

# Dendrochronologiczna charakterystyka górnej granicy lasu na Babiej Górze w strefie jej progresu

Barbara Czajka, Ryszard J. Kaczka

**Abstrakt.** Celem badań było: a) określenie zmian górnej granicy lasu (GGL) w latach 1964–2009 na Babiej Górze (1725 m n.p.m.), b) zidentyfikowanie obszarów progresywnej górnej granicy lasu i c) wskazanie czynników sprzyjających występowaniu zwartego lasu na większej wysokości n.p.m. W badanym okresie GGL (38 km długości) na Babiej Górze podniosła się o 16 m i jej średnia wysokość wynosi obecnie 1370 m n.p.m. Wytypowano trzy fragmenty progresywnej górnej granicy lasu, gdzie przeprowadzono badania dendrochronologiczne. Łącznie analizie poddano ponad 370 świerków pospolitych *Picea abies* (L.) Karst. Na Babiej Górze dominuje obecnie stabilna GGL (61%). Jedynie  $\frac{1}{3}$  długości granicy uległa podniesieniu, głównie w wyniku zaniku antropopresji w latach 20/30. XX wieku. Można jednak mniemać, że nakładają się tam co najmniej dwa czynniki – zanik antropopresji i współczesne zmiany klimatu.

**Słowa kluczowe:** zmiany górnej granicy lasu, świerk pospolity, antropopresja, struktura wiekowa, dendroklimatologia

**Abstract. Dendrochronological characteristic of timberline at Mt. Babia Góra in its progressive zone.** The aim of this study was to: a) determine timberline changes between 1964 and 2009 at Mt. Babia Góra (1725 m a.s.l.), b) classify progressive part of timberline and c) assess the role of different factors influencing the location of timberline. During the last 45 years timberline (38 km length) at Mt. Babia Góra rose about 16 m and nowadays the mean altitude is at 1370 m a.s.l. Three study sites of progressive timberline were selected to dendrochronological analyses. 370 samples from Norway spruces were analysed. At Mt. Babia Góra the stable type of timberline is dominating (61% of timberline length). Only  $\frac{1}{3}$  of timberline length got on higher altitude, mostly as a result of the cessation of the anthropopression in 1920–1930s. At Mt. Babia Góra we did not observe the timberline changes caused only by one factor and the reason may be the overlapping of the at least two factors – decrease in human pressure and present climate changes.

**Key words:** timberline changes, Norway spruce, anthropopression, age structure, dendroclimatology

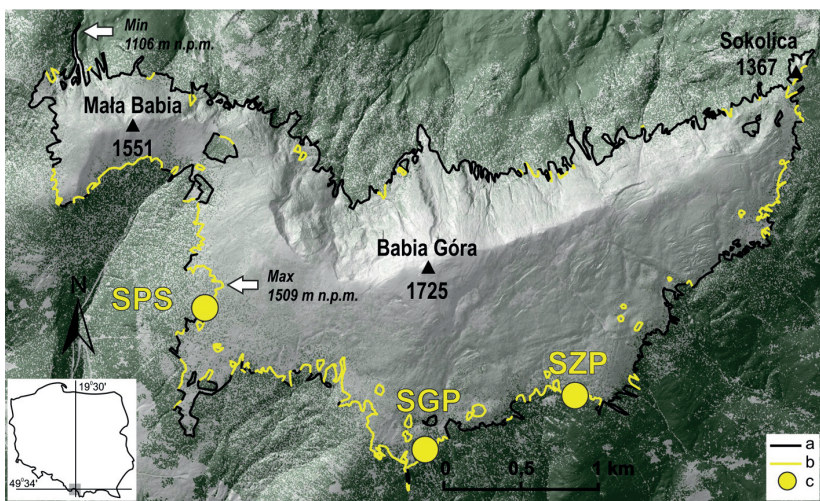
## Wstęp

Ekoton górnej granicy lasu jest środowiskiem bardzo wrażliwym i podatnym na wszelkie zmiany zachodzące w jego obrębie. Za najważniejsze czynniki wpływające na dynamikę jego biotycznych elementów w ostatnim wieku uważa się zmiany w antropopresji oraz współczesne

zmiany klimatu (Korner 1998). W wielu regionach górskich na całym świecie obserwuje się migrację wysokogórskich gatunków roślin i zwierząt na większe wysokości, ale skala i intensywność tego procesu zróżnicowana jest w zależności od badanego regionu (Peterson 1994; Parmesan i Yohe 2003; Pauli i in. 1996; Hughes 2000; Walther 2000; Kullman 2001). Podczas gdy górna granica lasu w polskich Tatrach podniosła się nawet o 200 m, na tym samym obszarze 30% jej długości nie zmieniło swojej lokalizacji przez ostatnich 60 lat (Guzik 2009). Z kolei omawiany ekoton w Bieszczadach, w ciągu ostatnich 150 lat praktycznie się nie zmienił (Kucharzyk 2006). Badania miały na celu: a) określenie zmian górnej granicy lasu (GGL) na Babiej Górze (1725 m n.p.m.) najwyższym masywie Beskidów Zachodnich w latach 1964–2009, b) identyfikowanie obszarów progresywnej górnej granicy lasu i c) wskazanie czynników odpowiedzialnych za występowanie lasu na wyższych wysokościach n.p.m.

## Obszar badań

Badania nad zmianami górnej granicy lasu (GGL) prowadzono w północnej części Łuku Karpackiego na Babiej Górze. Jest to odizolowany masyw fliszowy o powierzchni ~80 km<sup>2</sup> charakteryzujący się wyraźnie wykształconymi piętrami roślinno-klimatycznymi (Kondracki 1998). Górna granica lasu przebiega średnio na wysokości 1370 m n.p.m. i zbudowana jest głównie przez świerk pospolity (*Picea abies* (L.) Karst) z domieszką jarzębiny (*Sorbus aucuparia*). Masyw charakteryzuje się asymetryczną budową ze stromo nachylonym stokiem północnym i łagodnym południowym. Na stoku południowym, ze względu m.in. na większe usłonecznienie w ciągu roku, GGL przebiega średnio o 70 m wyżej niż na stoku północnym. Różnica między najwyżej i najniżej położoną GGL to 400 m (od 1106 do 1509 m n.p.m.) (ryc. 1).



**Ryc. 1.** Współczesny przebieg górnej granicy lasu w masywie Babiej Góry (a) z wyróżnionymi fragmentami, gdzie w okresie 1964–2009 zanotowano jej pionowy postęp (b) oraz lokalizacja stanowisk poboru prób dendrochronologicznych (c)

*Fig. 1. The course of recent timberline at Babia Góra Mt. (a), the progressive (comparing to period of 1964–2009) sectors (b) and location of sampling sites (c)*

Do szczegółowych analiz dendrochronologicznych wytypowano trzy fragmenty progresywnej górnej granicy lasu. Znaczące zmiany w lokalizacji granic lasu w badanym okresie zaobserwowano jedynie na stoku południowym, przy czym progresywna granica lasu stanowi 30% długości granicy w całym masywie. Stanowiska wybrano tak, aby dobrze reprezentowały współczesne zmiany przebiegu GGL. Stanowisko SPS charakteryzuje największa odnotowana różnica wysokości pomiędzy lokalizacją lasu w roku 1964 i 2009 (180 m). Jest to także fragment najwyższej zlokalizowanej granicy lasu w całym masywie, dodatkowo o rzadkiej ekspozycji zachodniej. Stanowiska SGP i SZP zlokalizowane są w polskiej części masywu o ekspozycji południowej, a skala postępu lasu to odpowiednio 70 i 65 m.

## Material i metody

### Analizy kartograficzne i fotointerpretacyjne

W badaniach wykorzystano analizy fotointerpretacyjne zdjęć lotniczych z 1964 r. (najstarszych dostępnych dla tego obszaru) oraz z 2009 r. (najbardziej współczesne). Uzyskane w ten sposób informacje uzupełniono, wykorzystując dane z Lotniczego Skaningu Laserowego z 2012 r. o rozdzielczości 0,5 m. Przebieg górnej granicy lasu przeanalizowano i sklasyfikowano ze względu na zmiany, jakie zaszły od 1964 r.: stabilna (zmiany GGL nie większe niż  $\pm 10$  m odległości), progresywna (w 2009 r. GGL występuje w danym miejscu wyżej n.p.m. niż w 1964 r.) i regresywna (w 2009 r. GGL występuje w danym miejscu niżej n.p.m. niż w 1964 r.).

### Analizy dendrochronologiczne

Na podstawie analiz fotogrametrycznych wytypowano trzy stanowiska progresywnej górnej granicy lasu, gdzie szczegółowo przebadano drzewostan świerkowy. Na każdym z poligonów badawczych, reprezentujących inny typ progresywnej granicy lasu, opróbowano drzewa na dwóch podstanowiskach: w miejscu gdzie GGL znajdowała się w 1964 r. (historyczna GGL) oraz na granicy lasu w 2009 r. (współczesna GGL). W oznaczeniach tych podstanowisk używane są adekwatnie do tego przedrostki „64” oraz „09”. Odwierty pobierano świadrem Presslera na wysokości pierśnicy z co najmniej 60 drzew (żywych lub martwych), określając pozycję każdego z nich za pomocą GPS z dokładnością do 1 m. Łącznie opróbowano ponad 370 drzew. Próby spreparowano zgodnie ze standardowymi technikami używanymi w dendrochronologii. Następnie zmierzono szerokości przyrostów z użyciem oprogramowania Coorecorder firmy Cybis Elektronik & Data AB. Do sprawdzenia poprawności pomiarów i zgodności przebiegu serii przyrostowych posłużyły programy Cofecha (Grissino-Mayer 2001) i CDendro (Larsson 2003a, 2003b). Chronologie stanowiskowe bezwzględne, rezidualne oraz standardowe zbudowano z wykorzystaniem programu ARSTAN (Cook i Holmes 1986). Dla wszystkich drzew zmierzono obwód oraz obliczono wiek pierśnicowy, estymując liczbę brakujących przyrostów do rdzenia z użyciem metody Duncana (1989). Drzewa pogrupowano w 10-letnie klasy wieku pierśnicowego i obliczono wiek średni. Sprawdzono strukturę wiekową populacji, rozróżniając stanowiska jednogeneracyjne lub o złożonej strukturze wiekowej. Na podstawie dokładnej lokalizacji drzew wykonano analizę przestrzennego zróżnicowania wewnątrz populacji. Przeprowadzono analizy dendroklimatyczne z wykorzystaniem średniej temperatury miesięcznej i miesięcznych sum opadów (1933–2011) pochodzących z gridowej bazy danych CRU TS 3.10 (Harris i in. 2013).

## Wyniki

Współczesna górna granica lasu na Babiej Górze ma długość 38 km i w badanym okresie nie wydłużyła się ani nie skróciła. Jej średnia wysokość wzrosła o 16 m i wynosi obecnie 1370 m n.p.m. Aż 61% długości górnej granicy lasu w badanym okresie nie wykazało zmian w lokalizacji. Jednak zauważalne są istotne różnice w skali zaobserwowanych zmian w różnych częściach masywu. Średnia wysokość granicy lasu na stoku północnym w badanym okresie nie zmieniła się (1335 m n.p.m.). Zaobserwowany postęp lasu dotyczy głównie stoku południowego, gdzie wysokość GGL wzrosła aż o 30 m (z 1365 do 1395 m n.p.m.). Jest to stok o znacznie mniejszym nachyleniu zboczy.

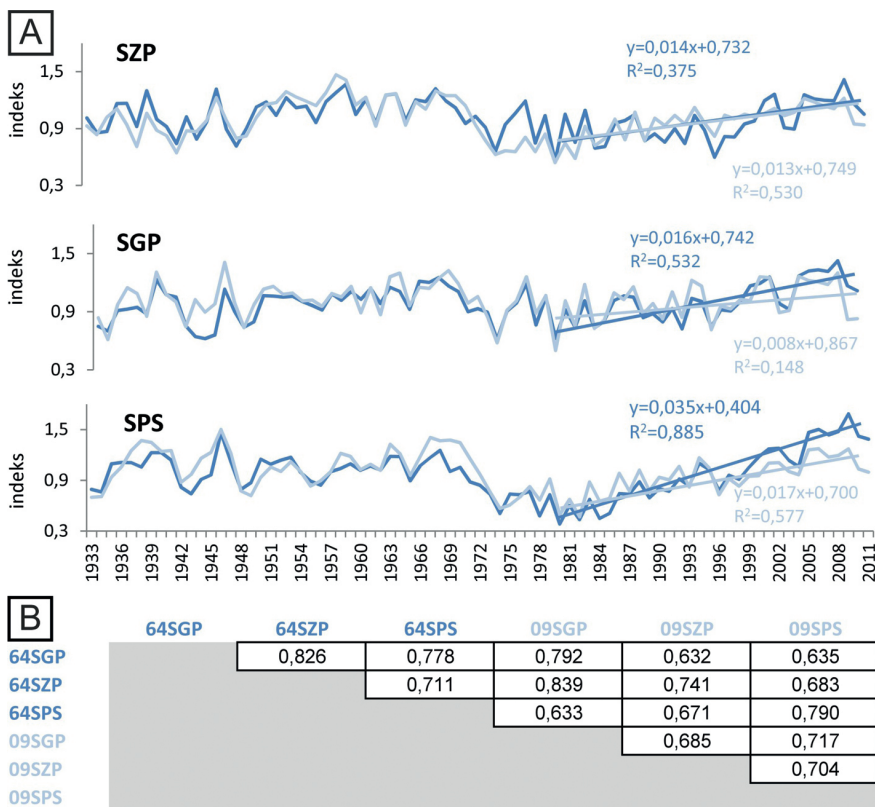
Opracowane chronologie stanowisk progresywnej granicy lasu obejmują okres od 79 (09SZP) do 194 lat (64SGP) (tab. 1). Dla wszystkich chronologii parametry siły wspólnego sygnału ( $EPS > 0,92$ ) i dopasowania ( $Rbar > 0,40$ ) są wysokie. Dalsze analizy prowadzono dla wspólnego okresu 1933–2011. Badane populacje charakteryzują się wysokim podobieństwem względem siebie (współczynnik korelacji  $> 0,63$ ). Nie stwierdzono zależności podobieństwa chronologii od odległości geograficznej czy typu granicy (współczesna czy historyczna). Analiza chronologii stanowiskowych w badanym okresie pozwala na wyróżnienie dwóch charakterystycznych przedziałów czasowych. Przełom lat 70/80. XX w. zaznaczył się silną depresją przyrostową, szczególnie na stanowisku o ekspozycji zachodniej (SPS). Na stanowisku SZP jest ona znacznie łagodniejsza, a na stanowisku SGP nie zaznacza się w ogóle. Od 1980 r. po lata współczesne zaobserwować można pozytywny trend wzrostu na wszystkich badanych stanowiskach, ale i tu najwyraźniejszy jest on na stanowisku SPS (wskaźnik  $a = 0,04$  dla równania funkcji liniowej  $y = ax + b$ ). Na stanowiskach 09SGP i 09SPS jest on łagodniejszy od swoich historycznych odpowiedników (64SGP i 64SPS). Dla stanowisk historycznej GGL współczesne wartości zindeksowane przekraczają najwyższe wartości sprzed 1980 r. Stanowisko SZP charakteryzuje się najmniejszymi różnicami w trendzie wzrostu między podstanowiskami.

**Tab. 1.** Cechy chronologii stanowiskowych reprezentujących progresywną górną granicę lasu  
*Table 1. The characteristics of site chronologies representing progressive type of timberline*

Stanowisko	Lokalizacja GGL w roku:	Ilość prób	Długość chronologii (w latach)	Odchylenie standardowe wieku populacji	EPS	Rbar
SPS	2009	50	91	19	0,97	0,44
	1964	66	170	32	0,96	0,47
SGP	2009	51	115	25	0,95	0,40
	1964	53	194	52	0,95	0,42
SZP	2009	44	79	22	0,96	0,43
	1964	56	89	22	0,97	0,53

Analizując strukturę wiekową badanych świerczyn, można wyróżnić dwa typy drzewostanów (ryc. 3). Pierwszy to świerki na stanowiskach historycznej górnej granicy lasu (64SPS oraz 64SGP) charakteryzujące się złożoną, co najmniej dwugeneracyjną strukturą wiekową, sięgającą do połowy XIX w. (64SPS), a nawet do końca XVIII w. (64SGP). Potwierdza to również

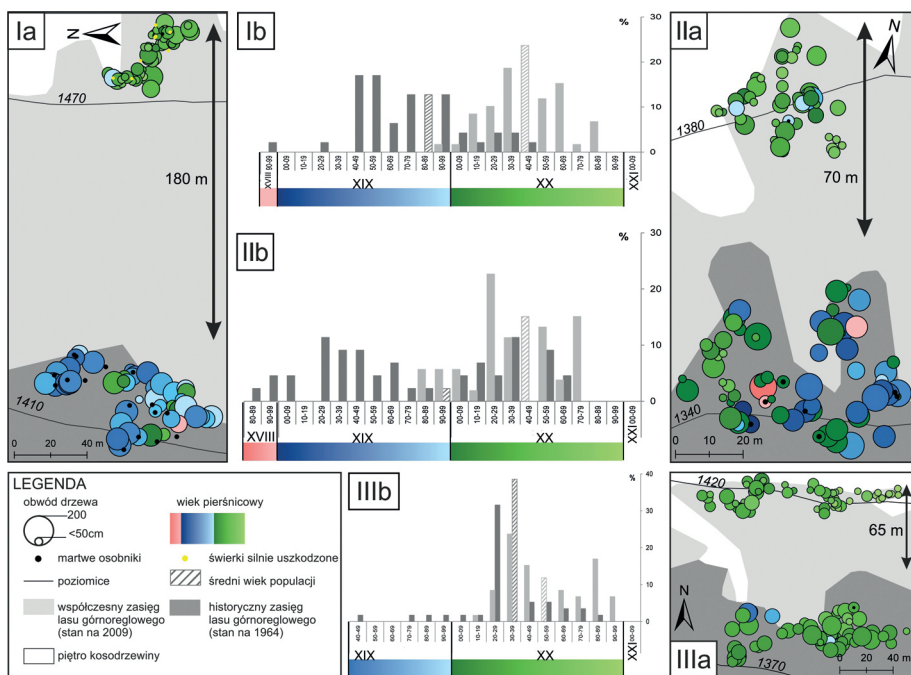
wyższe odchylenie standardowe wieku drzew (powyżej 32) (tab. 1). Odmienny typ reprezentują stanowiska współczesnej GGL (09SPS, 09SGP oraz 09SZP), które wyróżnia jednogeneracyjna struktura wiekowa, gdzie w pierwszej połowie XX w. ponad 60% drzew osiągnęło wiek pierśnicowy. Dla stanowiska 09SZP jest to krótki, bardzo intensywny okres wzrostu na przełomie lat 30./40., a dla stanowiska 09SPS oraz 09SGP okres wzmożonego rozwoju populacji jest znacznie dłuższy: od 1910 do 1960/70 r. Wśród badanych populacji wyróżnia się stanowisko 64SZP, gdzie na podstawie interpretacji zdjęć lotniczych w 1964 r. stwierdzono występowanie zwarteo lasu. Jednak stanowiska 64SZP i 09SZP powstały w tym samym okresie. Świadczy o tym jednogeneracyjna struktura wiekowa z 71% świerków pochodzącymi z lat 20./30. XX w., czyli na 20 lat przed powstaniem populacji na jego współczesnym odpowiedniku (09SZP).



**Ryc. 2.** Standardowe chronologie stanowiskowe (A) wraz z wartościami współczynnika korelacji pomiędzy nimi (B). Jaśniejszym niebieskim oznaczono stanowiska współczesnej granicy lasu (09SZP, 09SGP, 09SPS), ciemniejszym populacje świerków rosnących na historycznej granicy lasu (64SZP, 64SGP, 64SPS)  
*Fig. 2.* Standard sites chronologies (A) and coefficient correlation matrix (B). Light blue – recent timberline sites (09SZP, 09SGP, 09SPS); dark blue – historical timberline sites (64SZP, 64SGP, 64SPS)



Wzrost świerków w ekotonie górnej granicy limitowany jest przez wiele czynników składowych wymagającego i niesprzyjającego środowiska. Kondycję populacji określono poprzez oznaczenie martwych drzew, silnie poranionych, a także określenie stosunku obwodu do wieku drzewa. W większości badanych populacji zasada, że im starsze drzewo, tym większy ma obwód pierścieniowy, jest zachowana, ale i tu wyróżnia się stanowisko 64SZP, gdzie zależność ta jest najmniejsza (choć nadal istotna statystycznie). Najstarsze osobniki charakteryzują się średnią wielkością, co sugeruje, iż w drugiej połowie XIX w. rosące tu pojedyncze świerki miały mocno utrudniony wzrost (ryc. 3-IIIa). Dużą liczbę martwych drzew zaobserwowano na stanowisku 64SPS (ryc. 3-Ia), które na pozostałych stanowiskach odnotowano sporadycznie lub wcale. Dodatkowo dużo jest tam wolnych przestrzeni, co przy braku młodych drzew (poniżej 70 lat) sugeruje, że drzewostan ten jest w fazie rozpadu. Duże zranienia mechaniczne zaobserwowano jedynie na stanowisku 09SPS, gdzie gwałtowne procesy geomorfologiczne (lawiny, spływy gruzowe) nie występują, więc wywołane zostały prawdopodobnie przez zwierzęta.

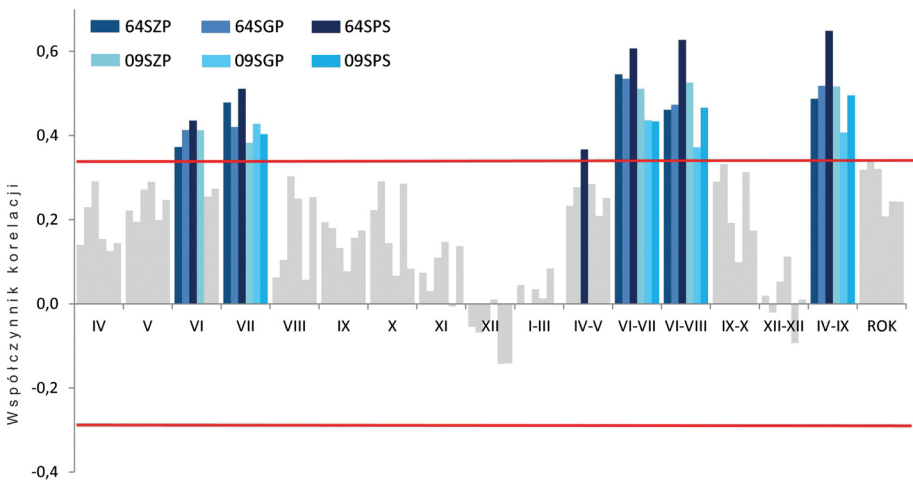


**Ryc. 3.** Szczegółowa analiza populacji świerków na stanowiskach progresywnej GGL: (I) SPS; (II) SGP; (III) SZP. Analiza przestrzenna wieku i obwodu pni drzew (Ia-IIIa). Struktura wiekowa (Ib-IIIb)

*Fig. 3. The analysis of spruce sites at progressive parts of timberline: (I) SPS; (II) SGP; (III) SZP. Spatial analysis of age and trunk circumference (Ia-IIIa). Age structure analyses (Ib-IIIb)*

Przestrzenne zróżnicowanie drzew na stanowiskach współczesnej GGL wskazuje na tworzenie się małych, zwartych grup świerków ze stosunkowo rozległymi otwartymi przestrzeniami między nimi, gdzie korony drzew nie stykają się ze sobą (zwarcie luźne). Na stanowiskach

64SPS oraz 64SGP zwarcie drzew jest pełne lub umiarkowane. We wspomnianym już okresie lat 20./30. XX w. pojawiające się tam nowe drzewa wypełniły nieliczne luki w już i tak zwartym lesie (64SPS) lub zajęły wolne od drzew fragmenty w zachodniej części stanowiska 64SGP. Analizy dendroklimatyczne wykazały, że wzrost świerków rosnących w obrębie progresywnej GGL, mimo silnej antropopresji w przeszłości, jest uzależniony od średniej temperatury lata (czerwiec–lipiec, czerwiec–sierpień) ze współczynnikami korelacji Pearsona w przedziale 0,44–0,55 dla stanowisk 64SGP, 09SGP, 64SZP i 09SZP. Największe pozytywne znaczenie dla wzrostu świerków rosnących na granicy lasu na stanowisku 64SPS i 09SPS ma temperatura całego okresu wegetacji kwiecień–wrzesień (współczynnik korelacji odpowiednio 0,65 i 0,50) i jest to najsilniejsza zależność wśród całej badanej populacji (ryc. 4). Analizy nie wykazały istotnego statystycznie wpływu wysokiej sumy opadów w okresie wegetacji (690 mm za Ob-rębska-Starkel 1963) na wzrost badanych populacji świerków. Ich negatywny wpływ zaznacza się za to wśród drzew rosnących w ekotonie stabilnej granicy lasu.



**Ryc. 4.** Wrażliwość świerków rosnących w obszarze progresywnej GGL na temperaturę wyrażona wartościami współczynnika korelacji Pearsona. Czerwone linie oznaczają wartość krytyczną na poziomie istotności  $p = 0,01$

*Fig. 4.* Influence of temperature on growth of trees at progressive timberline (values of Pearson coefficient correlation). Red line marks critical level of correlation at  $p = 0,01$

## Dyskusja

Na Babiej Górze w ciągu ostatnich 50 lat dominuje stabilna forma GGL. W Polsce, oprócz Babiej Góry, podobna pod względem siedliskowym górna granica lasu występuje w trzech masywach górskich: Karkonosze (Śnieżka 1602 m n.p.m.), Tatry (Gerlach 2655 m n.p.m.) oraz na Pilsku (1557 m n.p.m.). Stałość GGL na Babiej Górze w porównaniu z granicą lasu w Tatrach i Karkonoszach jest unikatowa. W Tatrach dynamika GGL jest znacząca – aż 60% jej długości uległo zmianie, nawet o 200 m w stosunku do lat 50. XX w. (Guzik 2008). Również

w czeskich Karkonoszach stwierdzono znaczące zmiany w przebiegu granicy lasu, uzależnione zarówno od czynników naturalnych, jak i sztucznych (Tremł 2007). W górach wysokich ze względu na zmiany klimatu oczekiwany jest ruch ekosystemów leśnych w górę stoku (Parmesan i Yohe 2003). Jednak w 50% badanych granic lasu na świcie takich zmian nie zaobserwowano (Harsch i in. 2009). Wzrost temperatury globalnej nie rekompensuje słabo wykształconej gleby, aktywności gwałtownych procesów geomorfologicznych i nie umożliwia pokonywania barier orograficznych, co ma miejsce na północnych stokach Babiej Góry (Nobel 1993; Kupfer i Cairns 1996; Loehle 2000; Macias-Fauria i Johnson 2013). Znaczna część granicy lasu na południowych stokach Babiej Góry napotyka ograniczenie w postaci bardzo zwartych i wysokich (~3 m) zarośli kosodrzewiny ponad lasem świerkowym i również wykazuje się stabilnością w badanym okresie.

Progresywna granica lasu na Babiej Górze stanowi jedynie 31% jej długości i występuje głównie na stoku południowym, co jest m.in. efektem odmiennej historii zagospodarowania obszaru, który pod względem administracyjnym i historycznym leży w granicach Górnej Orawy. Tereny podszczytowe Babiej Góry na początku XVII w. zostały nadane wsi Lipnica Wielka, Lipnica Mała i Zubrzyca Górna na tereny pod wypas owiec i bydła (Jostowa 1972). Od połowy XIX w., czyli od momentu uwłaszczenia chłopów, polany górskie zaczęto zalesiać. Powstanie GGL na stanowisku 64SPS prawdopodobnie wiąże się z tym wydarzeniem. Jeszcze w latach 1921–1925 wypasano na południowych stokach około 500 sztuk owiec (Kubijowicz 1927). W 1926 r. (Słowacja) i 1928 r. (Polska) wprowadzono na południowych stokach Babiej Góry gospodarkę rezerwatową. Okres ten zaznaczył się w lasach górnoreglowych ekspansją świerków na wyższe lokalizacje. Wszystkie badane stanowiska progresywnej granicy lasu są głównie wynikiem zaniku antropopresji w latach 20/30. XX w., świadczy o tym jednogeneracyjna struktura wiekowa świerczyn na współczesnej granicy lasu, które wykiełkowały w omawianym okresie.

Zaobserwowana w dwóch z trzech chronologii stanowiskowych depresja przyrostowa związana jest z wystąpieniem w okresie pięcioletnim trzech (1976, 1978, 1980) chłodnych lat, gdzie temperatura roczna była niższa od średniej odpowiednio o 0,5°C, 0,7°C i 1,2°C (Biczuk i Kaczka 2014). Stanowiska reprezentujące współczesną GGL wykazują większe niż historyczne różnicowanie przebiegu chronologii i mniejszą wrażliwość na globalne czynniki warunkujące wzrost świerków w badanym ekotonie (np. temperatura, zanieczyszczenia, współczesne zmiany klimatu). Świerczyny stanowiska 64SZP, mimo iż w latach 60. XX w. spełniały kryteria zwartego lasu, powstały w tym samym okresie co jego współczesny odpowiednik (09SZP). Stanowiska reprezentujące historyczny przebieg GGL (64SPS i 64SGP) charakteryzują się złożoną strukturą wiekową oraz zaawansowaną fazą rozwoju drzewostanów, co sprawia, iż są bardziej wrażliwe na temperaturę oraz zanieczyszczenia.

Zgodnie z prognozami dotyczącymi lat 2041–2070 w świcie o 2,5°C cieplejszym, progres granicy lasu na wyższe wysokości przewidywany jest na stokach o łagodnym lub średnim nachyleniu z pokrywą glebową i zwietrzeliną w podłożu, na których brak klifów czy szlaków lawinowych – w miejscach tych sygnał klimatyczny jest zmaksymalizowany (Macias-Fauria i Johnson 2013). Ze względu na długą i intensywną ingerencję człowieka na Babiej Górze nie zaobserwowano zmian GGL spowodowanych wyłącznie współczesnymi zmianami klimatu.

Oprócz czynników determinujących postęp lasu w całym masywie, na wzrost i kondycję drzew mają wpływ czynniki lokalne: ekspozycja, nachylenie stoków czy występowanie gwałtownych procesów geomorfologicznych. Pomimo intensywnego wpływu gospodarki człowieka najważniejszym czynnikiem warunkującym wzrost drzew w całym badanym ekotonie jest temperatura lata (czerwiec–lipiec, czerwiec–sierpień) i całego okresu wegetacji (kwiecień–wrzesień). Wyniki te są zgodne z istniejącymi badaniami nad górną granicą lasu. Średnie temperatury



okresu wegetacji w zakresie 5,5–7,5°C (niezależnie od lokalnych warunków klimatycznych) są bezpośrednio skorelowane z lokalizacją GGL (Korner 1998). Górna granica lasu na Babiej Górze wykazuje taką samą wrażliwość na temperaturę co świerki rosnące w innych masywach Karpat Zachodnich i Wschodnich (Kaczka i Büntgen 2007).

## Wnioski

- 30% długości górnej granicy lasu na Babiej Górze w badanym okresie (45 lat) zmieniło swoją lokalizację, a zaobserwowane zmiany zasięgu lasu dotyczą głównie stoku południowego, gdzie wysokość GGL wzrosła aż o 30 m do 1395 m n.p.m.
- Różnicując według struktury wiekowej progresywną GGL, można wyróżnić dwa typy drzewostanów: a) o złożonej, co najmniej dwugeneracyjnej, strukturze na stanowiskach historycznej górnej granicy lasu (64SPS oraz 64SGP); b) o jednogeneracyjnej strukturze wiekowej, gdzie w pierwszej połowie XX w. zakiełkowało ponad 60% drzew reprezentujących stanowiska współczesnej GGL.
- Szczegółowe, przestrzenne analizy progresywnej granicy lasu wykazały duże różnice pomiędzy stanowiskami, związane z lokalnymi warunkami: ekspozycją, mikrorzeźbą, nachyleniem stoków czy występowaniem gwałtownych procesów geomorfologicznych.
- W 1926 i 1928 r. wprowadzono na południowych stokach Babiej Góry gospodarkę rezerwatową. Okres ten zaznaczył się w lasach górnoreglowych ekspansją świerków na wyższe lokalizacje. Wszystkie badane stanowiska progresywnej granicy lasu są głównie wynikiem zaniku antropopresji w latach 20/30. XX w.
- Wzrost świerków rosnących w obrębie progresywnej GGL, pomimo silnej antropopresji w przeszłości, jest uzależniona od średniej temperatury lata lub całego okresu wegetacji. Opady nie mają istotnego wpływu na wzrost badanych drzew.

## Podziękowania

Prace realizowane w ramach projektu Narodowego Centrum Nauki NN 306 070640 „Przyrodnicze i antropogeniczne uwarunkowania przebiegu górnej granicy lasu w Masywie Babiej Góry”. Wykorzystanie danych LIDAR oraz przeprowadzenie badań terenowych było możliwe dzięki pomocy i życzliwości pracowników Babiogórskiego Parku Narodowego, a w szczególności dyrektora Józefa Omylaka oraz zastępcy dyrektora Tomasza Lamorskiego.

## Literatura

- Biczak T., Kaczka R.J. 2014. Klimatyczne uwarunkowania powstawania anomalii drewna wtórnego na przykładzie świerka pospolitego (*Picea abies* L. Karst) w Tatrach. SiM CEPL, Rogów, 40 (3): 9–18.
- 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 6. University of Arizona, Tucson: 50–56.

- Harsch M.A., Hulme P. E., McGlone M.S., Duncan R.P. 2009. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming. *Ecology Letters*, 12: 1040–1049.
- Duncan R.P. 1989. An evaluation of errors in tree age estimates based on increment cores in Kahikatea (*Dacrycarpus dacrydioides*). *New Zealand Natural Sciences*, 16: 31–37.
- Grissino-Mayer H.D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Research*, 57: 205–221.
- Guzik M. 2008. Analiza wpływu czynników naturalnych i antropogenicznych na kształtowanie się zasięgu lasu i kosodrzewiny w Tatrach. Praca Doktorska, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja, Wydział Leśny, Katedra Botaniki Leśnej i Ochrony Przyrody, Kraków.
- 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.
- Hughes L. 2000. Biological Consequences of Global Warming: Is the Signal Already. *Tree*, 15 (2): 57–61.
- Jostowa W. 1972. Pasterstwo na polskiej Orawie. Wrocław, Warszawa, Kraków, Gdańska. Zakład Narodowy im. Ossolińskich, PAN.
- Kaczka R.J., Büntgen U. 2007. Spatial autocorrelation and growth/climate response of a high elevation spruce network along the Carpathian arc. *TRACE*, 5: 103–112.
- Kondracki J. 1998. Geografia regionalna Polski. PAN, Warszawa.
- Korner Ch. 1998. A Re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. *Oecologia*, 115: 445–459.
- Kubijowicz W. 1927. Życie pasterskie w Beskidach Magórkich. Kraków, PAU.
- Kucharzyk S. 2006. Ekologiczne znaczenie drzewostanów w strefie górnej granicy lasu w Karpatach Wschodnich i ich wrażliwość na zmiany antropogeniczne. *Roczniki Bieszczadzkie*, 14: 15–43.
- Kullman L. 2001. 20<sup>th</sup> century climate warming and the tree-limit rise in the southern Scandes of Sweden. *Ambio: A journal of the Human Environment*, 30: 72–80.
- Kupfer J.A., Cairns D.D. 1996. The suitability of montane ecotones as indicators of global climatic change. *Progress in Physical Geography* September, 20 (3): 253–272.
- Loehle C. 2000. Forest ecotone response to climate change: sensitivity to temperature response functional forms. *Canadian Journal of Forest Research*, 30: 1632–1645.
- Larsson L-A. 2003a. CooRecorder: image co-ordinate recording program. [www.cybis.se](http://www.cybis.se)
- Larsson L-A. 2003b. CDendro: Cybis Dendro dating program. [www.cybis.se](http://www.cybis.se)
- Macias-Fauria M., Johnson A.E. 2013. Warming-induced upslope advance of subalpine forest is severely limited by geomorphic processes. *PNAS* 110 (20): 7971–7972.
- Nobel E.I. 1993. A model of the responses of ecotones to climate change. *Ecological Applications*, 3 (3): 396–403.
- Obrebska-Starkel B. 1963. Klimat Babiej Góry. W: Szafer W. (red.). Babiogórski Park Narodowy. Kraków, 45–67.
- Pauli H., Gottfried M., Grabherr G. 1996. Effects of climate change on mountain ecosystems – upward shifting of alpine plants. *World Resource Review* 8: 382–390.
- Parmesan C., Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421 (2): 37–42.

- Peterson D.L. 1994. Recent changes in the growth and establishment of subalpine conifers in western North America. W: Beniston M. (red.). Mountain Environments in Changing Climates. Routledge. 234–243.
- Tremł V. 2007. The effect of terrain morphology and geomorphic processes on the position and dynamics of the alpine timberline. A case study from the High Sudetes, Czech Republic. W: Goudie A.S., Kalvoda J. (red.). Geomorphological Variations, P3K, Prague: 298–312.
- Walther G.R. 2000. Climatic forcing on the dispersal of exotic species. *Phytocoenologia*, 30 (3–4): 409-430.

**Barbara Czajka, Ryszard J. Kaczka**  
Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi  
barczajka@wp.pl  
ryszard.kaczka@us.edu.pl