

Klimatyczne uwarunkowania powstawania anomalii drewna wtórnego na przykładzie świerka pospolitego (*Picea abies* L. Karst.) w Tatrach

Tomasz Biczuk, Ryszard J. Kaczka

Abstrakt. Badania dotyczą charakterystyki i klimatycznych przyczyn występowania anomalii anatomicznych drewna wtórnego świerków rosnących w ekotonie górnej granicy lasu w Tatrach. Analizowano występowanie przyrostów białych oraz mrozowych dla okresu 1966–2012 w próbach ze 115 drzew. Białe przyrosty występują stosunkowo często. Stwierdzono je dla 12 lat, przyrosty mrozowe tylko w przypadku 2 lat. Zidentyfikowano przyczyny powstawania przyrostów białych (obniżenie temperatury końca okresu wegetacyjnego sierpień–wrzesień) oraz przyrostów mrozowych (nagły spadek temperatury poniżej zera w trakcie sezonu wegetacyjnego, w okresie maj–czerwiec).

Słowa kluczowe: przyrosty białe, przyrosty mrozowe, świerk pospolity, Tatry, górna granica lasu.

Abstract. Climatic conditions causing formation of wood anomalies of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) in the Tatras. Here we present characteristics of the anomalies in wood of Norway spruce from four sites located in the Tatras timberline and discuss the climatic conditions of their formation. Occurrence of the pale rings and the frost rings in 115 samples for 1966–2012 period were investigated. The amount of the pale rings (12 years) is more considerable than the frost rings (2 years) in analyzed period. The low temperature at the end of the growing season (August–September) was identified as the main factor stimulating the creation of the pale rings. Frost rings appeared as a consequence of subzero temperature at the beginning of the growing season (May–June).

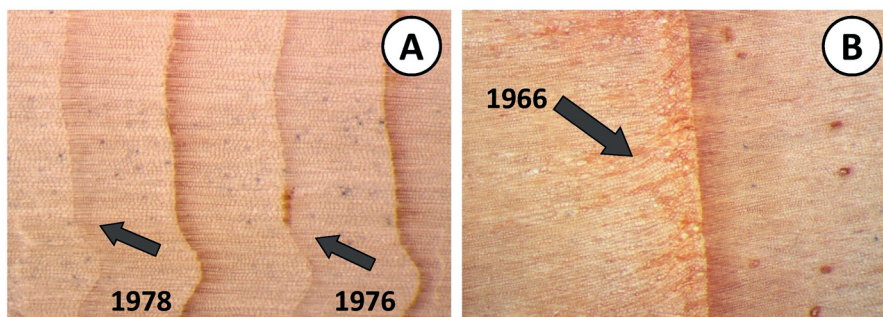
Key words: pale rings, frost rings, Norway spruce, the Tatras, timberline.

Wstęp

Anomalie anatomiczne drewna wtórnego stanowią wskaźniki określające wpływ czynników środowiskowych na wzrost drzew i kształtowanie się słoików rocznych w okresie wegetacyjnym. Wraz z badaniem zmian szerokości przyrostów rocznych drewna wtórnego anomalie mogą być wykorzystywane w datowaniu zdarzeń klimatycznych oraz w rekonstrukcji klimatu (Wimmer 2002).

Przyrosty białe (ang. *pale/light ring* (ryc. 1A) charakteryzują się niską gęstością drewna późnego (Delwaide i in. 1991). Wynika to z mniejszej grubości ścian komórkowych oraz niższego stopnia ich lignifikacji (Gindl i Grabner 2000; Wang i in. 2002; Liang i Eckstein 2006). W rezultacie wizualnie przyrosty białe mają jaśniejszy odcień, co pozwala na stosunkowo łatwe

ich rozpoznawanie pod mikroskopem (Wimmer 2002). Przyrosty mrozowe (ryc. 1B) są definiowane jako występujące w ksylemie zdeformowane struktury anatomiczne powstałe w wyniku uszkodzeń mrozowych (Schweingruber 2007). Najważniejszymi cechami charakteryzującymi przyrosty mrozowe są deformacje cewek, wygięcie promieni oraz wykształcenie tkanki kalusowej. Przyrosty mrozowe występują jako jeden lub kilka rzędów zapadniętych komórek ze słabo wykształconymi pierwotnymi ścianami komórkowymi, co jest wynikiem oddziaływania na proces różnicowania się drewna nagłych zjawisk występowania mrozu (Payette i in. 2010). Różnica gęstości wody w stanie ciekłym i stałym (blisko 10%) i spowodowane tym powstające podczas krystalizacji lodu naprężenia powodują rozerwanie błony oraz ściany komórkowej i śmierć komórki (Schweingruber 1990). Przyrosty mrozowe są najbardziej powszechnym i trwałym zapisem zjawisk występowania mrozu w trakcie okresu wegetacyjnego (Glock 1951; Glerum i Farrar 1966).



Ryc. 1. Anomalie anatomiczne drewna wtórnego świerka pospolitego (*Picea abies* L. Karst.) (przekroje poprzeczne): przyrosty blade (A) oraz przyrosty mrozowe (B)

Fig. 1. The wood anomalies of Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.): pale rings of 1976 and 1978 (A), and frost ring of 1966 (B)

Proces ksylogenezy trwa w górach strefy umiarkowanej od maja–czerwca do sierpnia–października (w zależności od wysokości n.p.m.), włączając w ten okres wszystkie procesy związane z produkcją komórek, wzrostem radialnym, wytwarzaniem wtórnych ścian komórkowych oraz ich lignifikacją (Czerwiński 1978; Rossi i in. 2006). W przypadku drzew iglastych na początku okresu wegetacyjnego obserwuje się produkcję komórek drewna wczesnego o dużych średnicach wewnętrznych i cienkich ścianach komórkowych. Pod koniec okresu wegetacyjnego zachodzi etap ksylogenezy związany z formowaniem się komórek drewna późnego o małej średnicy i grubych ścianach komórkowych (Wimmer 2002). Cewki wytworzone w połowie sierpnia pozostają w fazie różnicowania na 40 dni, osiągając dojrzałą postać na końcu września (Rossi i in. 2006). Osiąganie finalnego charakteru ścian komórkowych drewna późnego trwa kilka tygodni, co wyjaśnia wpływ sierpniowej i wrześniowej temperatury na maksymalną gęstość drewna i zawartość ligniny (Gindl i in. 2000). Badania Rossiego i in. (2008) wskazują, że początek i koniec ksylogenezy koresponduje z wartościami 4–5°, 8–9° oraz 13–14°, odpowiednio dla minimalnej, średniej i maksymalnej dobowej temperatury powietrza. Dodatkowo zauważono, że produkcja nowych komórek kończy się w połowie sierpnia, gdy warunki termiczne wydają się jeszcze optymalne dla aktywności kambium. Drzewa „gwarantują sobie” w ten sposób odpowiednią ilość czasu na wykształcenie odpowiednio grubych, wtórnych ścian komórkowych

drewna późnego i ich lignifikację, co zajmuje ok. 40–60 dni (Deslauriers i in. 2003; Rossi i in. 2008). Temperatura minimalna, bardziej niż maksymalna, ma wpływ i kontroluje długość okresu aktywności kambium. Istotnym faktem jest, że 5-miesięczny okres wegetacyjny obserwowany w świerkach na niskich wysokościach n.p.m., jest ograniczony do 4 miesięcy w wyższych partiach, a nawet do 110 dni przy górnej granicy lasu w Alpach (Rossi i in. 2008).

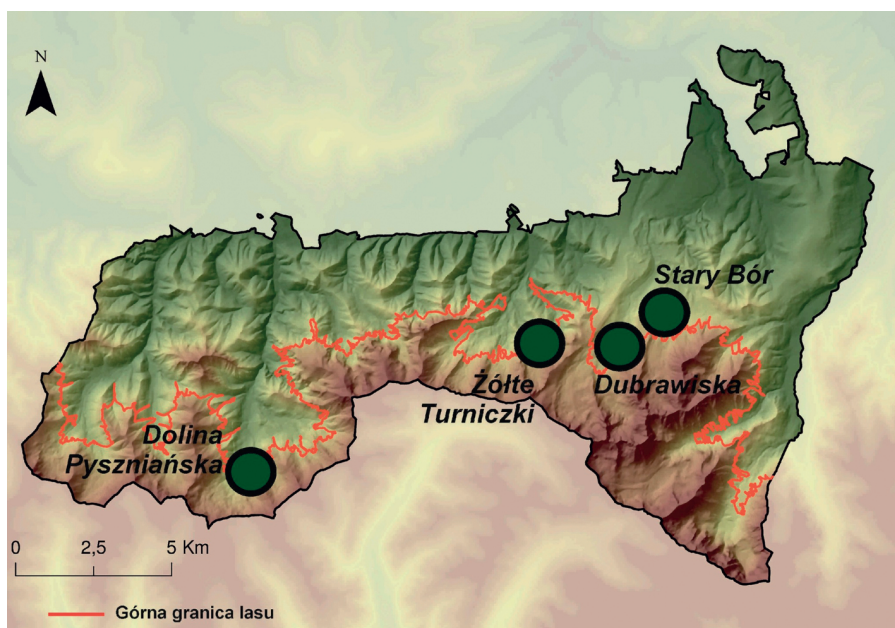
Zmiany i wahania temperatury podczas całego procesu ksylogenezy mogą wpływać na formowanie się anomalii anatomicznych drewna wtórnego. Występowanie przyrostów białych w umiarkowanych szerokościach geograficznych najczęściej utożsamiane jest z niższą od średniej temperaturą występującą na końcu lub podczas całego okresu wegetacyjnego lub z jego skróceniem (Tardiff i in. 2011). Białe przyrosty mogą stanowić również zapis krótkotrwałych globalnych ochłodzeń związanych np. z aktywnością wulkaniczną, kiedy poprzez erupcję i dostawę pyłów oraz gazów do atmosfery dochodzi do spadku temperatury miesięcy letnich (Filion i in. 1986; Janecka i Kaczka 2014). Najczęściej pojawia się teoria, iż formowanie przyrostów białych jest związane ze spadkiem temperatury podczas okresu wegetacyjnego, szczególnie latem i wczesną jesienią (Tardiff i in. 2011; Panayotov i in. 2013). W przeciwieństwie do wąskich przyrostów, powodem ich powstawania mogą być silne zjawiska krótkookresowe (Gindl i in. 2000; Hantemirov i in. 2004). Białe przyrosty powstają w wybranych latach oraz nie są wytwarzane przez wszystkie drzewa na badanym obszarze (Gajewski i Atkinson 2003). Panayotov i in. (2013), analizując lata z białymi przyrostami, stwierdził, że lato 1976 roku było najchłodniejsze, z temperaturą okresu czerwiec–sierpień o 2,3°C niższą od średniej wielolecia oraz najchłodniejszym sierpniem. Tardiff i in. (2011) stwierdził, że powstawanie białych przyrostów jest związane z ochłodzeniem podczas okresu wegetacyjnego głównie późną wiosną (kwiecień–maj lub czerwiec) oraz na końcu lata (sierpień–wrzesień).

Przyrosty mrozowe są wykorzystywane w badaniach dendroklimatycznych do datowania gwałtownych zjawisk mrozowych, w tym i tych związanych z erupcjami wulkanicznymi (La Marche i Hirschboeck 1984). Główną przyczyną powstawania słoików mrozowych jest wystąpienie zjawiska mrozu już po rozpoczęciu aktywności kambium (Hantemirov i in. 2004). Przyrosty mrozowe powstają na początku okresu wegetacyjnego (w kwietniu) lub maju w wyniku gwałtownego spadku temperatury powietrza poniżej 0°C (Cedro 2004). Już dwie noce z temperaturą co najmniej -5°C i dzień z temperaturą bliską 0°C mogą prowadzić do uszkodzeń mrozowych (La Marche i Hirschboeck 1984). Badania nad świerkiem czarnym (Dy i Payette 2007) wykazują, że przyrosty mrozowe powstają, kiedy w nocy temperatura poniżej 0°C utrzymuje się ponad 6 godzin i spada do -6°C. W badaniach przyrostów mrozowych głównie skupia się na analizie temperatury dobowej okresu wegetacyjnego i szukaniu nagłych jej spadków poniżej zera lub porównywaniu minimalnej temperatury miesięcznej ze średnią wieloletnią. W badaniach Cedro (2004) występowanie przyrostów mrozowych w drewnie cisa pospolitego było związane z wystąpieniem niskiej temperatury w kwietniu oraz w maju. Panayotov i Yurukov (2007) analizowali przyrosty mrozowe w drewnie sosny rumelijskiej w Górach Pirin (Bułgaria) i jako przyczyny ich występowania podają nietypowe ochłodzenie w ostatnich dniach maja oraz na początku czerwca. Temperatura spadła wtedy do -6°C przy górnej granicy lasu. Hadad i in. (2012), badając drewno drzew z Patagonii, stwierdzili, że większy udział w tworzeniu przyrostów mrozowych mają spadki temperatury poniżej 0°C wczesnym latem niż wczesną wiosną. Odwrotną zależność przedstawiają Panayotov i in. (2013). W przypadku sosny zwyczajnej w Masywie Witosza (Bułgaria) okresy z nagłym spadkiem temperatury w maju mają większe znaczenie niż na początku czerwca. W przypadku lasów borealnych Kanady wykazano wpływ temperatury poniżej średniej minimalnej wielolecia czerwca i lipca (Payette i in. 2010).

Celem badań było opisanie zmian budowy anatomicznej (przyrostów białych i mrozowych) w drewnie świerka pospolitego rosnącego w ekotonie górnej granicy lasu Tatr oraz określenie głównych czynników klimatycznych warunkujących ich powstawanie.

Material i metody

Badania prowadzono na próbach drewna pni świerków (*Picea abies* L.) rosnących na czterech stanowiskach zlokalizowanych w Tatrach Polskich: Dolina Pyszniańska, Żółte Turniczki, Dubrawiska oraz Stary Bór (ryc. 2). Wszystkie z nich położone są na podobnej wysokości (1400–1500 m n.p.m.) oraz należą do ekotonu górnej granicy lasu, gdzie występowanie anomalii anatomicznych w przyrostach rocznych jest najpowszechniejsze w stosunku do innych pięter klimatyczno-roślinnych Tatr (Kaczka i in. 2012).



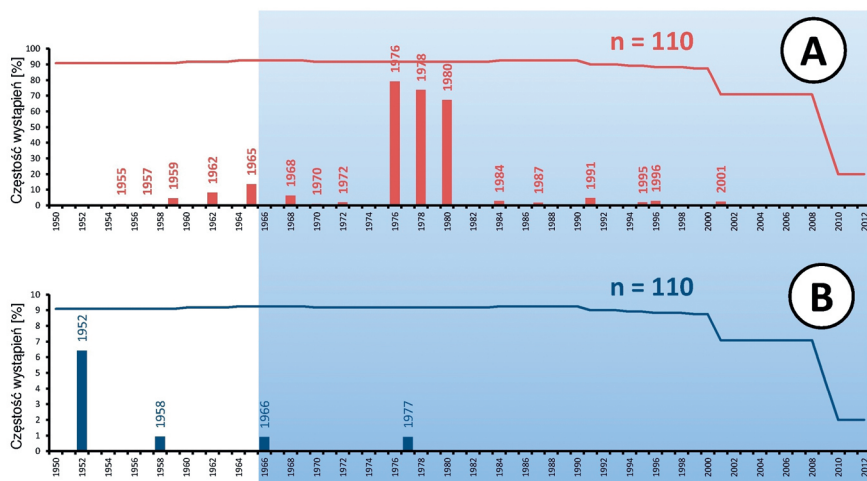
Ryc. 2. Lokalizacja stanowisk badawczych w Tatrach
Fig. 2. Location of the sampling sites in the Tatra Mountains

Z każdego stanowiska pobrano ok. 60 prób z drzew żywych, o porównywalnej wysokości oraz posiadających prawidłowo wykształconą koronę, wykonując wywierty świdrem przyrostowym Presslera na wysokości 1,3 m od gruntu. Pobór prób w zależności od stanowiska miał miejsce w latach: 2000 (Żółte Turniczki), 2008 (Dubrawiska), 2009 (Dolina Pyszniańska) oraz 2012 (Stary Bór). Następnie próby poddano odpowiedniej preparacji w celu uzyskania pod mikroskopem odpowiedniej widoczności obrazu pojedynczych komórek w obrębie przyrostu. Dla wszystkich prób dokonano pomiaru szerokości przyrostów, a ich jakość sprawdzono wizualnie i statystycznie w programie COFECHA (Grissino-Mayer 2001). Następnie dla każdego stanowiska

zbudowano chronologie, używając programu ARSTAN (Cook i Holmes 1986). Do dalszych badań wytypowano próby wchodzące w skład zbudowanych chronologii. Ponadto odrzucano próby z występującymi przyrostami wypadającymi, drewnem reakcyjnym oraz przebarwieniami i zmianami próchniczymi, które utrudniały identyfikację anomalii. Z każdego stanowiska do analiz anatomicznych nadawało się ok. 30 prób spełniających powyższe wymagania, reprezentujących drzewa o różnym wieku pierścieniowym. Rozpoznawanie anomalii opierało się na wizualnej analizie przyrostów rocznych pod mikroskopem stereoskopowym (NSZ-810) przy świetle odbitym z 8-krotnym powiększeniem. W badaniach występowania przyrostów białych i mrozowych ustalono wspólny przedział czasowy 1966–2012, związany z dostępnością z tego okresu odpowiednich danych klimatycznych. Następnie połączono wyniki analiz stanowiskowych i na podstawie 110 prób zbudowano chronologie przyrostów białych oraz mrozowych. Dla każdego roku obliczono procentowy udział (częstość) wystąpienia danej anomalii. Analizy klimatyczne opierały się na określeniu zależności pomiędzy temperaturą dzienną (średnią, minimalną i maksymalną) ze stacji Zakopane oraz Kasprowy Wierch a występowaniem przyrostów białych i mrozowych.

Wyniki i dyskusja

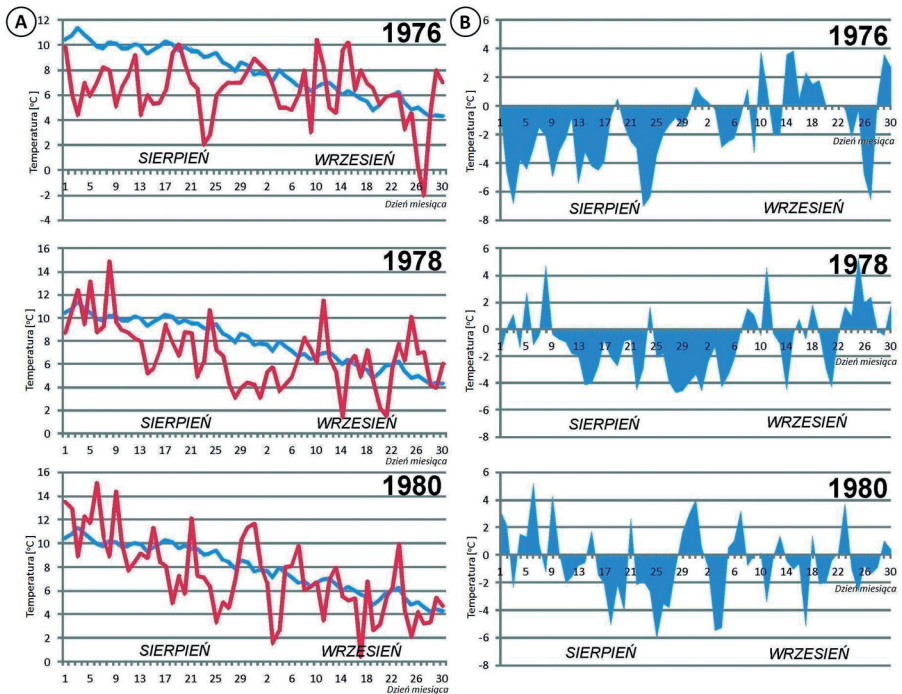
W analizowanym okresie stwierdzono występowanie 12 lat, w których drzewa wykształciły przyrosty białe (ryc. 3A). Lata charakterystyczne różnią się jednak w częstości wystąpień tej anomalii. Największa jest ona dla lat 1976 (79%), 1978 (74%) i 1980 (67%). W pozostałych przypadkach częstość występowania przyrostów białych nie przekraczała 10%. Przyrosty mrozowe stanowią dużo rzadziej pojawiającą się anomalie. Ich występowanie stwierdzono tylko w dwóch latach: 1966 oraz 1977 (ryc. 3B). Częstość wystąpień w tych przypadkach była stosunkowo niska (ok. 1%).



Ryc. 3. Wystąpienia białych (A) oraz mrozowych (B) przyrostów w okresie 1950–2012. Kolor niebieski obrazuje okres, dla którego przeprowadzono analizy klimatyczne (1966–2012)

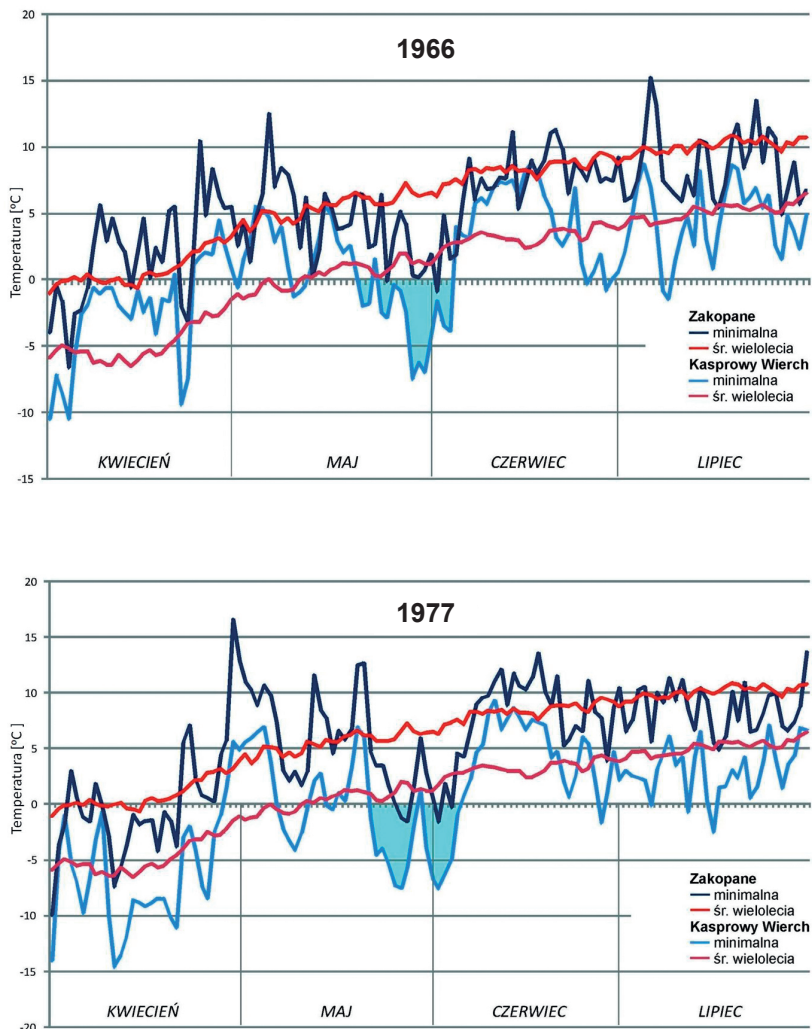
Fig. 3. Wood anomalies registered in period 1950–2012: pale rings (A) and frost rings (B). In blue climate data for period 1966–2012

W analizach klimatycznych przyczyn występowania przyrostów białych brano pod uwagę lata, kiedy częstość ich występowania była największa (ryc. 4). Analizowano kształtowanie się temperatury dobowej w okresie, kiedy szerokość przyrostu jest już wykształcona i rozpoczyna się formowanie komórek drewna późnego (wytwarzanie wtórnych ścian komórkowych i ich lignifikacja). Według Gindla i in. (2000) i Rossiego i in. (2008) procesy te mają miejsce od połowy sierpnia do końca września. W trzech analizowanych latach zwłaszcza temperatura minimalna tego okresu wykazuje znaczny spadek w stosunku do średniej dla wielolecia (1966–2012). Zwykle zaznacza się to na początku analizowanego okresu (w sierpniu i na początku września). W każdym przypadku też temperatura minimalna kilkakrotnie spada do 4°C, co określono jako graniczną wartość dla aktywności kambium i procesu ksylogenezy (Rossi i in. 2008). Różnice pomiędzy temperaturą minimalną w danym roku a średnią wieloletnią ukazują spadek temperatury, który trwał w skrajnym przypadku cały sierpień (1976 rok) oraz sięgał nawet 6°C. Najmniejsze różnice są widoczne w roku 1980, co można powiązać z najmniejszą z tych trzech lat częstością wystąpień białych przyrostów. Niska w stosunku do średniej wieloletniej temperatura minimalna, utrzymująca się w okresie formowania komórek drewna późnego, oraz spadek temperatury do granicznej wartości hamującej proces ksylogenezy mogą warunkować powstawanie przyrostów białych.



Ryc. 4. Minimalna temperatura dobowa dla okresu sierpień–wrzesień (A) w latach: 1976, 1978, 1980 (linia czerwona) i wielolecia 1966–2012 (linia niebieska) oraz różnice (B) pomiędzy porównywanymi wartościami (A) i różnicami między tymi wartościami (B)

W roku 1966 w trakcie okresu wegetacyjnego zidentyfikowano dwa krótkookresowe spadki temperatury znacząco poniżej 0°C, tj. w maju i na przełomie maja i czerwca (ryc. 5). Pierwszy z nich jest mniej znaczący, trwał tylko 3 dni, a temperatura minimalna spadła do -1,3°C. Na przełomie maja i czerwca jednak spadek temperatury poniżej 0°C trwał 8 dni, sięgając -7,5°C. Podobną sytuację zaobserwowano w roku 1977 (ryc. 5). W maju przez 5 dni zanotowano



Ryc. 5. Przebieg minimalnej dobowej temperatury powietrza dla okresu kwiecień–lipiec w latach 1966 i 1977 (linie niebieskie) oraz w wieloleciu 1966–2012 (linie czerwone) ze stacji Zakopane i Kasprowy Wierch

Fig. 5. Daily minimum temperature of the April–July in 1966 and 1977 (blue line) and mean daily minimum temperature for the period of 1966–2012 (red line)

ujemną temperaturę o najmniejszej wartości $-4,1^{\circ}\text{C}$. Na przełomie maja i czerwca temperatura poniżej 0°C utrzymywała się aż 14 dni, osiągając $-7,6^{\circ}\text{C}$. Nietypowy jest także w tych dwóch latach duży wzrost temperatury na początku maja (powyżej 5°C), który mógł zaindukować proces formowania przyrostu. Ponadto w tych latach w lipcu również zauważa się przypadki występowania dni mroźnych z temperaturą sięgającą $-1,5^{\circ}\text{C}$, które jednak wg badań Dy i Payette (2007) oraz La Marche i Hirschboeck (1984) mogą nie mieć wpływu na kształtowanie się przyrostów mrozowych. Ponadto położenie zdeformowanych komórek na początku przyrostu (jako pierwszy rząd zaraz przy granicy drewna wczesnego z późnym poprzedniego roku) wskazuje na wystąpienie zdarzenia na początku okresu wegetacyjnego. Analizując dane ze stacji Zakopane, w rozkładzie temperatury minimalnej również zaznaczają się spadki poniżej 0°C w tych samych okresach, jednak w mniejszej skali. W lipcu nie zauważa się na tej stacji przymrozków. W analizowanych przykładach potwierdza się zależność powstawania przyrostów mrozowych w wyniku nagłych spadków temperatury poniżej 0°C w trakcie trwania okresu wegetacyjnego. Ponadto bardziej znaczące i silniejsze są zjawiska występowania mrozu na przełomie maja i czerwca.

Wnioski

- Występowanie przyrostów białych w analizowanym okresie zanotowano w 12 latach; największą częstością ich występowania, bliską 80% przypadków analizowanych drzew, charakteryzuje przełom lat 70. i 80. XX wieku (lata: 1976, 1978, 1980).
- Badane przyrosty białe powstają w wyniku występowania niższej temperatury (nawet o 2°C poniżej średniej z wielolecia) pod koniec okresu wegetacyjnego (w sierpniu i wrześniu), kiedy w przyroście zachodzą procesy formowania wtórnych ścian komórkowych drewna późnego i lignifikacji.
- Przyrosty mrozowe w analizowanym okresie pojawiają się rzadko i z mniejszą częstością. Zanotowano je jedynie w latach 1966 i 1977, z częstością 1% w obu przypadkach.
- Przyrosty mrozowe w dwóch analizowanych przypadkach powstały w wyniku zjawiska nagłego i kilkudniowego występowania mrozu sięgającego -7°C , obserwowanego na początku sezonu wegetacyjnego – na przełomie maja i czerwca.

Podziękowania

Prace terenowe zostały przeprowadzone dzięki pomocy i życzliwości pracowników Tatrzańskiego Parku Narodowego. Badania były finansowane z Polsko-Szwajcarskiego Programu Badawczego FLORIST „Zagrożenie powodziowe na przedpolu Tatr” (Flood risk on the northern foothills of the Tatra Mountains) Nr PSPB-153/2010. Dane klimatyczne wykorzystano dzięki udostępnieniu przez IMGW w ramach projektu FLORIST. Część danych zostało zebranych i opracowanych w ramach pracy magisterskiej Tomasza Bicyka.

Literatura

- Cedro A. 2004. Wpływ warunków klimatycznych na kształtowanie się przyrostów radialnych cisa pospolitego (*Taxus baccata* L.) w Rezerwacie Cisy Staropolskie w Wierchlesie. W: Błaszkiwicz M., Gierszewski P. (red.). Prace Geograficzne 200: Rekonstrukcja i prognoza zmian środowiska przyrodniczego w badaniach geograficznych: 47–57.

- Cook E.R., Holmes R.L. 1986. User's manual for computer program ARSTAN. W: Holmes R.L., Adams R.K., Fritts H.C. (red.). Tree ring chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin. Chronology Ser. 6. University of Arizona, Tucson: 50–56.
- Czerwiński W. 1978. Fizjologia roślin. PWN. Warszawa.
- Deslauriers A., Morin H., Begin Y. 2003. Cellular phenology of annual ring formation of *Abies balsamea* in the Quebec boreal forest (Canada). Can. J. For. Res. 33: 190–200.
- Delwaide A., Filion L., Payette S. 1991. Spatiotemporal distribution of light rings in subarctic black spruce, Quebec. Can. J. For. Res. 21: 1828–1832.
- Dy G., Payette S. 2007. Frost hollows of the boreal forest as extreme environments for black spruce tree growth. Can. J. For. Res. 37: 492–504.
- Filion L., Payette S., Gauthier L., Boutin Y. 1986. Light rings in subarctic conifers as a dendrochronological tool. Quat. Res. 26: 272–279.
- Gajewski K., Atkinson D.A. 2003. Climatic change in northern Canada. Environ. Rev. 11: 69–102.
- Gindl W., Grabner M. 2000. Characteristics of spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) latewood formed under abnormally low temperatures. Holzforschung, 54: 9–11.
- 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.
- Glerum C., Farrar J.L. 1966. Frost ring formation in the stems of some coniferous species. Can. J. Bot. 44: 879–886.
- Glock W.S. 1951. Cambial frost injuries and multiple growth layers at Lubbock, Texas. Ecology, 32: 28–36.
- Grissino-Mayer H.D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. Tree-Ring Res. 57: 205–221.
- Hadad M.A., Amoroso M.M., Roig Juñent F.A. 2012. Frost ring distribution in *Araucaria araucana* trees from the xeric forests of Patagonia, Argentina. BOSQUE, 33 (3): 309–312.
- Hantemirov R.M., Gorlanova L.A., Shiyatov S.G. 2004. Extreme temperature events in summer in northwest Siberia since AD 742 inferred from tree rings. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 209: 155–164.
- 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., Biczuk T., Czajka B. 2012. Występowanie Anomalie drewna wtórnego świerka pospolitego (*Picea abies* L. Karst) w Tatrach. Studia i Materiały CEPL, Rogów, 30 (1): 77–83.
- La Marche V., Hirschboeck K. 1984. Frost rings in trees as records of major volcanic eruptions. Nature, 307: 121–126.
- Liang E., Eckstein D. 2006. Light rings in Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) in semiarid areas of north China and their palaeo-climatological potential. The New Phytologist, 171: 783–791.
- Panayotov M.P., Yurukov I.S. 2007. Tree ring chronology of *Pinus peuce* from the Pirin Mts and the possibilities to use it for climate analysis. Phytologia Balcanica, 13 (3): 313–320.
- Panayotov M.P., Zafirov N., Cherubini P. 2013. Fingerprints of extreme climate events in *Pinus sylvestris* tree rings from Bulgaria. Trees, 27: 211–227.

- Payette S., Delwaide A., Simard M. 2010. Frost-ring chronologies as dendroclimatic proxies of boreal environments. *Geophys. Res. Lett.* 37: 1–6.
- Rossi S., Deslauriers A., Anfodillo T., Carraro V. 2006. Evidence of threshold temperatures for xylogenesis in conifers at high altitudes. *Oecologia*, 152: 1–12.
- Rossi S., Deslauriers A., Gričar J., Jeong-Wook S., Rathgeber C., Tommaso Anfodillo T., Morin H., Levanic T., Ovegn P., Jalkanen R. 2008. Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates. *Global Ecology and Biogeography*, 17: 696–707.
- Schweingruber F.H. 1990. *Anatomy of European woods*. Bern, Haupt.
- Schweingruber F.H. 2007. *Wood Structure and Environment*. Springer, Berlin.
- Tardif J., Girardin M., Conciatori F. 2011. Light rings as bioindicators of climate change in Interior North America. *Global and Planetary Change*, 79: 134–144.
- Wang L., Payette S., Bégin Y. 2002. Relationships between anatomical and densitometric characteristics of black spruce and summer temperature at tree line in northern Quebec. *Can. J. For. Res.* 32: 477–486.
- Wimmer R. 2002. Wood anatomical features in tree-rings as indicators of environmental change. *Dendrochronologia*, 20/1–2: 21–36.

Tomasz Biczuk, Ryszard J. Kaczka
Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi
t.biczuk@o2.pl
ryszard.kaczka@us.edu.pl