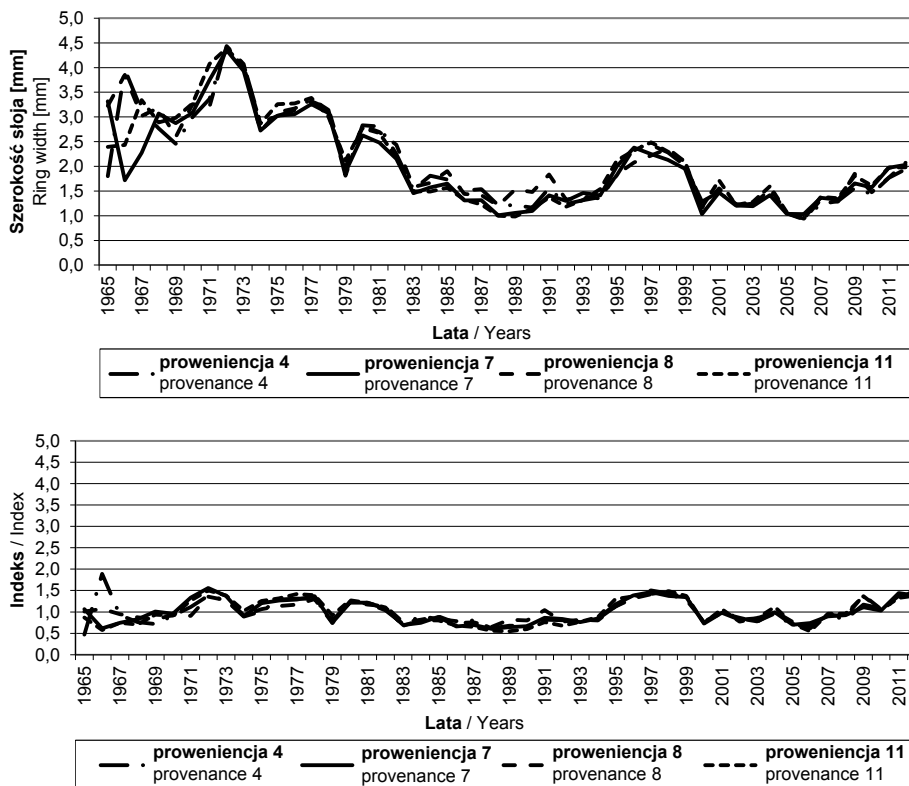
3. Wyniki

Przeprowadzone analizy wykazały dużą zgodność przebiegu wszystkich krzywych przyrostowych, zarówno sekwencji osobniczych, reprezentujących poszczególne proveniencje, jak i chronologii proveniencji. Stopień podobieństwa chronologii zbudowanych dla poszczególnych proveniencji był wysoki (ryc. 2 i 3; tab. 1 i 2). Test wielokrotnych porównań (multiple range test) zastosowany do porównania analizowanych proveniencji nie potwierdził istotności różnic pomiędzy proveniencjami.

Reakcja przyrostowa drzew pochodzących z różnych proveniencji na warunki klimatyczne miała jednakowy charakter. Analiza reakcji na bodźce (response function) wykazała, że zależności przyrostu od klimatu są podobne w każdej serii reprezentującej poszczególne proveniencje. Warunki termiczne kształtują wielkość przyrostu radialnego głównie

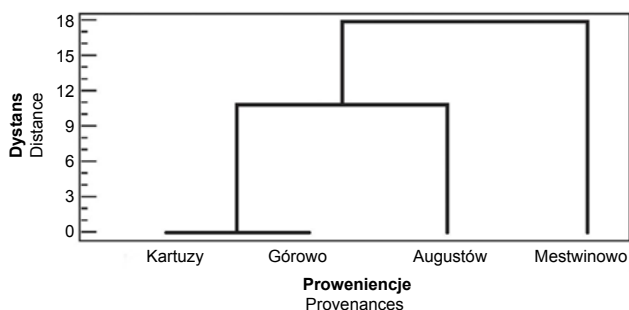
w okresie poprzedzającym formowanie się słoja – maj, czerwiec, wrzesień i listopad poprzedniego roku (ryc. 4). Warunki pluwialne okresu wegetacyjnego zarówno w roku poprzedzającym powstawanie słoja, jak i w roku wytwarzania przyrostu kształtują jego wielkość (ryc. 5). Przedstawione uzależnienie wzrostu promieniowego od warunków termicznych i pluwialnych miało taki sam charakter w przypadku każdej z czterech badanych proveniencji.

Wyznaczono 10 lat wskaźnikowych: 5 pozytywnych, tj. takich w których przyrost był szczególnie duży (1995, 2001, 2004, 2007, 2009), oraz 5 negatywnych, w których przyrost był mały (1979, 1983, 1986, 2000, 2005). Były one wspólne dla wszystkich proveniencji. Lata negatywne charakteryzowały się niskimi opadami w okresie wegetacyjnym. Warunki klimatyczne w latach pozytywnych nie odbiegały od danych wieloletnich opublikowanych przez Główny Urząd Statystyczny (Domańska et al. 2009).



Rycina 2. Chronologie rzeczywiste (wykres górny) i rezydualne (wykres dolny) analizowanych proveniencji świerka

Figure 2. Actual (upper graph) and residual (bottom graph) chronologies of the analysed spruce provenances. Forest Districts: Kartuzy (provenance 11), Mestwinowo (provenance 8), Augustów (provenance 4), Górowo Hławieckie (provenance 7)



Rycina 3. Podobieństwo wzorców przyrostowych proveniencji świerka pospolitego na podstawie analizy skupień

Figure 3. The similarity of growth patterns for spruce provenances based on cluster analysis

Tabela 1. Charakterystyka chronologii reprezentujących poszczególne proveniencje

Table 1. Characteristics of the chronologies representing each provenance

Proveniencje Provenance	Liczba drzew No. of trees	Chronologie Chronology					
		typ type	średnia average	odchylenie standardowe standard deviation	współczynnik zmienności coefficient of variation	średnia czułość average sensitivity	autokorelacja autocorrelation
Augustów	49	rzeczywista raw data chronology	2,1	0,8353	40%	0,1718	0,8009
		rezydualna residual	1	0,2226	22%	0,2425	0,0094
Górowo	48	rzeczywista raw data chronology	2,01	0,8337	41%	0,1701	0,8486
		rezydualna residual	1	0,2437	24%	0,2626	0,1127
Mestwinowo	48	rzeczywista raw data chronology	2,15	0,8594	40%	0,1836	0,815
		rezydualna residual	1	0,2104	21%	0,2531	-0,025
Kartuzy	47	rzeczywista raw data chronology	2,12	0,8651	41%	0,1578	0,8935
		rezydualna residual	1	0,2788	28%	0,2926	0,09

Tabela 2. Stopień podobieństwa chronologii reprezentujących poszczególne proveniencje

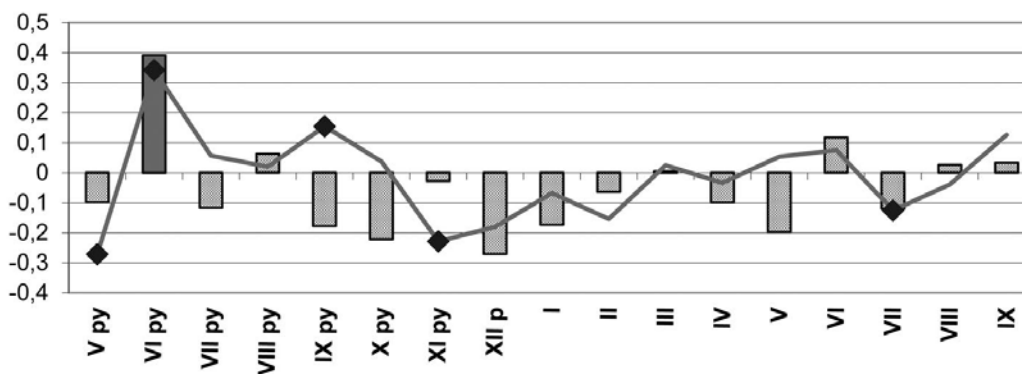
Table 2. The degree of similarity of the chronologies representing each provenance

×		Współczynnik GL (%) GL Coefficient (%)			
		Augustów	Górowo	Mestwinowo	Kartuzy
wartość T T value	Augustów	X	79	79	85
	Górowo	15,80	X	85	81
	Mestwinowo	17,34	17,26	X	79
	Kartuzy	20,01	14,82	17,20	X

4. Dyskusja

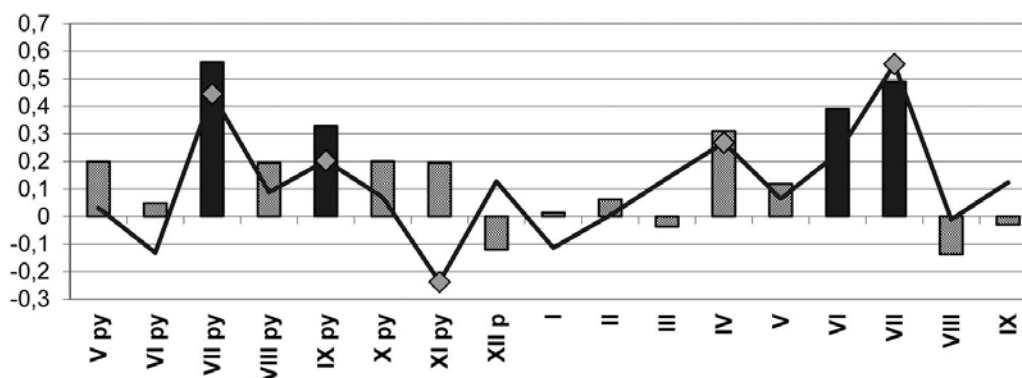
Porównanie wzorców przyrostowych czterech analizowanych proveniencji świerka pospolitego nie wykazało istotnych statystycznie różnic niezależnie od zastosowanej metody badawczej (t-value, sign test-G). Wyniki te są zgodne z wynikami otrzymanymi przez Burczyka i Giertycha (1988) i przez Koprowskiego (2008). Autorzy pierwszej z wymienionych prac dopatrywali się przyczyn braku różnic pomiędzy proveniencjami w metodyce wyboru drzew próbnych preferującej wyrównane wartości pierśnicy (Burczyk i Gier-

tych 1991). Należy jednak pamiętać, że do prezentowanych badań wybierano drzewa z I, II i III klasy biosocjalnej Krafca. Burczyk i Giertych (1991) wskazują także na istotny wpływ warunków mikrosiedliskowych na różnice reakcji dendroklimatycznej pomiędzy proveniencjami i na brak wpływu warunków mikrosiedliskowych na zależność wzrostu promieniowego od klimatu. Badacze nie są zgodni w kwestii genetycznych uwarunkowań reakcji przyrostowej na oddziaływanie skrajnych warunków klimatycznych. O ile Burczyk i Giertych (1991) w odniesieniu do świerka nie stwierdzili takiej zależności, to Elmann i in. (2013) prowadzący badania



Rycina 4. Współczynniki korelacji (słupki) i regresji (punkty) uśrednionych wartości przyrostowych proveniencji świerka z temperaturą powietrza; wartości istotne statystycznie ($\alpha = 0,05$) oznaczone czarnymi punktami i ciemnoszarymi słupkami, py – rok poprzedzający

Figure 4. Coefficients of correlation (bars) and regression (points) of average growth values of spruce provenances and air temperature; statistically significant values ($\alpha = 0.05$) are indicated with black bullets and dark gray bars. py - preceding year



Rycina 5. Współczynniki korelacji (słupki) i regresji (punkty) uśrednionych wartości przyrostowych proveniencji świerka z opadami atmosferycznymi; wartości istotne statystycznie ($\alpha = 0,05$) oznaczone szarymi punktami i czarnymi słupkami, py – rok poprzedzający

Figure 5. Coefficients of correlation (bars) and regression (points) of average growth values of spruce provenances and precipitation; statistically significant values ($\alpha = 0.05$) are indicated by gray bullets and black bars. py - preceding year

proveniencyjne dąglejzy dopatrują się takiego zróżnicowania w zależności od pochodzenia materiału sadzeniowego, gdyż w ich badaniach pochodzenia charakteryzujące się szerokimi przyrostami rocznymi wyraźniej reagowały na suszę. Tym samym cytowani autorzy wiązali wyższą odporność na stres związany z suszą z niską produktywnością populacji, a zatem z węższymi przyrostami. Do ciekawych wniosków doszli Savva i in. (2002), badając rosyjskie proveniencje sosny zwyczajnej. Stwierdzili oni, że wraz ze wzrostem odległości miejsca pochodzenia proveniencji od powierzchni doświadczalnej maleje wpływ lokalnych warunków pogodowych. W prezentowanych badaniach odległość poszczególnych proveniencji od miejsca testowania była podobna. Dlatego należało się spodziewać wyrównanego wpływu warunków klimatycznych na wzrost promieniowy wszystkich czterech populacji.

Analiza podobieństwa wzorców przyrostowych proveniencji wykazała wprawdzie wyraźną różnicę pomiędzy populacją Mestwinowo a pozostałymi. Należy jednak pamiętać o braku istotnych różnic pomiędzy wzorami przyrostowymi analizowanych proveniencji. Badania Giertycha (2000) pozwalają

wyjaśnić to zjawisko w kontekście uwarunkowań historycznych związanych z gospodarką leśną i nasienną prowadzoną przez państwo pruskie na początku XX wieku. Populacje znajdujące się obecnie w granicach Polski zarządzane były wówczas w jednakowy sposób, niezależnie od tego, czy znajdowały się w zasięgu naturalnego występowania świerka czy też w tak zwanym pasie bezświerkowym. Tym samym brak jest podstaw, aby sądzić, że kierunek introdukcji był inny dla różnych populacji. Tłumaczyć to także może brak istotnych różnic we wzorach przyrostowych w prezentowanych badaniach. Koprowski (2013) stwierdził, że niezależnie od tego, czy populacje pochodzą z naturalnego zasięgu czy też nie, ich reakcja przyrostowa na warunki klimatyczne jest taka sama.

Wyniki dotyczące relacji wzrostu promieniowego z czynnikami klimatycznymi wskazywały na jej jednakowy charakter dla każdej analizowanej proveniencji. W dotychczasowych badaniach nie stwierdzono korelacji między wzrostem promieniowym świerka a średnią temperaturą czerwca roku poprzedzającego analizowany sezon wegetacyjny. Z kolei negatywna korelacja tej cechy z temperaturą lipca,

września i listopada roku poprzedzającego, choć nieistotna statystycznie, znajduje potwierdzenie w badaniach innych autorów (Zielski i Koprowski 2001; Bijak 2009; Rybniček et al. 2012a,b). Niespecyficzna reakcja przyrostowa świerka na średnią temperaturę czerwca może być związana z warunkami klimatycznymi, które według Koprowskiego i Zielskiego (2003) wpływają na wzorzec przyrostowy tego gatunku i determinują jego rozkład przestrzenny.

Analiza korelacji wzrostu promieniowego świerka z warunkami pluwiainnymi potwierdziła pozytywny i istotny statystycznie związek tej cechy z opadami w lipcu i wrześniu roku poprzedzającego oraz w czerwcu i lipcu w roku odkładania się przyrostu. Wyniki te korespondują z danymi pochodzącymi z powierzchni położonych zarówno w podobnych warunkach geograficznych (Zielski i Koprowski 2001; Koprowski i Zielski 2006; Bijak 2009), jak i ze stanowisk położonych na południe od terenu prezentowanych badań (Rybniček et al. 2012a, b) oraz na północ od niego (Vitas 2004). Ten sam charakter reakcji wzrostu promieniowego na klimat w różnych lokalizacjach poddaje w wątpliwość hipotezę o różnym wpływie czynników środowiskowych na wzrost promieniowy w różnych regionach (Mäkinen et al. 2003).

Analizując lata wskaźnikowe wyznaczone w niniejszych badaniach i przez innych autorów uzyskano zgodność tylko co do jednego roku – 1979 (Koprowski i Zielski 2002; Vitas 2004). Był to rok charakteryzujący się negatywnym wpływem warunków klimatycznych na przyrost promieniowy świerków analizowanych pochodzeń na powierzchni Wyszaków oraz świerków rosnących na Pojezierzu Olsztyńskim i na terytorium zachodniej Litwy. Pozostałe lata wskaźnikowe, zarówno pozytywne, jak i negatywne, były charakterystyczne tylko dla badanej powierzchni. Według Vitas (2001) różnice w wyznaczeniu lat wskaźnikowych mogą wynikać z wpływu innych czynników niż klimat i być uwarunkowane genetycznie. Przyczyn rozbieżności lat wskaźnikowych można upatrywać także w różnym wieku analizowanych drzewostanów. W okresie 1980–2000 drzewostany analizowane w niniejszej pracy były w wieku 20–40 lat, podczas gdy analizowane przez innych autorów – w wieku 180–200 lat (Koprowski i Zielski 2002) i 100–120 lat (Vitas 2004). Ponadto, autorzy ci przeprowadzali badania w drzewostanach świerkowych, a nie na powierzchni doświadczalnej, na której ze względu na niewielką powierzchnię pojedynczego poletka, oddziaływanie warunków klimatycznych może mieć inny charakter. Wielkości przyrostu świerka w niektórych z lat wskaźnikowych (1995, 2000, 2001, 2004) analizowanego 20-letniego okresu nie można wyjaśnić anomaliami klimatycznymi. Mogły być więc one związane z wpływem innych czynników stresowych redukujących wzrost promieniowy, których oddziaływanie miało charakter jedynie lokalny.

5. Wnioski

– Nie potwierdzono różnic w reakcji dendroklimatycznej północnych proveniencji świerka w warunkach wzrostu na powierzchni doświadczalnej w Wyszakowie.

– Warunki pluwiainne wywierają jednolity wpływ na wzrost promieniowy świerka pospolitego, niezależnie od gradientu kontynentalizmu, podczas gdy warunki termiczne determinują niespecyficzną reakcję przyrostową związaną z lokalizacją drzewostanu.

– Przyrost w negatywnych latach wskaźnikowych, nie znajdujący potwierdzenia w innych publikacjach, może mieć podłoże inne niż klimatyczne, związane między innymi z wiekiem drzewostanu i warunkami wzrostu na powierzchniach badawczych.

Konflikt interesów

Autorzy deklarują brak potencjalnych konfliktów.

Podziękowania i źródła finansowania

Badania zostały zrealizowane w ramach projektu badawczego BLP-364, finansowanego przez Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe.

Literatura

- Bijak S. 2009. Climate-growth relationships of Norway spruce in north-eastern Poland, w: Levanič T. et al. (eds) TRACE – Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, 8: 98–103. ISSN 1610-0956.
- Bijak S. 2013. Climate signal in the radial growth of selected coniferous species from the Forest Experimental Station in Rogów. *Forest Research Papers* 74: 101–110. DOI: 10.2478/frp-2013-0010.
- Briffa K., Cook E.R. 1990. Methods of response function analysis, w: Cook E., Kairiukstis L.A. Methods of dendrochronology. Applications in the environmental sciences. Dordrecht, Boston, Kluwer Academic Publishers, pp. 240–247. ISBN 0-7923-0586-8.
- Broda J. 1998. Świerk w czasach historycznych. [Norway spruce in the historical times], w: Boratyński A., Bugała W. (eds), *Biologia świerka pospolitego* [Biology of Norway spruce]. Instytut Dendrologii, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, pp. 25–40.
- Burczyk J., Giertych M. 1988. Wpływ suszy i innych czynników środowiskowych na wielkość przyrostu grubości świerka (*Picea abies* (L.) Karst.) różnych proveniencji. *Arboretum Kórnickie* 33: 181–209.
- Burczyk J., Giertych M. 1991. Response of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) annual increments to drought for various provenances and locations. *Silvae Genetica* 40: 146–152.
- Cook E.R. 1985. A time series analysis approach to tree ring standardization. PhD thesis, The University of Arizona.
- Cook E.R., Briffa K.R., Shiyatov S., Mazepa V. 1990. Tree-ring standardization and growth trend estimation, w: Cook E.R., Kairiukstis L.A.: Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences. Dordrecht, Boston, Kluwer Academic Publishers, pp. 104–123. ISBN 0-7923-0586-8.
- Domańska W., Dubieniecka H., Dziel D., Karczewska K., Kielczykowska A., Kulik J. et al. 2009. Ochrona środowiska. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, 1–527. ISSN 0867-3217.
- Eilmann B., de Vries S. M. G., den Ouden J., Mohren G. M. J., Sauren P., Sass-Klassen U. 2013. Origin matters! Difference in drought tolerance and productivity of coastal Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.)) provenances. *Forest Ecology and Management* 302: 133–143. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.03.031.

- Giertych M. 1972. Provenance differences in the time of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) flushing in Poland. *Arboretum Kórnickie* 17: 169–183.
- Giertych M. 2000. Wartość genetyczna świerka [*Picea abies* (L.) Karst.] z terenu poza jego naturalnym zasięgiem w Polsce. *Sylwan* 144: 19–31.
- Giertych M., Krupski P. 1996. Analiza produktywności polskich proveniencji świerka (*Picea abies* (L.) Karst.) na czterech krajowych powierzchniach doświadczalnych. *Arboretum Kórnickie* 41: 59–74.
- Grissino-Mayer H.D. 2001. Evaluating cross-dating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree Ring Research* 57: 205–221.
- Hensel W. 1980. Polska starożytna. Wyd. 2, Ossolineum, Wrocław, Warszawa, Kraków, Gdańsk, pp. 1–640.
- Holmes R.L. 1999. Dendrochronology Program Library (DPL). Users Manual. LTRR University of Arizona, Tucson.
- Koprowski M. 2008. Dendrochronologiczna analiza przyrostów rocznych świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karsten) poza naturalnym zasięgiem a cechy biometryczne szyszek. *Sylwan* 152: 50–57.
- Koprowski M. 2013. Spatial distribution of introduced Norway spruce growth in lowland Poland: The influence of changing climate and extreme weather events. *Quaternary International* 283: 139–146. DOI: 10.1016/j.quaint.2012.04.020.
- Koprowski M., Vitas A. 2010. Growth/climate relationships in tree-ring widths of *Picea abies* in Lithuania and Poland, w: R. Przybylak et al. (eds), *The Polish climate in the European context: An historical overview*. Dordrecht, Springer Science: 327–340. DOI 10.1007/978-90-481-3167-9.
- Koprowski M., Zielski A. 2002. Lata wskaźnikowe u świerka pospolitego (*Picea abies* (L.) Karsten) na Pojezierzu Olsztyńskim. *Sylwan* 146: 29–39.
- Koprowski M., Zielski A. 2003. Increment pattern in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) along the continentality gradient. *Ecological Questions* 3: 113–117.
- Koprowski M., Zielski A. 2006. Dendrochronology of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) from two range centres in lowland Poland. *Trees* 20: 383–390. DOI 10.1007/s00468-006-0051-9.
- Krupski P., Giertych M. 1996. Zmienność cech jakościowych polskich proveniencji świerka (*Picea abies* (L.) Karst.) na czterech krajowych powierzchniach doświadczalnych. *Arboretum Kórnickie* 41: 75–94.
- Matras J., Barzdajn W., Żybura H., Szeligowski H., Buraczyk W., Kowalczyk J., Markiewicz P. 2006. Badania porównawcze populacyjnej i rodowej zmienności cech hodowlanych wybranych pochodzeń świerka pospolitego (*Picea abies* Karst.). Sprawozdanie końcowe tematu badawczego BLP – 238. Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa: 1–127.
- Mäkinen H., Nöjd P., Kahle H-P., Neumann U., Tveite B., Mielikäinen K. et al. 2003. Large-scale climatic variability and radial increment variation of *Picea abies* (L.) Karst. in central and northern Europe. *Trees* 17: 173–184. DOI 10.1007/s00468-002-0220-4.
- Oleksyn J., Fritts H. 1991. Influence of climatic factors upon tree rings of *Larix decidua* and *L. decidua* × *L. kaempferi* from Puławy, Poland. *Trees* 5: 75–82. DOI 10.1007/BF00227488.
- Rybníček M., Čermák P., Žid T., Kolář T. 2012a. Growth responses of *Picea abies* to climate in the central part of the Českomoravská Upland (Czech Republic). *Dendrobiology* 68: 21–30.
- Rybníček M., Čermák P., Kolář T., Žid T. 2012b. Growth responses of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) to the climate in the South-Eastern part of the Českomoravská Upland (Czech Republic). *Geochronometria* 39: 149–157. DOI 10.2478/s13386-012-0003-7
- Savva Y. V., Schweingruber F. H., Kuzmina N. A., Vaganov E. A. 2002. Sensitivity of diameter growth to annual weather conditions in Scots pine provenances at a Central Siberian Location. *Silvae Genetica* 51: 49–55.
- Spiecker H. 2002. Tree rings and forest management in Europe. *Dendrochronologia* 20: 191–202. DOI: 10.1078/1125-7865-00016.
- Szafer W. 1931. The historical development of the geographical area of the spruce (*Picea excelsa* LINK) in Poland. *Przegl. Geogr.* 11: 1–8.
- Schmidt-Vogt H. 1977 (ed.). *Die Fichte. 1. Taxonomie, Verbreitung, Morphologie, Ökologie, Waldgesellschaften*. Parey, Hamburg u. Berlin. pp. 1–647.
- Środoń A. 1967. Norway spruce in the Quaternary Poland. *Acta Palaeobotanica* 8, 2: 3–59.
- Tryon R.C. 1939. Cluster analysis. Ann Arbor (Michigan) Edwards Brothers.
- Vitas A. 2001. Drought of 1992 in Lithuania and Consequences to Norway spruce. *Baltic Forestry* 7: 25–30. ISSN 1392-1355.
- Vitas A. 2004. Tree rings of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) in Lithuania as drought indicators: dendroecological approach. *Polish Journal of Ecology* 52: 201–210.
- Zielski A., Koprowski M. 2001. Dendrochronologiczna analiza przyrostów świerka pospolitego na Pojezierzu Olsztyńskim. *Sylwan* 145: 65–73.

Wkład autorów

M.K. – zestawienie danych, interpretacja wyników, pisanie, przygotowanie maszynopisu, redagowanie, korekta, koordynacja; Sz.J. – przegląd literatury, weryfikacja danych w tabelach; L.Ch.-O. – analizy dendrochronologiczne; J.K. – koncepcja, założenia.