


Zastosowanie dziennych danych klimatycznych w analizach dendroklimatycznych. Studium przypadku dla świerka pospolitego z Tatr

Ryszard J. Kaczka, Karolina Janecka, Barbara Spyt, Aleksander Hulist

Abstrakt. W ramach badań dendroklimatycznych przetestowano zastosowanie dziennych danych klimatycznych, porównując wyniki z uzyskanymi dla standardowo używanych średnich miesięcznych. Wyniki analiz zestawiono z informacjami o ksylogeniezie, podejmując próbę zastosowania wiedzy o powstawaniu przyrostu rocznego do interpretacji wyników korelacji szerokości przyrostów z danymi klimatycznymi. Badania przeprowadzono dla chronologii świerkowej z regła górnego w Tatrach. Zastosowano program DendroCorr 3.2., który daje możliwość obliczania korelacji bootstrap dla średnich od 1 do 365 dni oraz automatycznie identyfikuje najwyższe wyniki. Uzyskano wyższe wyniki korelacji szerokości przyrostów rocznych z temperaturą przy zastosowaniu okresu od 14 czerwca do 15 lipca ($r=0,69$) zamiast tradycyjnie stosowanego, bazującego na średnich miesięcznych okresu czerwiec-lipiec ($r=0,54$). Jest to część sezonu wegetacyjnego, w którym kambium wykazuje największą aktywność i temperatura powietrza najsilniej wpływa na liczbę i wielkość powstających komórek. Połączenie wiedzy o ksylogeniezie i analiz dendroklimatycznych przeprowadzanych dla bardziej elastycznych zakresów czasowych dostarcza więcej informacji o mechanizmach zapisu ciepłoty powietrza w przyrostach rocznych.

Słowa kluczowe: ksylogeneza, dzienne dane klimatyczne, świerk pospolity, Tatry, DendroCorr

Abstract. Application of daily climate data in dendroclimatic analyses. Case study for Norway spruce from the Tatras. The potential of improving the results of growth/climate response by using intervals based on daily data instead of monthly data and linking the outcomes with information about intra-annual xylem development was tested. The case study of the daily analyses of various temporally scaled growth/climate responses of tree-ring width (TRW) chronology of Norway spruce from the subalpine zone in the Polish Tatras was conducted. The new procedure of computing averages for all possible intervals of length between 1 and 365 days, calculating bootstrap correlations and automatic selection of the highest results was implemented in program DendroCorr 3.2. The time-window for which the climatic conditions are recorded by TRW is rather shorter and does not follow the monthly division of a year, so the highest correlation obtained from traditionally performed growth/climate response (time window: June-July, $r=0.54$) is only partially reflected in results of daily-based analyses (time window June 14th – July 15th, $r=0.69$). Linking the knowledge about xylogeneis and the results of growth/climate response performed



in detailed temporal scale helps to understand the process of recording the temperature in the width of the ring.

Key words: xylogenesi, daily climate data, Norway spruce, the Tatras, DendroCorr

Wstęp

W dendrochronologii standardowa procedura określania wpływu czynników klimatycznych na wzrost drzewa opiera się na obliczeniu statystycznej zależności między ciągami pomiarów parametrów słoju, takich jak szerokość przyrostu (TRW), maksymalna gęstość drewna (MXD), skład izotopów stabilnych itp. i ciągami danych klimatycznych np. temperatury powietrza czy opadów atmosferycznych. Dane klimatyczne występują tu w postaci średnich miesięcznych lub wielomiesięcznych (Fritts 1976, Cook i Kairiukstis 1990). Miesięczne uśrednione dane klimatyczne były powszechnie stosowane od najstarszych (Douglas 1920, Huber 1943, Schulman 1953) do najbardziej współczesnych (Büntgen i in. 2016, Dürthorn i in. 2016, Esper i in. 2016, Grießinger i in. 2016) opracowań dendroklimatologicznych. Uśrednienie danych klimatycznych dla okresów miesięcznych reprezentujących około 30-dniowe interwały czasowe jest słabo powiązane z kalendarzem fenologicznym i cyklem wzrostu drzew. Nowe podejście zaproponowali Beck i in. (2013), którzy opracowali procedurę wdrożoną w oprogramowaniu CLIMTREG. Pozwala ona na obliczanie korelacji klimat-wzrost w oparciu o codzienne dane klimatyczne. Ruchome okna o wzrastającej długości (21-121 dni) dotyczące średnich bazujących na danych dobowych są skorelowane z rocznymi pomiarami przyrostów drewna wtórnego. Korelacje są obliczane dla okresu od lipca poprzedniego sezonu wegetacyjnego do października roku, w którym powstał dany przyrost. Zaproponowana metoda została z powodzeniem zastosowana w badaniach wpływu klimatu na wzrost sosny zwyczajnej w południowo-wschodnich Niemczech (Liang i in. 2013) i południowej Szwecji (Pritzkowa i in. 2014), dębów na Wyspach Brytyjskich (Sanders i in. 2014), badań nad cechami hydraulicznymi ksylemu świerka pospolitego we włoskich Alpach (Castagneri i in. 2015) oraz wpływu suszy na różne gatunki drzew w Niemczech (Beck 2011). Na podobnej zasadzie działa pakiet „dendroTools” zaprojektowany dla programu R przez Jevsenaka i Levantica (2018).

Wprowadzenie dziennych danych klimatycznych w analizach dendroklimatycznych pozwoli na poszerzenie wiedzy na temat wzrostu promieniowego drzewa (Beck i in. 2013). Proces tworzenia komórek, fundamentalny dla ostatecznego rozmiaru i charakteru przyrostu rocznego, jest zsynchronizowany z letnim przesileniem, czasem najdłuższego fotoperiodu i niekoniecznie związany jest z okresem najwyższej temperatury (Rossi i in. 2006, 2007). Jednakże początek i długość ksylogenezy gatunków drzew iglastych w zimnym klimacie silnie zależy od warunków termicznych. Badania fenologiczne z Ameryki i Europy łączą początek aktywności kambium z progiem temperatury dobowej osiągającym 4-5°C, co ma miejsce w większości badanych miejsc na początku maja (Deslauriers i in. 2008). Badania dendroklimatyczne przeprowadzone w sposób standardowy (porównując szerokość przyrostu i miesięczne interwały danych klimatycznych) dla podobnych lokalizacji, wykazują wysokie korelacje między TRW, a temperaturą w okresie od czerwca do lipca (*Larix decidua* we włoskich Alpach, Carrer i Urbinati 2004), w lipcu i od lipca do sierpnia (*Pinus cembra* we włoskich Alpach, Carrer i Urbinati 2004), od lipca do sierpnia (*Pinus sylvestris* w Finlandii, Dürthorn i in. 2016). Chronologie

TRW z drzew rosnących w reglu górnymi w Alpach zwykle wykazują najwyższą reakcję na temperaturę w okresie czerwiec-sierpień, podczas gdy w Karpatach, w zależności od gatunków drzew iglastych, korelacje są najwyższe w okresie od czerwca do lipca lub od lipca do sierpnia (Büntgen i in. 2007, Kaczka i in. 2016). Wszystkie te badania pokazują, że najwyższe korelacje występują dla okresów, które nie w pełni odpowiadają miesięcznemu podziałowi sezonu wegetacyjnego. Rodzi to pytanie, czy wykorzystanie dziennych danych klimatycznych i analiza wpływu klimatu na wzrost drzew dla interwału niezależnego od miesiący kalendarzowych da w efekcie lepszy obraz relacji drzew z tym elementem środowiska. Dodatkowo powstaje pytanie, czy tak uszczegółowiony obraz korelacji parametrów słoja z klimatem może znaleźć swoje objaśnienie w informacjach na temat procesu powstawania przyrostu rocznego czyli ksylogenezy?

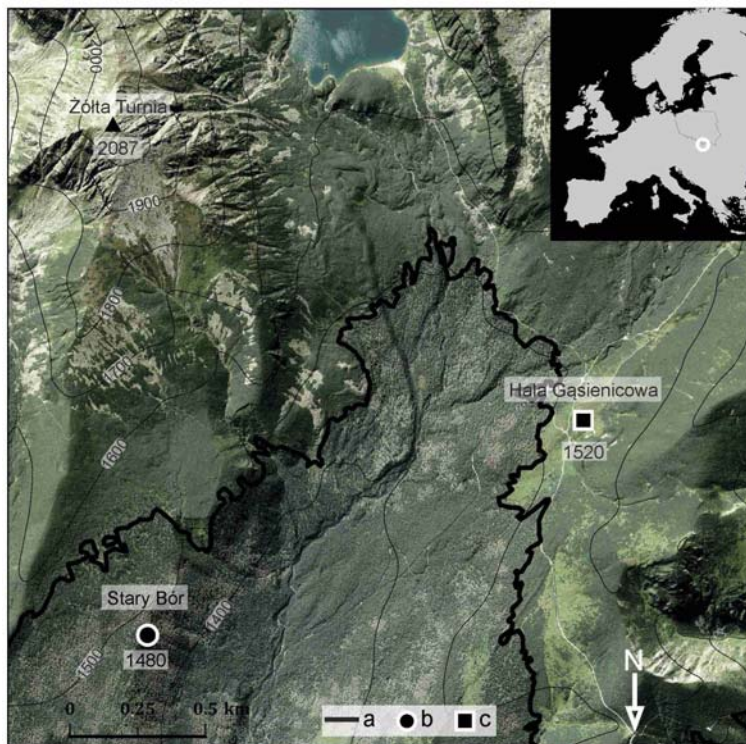
Celem niniejszej pracy jest ocena możliwości, jakie stwarza korelowanie wielkości przyrostu promieniowego z temperaturą powietrza dla interwałów bazujących na danych dziennych zamiast miesięcznych i możliwości interpretacji otrzymanych wyników na podstawie wiedzy o powstawaniu przyrostu rocznego drewna wtórnego. Badania mają charakter studium przypadku przeprowadzonego dla dobrze znanego stanowiska świerka pospolitego (*Picea abies* L. Karst) ze Starego Boru w Tatrach (Büntgen i in. 2007, Pawełczyk i in. 2012, Kaczka i in. 2018).

Material i metody

Miejsce badań zlokalizowane jest w Tatrach w górnoreglowym lesie świerkowym na wysokości ok. 1500 m n.p.m. (ryc. 1). Klimat lokalny charakteryzuje się średnią roczną temperaturą sięgającą +2,5°C, a suma rocznych opadów wynosi 1660 mm (Hala Gąsienicowa, 1520 m n.p.m., 1946-2004).

64 próbki świerka pospolitego zebrano przy użyciu świdra przyrostowego o średnicy 5,15 mm. Rdzenie poddano standardowej preparacji (susząco, wklejono do drewnianych listew i wyszlifowano) w celu uzyskania powierzchni drewna zapewniającej wyraźny i klarowny obraz granic przyrostów rocznych. Próbki zeskanowano w rozdzielczości 2400 DPI. Szerokości słoików zmierzono za pomocą oprogramowania CooRecorder 8.0 Cybis Elektronik & Data AB (www.cybis.se). Jakość pomiarów i synchronizację serii sprawdzono poprzez wizualne (program CDendro Cybis Elektronik & Data AB, www.cybis.se) i statystyczne (program Cofecha, Holmes 1983) datowanie pomostowe. Chronologia szerokości przyrostów rocznych została zbudowana przy użyciu oprogramowania ARSTAN (Cook 1985). Z poszczególnych serii pomiarowych usunięty został trend wiekowy poprzez indeksację metodą wielomianowej funkcji złożonej (ang. smoothing-spline, Cook i Peters 1981). Dla sprawdzenia koherencji otrzymanej chronologii obliczono wartości parametrów dotyczących korelacji między seriami (Rbar) i siły wspólnego sygnału (EPS) (Wigley i in. 1984).

Analizy dendroklimatyczne przeprowadzono z wykorzystaniem instrumentalnych ciągów pomiarowych temperatury dobowej ze stacji meteorologicznej na Hali Gąsienicowej, obejmującej lata 1927-2012, stacji meteorologicznej w Zakopanem (860 m n.p.m.) z lat 1950-2012 oraz gridowych danych dobowych dla lat 1950-2012 uzyskanych z bazy danych E-OBS 14.0 (Haylock i in. 2008). Stacja meteorologiczna na Hali Gąsienicowej położona jest na wysokości 1520 m n.p.m. i dobrze reprezentuje warunki klimatyczne panujące w ekotonie górnej granicy lasu w północnej części Tatr.



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań: a) przebieg górnej granicy lasu, b) miejsce poboru prób w Starym Borze, c) lokalizacja stacji meteorologicznej na Hali Gąsienicowej

Fig. 1. Location of the study site: a) timberline, b) Stary Bór sampling site, c) Hala Gąsienicowa meteorological station

Zależność pomiędzy chronologią standardową a miesięcznymi wartościami średniej temperatury powietrza określono za pomocą programu DendroCorr 3.2 (Hulist i in. 2016) obliczając współczynniki korelacji Pearsona metodą bootstrap (powtórzenie 10 tysięcy razy) dla okresu 1927-2012 (Hala Gąsienicowa). Kolejnym krokiem było obliczenie podobnej zależności, ale dla danych dziennych pochodzących z trzech różnych źródeł. Tutaj również zastosowano program DendroCorr 3.2, który umożliwia obliczenia korelacji między danymi dendrochronologicznymi i dobowymi danymi klimatycznymi oraz automatycznie identyfikuje okresy, dla których występują najwyższe korelacje.

Algorytm obliczeń dla danych dziennych składa się z kilku etapów (Kaczka i in. 2017):

1. Przygotowanie ciągów dla danych klimatycznych obliczonych z zastosowaniem danych dobowych. Rozpoczynając od 1 stycznia obliczane są średnie wartości temperatury dla okresów o długości od 1 do 365 dni, następnie dla 2 stycznia dla okresów od 1 do 364 dni, dla 3 stycznia dla okresów od 1 do 363 dni itd. Dla każdego roku bazując na 365 dniach powstaje 66795 średnich obejmujących wszystkie możliwe długości ciągów oraz ich początkowe i końcowe daty.

2. Obliczanie dla każdego z wygenerowanych w kroku 1. ciągów wieloletnich korelacji pomiędzy danymi klimatycznymi i chronologiami. W opisywanym przypadku wykorzystano chronologię standardową szerokości przyrostów rocznych dla okresu 1927-2012, co w sumie dało 5744370 kombinacji korelacji. Program oferuje możliwość obliczania korelacji Pearsona w klasyczny sposób lub z zastosowaniem funkcji bootstrap dla dowolnej ilości powtórzeń (w niniejszych badaniach wykonano 10 tysięcy powtórzeń).

3. Program porządkuje wyniki korelacji od najwyższych do najniższych wskazując jednocześnie te, które osiągnęły zdefiniowany przez użytkownika poziom istotności statystycznej (tutaj $p=0,01$).

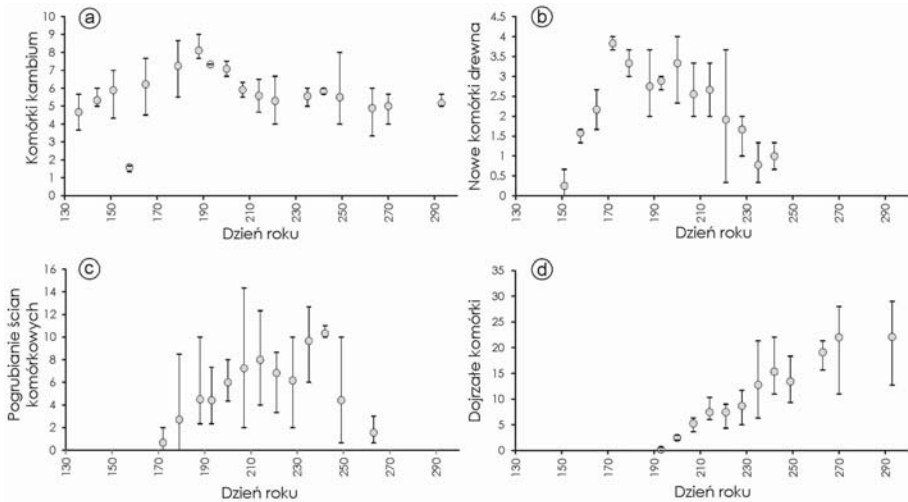
Analizy ksylogenezy wykonano na mikro-rdzeniach (o średnicy 1,2-2,4 mm) zebranych z pni czterech świerków pochodzących z tego samego stanowiska. Próbkowanie przeprowadzono w odstępach tygodniowych od maja do października 2005 roku. Mikro-rdzenie spreparowano i przeanalizowano zgodnie z powszechnie używaną w badaniach aktywności kambium i ksylogenezy procedurą opisaną przez Deslauriers i in. (2003) i Rossiego i in. (2006).

Wyniki i dyskusja

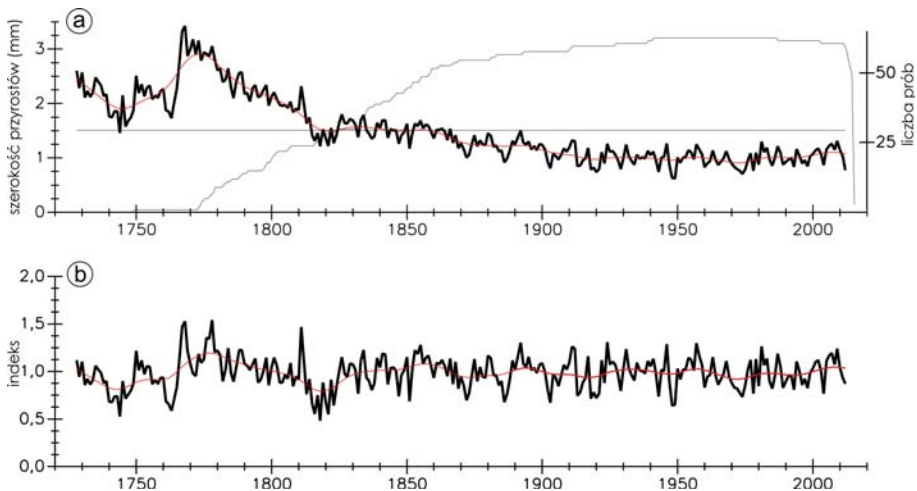
Cykl i czas powstawania przyrostu rocznego świerka pospolitego w borze górnoregłowym w Tatrach jest podobny do innych obszarów górskich i środowisk chłodnych Europy oraz półkuli północnej. Rycina 2 prezentuje najważniejsze etapy powstawania przyrostu podczas sezonu wegetacyjnego w roku 2005: cykl aktywności kambium, tworzenie nowych cewek, lignifikację i akumulację dojrzałych komórek. Aktywność kambium rozpoczęła się w połowie maja, kiedy liczba komórek wzrosła ze średniej 4 (1,4 SD) do 6 (1,9 SD), aż do maksymalnej liczby 8 komórek w całym sezonie wegetacyjnym (0,8 SD), co nastąpiło w pierwszym tygodniu lipca. Miesiąc później liczba wyprodukowanych kolejnych komórek kambium spadła do 5 (1,1 SD) i pozostała na tym poziomie do końca sezonu wegetacyjnego. Pierwsze nowe cewki (w fazie rozszerzenia) pojawiły się pod koniec maja i osiągnęły maksymalną liczbę w okresie od 21 do 28 czerwca (172-179 dzień roku). Proces produkowania przez kambium komórek drewna trwał do końca sierpnia, ale maksymalny wzrost liczby nowopowstających komórek został odnotowany w drugiej połowie czerwca i pierwszych tygodniach lipca (165-200 dzień roku). Nowe cewki rozszerzyły się, ściany komórkowe były pogrubione w procesie lignifikacji głównie w drugiej połowie lipca i sierpnia. Pierwsza dojrzała komórka drewna wczesnego została zidentyfikowana w próbkach w połowie lipca. Do końca września proces powstawania przyrostu rocznego został zakończony na etapie 22 (7,5 SD) w pełni dojrzałych komórek drewna wczesnego i późnego.

Chronologia szerokości przyrostów rocznych

Chronologię zbudowano z 64 drzew o zróżnicowanym wieku pierśnicowym (od 74 do 285 lat), które charakteryzowały się stosunkowo wolnym wzrostem promieniowym. W rezultacie średnia długość serii wyniosła 186 lata, a średnia szerokość słoju 0,86 mm. Oryginalna chronologia zbudowana z wykorzystaniem programu Arstan została skrócona do okresu 1771-2012, w którym każdy rok jest reprezentowany przez próby z minimum pięciu drzew (ryc. 3). Chronologia charakteryzuje się dużą koherencją i siłą wspólnego sygnału, co przekłada się na takie parametry statystyczne jak Rbar i EPS (odpowiednio 0,63 i 0,96).



Ryc. 2. Liczba komórek cambium (a), nowopowstających cewek (b), komórek, których ściany ulegają pogrubianiu i lignifikacji (c) oraz liczba dojrzałych komórek (d) w 2005 roku
Fig. 2. Number of cells: a) in the cambial zone; b) in radial enlargement; c) in secondary wall thickening and lignification; d) mature xylem cells during 2005 (dzień roku – day of the year)



Ryc. 3. Rzeczywista (a) i standardowa (b) chronologia świerka pospolitego
Fig. 3. Raw (a) and standard (b) chronologies of Norway spruce

Standardowe analizy dendroklimatyczne z zastosowaniem danych miesięcznych

Korelacja między standardową chronologią świerka a danymi klimatycznymi pochodzącymi ze stacji meteorologicznej na Hali Gąsienicowej została najpierw obliczona na podstawie średnich miesięcznych, począwszy od maja roku poprzedzającego formowanie się przyrostu do października roku bieżącego i kilku sezonów (okresów wielomiesięcznych). Wyniki tych analiz wskazują, że na wzrost radialny badanych drzew w sposób istotny statystycznie ($p = 0,01$) wpływa temperatura trzech miesięcy i sezonów (ryc. 4). Dodatnią korelację z temperaturą października poprzedniego roku ($r = 0,39$) można tłumaczyć bezpośrednim pozytywnym wpływem ilości rezerw zgromadzonych podczas cieplej jesieni w roku poprzedzającym na szerokość słoja w kolejnym roku. Jednak to temperatura dwóch następujących po sobie miesięcy letnich, czerwca ($r = 0,38$) i lipca ($r = 0,47$) ma najistotniejszy wpływ na wzrost promieniowy. Wyniki korelacji uzyskane dla okresów kilkumiesięcznych reprezentujących okres letni lub cały sezon ciepły są jeszcze wyższe (ryc. 4). Temperatura w okresie czerwiec-lipiec wykazuje największy wpływ na szerokości przyrostów badanych drzew ($r = 0,54$). Korelacje dotyczące innych części roku, obejmujące późną wiosnę/wczesne lato (maj-lipiec) i okres letni (czerwiec-sierpień, lipiec-sierpień) są również istotne statystycznie (odpowiednio $r = 0,46$, $r = 0,44$, $r = 0,33$). Chronologia koreluje również z temperaturą późnego lata/wczesnej jesieni (lipiec-wrzesień, $r = 0,36$) i całym sezonem wegetacyjnym (kwiecień-wrzesień, $r = 0,36$).

Korelacja szerokości przyrostów rocznych z temperaturą dla interwałów wielodobowych

Przetestowano, czy zmiana okna czasowego, dla którego obliczana jest średnia temperatura powietrza, wpływa na wynik korelacji szerokość przyrostu – temperatura. Korelacje zostały obliczone dla dostępnych z regionu Polskich Tatr dziennych danych klimatycznych, w tym dla tych ze stacji meteorologicznej na Hali Gąsienicowej najbliższej położonej stanowisku badawczemu (2,2 km) i o najdłuższej dostępnej serii pomiarowej (1927-2012) (ryc. 5). Najwyższą korelację ($r = 0,68$) uzyskano dla temperatury uśrednionej w okresie 31 dni od 14 czerwca (165 dzień roku) do 15 lipca (196 dzień roku) i pochodzących ze stacji meteorologicznej na Hali Gąsienicowej. W przypadku danych pochodzących ze stacji meteorologicznej w Zakopanem najwyższy wynik ($r = 0,60$) otrzymano dla nieznacznie innego okresu: 9 czerwca (160 dzień roku) do 19 lipca (200 dzień roku). Wyniki dla danych dziennych z bazy E-OBS 14.0 są niższe ($r = 0,58$), ale pod względem wskazanego przedziału czasowego są bardzo podobne do wyników uzyskanych za pomocą danych instrumentalnych i obejmują okres od 14 czerwca (165 dzień roku) do 19 lipca (200 dzień roku).

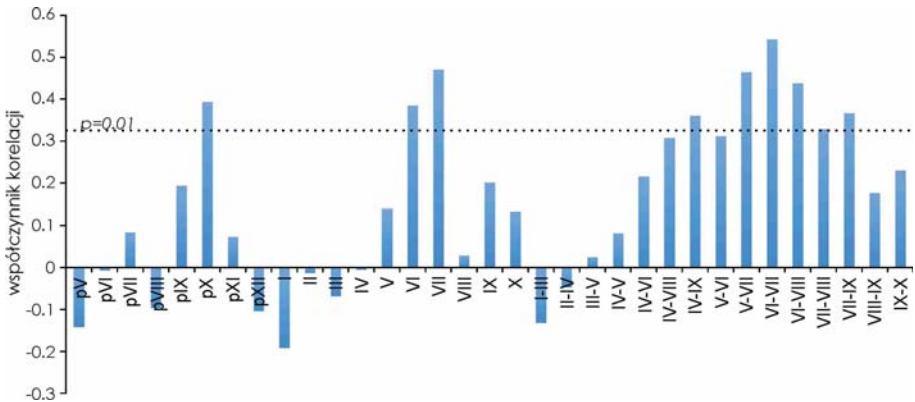
Związek wyników analiz dendroklimatycznych z procesami powstawania przyrostu rocznego

Wyniki relacji wzrostu świerków w Tatrach z dziennymi danymi klimatycznymi są zgodne z wiedzą o procesach powstawania słoja świerka pospolitego w borze gómoreglowym. Przykład z 2005 r. pokazuje, że okres największej aktywności kambium, a co za tym idzie najintensywniejszej produkcji nowych komórek oraz ich rozszerzenia nastąpił w okresie od połowy czerwca do połowy lipca (165-201 dzień roku). Te dwa etapy ksylogenezy przesądzają o liczbie i średnicy komórek, dwóch parametrach, które są odpowiedzialne za wielkość przyrostu rocznego – podstawowego parametru wykorzystywanego w dendrochronologii. Zachowanie badanych świerków jest zgodne

z procesem opisanym przez Rossiego i in. (2006, 2007), którzy wskazują na maksymalną szybkość wytwarzania cewek w czasie letniego przesilenia (172 dzień roku). Warunki środowiskowe, w szczególności temperatura przed i w trakcie przesilenia letniego, silnie wpływają na efektywność procesu ksylogenezy i szerokość przyrostu rocznego. W związku z tym warunki cieplne tego okresu są wyraźnie rejestrowane w szerokościach przyrostów rocznych. Najwyższą korelację między TRW a temperaturą uzyskano dla przedziału 165-196 dzień roku, bardzo podobnego do wstępnych wyników aktywności kambium. Co istotne, przesilenie letnie jest w połowie tego okresu. Inne procesy rozwoju przyrostu rocznego (lignifikacja, pogrubienie ściany komórkowej) zmieniają cechy cewek, ale nie wpływają na ich wielkość i liczbę. Tradycyjne analizy dendroklimatyczne wykorzystujące dane miesięczne włączają do obliczeń temperatury z czasu przed i po okresie największej intensywności produkcji komórek, tutaj: okres 152-212 dzień roku zamiast 165-196 dzień roku. Może to być jedna z głównych przyczyn różnicy w wysokości uzyskanych wyników korelacji (0,68 dla okresu 165-196 dzień roku i 0,54 dla okresu 152-212 dzień roku).

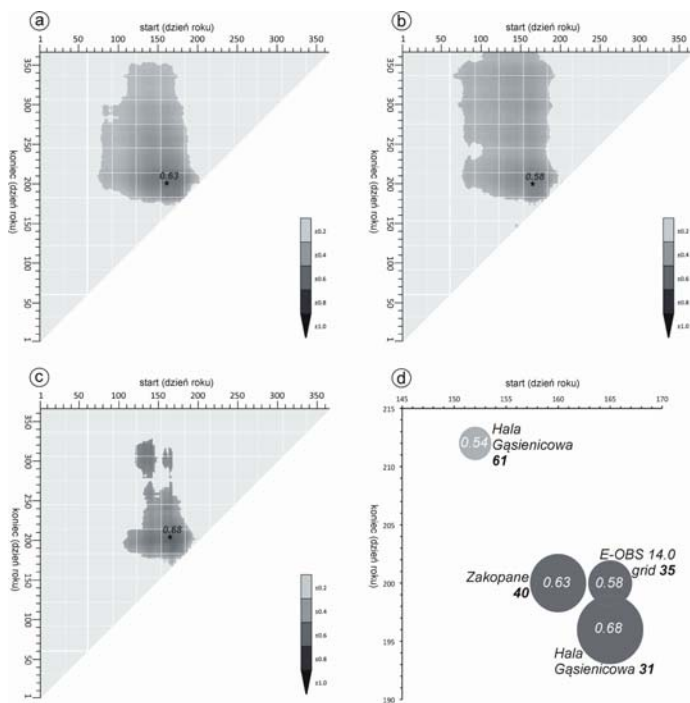
Wnioski

- Obliczone z zastosowaniem danych dziennych okresy lepiej reprezentują cykl wzrostu drzew i ich kalendarz fenologiczny, co znajduje odzwierciedlenie w lepszych wynikach analiz.
- Otrzymane dla chronologii świerka z regla górnego w Tatrach wyniki analiz statystycznych różnią się w zależności od typu wykorzystanych danych klimatycznych. Zastosowanie średniej temperatury z krótszego okresu (14 czerwca – 15 lipca) zaowocowało wyższymi wartościami korelacji ($r = 0,69$) w porównaniu do dwumiesięcznego okresu czerwiec-lipiec ($r = 0,54$).
- Otrzymane wyniki analiz dendroklimatycznych zgadzają się z dotychczasową wiedzą o ksylogenezie, szczególnie o czasie powstawania przyrostu rocznego. Łączenie informacji z tych dwóch dziedzin pomaga lepiej zrozumieć mechanizm rejestrowania temperatury w przyrostach rocznych drzew i interpretować wyniki dendrochronologicznych rekonstrukcji klimatu.



Ryc. 4. Przykład tradycyjnych analiz dendroklimatycznych. Korelacja typu bootstrap między chronologią standardową i miesięcznymi średnimi wartościami temperatury powietrza

Fig. 4. The example of the traditional dendroclimatic analyses. The bootstrap correlation coefficients calculated between standard chronology and monthly intervals of temperature



Ryc. 5. Zestawienie graficznych wyników analiz dendroklimaticznych (korelacja Pearsona bootstrap) dla trzech typów dobowych danych temperatury powietrza: a) stacja meteorologiczna Zakopane (1950-2012), (b) grid E-OBS 14.0 (1950-2012), c) stacja meteorologiczna Hala Gąsienicowa (1927-2012). Na osi x początek (pierwszy dzień), na osi y koniec (ostatni dzień) okresu, dla którego prezentowany jest wynik. (d) porównanie wyników otrzymanych dla dziennych (kolor jasnoszary) i miesięcznych (kolor ciemnoszary) danych temperatury powietrza. Najwyższy wynik otrzymano dla okresu 31-dniowego (165-196 dzień roku)

Fig. 5. The visual outcome of the DendroCorr 3.2 in the mode of the bootstrap correlation coefficient (only statistically significant values shown), calculated for different intervals using daily data from: (a) Zakopane meteorostation (1950-2012), (b) grid E-OBS 14.0 (1950-2012), c) Hala Gąsienicowa meteorostation (1927-2012). The X-axis and Y-axis indicate the beginning and the end of the particular interval, black star designates the interval of the highest correlation. (d) The comparison of the three daily-based (dark grey) and one monthly (light grey) based intervals used to compute growth/climate response shows the meaningful difference between this two kind of climate data. TRW chronology correlates the best with temperature calculated over 31-days interval (165-196 DOY)

Literatura

Beck W. 2011. Impact of drought and heat on tree and stand vitality—results of the study commissioned by the Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection. W: Maaten-Theunissen M, Spiecker H, Gärtner H, Helle G, Heinrich I (red.). TRACE - Tree Rings in Archaeology, Climatology

and Ecology 9: 20-27.

- Beck W., Sanders T. G., Pofahl U. 2013. CLIMTREG: detecting temporal changes in climate-growth reactions—a computer program using intra-annual daily and yearly moving time intervals of variable width. *Dendrochronologia*, 31 (3): 232-241.
- 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 Physiology*, 27 (5): 689-702.
- Büntgen U., Myglan V.S., Ljungqvist F.C., McCormick M., Di Cosmo N., Sigl M., Jungclauss J., Wagner S., Krusic P.J., Esper J., Kaplan J.O., de Vaan M.A.C., Luterbacher J., Wacker L., Tegel W., Kirilyanov A.V. 2016. Cooling and societal change during the Late Antique Little Ice Age from 536 to around 660 AD. *Nature Geoscience*.
- Carrer M., Urbinati C. 2004. Age-dependent tree ring growth responses to climate of *Larix decidua* and *Pinus cembra* in the Italian Alps. *Ecology*, 85 (3): 730-740.
- Castagneri D., Petit G., Carrer M. 2015. Divergent climate response on hydraulic-related xylem anatomical traits of *Picea abies* along a 900-m altitudinal gradient. *Tree Physiology* 35: 1378-1387.
- Cook E.R., Peters K. 1981. The smoothing spline: A new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-Ring Bull.* 41: 45-53.
- Cook E.R. 1985. A time series analysis approach to tree-ring standardization. Ph.D. Thesis, University of Arizona, Tucson.
- Cook E. R., Kairiukstis L. A. (red.). 1990. *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Springer Science & Business Media.
- Deslauriers A., Morin H., Bégyn Y. 2003. Cellular phenology of annual ring formation of *Abies balsamea* in the Québec boreal forest (Canada). *Canadian Journal of Forest Research* 33: 190-200.
- Deslauriers, A., Rossi, S., Anfodillo, T., Saracino, A. 2008. Cambial phenology, wood formation and temperature thresholds in two contrasting years at high altitude in southern Italy. *Tree Physiology*, 28 (6): 863-871.
- Douglas A. E. 1920. Evidence of climatic effects in the annual rings of trees. *Ecology* 1(1): 24-32.
- Düthorn E., Schneider L., Günther B., Gläser S., Esper J. 2016. Ecological and climatological signals in tree-ring width and density chronologies along a latitudinal boreal transect. *Scandinavian Journal of Forest Research*: 1-8.
- Esper J., Krusic P.J., Ljungqvist F.C., Luterbacher J., Carrer M., Cook E., Davi N.K., Hartl-Meier C., Kirilyanov A., Konter I.O., Myglan V., Timonen M., Treydte K., Trouet V., Villalba R., Yang B., Büntgen U. 2016. Ranking of tree-ring based temperature reconstructions of the past millennium. *Quaternary Science Reviews* 145: 134-151.
- Fritts H. C. 1976. *Tree rings and climate*.
- Grießinger J., Bräuning A., Helle G., Hochreuther P., Schleser G. 2016. Late Holocene relative humidity history on the southeastern Tibetan plateau inferred from a tree-ring $\delta^{18}O$ record: Recent decrease and conditions during the last 1500 years. *Quaternary International*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2016.02.011>
- Haylock M. R., Hofstra N., Klein Tank A. M. G., Klok E. J., Jones P. D., New M. 2008. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 113 (D20).
- Holmes R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurements. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- Huber B. 1943. Über die Sicherheit jahrringchronologischer Datierung. *Holz als Roh- und Werkstoff* 6(10): 263-268.
- Hulst A., Janecka K., Kaczka R.J. 2016. DendroCorr the simple and powerful software to calculate the growth/climate response. W: Hevia A., Sánchez-Salguero R., Linares J. C., Olano J. M., Camarero J. J., Gutiérrez E., Helle G., Gärtner H. (red.): *TRACE - Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology* 14: 44-49.
- Kaczka R. J., Spyt B., Janecka K., Niedźwiedz T., Bednarz Z. 2016. Climate reconstruction from tree-rings in the Tatra Mountains. W: Kundzewicz Z., Stoffel M., Niedźwiedz T., Wyżga B. (red.). *Flood Risk*

- in the Upper Vistula Basin. *GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences*. Springer. 209-229.
- Kaczka R. J., Spyt B., Janecka K., Beil I., Büntgen U., Scharnweber T., Nievergelt D., Wilmking M. 2018. Different Maximum Latewood Density and Blue Intensity techniques reveal similar results. *Dendrochronologia* 49: 94-101.
- Jevšenak J., Levanič T. 2018. dendroTools: R package for studying linear and nonlinear responses between tree-rings and daily environmental data. *Dendrochronologia* 48: 32-39.
- Liang W., Heinrich I., Simard S., Helle G., Liñán I. D., Heinken T. 2013. Climate signals derived from cell anatomy of Scots pine in NE Germany. *Tree physiology* 33 (8): 833-844.
- Osborn T.J., Briffa K.R., Jones P.D. 1997. Adjusting variance for sample-size in tree-ring chronologies and other regional-mean time-series. *Dendrochronologia* 15: 89-99.
- Pritzkow C., Heinrich I., Grudd H., Helle G. 2014. Relationship between wood anatomy, tree-ring widths and wood density of *Pinus sylvestris* L. and climate at high latitudes in northern Sweden. *Dendrochronologia*, 32 (4): 295-302.
- Rossi S., Deslauriers A., Anfodillo T., Morin H., Saracino A., Motta R., Borghetti M. 2006. Conifers in cold environments synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length. *New Phytologist* 170: 301-310.
- Rossi S., Deslauriers A., Anfodillo T., Carraro V. 2007. Evidence of threshold temperatures for xylogenesis in conifers at high altitudes. *Oecologia* 152: 1-12.
- Sanders T. G., Pitman R., Broadmeadow M. S. 2014. Species-specific climate response of oaks (*Quercus* spp.) under identical environmental conditions. *Forest-Biogeosciences and Forestry* 7 (2): 61.
- Schulman E. 1953. Tree-ring evidence for climatic changes. W: Shapley H. (red.) *Climatic Change*. Harvard University Press: Cambridge. 209-219.
- Wigley T.M., Briffa K.R., Jones P.D. 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of climate and Applied Meteorology* 23 (2): 201-213.

Ryszard J. Kaczka^{1*}, Karolina Janecka², Barbara Spyt¹, Aleksander Hulist³

¹ Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi

² Uniwersytet w Greifswaldzie, Instytut Botaniki i Ekologii Krajobrazu

³ Uniwersytet Śląski, Instytut Fizyki

* ryszard.kaczka@us.edu.pl