

# Intensywność odbicia światła niebieskiego jako nowy nośnik informacji w badaniach dendrochronologicznych

Ryszard J. Kaczka, Barbara Czajka

**Abstrakt.** Celem badań było porównanie wyników analiz dendroklimatycznych szerokości przyrostów rocznych (TRW) i pomiaru intensywności odbicia niebieskiej składowej światła padającego na powierzchnię drewna (BR). Regionalne chronologie TRW i BR dla świerków pospolitych (*Picea abies* L. Karst) rosnących w Tatrach i na Babiej Górze zestawiono z danymi dotyczącymi temperatury i opadów. Pomiaru TRW i BR dokonano przy użyciu programu CooRecorder 7.6 (Cybis Elektronik & Data AB). Następnie z wykorzystaniem standardowych technik przeprowadzono weryfikację pomiarów (Cofecha) i opracowano chronologie rezydualne (Arstan). Zapis sygnału klimatycznego okazał się silniejszy dla BR niż dla szerokości przyrostów i dotyczy głównie temperatury całego okresu ciepłego (IV–IX) oraz końca lata (VIII). Wpływ opadów zaznacza się słabiej, a relacja ta jest bardziej złożona. Otrzymane wyniki wskazują, że intensywność odbicia światła niebieskiego ma duży potencjał w badaniach dendroklimatycznych i w przyszłości może być wykorzystywana w rekonstrukcjach klimatu.

**Słowa kluczowe:** odbicie światła niebieskiego, gęstość drewna późnego, świerk pospolity, Tatry, Babia Góra.

**Abstract. Blue Reflectance – new proxy in dendrochronology.** The aim of this study was to compare the results of the dendroclimatic analyses based on the chronologies of blue reflectance (BR) and tree-ring width (TRW) of Norway spruce from the Tatra Mountains and Mt. Babia Góra. The cores were scanned and BR and TRW were measured using the CooRecorder 7.6 software (Cybis Elektronik & Data AB). The standard technics of verification (visual cross-dating and Cofecha test) and chronology computing (Arstan) were employed. The BR and TRW residual chronologies for each region were built. Growth response to climate analysis of the BR and TRW chronologies shows respectively rather consistent response to current-year spring-summer (April–August) and end of the summer (August) temperature. The BR chronologies reveal the higher response to temperature than TRW. The influence of precipitation on both BR and TRW chronologies is considerably weaker and less coherent. The presented results lead to the conclusion that the BR has potential as proxy for climate reconstruction.

**Key words:** Blue Reflectance, maximum latewood density, Norway spruce, Tatras, Mt. Babia Góra.

## Wstęp

Przyrosty roczne drzew powszechnie używane są w dendroklimatologii do badań nad przeszłością klimatu (Esper i in. 2002). Pozwalają nie tylko na odtworzenie wahań temperatury, opadów, krążenia powietrza itp. w ciągu ostatnich wieków, ale również na przewidywanie zmian środowiska związanych ze współczesnymi wahaniami klimatu (Briffa i in. 2002). Istnieje kilka źródeł pozyskiwania informacji klimatycznej z rocznych przyrostów drzew. Klasyczna i najstarsza metoda koncentruje się na pomiarze szerokości przyrostów (TRW) i istnieje od początków dendrochronologii (Douglas 1914). Analizy gęstości drewna, szczególnie maksymalnej gęstości drewna późnego (MXD) wykorzystano do badania wpływu klimatu na wzrost drzew w drugiej połowie XX w. (Schweingruber i Briffa 1996; Briffa i in. 1988). Pomimo problemów technicznych związanych z tą metodą, znacznie przyczyniła się ona do rozwoju długich i niezawodnych chronologii oraz rekonstrukcji klimatu na skalę całej półkuli północnej (Mann i in. 2008). Dalszy rozwój dendrochronologii był możliwy dzięki zastosowaniu analizy kompozycji izotopów stabilnych węgla, tlenu, azotu itp. (McCarroll i Loader 2004; Treydte i in. 2007). Środowisko dendrochronologiczne dąży do rozwinięcia metody łączącej zalety TRW (szybkie i tanie wytwarzania danych) i MXD (silny i trwały sygnał klimatyczny). Takie wymagania może spełniać pomiar intensywności odbicia niebieskiego zakresu światła padającego na powierzchnię badanego drewna (Blue Reflectance – BR). Stosując prosty sprzęt komputerowy, stosunkowo szybko uzyskuje się dane porównywalne do wyników pomiarów maksymalnej gęstości drewna późnego (McCarroll i in. 2002; Babst i in. 2009; Björklund i in. 2013).

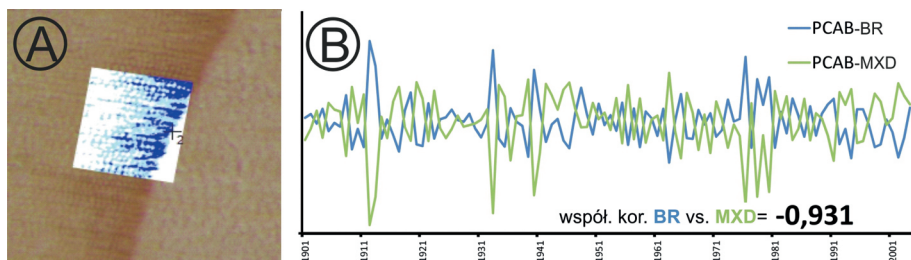
Badania nad zastosowaniem tej metody w polskiej dendrochronologii prowadzono w dwóch obszarach Karpat Zachodnich – w Tatrach i na Babiej Górze. Warunki klimatyczne gór wysokich powodują, że jego zapis w gęstości drewna późnego jest bardzo silny (Zielski i Krąpiec 2004; Büntgen i in. 2007). W obydwu grupach górskich rozległe i chronione obszary regla górnego pozwalają na konstruowanie stosunkowo długich chronologii świerkowych o znacznej replikacji.

Celem badań było określenie zapisu temperatury i opadów atmosferycznych w przyrostach świerków rosnących w ekotonie górnej granicy lasu z wykorzystaniem szerokości słoików oraz intensywności odbicia światła niebieskiego. Zestawienie wyników uzyskanych za pomocą dwóch różnych nośników informacji z dwóch obszarów górskich (Tatr i Babiej Góry) miało na celu porównanie nie tylko charakteru, ale i przestrzennej stabilności sygnału.

## Material i metody

Badania zostały przeprowadzone na siedmiu stanowiskach w polskich Tatrach i siedmiu na Babiej Górze. Miejsca poboru prób były zlokalizowane w górnoreglowych borach świerkowych, w strefie górnej granicy lasu (Tatry 1400–1500 m n.p.m., Babia Góra 1320–1500 m n.p.m.). Wywierty pobrano za pomocą świdra przyrostowego Presslera. Łącznie analizie poddano ponad 200 drzew z Tatr (chronologie zbudowane są z 212 prób dla TRW i 153 dla BR) i ponad 400 z Babiej Góry (400 dla TRW i 281 dla BR). Różnice w ilości prób wynikają z odmiennych wymagań metodycznych dotyczących pomiaru. Wszystkie rdzenie zostały poddane standardowej preparacji służącej otrzymaniu płaskiej powierzchni pomiarowej z dobrze widocznym drewnem wczesnym i późnym oraz granicami między przyrostami. Próby zostały zeskanowane w rozdzielczości 2400 DPI z zastosowaniem skanera optycznego o odpowiedniej kalibracji optycznej.

Pomiar obydwu parametrów został wykonany z wykorzystaniem programu Coorecorder. Pomiar odbicia światła niebieskiego wymagał wyselekcjonowania prób, w których nie występowało drewno reakcyjne oraz jakiegokolwiek zmiany barwy (działalność grzybów, uszkodzenia itp.). Wykorzystano standardową w programie Coorecorder opcję ustawień pola pomiarowego odbicia niebieskiego spektrum światła (ryc. 1a). Wyniki pomiaru odbicia światła niebieskiego są podobne do wartości pomiarów maksymalnej gęstości drewna późnego (ryc. 1b). Pomiar MXD zostały wykonane zgodnie z procedurami WSL na potrzeby analiz dendroklimatycznych Tatr zaprezentowanych w publikacji Büntgen i in. (2007). Obydwa parametry charakteryzują się wysokim podobieństwem, ale są do siebie odwrotnie proporcjonalne ( $r = -0,93$ ). Wykorzystanie BR do standardowych analiz dendroklimatycznych wymaga sprowadzenia ich do wartości bezwzględnych.



**Ryc. 1.** Metoda pomiaru odbicia światła niebieskiego: (A) pomiar odbicia światła niebieskiego w programie Coorecorder firmy Cybis; (B) porównanie chronologii odbicia światła niebieskiego (BR) z chronologią maksymalnej gęstości drewna późnego (MXD)

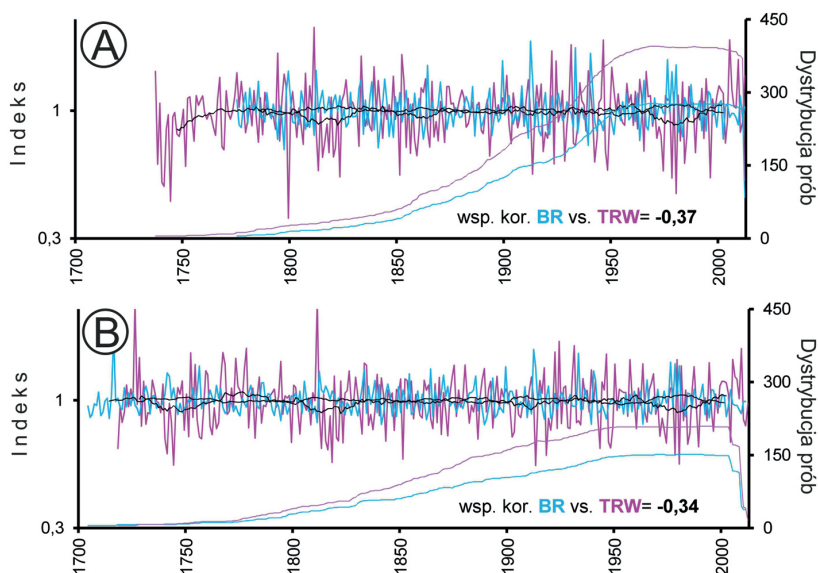
*Fig. 1. Method of Blue Reflectance (BR) measuring: (A) measurements of Blue Reflectance using Coorecorder software, (B) comparison of Blue Reflectance (and Maximum latewood density (MXD) chronologies*

Jakość pomiarów i zbieżność przebiegu pojedynczych dendrogramów zostały sprawdzone wizualnie (program CDendro firmy Cybis Elektronik & Data AB) oraz statystycznie (program Cofecha; Grissino-Mayer 2001). Serie pomiarowe spełniające te warunki zostały wykorzystane do opracowania chronologii regionalnych. Do tego celu użyto program Arstan (Cook i Holmes 1986), wykorzystując indeksację za pomocą algorytmu Reinscha dla wartości parametru  $s = 100$  (Cook 1987). Analizy dendroklimatyczne przeprowadzono z użyciem współczynnika korelacji Pearsona. Określono w ten sposób wpływ średniej miesięcznej temperatury powietrza oraz miesięcznej sumy opadów na badane cechy ksylemu. Dane klimatyczne zostały pozyskane z gridowej bazy danych klimatycznych CRU TS 3.1 (Harris i in. 2013).

## Wyniki i dyskusja

Opracowano cztery chronologie regionalne (ryc. 2). Charakteryzują się one dużą replikacją prób, a w warunkach karpaccich również znaczną długością. Wszystkie spełniają wymagania odpowiedniej wielkości parametrów statystycznych, takich jak EPS czy Rbar. Najdłuższa ze skonstruowanych jest chronologia intensywności odbicia światła niebieskiego (BR) dla Tatr, która obejmuje okres od 1704 do 2011 i została zbudowana w oparciu o 153 próby. Chronologia

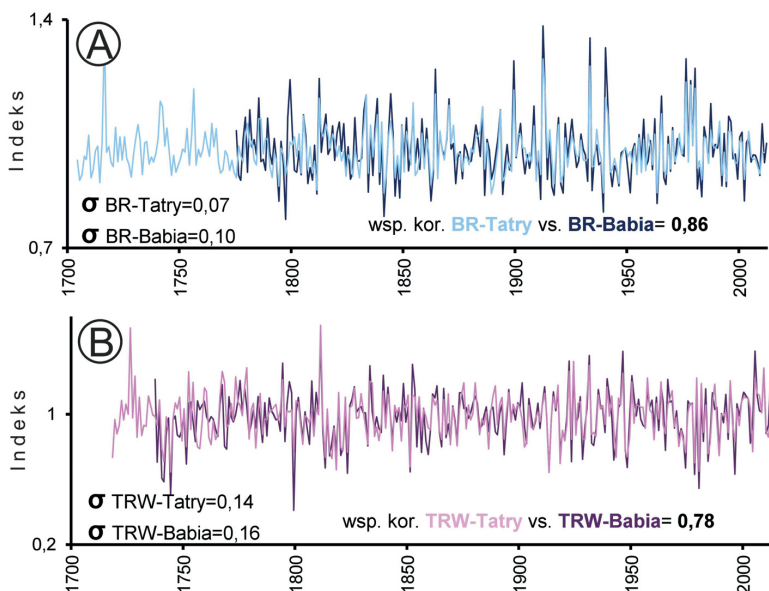
BR z Babiej Góry jest najkrótsza i obejmuje okres 1775–2012. Chronologie szerokości przyrostów mieszczą się między tymi skrajnymi wartościami (TRW Tatry od 1718; TRW Babia Góra od 1737 roku). Chronologie dla Babiej Góry charakteryzują się wyższą replikacją prób (281 dla BR i 400 dla TRW). W obydwu przypadkach zgodność przebiegu chronologii opracowanych dla różnych nośników informacji dendrochronologicznej jest niewielka. Dla Tatr wynosi ona -0,37, a dla Babiej Góry -0,34. Obie wartości są istotne statystycznie na poziomie  $p = 0,01$ , ale wyraźnie wskazują, że mierzone parametry zależą od innych czynników.



**Ryc. 2.** Chronologie rezydualne BR (niebieski) oraz TRW (fioletowy) świerków z Babiej Góry (A) oraz Tatr (B) wraz z wielkość próby (prawa oś X) oraz 21-letnimi średnimi ruchomymi (czarny)  
*Fig. 2. Residual chronologies BR (blue line) and TRW (violet line) spruces from Mt. Babia Góra (A) and the Tatras (B) with samples distribution (right axe X) and 21years moving average (black line)*

Wartość współczynnika korelacji, podobnie jak obraz przebiegu chronologii, wyraźnie wskazują na duże podobieństwo pomiędzy Tatrami i Babią Górą (ryc. 3). Jest ono wyższe dla chronologii odbicia światła niebieskiego (0,86) niż dla chronologii szerokości przyrostów (0,78). Obydwie chronologie BR wykazują również podobieństwo pod względem niskiego, w porównaniu do TRW zakresu zmienności wartości indeksów (odchylenie standardowe  $< 0,10$ ).

Wyniki przeprowadzonych analiz dendroklimatycznych przedstawia odmienny obraz zapisu temperatury i opadów w szerokościach słoików i intensywności odbicia światła niebieskiego (ryc. 4). Dla obu parametrów korelacja z temperaturą z różnych okresów jest wysoka, co świadczy o silnym sygnale stwarzającym potencjał do analiz paleoklimatycznych. Odbicie światła niebieskiego wykazuje najwyższe wartości współczynnika korelacji z temperaturą zarówno dla Tatr, jak i dla Babiej Góry. W obydwu przypadkach została stwierdzona dodatnia i istotna statystycznie ( $p = 0,01$ ) korelacja ze średnią temperaturą wszystkich miesięcy okresu ciepłego



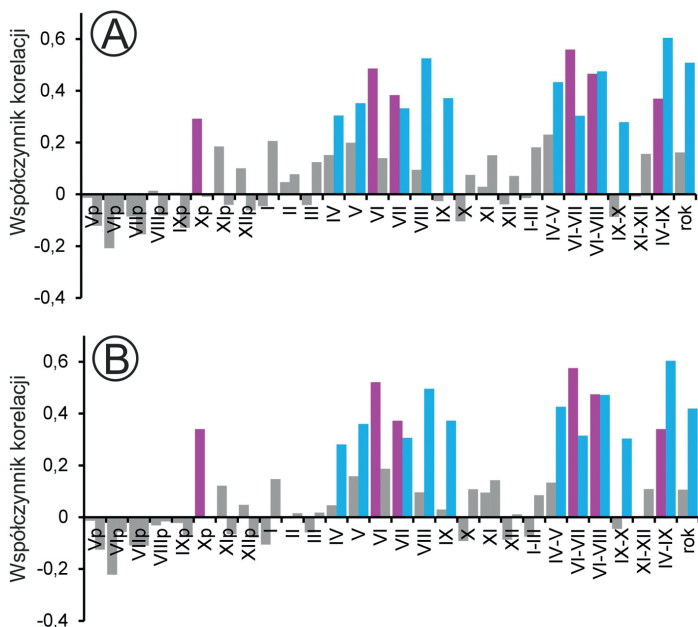
**Ryc. 3.** Porównanie przebiegu chronologii BR (A) oraz TRW (B) z Tatr i Babiej Góry. Reprezentacja kolorów jak na rycinie 1

*Fig. 3. Comparing chronologies of BR (A) and TRW (B) between study regions. Color representation like on figure 1*

z wyjątkiem czerwca. Współczynnik korelacji przyjmuje najwyższą wartość dla sierpnia (0,50 dla Tatr i 0,53 dla Babiej Góry). Jest to zgodne z czasem, gdy w środowisku górskim rozpoczyna się lignifikacja ścian komórkowych drewna późnego (Gindl i in. 2000, Rossi i in. 2006). Istotny jest również brak korelacji z warunkami termicznymi poprzedniego roku. Analizy dotyczące dłuższych okresów wykazują, że BR najlepiej koreluje ze średnią temperaturą sezonu od kwietnia do września (0,60 dla Tatr i Babiej Góry).

Chronologie rezydualne szerokości przyrostów korelują ze średnią temperaturą powietrza w nieco odmienny sposób. Spośród wartości istotnych statystycznie ( $p = 0,01$ ) zaznacza się znacznie mniej okresów (sześć dla TRW w porównaniu z jedenastoma dla BR), a korelacja jest niższa. Szerokości przyrostów świerków zarówno na Babiej Górze, jak i w Tatrach wykazują pozytywną zależność od temperatury w październiku poprzedniego roku. Najwyższe jednak i zawsze dodatnie współczynniki korelacji osiągnęte są dla okresu najcieplejszego. W przypadku miesiąca jest to czerwiec (0,52 dla Tatr i 0,59 dla Babiej Góry) i z nieco niższymi wartościami lipiec oraz średnia okresu czerwiec–lipiec (0,58 dla Tatr i 0,56 dla Babiej Góry). Podobnie jak dla BR zaznacza się wpływ ciepła w okresie kwiecień–wrzesień, jednak związek ten jest wyraźnie słabszy. Do najwyraźniejszych różnic należą odmiennie wyniki korelacji badanych parametrów z temperaturą czerwca. BR nie wykazuje z termiką tego miesiąca istotnego statystycznie związku, natomiast w przypadku TRW związek ten jest najsilniejszy. Jest to okres, kiedy w środowiskach o chłodnym klimacie powstaje największa część przyrostu, a wynik ten potwierdza, że warunki termiczne silnie kontrolują tę część procesu ksylogeny (Rossi i in.

2007, 2008). Pomimo różnic dotyczących wartości poszczególnych korelacji warto podkreślić, że obydwa parametry wyraźnie wskazują na to, że pełne wytworzenie przyrostu zarówno pod względem szerokości, jak i struktury, wymaga odpowiedniej ilości ciepła w okresie od kwietnia do września. Zgodność taka nie dotyczy wpływu opadów na wzrost badanych drzew (ryc. 5). Sygnał dendroklimatyczny jest w tym przypadku słabszy i bardziej zróżnicowany. Chronologie szerokości przyrostów z obydwu miejsc najlepiej korelują (0,38 dla Tatr i 0,33 dla Babiej Góry) z ilością opadów z okresu końca zimy (średnia styczeń–marzec). W przypadku średnich miesięcznych dla Babiej Góry jest to jedynie marzec, natomiast dla Tatr – styczeń i marzec. Dodatkowo chronologie z Tatr wykazują negatywny wpływ opadów w czerwcu i w okresie lata (czerwiec–lipiec, czerwiec–sierpień). Wyniki analiz korelacji chronologii BR z opadami wykazują większe od uzyskanych dla TRW podobieństwo między badanymi regionami, jednak wartości większości współczynników są niższe. W obydwu przypadkach istnieje pozytywna korelacja z ilością opadów w lipcu poprzedniego roku. Pozostałe korelacje są negatywne i dotyczą okresu wiosennego, kiedy rozpoczyna się wzrost drzewa (maj oraz kwiecień–maj), całego okresu ciepłego (kwiecień–wrzesień) oraz średniej rocznej opadów. Najsilniejszy związek intensywności odbicia światła niebieskiego z opadami dotyczy okresu kwiecień–wrzesień (0,38 dla Tatr i 0,34 dla Babiej Góry).



**Ryc. 4.** Wrażliwość świerków na temperaturę z okresu 1901–2009 wyrażona wartościami współczynnika korelacji Pearsona dla Babiej Góry (A) i Tatr (B). Kolorowe kolumny reprezentują wartości istotne statystycznie na poziomie 0,01. Reprezentacja kolorów jak na rycinie 1

*Fig. 4.* The temperature from period 1901–2009 influence on growth of trees (Pearson coefficient correlation) for Mt. Babia Gora (A) and the Tatras (B). Colored bars represents values statistical significance = 0.01. Color representation like on figure 1



## Literatura

- Babst F., Frank D., Büntgen U., Nievergelt D., Esper J. 2009. Effect of sample preparation and scanning resolution on the Blue Reflectance of *Picea abies*. W: Kaczka R., Malik I., Owczarek P., Gärtner H., Helle G., Heinrich I. (red.): TRACE – Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology, Potsdam 7: 188–195.
- Björklund J.A., Gunnarson B.E., Seftigen K., Esper J., Linderholm H. W. 2013. Is blue intensity ready to replace maximum latewood density as a strong temperature proxy? A tree-ring case study on Scots pine from northern Sweden. *Climat of the Past Discussions*, 9: 5227–5261.
- Briffa K.R., Jones P.D., Pilcher J.R., Hughes M.K. 1988. Reconstructing Summer Temperatures in Northern Fennoscandia Back to A.D. 1700 Using Tree-Ring Data from Scots Pine. *Arc. and Alp. Res.* 20 (4): 385–394.
- Briffa K.R., Osborn T.J., Schweingruber F.H., Jones P.D., Shiyatov S.G., Vaganov E.A. 2002. Tree-ring width and density data around the Northern Hemisphere: Part 1, local and regional climate signals. *The Holocene*, 12 (6): 737–757.
- Büntgen U., Frank D.C., Kaczka R.J., Verstege A., Zwijacz-Kozica T., Esper J. 2007. Growth/climate response of a multi-species tree-ring network in the Western Carpathian Tatra Mountains, Poland and Slovakia. *Tree Physiology*, 27: 689–702.
- Cook E.R., Holmes R.L. 1986. User's manual for computer program ARSTAN. In: *Tree ring chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin*.
- Cook E.R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. *Tree-Ring Bulletin*, 47: 37–59.
- Douglass A.E. 1914. *A Method of Estimating Rainfall by the Growth of Trees*. W: Huntington E. (red.). *The Climatic Factor*. Carnegie Institution of Washington Publication 192, Washington, DC, USA.
- Esper J., Cook E.R., Schweingruber F.H. 2002. Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. *Science* 295 (5563): 2250–2253.
- Gindl W., Grabner M., Wimmer R. 2000. The influence of temperature on latewood lignin content in treeline Norway spruce compared with maximum density and ring width. *Trees*, 14: 409–414.
- Grissino-Mayer H.D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Res.* 57: 205–221.
- Harris I., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H. 2013. Updated high - resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3. 10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34: 623–642.
- Mann M.E., Zhang Z., Hughes M.K., Bradley R.S., Miller S.K., Rutherford S., Ni F. 2008. Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (36): 13252–13257.
- Mccarroll D., Pettigrew E., Luckman A., Guibal F., Edouard J.L. 2002. Blue Reflectance provides a surrogate for latewood density of high-latitude Pine tree rings. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 34 (4): 450–453.



- McCarroll D., Loader N.J. 2004. Stable isotopes in tree rings. *Quaternary Science Reviews*, 23 (7): 771–801.
- Rossi S., Deslauriers A., Anfodillo T., Morin H., Saracino A., Mottaand 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., Grişar J., Seo J-W., Rathgeber C., Anfodillo T., Morin H., Levanic T., Ovens P., Jalkanen R. 2008. Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates *Global Ecology and Biogeography*, 17: 696–707.
- Rossi S., Deslauriers A., Anfodillo T., Carraro V. 2007. Evidence of threshold temperatures for xylogenesis in conifers at high altitudes. *Oecologia*, 152: 1–12.
- Schweingruber F.H., Briffa K.R. 1996. Tree-Ring Density Networks for Climate Reconstruction. W: Jones P.D., Bradley R.S., Jouzel J. (red.). *Climatic Variations and Forcing Mechanisms of the Last 2000 Years* 41: 43–66.
- Treydte K., Frank D., Esper J., Andreu L., Bednarz Z., Berninger F., Boettger T., D'Alessandro C.M., Etien N., Filot M., Grabner M., Guillemin M.T., Gutierrez E., Haupt M., Helle G., Hiltavuori E., Jungner H., Kalela-Brundin M., Krapiec M., Leuenberger M., Loader N.J., Masson-Delmotte V., Pazdur A., Pawelczyk S., Pierre M., Planells O., Pukiene R., Reynolds-Henne C.E., Rinne K. T., Saracino A., Saurer M., Sonninen E., Stievenard M., Switsur V.R., Szczepanek M., Szychowska-Krapiec E., Todaro L., Waterhouse J.S., Weigl M., Schleser G.H. 2007. Signal strength and climate calibration of a European tree-ring isotope network. *Geophysical Research Letters* 34 (24).
- Zielski A., Krapiec M. 2004. *Dendrochronologia*. Warszawa, PWN.

**Ryszard J. Kaczka, Barbara Czajka**

Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi  
ryszard.kaczka@us.edu.pl  
barczajka@wp.pl