

Sygnal dendroklimatyczny w sekwencjach przyrostów rocznych modrzewia rosnącego we wschodniej części polskich Karpat

Małgorzata Danek, Monika Chuchro

Abstrakt. Celem przeprowadzonych prac było określenie przestrzennego zróżnicowania sygnału klimatycznego, obecnego w sekwencjach przyrostów rocznych modrzewia rosnącego we wschodniej części polskich Karpat. Ponadto podjęto próbę określenia jakie czynniki klimatyczne mają dominujący wpływ na szerokość przyrostów rocznych tego gatunku na tym obszarze oraz różnicują obserwowany sygnał. Analizie poddano drzewostany z udziałem modrzewia w wieku powyżej 100 lat, rosnące w czternastu lokalizacjach na terenie Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Krośnie. Uzyskane wyniki wskazują na wysokie podobieństwo chronologii na całym analizowanym obszarze, jednak z zarysowującym się wyraźnie podziałem na grupy. Niemal we wszystkich lokalizacjach zaobserwowano pozytywny wpływ temperatury początkowego okresu, w którym przyrost się tworzy (pozytywna korelacja z temperaturą maja). Na stanowiskach zlokalizowanych w południowej części analizowanego obszaru, tworzącymi osobną grupę, wyraźnie zaznacza się również pozytywny wpływ suchego końca lata i ciepłego okresu wczesnojesiennego roku poprzedniego.

Słowa kluczowe: przyrosty roczne, dendroklimatologia, *Larix decidua* Mill., Karpaty

Abstract. Dendroclimatic signal in tree-ring sequences of larches from eastern part of the Carpathians in Poland. The aim of this study was to determine the spatial variation in climatic signal observed in tree-ring sequences of larch from the eastern part of the Carpathian Mountains in Poland. Also, identification of climatic factors that have a dominant influence on tree-ring growth of larch from this area and differentiate the observed signal. The analysis was conducted on more than 100 years old larches growing in fourteen forest stands of the Regional Directorate of the State Forests in Krosno. The obtained results indicate a high similarity of all created tree-ring chronologies, but clear division into the groups can be also seen. In almost all locations the positive effect of temperature during the initial period of the tree ring formation was observed (positive correlation with May temperature). In the case of the southernmost chronologies, that formed a separate group, the positive influence of dry late summer and warm early fall of the previous year was also observed.

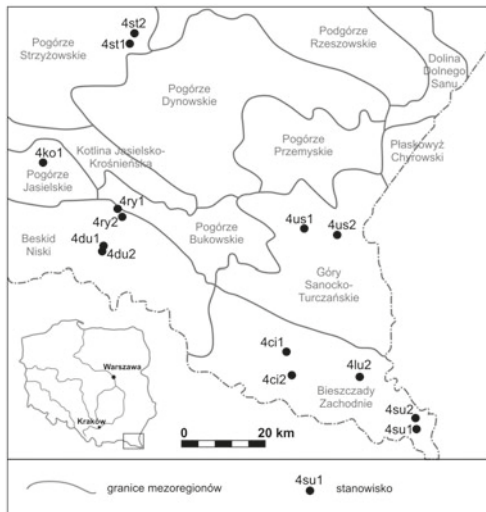
Key words: tree rings, dendroclimatology, *Larix decidua* Mill., Carpathian Mountains

Wstęp

Przyjmuje się, że podstawowym czynnikiem ograniczającym szerokość przyrostów rocznych drzew są warunki meteorologiczne panujące na obszarze ich występowania. Dlatego drzewa danego gatunku, rosnące na obszarze charakteryzującym się określonym układem tych czynników, wykazują zbliżony w przebiegu rytm zmian szerokości przyrostów rocznych, zawierający w sobie informacje o warunkach pogodowych panujących na danym obszarze (tzw. sygnał dendroklimatyczny). Przestrzenne zróżnicowanie warunków pogodowych wpływa na przestrzenne zróżnicowanie rytmu zmian szerokości przyrostów rocznych drzew (Fritts 1976). Ponadto, drzewa danego gatunku mogą charakteryzować się zmienną w przestrzeni wrażliwością na dany czynnik klimatyczny (Wilczyński 2005). Mimo zainteresowania modrzewiem rosnącym na obszarze polskich Karpat (Ermich 1955, Feliksik 1992, Büntgen i in. 2007), brak jest szerszego opracowania dotyczącego zmienności przestrzennej/geograficznej sygnału obserwowanego w sekwencjach przyrostów rocznych drzew tego gatunku, co skłoniło autorów do podjęcia tego tematu. Przedstawione poniżej wyniki są częścią prac zmierzających między innymi do wyróżnienia regionów dendroklimatycznych modrzewia na wyżej wspomnianym obszarze. Celem przeprowadzonych prac było określenie: a) zróżnicowania sygnału dendroklimatycznego w sekwencjach przyrostów rocznych modrzewia rosnącego we wschodniej części polskich Karpat, b) określenie czynników klimatycznych mających szczególnie wpływ na przyrost roczny tego gatunku na analizowanym obszarze, c) określenie czynników, które mają wpływ na zróżnicowanie obserwowanego sygnału deodroklimatycznego.

Material i metody

Badania przeprowadzono na 14 stanowiskach, zlokalizowanych na terenie ośmiu leśnictw podlegających Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Krośnie (Tab.1). Analizie poddano drzewostany z udziałem modrzewia w wieku powyżej 100 lat, rosnące na siedliskach lasu wyżynnego świeżego oraz lasu górskiego świeżego. Stanowiska reprezentowały pięć mezo-



regionów fizycznogeograficznych wyróżnianych przez Kondrackiego (2009): Pogórze Strzyżowskie (stanowiska 4st1, 4st2), Pogórze Jasielskie (4ko1), Beskid Niski (4ry1, 4ry2 – na granicy z Pogórzem Bukowskim; 4du1, 4du2), Góry Sanocko-Turczańskie (4us1, 4us2, 4lu1) oraz Bieszczady Zachodnie (4ci1, 4ci2, 4su1, 4su2, Ryc.1). Analizowane stanowiska były zróżnicowane pod względem wysokości nad poziomem morza i wystawy stoków (Tab.1).

Ryc. 1. Lokalizacja stanowisk badawczych na tle mezoregionów wyróżnionych przez Kondrackiego (2009)

Fig. 1. Site location over mesoregions distinguished by Kondracki (2009)

Tab. 1. Charakterystyka stanowisk badawczych oraz utworzonych chronologii. Średni rbar – średnia wartość współczynnika korelacji pomiędzy próbami w chronologii (dla chronologii rezydualnej)
Table 1. Characteristic of the sampled sites and the constructed chronologies. Średni rbar – average correlation between all series in chronology (for residual chronology)

stanow. chron.	n-ctwo	leśnictwo	oddział	wys. n.p.m.	wyst.	zasięg czasowy chronol.	liczba lat chronol.	liczba drzew w chronol.	średni rbar
4ko1	Kołaczyce	Tarnowiec	148c	330	SW	1888-2014	127	16	0,519
4st1	Strzyżów	Babica	216d	310	W	1879-2013	135	15	0,525
4st2	Strzyżów	Babica	198j	281	NE	1894-2013	120	15	0,489
4ry1	Rymanów	Klimkówka	181a,b	476	S-SE	1901-2013	113	16	0,484
4ry2	Rymanów	Klimkówka	187a	537	N	1899-2013	115	13	0,544
4du1	Dukla	Piotruś	27c	525	NW	1907-2014	108	17	0,435
4du2	Dukla	Piotruś	32b	578	SSE	1897-2014	118	19	0,44
4us1	Ustrzyki Dolne	Wańkowa	92a	510	S	1893-2014	122	15	0,552
4us2	Ustrzyki Dolne	Leszczowate	19c	576	N	1898-2014	117	14	0,523
4lu2	Lutowiska	Dwernik	9a	727	N	1900-2014	115	18	0,597
4ci1	Cisna	Buk	12a	604	NNE	1905-2014	110	17	0,521
4ci2	Cisna	Kalnica	69b	706	SE	1916-2014	99	18	0,544
4su1	Stuposiany	Sokoliki	287b	879	SW	1918-2014	97	17	0,552
4su2	Stuposiany	Tarnawa	253b	765	WNW	1912-2014	103	19	0,565

Na każdym ze stanowisk pobrano próby z 15-20 drzew. Z każdego z nich, na wysokości pierśnicy (1,3 m) pobrano świdrem Preslera po 2 wywierty, równoległe do stoku. Po przetransportowaniu do laboratorium próby zostały poddane odpowiedniej preparacji (w celu uwidocznienia struktury przyrostów rocznych), a następnie pomierzone za pomocą urządzenia do pomiarów dendrochronologicznych LINTAB™6 z oprogramowaniem TSAP-Win™. Otrzymane sekwencje przyrostów rocznych zostały ze sobą skorelowane i wydatowane, z wykorzystaniem programów Quercus (Walanus 2005) oraz COFECHA (Holmes 1999). Następnie, w programie ARSTAN (Cook i Holmes 1999), na bazie sekwencji przyrostów rocznych drzew wykazujących największe podobieństwo w obrębie jednego stanowiska, utworzono chronologie stanowiskowe. W dalszych badaniach wykorzystano rezydualne wersje utworzonych chronologii. W procesie ich tworzenia, w celu uwypuklenia zmienności krótkookresowej, związanej z sygnałem klimatycznym obecnym w sekwencjach przyrostów rocznych drzew, oprócz usunięcia długookresowych trendów w procesie standaryzacji (w pierwszym etapie stosując eksponentę lub prostą, natomiast w drugim – funkcje sklejjane, tzw. spline), dodatkowo usunięta została autokorelacja.

W analizie relacji pomiędzy utworzonymi chronologiami stanowiskowymi wykorzystano współczynnik korelacji Pearsona oraz wartość t. Wykonano również analizę skupień metodą Warda wykorzystując odległość euklidesową. Dodatkowo, dla omawianych stanowisk przeprowadzono analizę składowych głównych (PCA) (Chuchro i Danek 2015). Zastosowanie wyżej wspomnianych metod pozwoliło na wyodrębnienie grup o podobnym przebiegu krzywych przyrostowych, a także na ocenę obserwowanych różnic. Chcąc stwierdzić czy okres młodociany drzew może mieć istotny wpływ na wyniki analiz wykonano je dla dwóch okresów:

1918-2013 (najdłuższego, dla którego porównanie było możliwe) oraz nieco krótszego: 1940-2013. W celu wyjaśnienia obserwowanego podziału na grupy, wykonano analizę relacji przyrost roczny – warunki klimatyczne. Wykorzystano dane gridowe CRU TS v. 1.2 (Mitchell i in. 2003) – średnią miesięczną temperaturę powietrza oraz miesięczne sumy opadów - dostępne dla okresu 1901-2000. Analizę korelacji wykonano w programie DENDROCLIM (Biondi i Waikul 2004).

Wyniki i dyskusja

Utworzone chronologie rezydualne charakteryzowały się stosunkowo wysokimi wartościami średniej korelacji pomiędzy seriami przyrostów rocznych drzew je tworzących (rbar, Tab. 1). Analiza wartości współczynników korelacji Pearsona oraz wartości t dla poszczególnych par chronologii wskazuje generalnie na relatywnie wysokie ich podobieństwo na całym analizowanym obszarze. Najniższe wartości korelacji z innymi stanowiskami uzyskano dla stanowisk 4st2 oraz 4ry1 (Tab. 2).

Tab. 2. Macierz korelacji chronologii rezydualnych. Wartości współczynnika korelacji r podano w lewym dolnym, a wartości t – w prawym górnym rogu

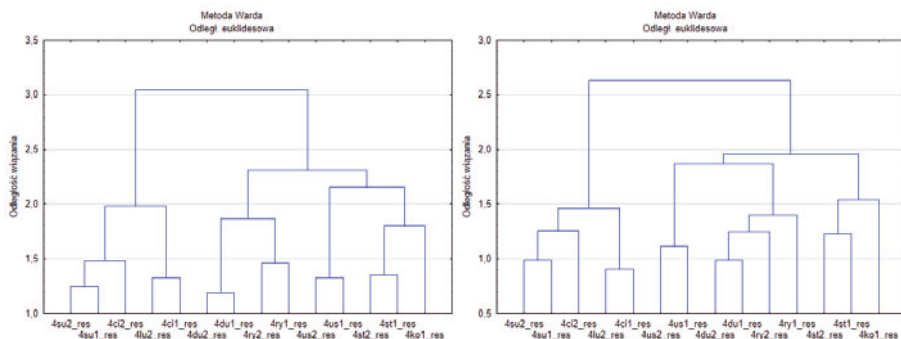
Table 2. Residual chronologies correlation matrix. Values of correlation coefficient (r) are presented in the bottom left corner, t-values – upper right corner

r\ t	4ko1	4st1	4st2	4ry1	4ry2	4du1	4du2	4us1	4us2	4ci1	4ci2	4su1	4su2	4lu2
4ko1		5,26	8,29	5,48	6,49	6,50	6,05	4,17	3,55	4,76	4,31	4,53	5,72	4,81
4st1	0,48		9,07	3,56	4,46	4,83	5,93	7,76	6,50	5,31	3,33	3,68	5,11	4,08
4st2	0,65	0,68		3,95	4,08	5,29	4,54	4,95	4,50	4,73	2,48	2,41	4,02	4,04
4ry1	0,49	0,35	0,38		8,07	5,39	5,08	3,65	3,49	4,54	5,21	2,49	2,91	4,20
4ry2	0,56	0,42	0,39	0,64		5,92	7,64	5,11	4,96	5,69	6,21	5,35	5,27	9,12
4du1	0,56	0,45	0,48	0,49	0,52		9,60	5,23	5,60	6,86	6,21	4,40	5,92	5,36
4du2	0,53	0,52	0,42	0,46	0,62	0,70		5,05	5,69	5,87	5,65	6,41	6,45	6,03
4us1	0,40	0,62	0,45	0,35	0,47	0,47	0,46		8,89	6,88	3,74	3,11	5,01	4,99
4us2	0,34	0,56	0,42	0,34	0,46	0,50	0,51	0,68		6,28	5,01	4,41	5,86	4,36
4ci1	0,44	0,48	0,44	0,42	0,51	0,58	0,52	0,58	0,54		6,64	7,55	8,96	10,42
4ci2	0,41	0,32	0,25	0,47	0,54	0,54	0,50	0,36	0,46	0,57		9,18	9,03	6,10
4su1	0,42	0,35	0,24	0,25	0,48	0,41	0,55	0,31	0,41	0,61	0,69		12,27	7,40
4su2	0,51	0,47	0,38	0,29	0,48	0,52	0,55	0,46	0,52	0,68	0,68	0,78		7,19
4lu2	0,44	0,39	0,38	0,40	0,69	0,48	0,53	0,46	0,41	0,73	0,53	0,61	0,60	

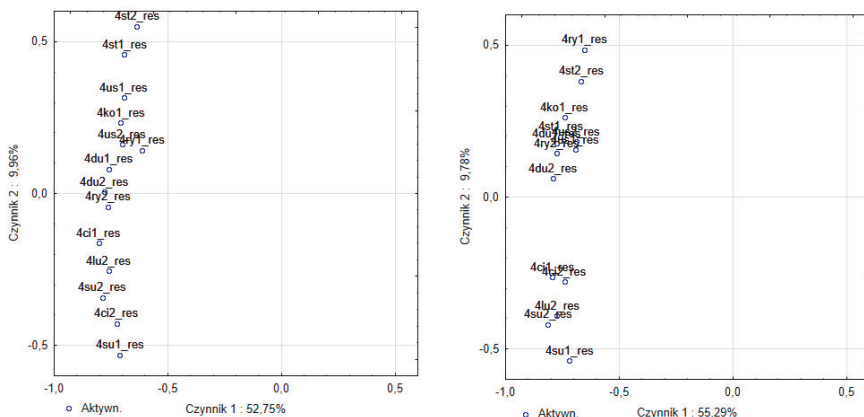
Stwierdzono wyraźną odrębność chronologii z najbardziej południowych lokalizacji, reprezentujących Bieszczady Zachodnie wraz ze stanowiskiem zlokalizowanym na granicy tego regionu i Gór Sanocko-Turczańskich, względem pozostałych obszarów (Ryc. 2). Tworzą one jedno z dwóch głównych skupień.

Relacje w obrębie drugiego skupienia różnią się w zależności od okresu analizy (Ryc. 2). Dla krótszego z nich wydają się być bardziej zgodne z oczekiwaniami - chronologie z sąsiadujących regionów fizycznogeograficznych, to znaczy z Beskidu Niskiego (4ry1, 4ry2, 4du1, 4du2) i Gór Sanocko-Turczańskich (4us1, 4us2), a także z Pogórza Strzyżowskiego (4st1, 4st2) i Pogórza Jasielskiego (4ko1), tworzą tutaj dwie wyraźne podgrupy (Ryc. 1b). W przypadku analizy dla dłuższego okresu, chronologie 4us1 i 4us2 łączą się w grupę

z chronologiami reprezentującymi obszar pogórzy (Ryc. 1a). Różnice w uzyskanych wynikach, w zależności od analizowanego okresu znaleźć można także w wynikach analizy składowych głównych, która również została przeprowadzona dla dwóch wyżej wspomnianych okresów czasu (Ryc. 3). Porównanie wykresów wykonanych dla dwóch pierwszych składowych wskazuje, że czynnik 2 (stanowiący, zależnie od wybranego okresu czasu, 10% lub 9,8% wariancji) odgrywa większą rolę w przypadku krótszego z analizowanych okresów – wyraźnie dzieląc stanowiska na grupy. Opisanie powyżej różnice w wynikach, w zależności od długości analizowanego okresu, mogą wskazywać, że czynnik 2 nie wpływa na tworzenie przyrostu rocznego młodych drzew w sposób tak istotny (różnicujący), jak w przypadku drzew w późniejszym okresie życia.



Ryc. 2. Wyniki analizy skupień dla dwóch okresów: a – 1918-2013, b – 1940-2013
 Fig. 2. Agglomerative clustering for two analysis periods: a – 1918-2013, b – 1940-2013



Ryc. 3. Wykresy rozrzutu czynnika 1 względem czynnika 2 analizy PCA dla dwóch okresów: a – 1918-2013, b – 1940-2013
 Fig. 3. Factor 1 vs. 2 scatterplot of PCA results for two analysis periods: a – 1918-2013, b – 1940-2013

Niezależnie od przyjętego okresu analizy, czynnik 1 zdecydowanie dominuje, tłumaczy on 52,8%, a w przypadku krótszego rozpatrywanego okresu – 55,3% obserwowanej wariancji. Świadczy to o wysokim podobieństwie sygnału klimatycznego obecnego w analizowanych chronologiach. Niemal dla wszystkich analizowanych chronologii stanowiskowych uzyskano istotne dodatnie wartości korelacji ze średnią temperaturą maja roku, w którym przyrost się tworzył (Tab. 3). Miesiąc ten jest nie tylko początkiem okresu działalności kambium u modrzewia, ale także okresem jego największej aktywności – według niektórych autorów, większość słoja rocznego tworzy się właśnie w maju oraz w czerwcu, choć inni autorzy wskazują na czerwiec i lipiec (Chałupka i Kosiński 1986). Wydaje się, że ciepły maj ma podstawowe znaczenie dla wzrostu modrzewia na obszarach górskich, co stwierdzono również w wyżej położonych stanowiskach w Tatrach: zaobserwowano tam pozytywną korelację przyrostu z majem, ale również z czerwcem (Ermich 1955, Büntgen i in. 2007). Z drugiej strony badania z innych lokalizacji w Karpatach, wskazują na dominującą rolę opadów w roku, w którym przyrost się tworzył, w tym także w samym sezonie wegetacyjnym (Feliksik 1992). W przedstawionych badaniach, statystycznie istotne wartości korelacji z opadami w okresie wegetacyjnym zaobserwowano tylko na kilku stanowiskach (Tab. 3). Przyczyny można szukać w dużej zmienności przestrzennej opadów, zwłaszcza na terenach górskich. W związku z tym, zgeneralizowane dane meteorologiczne mogą nie oddawać tutaj dobrze realnej zmienności opisywanego czynnika. Ponadto, fakt ten może wynikać z rodzaju wykorzystanych danych klimatycznych (dane gridowe), które są łatwo dostępnym, bezpłatnym źródłem długich serii danych, jednak charakteryzują się brakiem precyzji, zwłaszcza w kontekście opadów (Chojnacka-Ożga i Ożga 2016).

Tab. 3. Wyniki korelacji chronologii rezydualnych z danymi klimatycznymi (średnią miesięczną temperaturą i miesięcznymi sumami opadów). Przedstawiono tylko istotne wartości współczynników korelacji. "p" przed nazwą miesiąca oznacza rok poprzedzający rok odłożenia słoja
Table 3. Correlation results for residual chronologies and climatic data (average monthly temperature and monthly precipitation). Only statistically significant values were presented. "p" in front of a month name indicates year prior to the year of the tree-ring formation

chronologia	temperatura	opady
4ko1	pmaj(-0,24), maj(0,20)	pmaj(0,19), lip(0,39), wrz(-0,21)
4st1	pmaj (-0,19), sty(0,18), kwi(0,22), maj(0,30)	plip (0,18)
4st2	pmaj(-0,25), maj(0,32)	
4ry1		plis(0,18)
4ry2	maj(0,31), sie(0,19)	
4du1	pmaj(-0,24), plis(-0,25)	pmaj(0,22), mar(-0,20), lip(0,21)
4du2	pcze(0,24), lut(-0,18), maj(0,28)	kwi(-0,20)
4us1	maj(0,32),	psie(-0,21)
4us2	plis(-0,22), maj(0,36), sie(0,21)	psie(-0,25), mar(-0,22)
4lu2	pmaj(-0,25), maj(0,22)	psie(-0,20), cze (-0,28)
4ci1	pmaj(-0,25), ppaż(0,24), plis(-0,19), sty(0,18), maj(0,32)	psie(-0,26), kwi(-0,22)
4ci2	ppaż(0,29), maj(0,30), cze(-0,20)	psie(-0,25), wrz(0,30)
4su1	ppaż(0,25), maj(0,32)	wrz(0,23)
4su2	plip(-0,25), ppaż(0,29), maj(0,36)	psie(-0,30)

Wydaje się, że o ile wysoka temperatura w maju wpływa korzystnie na tworzący się słów przyrostowy, to może mieć niekorzystny wpływ na inne procesy, które pośrednio wpływają na szerokość przyrostu rocznego wytwarzanego w roku następnym. Na wielu stanowiskach na analizowanym obszarze występuje bowiem odwrotna korelacja z temperaturą maja roku poprzedzającego tworzenie się przyrostu, a na dwóch stanowiskach pojawia się ponadto pozytywna korelacja z opadami w tym okresie (Tab. 3). Być może wysoka temperatura negatywnie wpływa na proces zawiązywania pąków, którego okres przypada na wiosnę. Wpływając na jakość aparatu asymilacyjnego, jaki rozwinie się w roku następnym, pośrednio oddziaływać więc może na przyrost tworzący się w roku następnym. Poza tym, biorąc pod uwagę cechy klimatu Polski, gdzie chłodniejsze lata wiążą się często z wysoką sumą opadów (Woś 1999), wysoka temperatura może do pewnego stopnia obrazować okresy ubogie w opady. Możliwy pozytywny wpływ opadów w okresie wiosennym na jakość rozpoczynających się wtedy formować pąków, i przez to pośrednio na przyrost w roku następnym, wskazywany jest też przez Feliksika (1992).

Jak już wspomniano, podział chronologii na dwie główne grupy następuje ze względu na drugą składową, która tłumaczy około 10% obserwowanej wariacji. Patrząc na wyniki analizy przyrost roczny – klimat (Tab. 3), różnice pomiędzy wydzielonymi regionami wydają się tkwić w odpowiedzi na warunki pogodowe końca poprzedniego okresu wegetacyjnego. Wyraźnie zaznacza się negatywny wpływ opadów w sierpniu, obserwowany na niemal wszystkich stanowiskach z Bieszczadów Zachodnich (skupienie 1), widoczny ponadto także w stanowiskach z Gór Sanocko-Turczańskich (Tab. 3). Nie zaznacza się on w przypadku stanowisk z pogórzy i Beskidu Niskiego. Widać również, że w warunkach wyższych pasm górskich, charakteryzujących się surowszym klimatem, ciepły koniec okresu wegetacyjnego odgrywa istotną rolę, przekładającą się na przyrost w roku kolejnym. Wskazuje na to pozytywna korelacja z temperaturą w październiku roku poprzedzającego tworzenie przyrostu, obserwowana tylko w stanowiskach z Bieszczadów Zachodnich.

Podsumowanie

Chronologie przyrostów rocznych drzew ze wschodniej części polskich Karpat wykazują duże podobieństwo. Wyraźny jest jednak podział na dwa regiony, z wydzieleniem chronologii z obszaru Bieszczadów Wysokich. Głównym czynnikiem mającym wpływ na szerokość przyrostu rocznego drzew na całym analizowanym obszarze są warunki panujące w początkowym okresie aktywności kambium, na co wskazuje pozytywny wpływ temperatury maja roku w którym przyrost się tworzył. Różnice pomiędzy wydzielonymi regionami wydają się tkwić w odpowiedzi na warunki pogodowe końca poprzedniego okresu wegetacyjnego.

Podziękowania

Praca została wykonana w ramach projektu finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki, nr projektu: 2014/13/B/ST10/02529. Autorzy składają serdeczne podziękowania wszystkim pracownikom RDLP w Krośnie oraz wymienionych w pracy nadleśnictw, którzy pomogli w wyborze stanowisk badawczych, a także służyli pomocą w terenie.

Literatura

- Biondi F., Waikul K. 2004. DENDROCLIM2002: a C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Comput. and Geosci.* 30(3): 303-311.
- Büntgen U., Frank D.C., Kaczka R.J., Verstege A., Zwijacz-Kozica T., Esper J. 2007. Growth responses to climate in a multi-species tree-ring network in the Western Carpathian Tatra Mountains, Poland and Slovakia *Tree Physiol.* 27: 689-702.
- Chałupka W., Kosiński G. 1986. Fizjologia wzrostu i rozwoju. W: S. Białobok (red.). *Modrzewie Larix Mill.* PWN, Warszawa-Poznań: 171-213.
- Chojnacka-Oźga L., Oźga W. 2016. Źródła danych meteorologicznych w badaniach dendroklimatologicznych. III Konferencja dendrochronologów polskich: Rogów, 9-11 lutego 2016: abstrakty.
- Chuchro M., Danek M. 2015. Zastosowanie metod statystycznych i eksploracji danych do porównania stanowisk modrzewia (*Larix decidua* Mill.) z obszaru południowej Polski. *Komputerowe Wspomaganie Badań Naukowych. Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego Seria B, Nr 221:* 149-158.
- Cook E.R., Holmes R.L. 1999. User manual for Program ARSTAN. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona USA.
- Ermich K. 1955. Zależność przyrostu drzew w tatrach od wahań klimatycznych. *Acta Soc. Bot. Pol.* 24(2): 245-273.
- Feliksik E. 1992. Wpływ warunków klimatycznych na wielkość przyrostów radialnych modrzewia europejskiego (*Larix decidua* Mill.) występującego w Karpatach. *Sylwan* 136(5): 61-67.
- Fritts H.C. 1976. *Tree rings and climate.* Academic Press, London.
- Holmes R.L. 1999. User manual for Program COFECHA. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona USA.
- Kondracki J. 2009. *Geografia regionalna Polski.* PWN, Warszawa.
- Mitchell T., Carter T. R., Jones P., Hulme M. 2004. A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). Tyndall Centre Working Paper No. 55.
- Walanus A. 2005. Program Quercus. Instrukcja obsługi. Kraków.
- Wilczyński S. 2005. Regiony dendroklimatyczne sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) w Karpatach Polskich. *Acta Agr. et Silv., Ser. Silv.* 43: 43-54.
- Woś A. 1999. *Klimat Polski.* PWN Warszawa.

¹Malgorzata Danek*, ²Monika Chuchro

¹AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Analiz Środowiskowych, Kartografii i Geologii Regionalnej

²AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Katedra Geoinformatyki i Informatyki Stosowanej

*mdanek@agh.edu.pl