

Zróźnicowanie struktury i zmienność występowania białych przyrostów z roku 1912 w świerkach rosnących w Karpatach Zachodnich

Patrycja Barnaś, Ryszard J. Kaczka

Abstrakt. W środowisku górskim klimat, szczególnie temperatura powietrza, ma znaczący wpływ na aktywność kambium oraz tworzenie się drewna wtórnego. Wystąpienie przypadków niskiej temperatury powietrza w sezonie wegetacyjnym stwarza niekorzystne warunki do wzrostu drzew, co między innymi może oddziaływać na formowanie się komórek drewna późnego i zachodzący w ścianach komórkowych proces lignifikacji. Erupcje wulkaniczne oraz towarzyszące im emisje gazów i pyłów do atmosfery, oddziałując na klimat, przyczyniają się do formowania anatomicznych anomalii drewna wtórnego. Przykładem takiego zdarzenia jest erupcja wulkanu Katmai na Alasce (6 czerwca 1912 roku), która zapisała się w postaci białych przyrostów w świerkach rosnących w reglu górnym, w Karpatach Zachodnich. Za wytworzenie na badanym obszarze białych przyrostów, odpowiedzialna była występująca pod koniec okresu wegetacyjnego temperatura powietrza, niższa od średniej z wielolecia. Pojawiające się w przyrostach z 1912 roku anomalie gęstości drewna późnego, obecne są na każdym ze stanowisk w ponad 62% analizowanych próbach.

Słowa kluczowe: Karpaty Zachodnie, świerk pospolity, anomalie drewna wtórnego, blade przyrosty, erupcja wulkanu Katmai

Abstract. Structure and variability of occurrence of pale rings from 1912 in Norway spruce growing in the Western Carpathians. In the mountain environment climate, especially air temperature, significantly influences cambium activity and wood formation. Sudden drop of air temperature in the vegetation season creates harsh conditions for tree growth that can affect the formation of latewood cells and lignin deposition in the cell walls. Volcanic eruptions inject into the atmosphere large amounts of gases and dust, therefore have an impact on climate and cause the occurrence of anatomical anomalies in the latewood. The Katmai Volcano eruption in Alaska, which took place on June 6th, 1912 is an example of such event. This eruption left a mark in a form of pale rings in Norway spruces growing at the timberline in the Western Carpathians. Temperature at the end of the vegetation season of 1912 was lower than the average for 1901-2014 period, thus it is considered to be the factor responsible for the formation of pale rings in spruces from the Tatras. The observed anomaly from 1912 was noted in all studied sites in over 62% analysed samples.

Key words: Western Carpathians, Norway spruce, latewood anatomical anomalies, pale rings, Katmai Volcano eruption

Wstęp

Jednym z głównych, wykorzystywanych w dendrochronologii, sposobów określania cech przyrostów rocznych drewna wtórnego jest analiza cech komórek, z których zbudowany jest stój. Badania te mogą mieć charakter jakościowy lub ilościowy. W tych pierwszych określa się cechy komórek drewna na podstawie ich cech wizualnych, obserwując próby pod odpowiednim powiększeniem. Drugi typ badań opiera się na pomiarze różnych parametrów, np. grubości ścian komórkowych, wielkości naczyń czy liczby komórek. Przewagą podejścia ilościowego jest większa obiektywność oraz większa przydatność wyników analiz statystycznych, natomiast w przypadku podejścia jakościowego przewagą jest prostota oraz mniejsza czasochłonność. Dotyczy to głównie badania cech anatomicznych łatwych do zidentyfikowania oraz wyraźnie odbiegających od normy. W tym przypadku mówimy o anomaliach anatomicznych, które są możliwe do rozpoznania podczas wizualnej inspekcji odpowiednio spreparowanych prób drewna i przy zastosowaniu prostych kluczy identyfikacyjnych. Odnosi się to do takich anomalii jak drewno reakcyjne (kompresyjne i tensyjne) oraz przyrosty blade, mrozowe czy pozorne. Niektóre z nich zostały sklasyfikowane przez Campelo i in. (2013). Systematyka ta nie obejmuje bladych przyrostów, których nazwa nawiązuje do występowania barwy drewna późnego – wyraźnie jaśniejszej niż standardowa. Powstawanie przyrostów bladych jest związane z występowaniem niekorzystnych warunków pogodowych, trwających w czasie okresu wegetacyjnego (Wimmer 2002, Janecka i Kaczka 2014). Nagły spadek temperatury powietrza w okresie wegetacyjnym negatywnie wpływa na zachodzący w drzewach proces ksylogenezy, związany z tworzeniem się drewna późnego (Gindl i Grabner 2000, Tardiff i in. 2011, Biczek i Kaczka 2014). Szczególnie wrażliwe na zmiany klimatu są drzewa, które rosną w trudnym i wymagającym środowisku, występującym na dużych wysokościach (Zielski i Krapięć 2009). Gwałtowne zmiany pogodowe mogą być spowodowane np. silnymi wybuchami wulkanicznymi, które emitują do dolnej stratosfery duże ilości tlenków siarki i pyłów (Oman i in. 2005). Zawarty w atmosferze dwutlenek siarki z czasem przeobraża się w aerozole, bardzo wyraźnie redukujące ilość docierającego do powierzchni Ziemi promieniowania słonecznego, które oddziałuje na klimat (Robock 2000, Oman i in. 2005). Blokowana przez erupcje wulkaniczne energia słoneczna przyczynia się do obniżenia rocznej temperatury powietrza w skali globalnej nawet o około 3°C, jak to miało miejsce po erupcji Tambory w 1815 roku (Rampino i in. 1979).

Przykładem zdarzenia mającego znaczący wpływ na klimat jest erupcja wulkanu Katmai na Alasce, która wraz z trwającym w tym samym czasie wybuchem wulkanu Novarupta, uważana jest za największą na świecie erupcję XX wieku (Hildreth i Fierstein 2012a, b). Ten posiadający około 10 kilometrów średnicy stratowulkan, położony jest w połowie długiego centrum rozciągającego się na 95 km, czwartorzędowego łańcucha wulkanicznego, znajdującego się w obrębie Gór Aleuckich na Półwyspie Alaska, na terenie należącym do Parku Narodowego Katmai (Miller i in. 1998, Hildreth i Fierstein 2012a). Ocenia się, że erupcja w 1912 roku wprowadziła do stratosfery około 5 Mt siarki, z czego większość dotarła w okolice 30°N (Oman i in. 2005). W efekcie lokalna temperatura powietrza już we wrześniu 1912 roku spadła o 0,93°C. Oziębienie dla całej półkuli północnej jest szacowane w okresie 1912-1913 na 0,16°C (Hildreth i Fierstein 2012b).

Anomalie drewna wtórnego w postaci bladych przyrostów wyróżniają się występowaniem w drewnie późnym szeregu komórek posiadających ściany komórkowe o mniejszej grubości (Gindl i Grabner 2000). Niska gęstość drewna późnego jest rezultatem niewystarczającego wzbogacenia ścian komórkowych w celulozę i ligninę, co wpływa w sposób negatywny na tworzenie się komórek. W efekcie przyrosty, w których w drewnie późnym występują charakterystyczne dla bladego przyrostu struktury komórek, są wyraźnie jaśniejsze (Wimmer 2002). Wyraźne występowanie bladych przyrostów w 1912 (w przypadku świerków) lub 1913 (w przypadku limb) zostało stwierdzone w Tatrach (Kaczka i in. 2012, Biczek i Kaczka 2014,

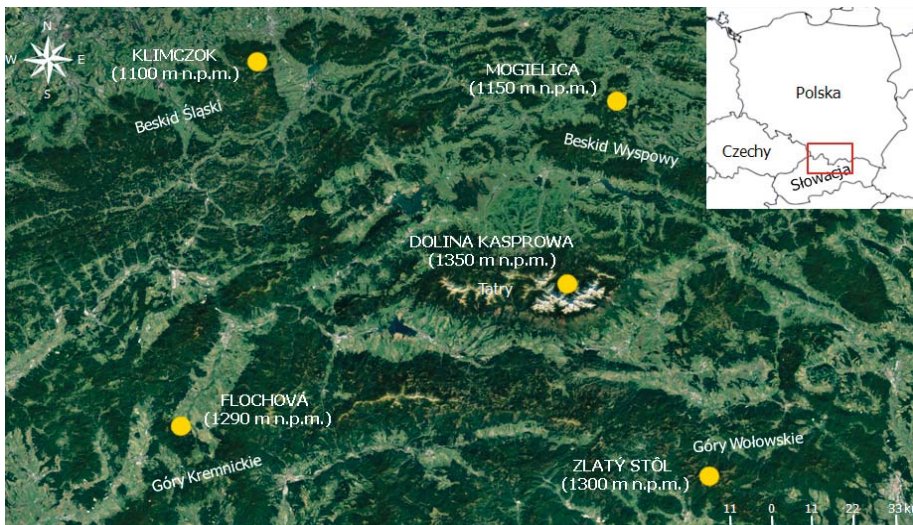
Janecka i Kaczka 2014). Jednak badania tego typu nigdy nie zostały przeprowadzone poza dwoma najwyższymi w Karpatach Zachodnich masywami górskimi (Biczuk i in. 2014).

Celem badania było określenie a) jaka część badanych drzew zarejestrowała w postaci bładych przyrostów ochłodzenie 1912 roku, b) czy anomalie w badanych drzewach na wszystkich stanowiskach wystąpiły w tej samej liczbie oraz c) czy zidentyfikowane blade przyrosty różnią się między sobą cechami fizycznymi.

Obszar badań

Badania przeprowadzono w Karpatach Zachodnich, będących częścią wyraźnie zaznaczającego się łuku górskiego, położonego w centrum Europy (Kondracki 1978). Cechą charakterystyczną Karpat Zachodnich jest pasowy układ rzeźby oraz budowy geologicznej. Obszar ten składa się z trzech podprowincji, do których należą: Zewnętrzne Karpaty Zachodnie, Centralne Karpaty Zachodnie oraz Wewnętrzne Karpaty Zachodnie (Kondracki 1978).

Materiał badawczy zebrano na pięciu stanowiskach zlokalizowanych na terenie Polski i Słowacji (ryc. 1): 1) Klimczok, położony w mezoregionie Beskidu Śląskiego, 2) Dolina Kasprowa, należąca do mezoregionu Tatr Zachodnie, 3) Mogielica, znajdująca się w mezoregionie Beskidu Wyspowego, 4) Flochová, leżąca w mezoregionie Gór Krzemnickich oraz 5) Złoty Stół, usytuowany w mezoregionie Gór Wołowskich (Kondracki 1978). Stanowiska te znajdowały się na wysokości od 1100 do 1350 m n.p.m.



Ryc. 1. Lokalizacja stanowisk badawczych w Karpatach Zachodnich
Fig. 1. Location of the sampling sites in the Western Carpathians

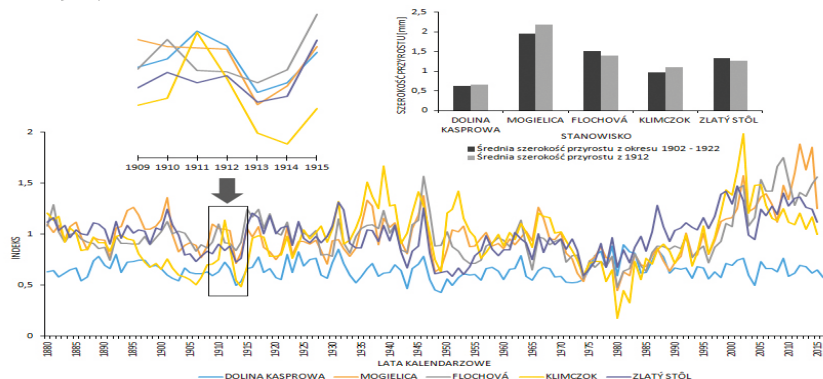
Material i metody

W badaniach wykorzystano próby pobrane i przygotowane z zastosowaniem standardowych technik dendrochronologicznych w strategii EKO (Zielski i Krapiec 2009). Szczególną uwagę zwrócono na odpowiednie przygotowanie (wyszlifowanie) powierzchni drewna, tak

żeby możliwa była nie tylko identyfikacja granic przyrostów, ale również łatwa obserwacja komórek drewna. Próby zostały wydatowane wizualnie w programie CDendro 7.6 (www.cybis.se) i statystycznie w programie Cofecha (Holmes 1983), używając metody datowania pomostowego. Z każdego stanowiska wyselekcjonowano próby, które spełniały następujące wymagania: a) brak śladów próchnicy lub innych zmian barwy drewna, b) brak występowania drewna kompresyjnego oraz c) wiek minimum 115 lat. W każdej z 207 prób zidentyfikowano przyrost z roku 1912. Przeprowadzono wizualną inspekcję drewna późnego w obrębie słoja przyrostu rocznego z tego roku, porównując go z przynajmniej 5 przyrostami z lat poprzednich i następnych. Analizy przeprowadzono wykorzystując binokular stereoskopowy z powiększeniem do 40 razy, co w przypadku obserwacji cewek drewna wtórnego świerków okazało się w pełni wystarczające. Błędne przyrosty rozpoznano wykorzystując nie tylko jaśniejsze odcienie drewna późnego, ale również cechy anatomiczne komórek. Wyróżniają się one wyraźnie mniejszą grubością ścian komórkowych przy zachowaniu typowych dla drewna późnego rozmiarów i kształtu. W efekcie mamy do czynienia z komórkami, których grubość radialnych ścian komórkowych może być zredukowana nawet o 1/3, a powierzchnia ścian komórkowych o połowę (Gindl i Grabner 2000). Do analiz warunków pogodowych w 1912 roku wykorzystano dane dotyczące temperatury pochodzące z gridowej bazy danych klimatycznych CRU TS 3.1 (Harris i in. 2014).

Wyniki i dyskusja

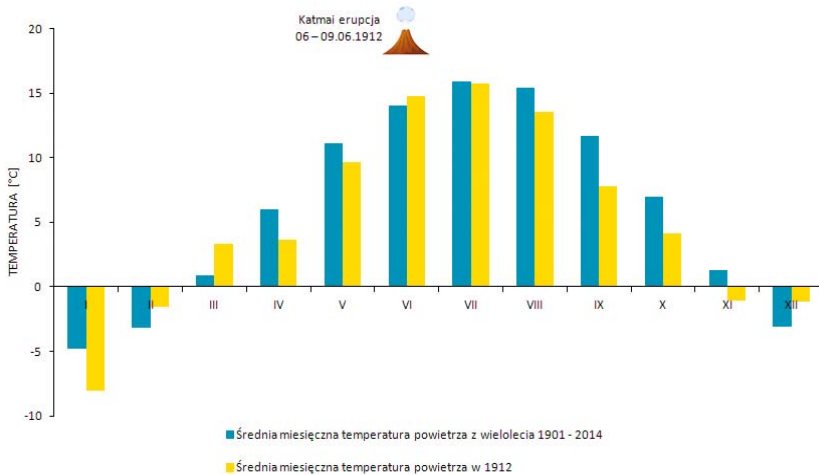
Zestawianie pięciu standardowych chronologii szerokości przyrostów wskazuje na umiarkowany wpływ erupcji wulkanu z czerwca 1912 roku na przyrost promieniowy badanych drzew (ryc. 2). Możliwym śladem jest redukcja szerokości przyrostów w latach 1913 i 1914. Analiza chronologii standardowych wskazuje, że na każdym ze stanowisk badawczych, wytworzone w 1912 roku przyrosty nie odbiegają od wartości średnich z lat 1880-2015. Przyrost ten jest węższy niż z roku 1911 (od 0,07 do 0,27), natomiast szerszy od przyrostu z roku 1913. Różnica ta wynosi od 0,03 (Flochová) do 0,33 (Mogielica). W roku 1914 powstały podobnie wąskie przyrosty i dopiero w 1915 drzewa wykształciły słoje o szerokościach zbliżonych do tych z lat 1911 i 1912.



Ryc. 2. Chronologie standardowe świerków pochodzących z analizowanych stanowisk w Karpatach Zachodnich oraz średnie szerokości przyrostów w 1912 roku oraz z wielolecia 1902 – 1922

Fig. 2. Standard chronologies of Norway spruce from analysed sites in Western Carpathians and comparison between width of tree ring in 1912 and average from the years 1902 – 1922

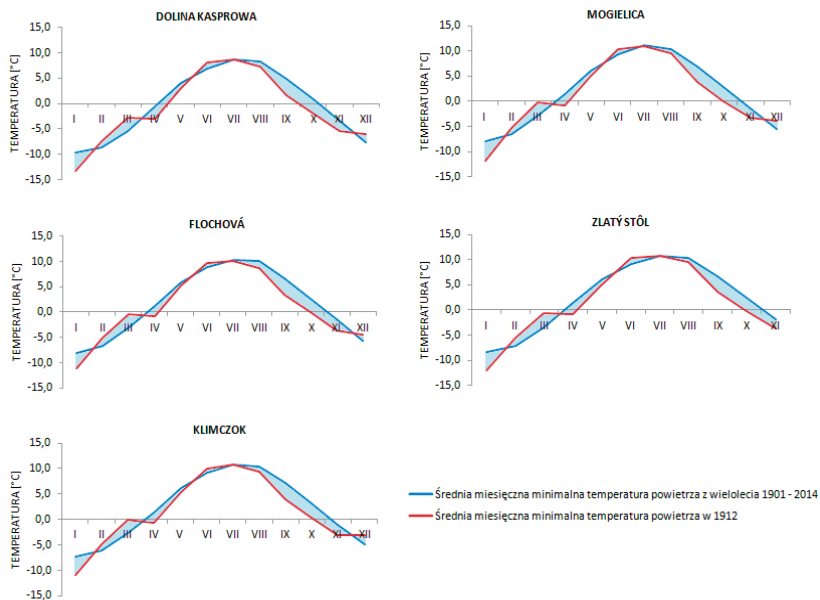
Brak wyraźnej, zapisanej w szerokościach przyrostów rocznych, reakcji drzew na ochłodzenie po erupcji Katmai jest związane z czasem, kiedy erupcja miała miejsce. Na początku czerwca do atmosfery dostały się duże ilości pyłów i tlenków siarki i ich propagacja w atmosferze, w sposób przynoszący globalny skutek, musiała zająć kilka – kilkanaście tygodni. W tym czasie większa część przyrostu świerków rosnących w reglu górnym była już wyprodukowana (Kaczka i in. 2017) i ochłodzenie mające miejsce w okresie późnego lata i jesieni nie miało wpływu na szerokości przyrostów.



Ryc. 3. Średnia miesięczna temperatura powietrza w 1912 roku oraz średnia miesięczna temperatura powietrza z wielolecia 1901 – 2014 w Karpatach Zachodnich

Fig. 3. Average monthly air temperature in 1912 (yellow) and average monthly air temperature for the 1901 – 2014 period (blue) in the Western Carpathians

Dane klimatyczne dotyczące zmian temperatury powietrza w Karpatach Zachodnich w 1912 roku wyraźnie wskazują, w odniesieniu do wielolecia 1901-2014, na ochłodzenie w okresie od lipca do września (ryc. 3). Ochłodzenie nie przebiegało identycznie na wszystkich stanowiskach (ryc. 4). Największy spadek minimalnej temperatury powietrza wystąpił na stanowiskach zlokalizowanych w południowo-zachodniej (Flochová), północno-zachodniej (Klimczok) oraz południowo - wschodniej (Zlatý Stól) części Karpat Zachodnich. Najmniejszy natomiast spadek średniej miesięcznej minimalnej temperatury powietrza z okresu VII-IX w 1912 roku w odniesieniu do wartości z wielolecia 1901-2014 pojawił się na stanowiskach Mogielica i Dolina Kasprova, położonych w północno-wschodniej i środkowej części Karpat Zachodnich. Na każdym ze stanowisk, największe różnice między średnią miesięczną temperaturą powietrza z roku 1912 a średnią wieloletnią występują we wrześniu (od 3,1 do 3,2), natomiast najmniejsze – w lipcu (od 0,0 do 0,3).



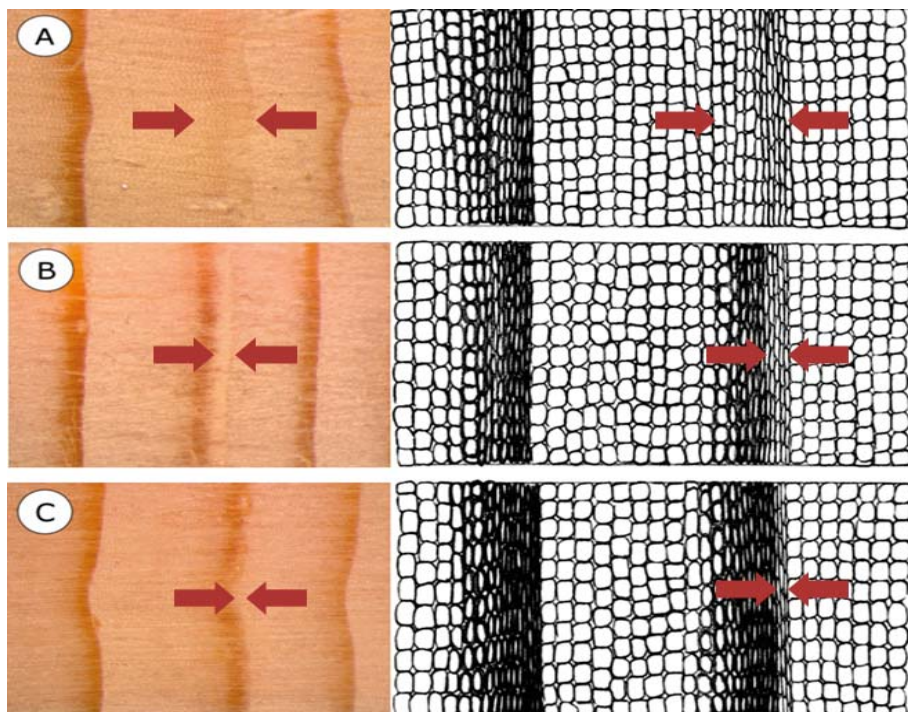
Ryc. 4. Średnie miesięczne minimalne temperatury powietrza w 1912 roku oraz w wieloletniu 1901 – 2014 na poszczególnych stanowiskach

Fig. 4. Average monthly minimal air temperatures in 1912 (red) and average monthly minimal air temperatures for the 1901 – 2014 period (blue) at different study sites

Efektom ochłodzenia, które objęło najsilniej późne lato i jesień, było zaburzenie procesu lignifikacji ścian komórkowych drewna późnego i wystąpienie na wszystkich badanych stanowiskach anomalii anatomicznych w postaci białych przyrostów. Zidentyfikowano je w 156 próbach z 207 (tab. 1). Na każdym ze stanowisk badawczych, występujące anomalie drewna późnego występują w ponad 62% analizowanych prób. Białe przyrosty najczęściej pojawiły się w drewnie świerków rosnących w południowo-zachodniej (90% analizowanych prób) i północno-wschodniej (81% analizowanych prób) części Karpat Zachodnich, natomiast najrzadziej w środkowej (62% analizowanych prób).

Tab. 1. Liczba przebadanych prób oraz procent drzew, w których w roku 1912 zidentyfikowano błędy przyrost
Table 1. The number of analysed samples and percentage of the total occurrence of pale rings in 1912 year

Stanowisko	Liczba przebadanych prób	Udział [%] prób z przyrostami białymi
Klimczok	35	71,4
Mogielica	21	80,9
Flochová	51	90,2
Zlatý Stól	50	74,0
Dolina Kasprowa	50	62,0



Ryc. 5. Zdjęcia i schematy przekroju poprzecznego świerka pospolitego (*Picea Abies* L. Karst) z występującymi różnymi typami białych przyrostów: a) typ A (komórki o mniejszej grubości ścian komórkowych występują w całym drewnie późnym), b) typ B (komórki o mniejszej grubości ścian komórkowych występują od połowy drewna późnego), c) typ C (komórki o mniejszej grubości ścian komórkowych występują w końcowej części drewna późnego)

Fig. 5. Pictures and schemes of Norway spruce radial section showing different types of pale rings: a) type A (cells with thin cell walls occur in whole latewood), b) type B (cells with thin cell walls occur from approximately half of the latewood), c) type C (cells with thin cell walls occur at the end of the latewood)

Efektem szczegółowej analizy przyrostu z roku 1912 było zidentyfikowanie różnych rodzajów anomalii występujących w drewnie późnym. Okazało się, że o ile zmiany samych komórek drewna późnego są takie same, to blade przyrosty różnią się od siebie tym, jaką część drewna późnego obejmują. Na tej podstawie wyznaczono trzy rodzaje przyrostów białych (ryc. 5), w zależności od: a) lokalizacji stanowiska i b) części drewna, w której występuje anomalia. Ponadto wyodrębniono blade przyrosty typu A) w których komórki o mniejszej gęstości ścian komórkowych pojawiają się w całym drewnie późnym, B) gdzie komórki o mniejszej grubości ścian komórkowych występują od połowy drewna późnego i C), w których komórki o mniejszej gęstości ścian komórkowych pojawiają się w końcowej części drewna późnego.

Spśród wszystkich analizowanych prób, w których w 1912 roku odnotowano blade przyrosty, największy udział mają te, gdzie komórki o mniejszej gęstości ścian komórkowych

występują w całym drewnie późnym (tab. 2). Na każdym ze stanowisk, blade przyrosty typu A powstały w ponad 67,6% poddanych analizie prób świerków. Najmniejszy udział stanowią blade przyrosty typu B, gdzie komórki o mniejszej grubości ścian komórkowych pojawiają się od połowy drewna późnego. Wyjątek stanowi stanowisko Klimczok, gdzie najmniejszą częstością występowania wyróżniają się próby z występującymi bladymi przyrostami typu C, gdzie charakterystyczna struktura komórek występuje w końcowej części drewna późnego.

Tab. 2. Procentowy udział trzech typów bladych przyrostów z roku 1912 w świerkach rosnących na 5 badanych stanowiskach

Tab. 2. The percentage composition of the three types of pale ring from 1912 in Norway spruces from five study sites

Stanowisko	Typy bladych przyrostów (na podstawie występowania zmian w komórkach drewna późnego)		
	TYP A (całe drewno późne)	TYP B (druga połowa drewna późnego)	TYP C (końcowa część drewna późnego)
Klimczok	76,0%	16,0%	8,0%
Mogielica	88,2%	5,9%	5,9%
Flochová	76,1%	2,2%	21,7%
Zlatý Stól	67,6%	5,4%	27,0%
Dolina Kasprowa	90,0%	0,0%	10,0%

Wnioski

- Za wytworzenie w drewnie świerków, rosnących w reglu górnym na pięciu stanowiskach w Karpatach Zachodnich, anatomicznych anomalii drewna wtórnego w postaci bladych przyrostów, odpowiedzialna była erupcja wulkanu Katmai na Alasce w czerwcu 1912 roku.
- Powstanie bladych przyrostów związane jest z pojawieniem w drugiej połowie okresu wegetacyjnego, niższej od średniej z wielolecia, temperatury powietrza (największy spadek we wrześniu). Ochłodzenie to było większe niż dotychczas opisywane w literaturze (4,2°C zamiast 0,9°C wspomiane przez Hildreth i Fierstein 2012b).
- Pojawiający się w 1912 roku nagły spadek temperatury powietrza negatywnie wpłynął na zachodzący w ścianach komórkowych proces odkładania ligniny i formowanie się charakterystycznych komórek drewna późnego.
- Wytworzone przez drzewa blade przyrosty posiadają zauważalnie jaśniejszą barwę, która związana jest z niską gęstością drewna, spowodowaną przez występowanie szeregu komórek o mniejszej grubości ścian komórkowych.
- Wykształcone przez drzewa anomalie występują w trzech odmianach, w zależności od miejsca pojawienia się i części drewna późnego jaką obejmuje. W typie A bladego przyro-

stu komórki o mniejszej gęstości pojawiają się w całym drewnie późnym, w typie B – od połowy drewna późnego, natomiast w typie C – w jego końcowej części.

- Powszechnie występujące anomalie gęstości drewna późnego w przyrostach z 1912 roku, obecne są na każdym z badanych stanowisk. Największy udział mają próby, w których komórki posiadające mniejszą gęstość występują w całym drewnie późnym (typ A bladego przyrostu).
- Blade przyrosty częściej pojawiają się w świerkach w południowo-zachodniej (90%) i północno-wschodniej części Karpat Zachodnich (81%), natomiast najrzadziej – w części środkowej (62%).

Literatura

- Biczek T., Kaczka R.J. 2014. Klimatyczne uwarunkowania powstawania anomalii drewna wtórnego na przykładzie świerka pospolitego (*Picea abies* L. Karst) w Tatrach. *Studia i Materiały CEPL, Rogów* 40 (3): 9-18.
- Campelo F., Vieira J., Nabais C. 2013. Tree-ring growth and intra-annual density fluctuations of *Pinus pinaster* responses to climate: does size matter? *Trees* 27: 763-772.
- Gindl W., Grabner M. 2000. Characteristics of spruce (*Picea abies* [L.] Karst) latewood formed under abnormally low temperatures. *Holzforschung* 54: 9-11.
- Harris I.P.D.J., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H. 2014. Updated high resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology* 34 (3): 623-642.
- Hildreth W., Fierstein J. 2012a. Eruptive history of Mount Katmai, Alaska. *Geosphere* 8 (6): 1527-1567.
- Hildreth W., Fierstein J. 2012b. The Novarupta-Katmai eruption of 1912 – largest eruption of the twentieth century; centennial perspectives: U.S. Geological Survey Professional Paper 1791.
- Holmes R.L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-ring Bulletin* 43 (1): 69-78.
- Janecka K., Kaczka R.J. 2014. Zapis erupcji wulkanicznych w przyrostach rocznych limby *Pinus cembra* L. z Tatr Wysokich. *Studia i Materiały CEPL, Rogów*, 40 (3): 183-193.
- Kaczka R.J., Biczek T., Czajka B. 2012. Anomalie drewna wtórnego świerka pospolitego *Picea abies* L. Karst w Tatrach, *Studia i Materiały CEPL, Rogów*, 30 (3): 77-83.
- Kondracki J. 1978. Karpaty. Warszawa, Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne.
- Miller T. P., McGimsey R. G., Richter D. H., Riehle J. R., Nye C. J., Yount M. E., Dumoulin J. A. 1998. Catalogue of the historically active volcanoes of Alaska. U.S. Geological Survey Open-File Report OF 98-0582.
- Oman L., Robock A., Stenichkov G., Schmidt G.A., Ruedy R. 2005. Climatic response to high-latitude volcanic eruptions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 110 (D13): 2156-2202.
- Rampino M.R., Self S., Fairbridge R.W. 1979. Can rapid climate change cause volcanic eruption? *Science* 206: 826-829.
- Robock A. 2000. Volcanic eruptions and climate. *Reviews of Geophysics* 38 (2): 191-219.
- Tardif J.C., Girardin M.P., Conciatori F. 2011. Light rings as bioindicators of climate change in Interior North America. *Global and Planetary Change* 79 (1): 134-144.
- Wimmer R. 2002. Wood anatomical features in tree – rings as indicators of environmental change. *Dendrochronologia* 20 (1-2): 21-36.
- Zielski A., Krapiec M. 2009. *Dendrochronologia*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Patrycja Barnaś*, Ryszard J. Kaczka
Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi
*patka.barnas@gmail.com