

Adam Łajczak¹, Barbara Spyt²

¹ Uniwersytet Pedagogiczny im. Komisji Edukacji Narodowej

Instytut Geografii

ul. Podchorążych 2, 30–084 Kraków

alajczak@o2.pl

² Uniwersytet Śląski w Katowicach

Wydział Nauk o Ziemi

ul. Będzińska 60, 41–200 Sosnowiec

barbaraspyt@wp.pl

Received: 13.03.2018

Reviewed: 27.04.2018

GÓRNA GRANICA LASU NA BABIEJ GÓRZE, KARPATY ZACHODNIE

Forest limit on the Babia Góra Mt., the Western Carpathians

Abstract: The research includes benchmarking of altitude and sinuosity of two lines determining the forest limit, namely *timberline* and *treeline*, on the precipitous northern slope and gently inclined southern slope of Babia Góra Mt. (1725 m a.s.l.) in the Western Carpathians. The empirical timberline is determined mainly by slope processes, whereas the course of treeline is conditioned by land topography and local climate. On the northern slope of Babia Góra Mt., timberline has not been dislocated by human impact. On the southern slope it was shifted downwards due to former sheep and cattle grazing but it has shown progression.

Key words: upper forest limit, climatic asymmetry, slope processes, snow avalanches, Babia Góra Mt., Western Carpathian Mountains.

Wstęp

Górna granica lasu jest wykształcona jako strefa przejściowa, czyli ekoton, powyżej której ze względu na warunki klimatyczne zwarty las stopniowo przechodzi w strefę bezleśną (Troll 1973; Tranquillini 1979; Körner 2012). Granica ta, nawet w obrębie jednego masywu górskiego, przebiega na różnej wysokości, na co wpływ wywiera asymetria klimatyczna związana z ekspozycją stoków (dosłoneczna lub odsłoneczna, dowietrzna lub zawietrzna), a także topografia terenu oraz zróżnicowane nasilenie procesów stokowych. W literaturze zwraca się uwagę, że makrotopografia wysoko wyniesionych masywów górskich o dużej objętości górotworu sprzyja położeniu granicy lasu na większej wysokości, niż w masywach z głębokimi dolinami i przełęczami (*mass-elevation effect*) (Zhao i in. 2014; Czajka i in. 2015a). Z kolei poniżej przełęczy, a także na stokach o odsłonecznej lub zawietrznej ekspozycji otaczających zamknięcia dolin, granica lasu przebiega na mniejszej wysokości (*pass phenomenon, valley phenomenon*) (Sokołowski 1928; Myczkowski 1972; Holtmeier 2009). Granica lasu jest także obniżona u podnóża wysokich i urwistych stoków o odsłonecznej ekspozycji,

przykładowo po północnej stronie Giewontu w Tatrach zjawisko to jest znane jako *fenomen Sarniej Skaly* (Piękoś 1968).

Strefa ekotonu górnej granicy lasu (*treeline ecotone*) o zróżnicowanej szerokości jest wyznaczona przez empiryczną granicę zwartego lasu (*timberline*), na ogół o dużej krętości, nazywana dalej „górną granicą lasu” oraz przez linię wyznaczającą najwyższy zasięg pojedynczych osobników (o karłowatych rozmiarach) panującego w badanym masywie gatunku drzew – granica gatunków drzewiastych (*tree species line*) (Körner, Paulsen 2004). Wewnątrz tej strefy zlokalizowana jest granica drzew (*treeline*), czyli górna granica lokalnie dominującego gatunku drzew (na badanym obszarze świerk pospolity *Picea abies* L. Karst). Linia ta łączy najwyżej położone na stokach płaty zwartego lasu, gdzie świerk przekracza 8 m wysokości (Sokołowski 1928). Linia łącząca wysoko sięgające na stokach płaty lasu, np. między trasami lawin śnieżnych, tym samym wyznacza hipotetyczną/teoretyczną górną granicę lasu. Wzajemne położenie górnej granicy lasu i granicy drzew na stoku grzbietu górskiego schematycznie pokazuje Ryc. 1. Przebieg granicy lasu jest lokalnie obniżony w stosunku do klimatycznie uwarunkowanego przebiegu granicy drzew, głównie w wyniku procesów stokowych wywołujących mechaniczną destrukcję lasu, np. lawin śnieżnych (McClung, Schaerer 2006; Łajczak, Spyt 2016; Rączkowska i in. 2016). Przykładowo, w Tatrach Wysokich obniżenie granicy lasu powodowane tym procesem obejmuje 60% jej długości (Kalafarski 2011). Część ekotonu granicy lasu, położona poniżej granicy drzew, to miejsce potencjalnego występowania lasu w aktualnych warunkach klimatycznych, gdyby nie zachodziło negatywne oddziaływanie czynników geomorfologicznych.

Górna granica lasu ulega również obniżaniu w wyniku różnych działań człowieka (Holtmeier 2009; Czajka i in. 2015a). Najczęściej jest to skutek pasterstwa (Weisberg i in. 2013) powiązanego z wycinaniem drzew i krzewów (Sokołowski 1928; Knorn i in. 2012), a także zanieczyszczenia powietrza (Tremł, Migoń 2015). Po zaprzestaniu pasterstwa stwierdza się progresję granicy lasu, przykładowo w niektórych masywach karpackich zjawisko to zachodzi w ostatnich 70 latach w tempie 9 m/dekadę (Czajka i in. 2015a).

Przedmiot pracy stanowi analiza porównawcza średniej, maksymalnej i minimalnej wysokości n.p.m. górnej granicy lasu i granicy drzew, a także krętości tych linii, na północnym i południowym stoku asymetrycznego grzbietu Babiej Góry w Zachodnich Karpatach. Analizę przeprowadzono w nawiązaniu do topografii i morfologii obszaru oraz do lokalnych warunków klimatycznych, a także z uwzględnieniem skutków pasterstwa wycofanego w latach 60. XX w. z polskiej części Babiej Góry po utworzeniu w 1954 r. Babiogórskiego Parku Narodowego. W słowackiej części Babiej Góry wycofanie pasterstwa nastąpiło po utworzeniu w 1974 r. Państwowego Rezerwatu Przyrody Babia Góra (od 1994 r. Narodowy Rezerwat Przyrody Babia Góra).

Obszar badań

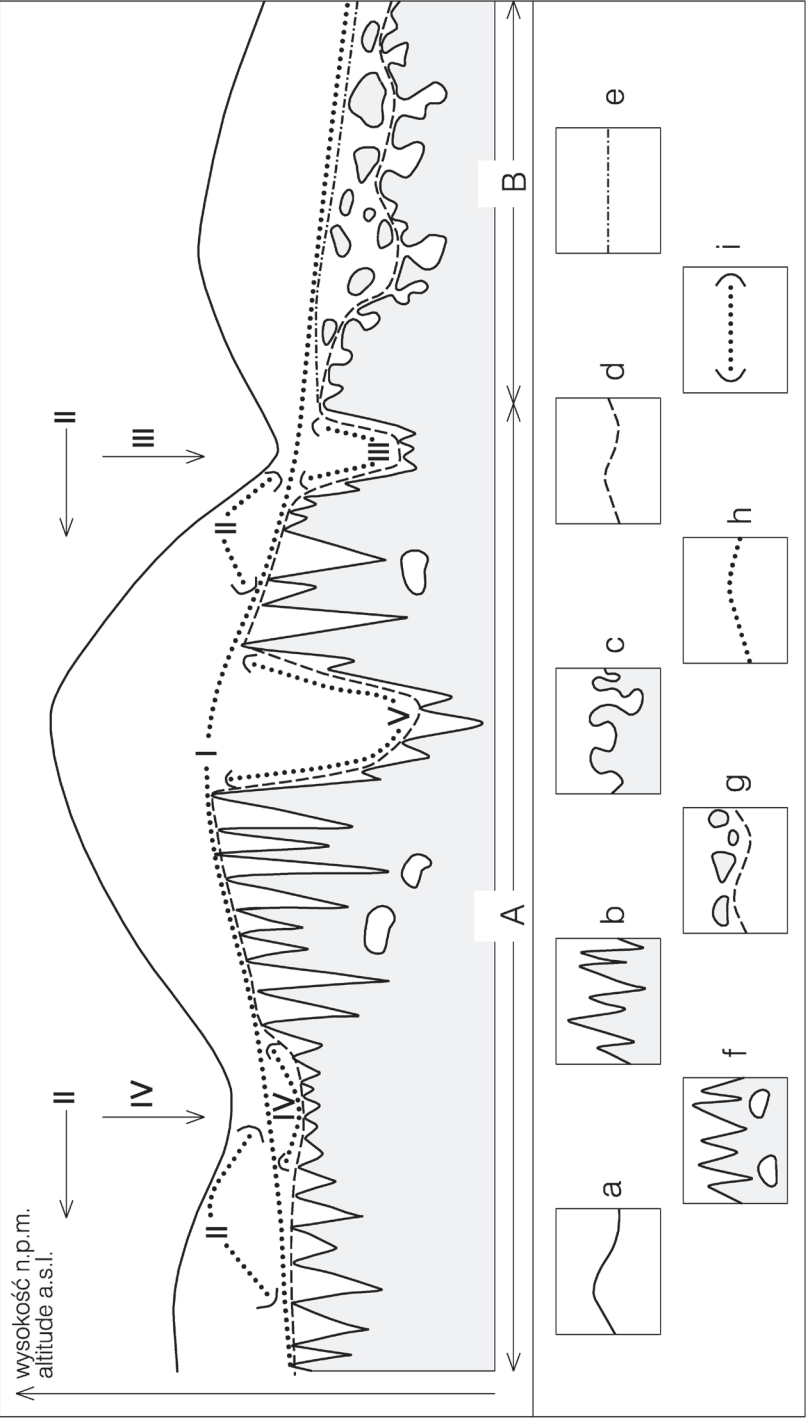
Babia Góra (1725 m n.p.m.) to monoklinalny grzbiet o długości 10 km, zorientowany w kierunku W–E, osiągający wysokość względną 1100 m. To najwyższy wyniesiony masyw w Zachodnich Karpatach fliszowych, gdzie występuje górna granica lasu (Ryc. 2). Grzbiet powyżej 1000 m n.p.m. budują zapadające ku południowi pod kątem 20° warstwy piaskowców magurskich, a jego niżej wzniesione obszary – mniej odporne warstwy podmagurskie (Książkiewicz 1963). Północny stok ma profil wklęsły i jego górna część to wysokie na 500 m urwisko, natomiast łagodniej nachylony stok południowy ma profil wypukło-wklęsły. Stoki, zwłaszcza zbudowane z piaskowców magurskich, są modelowane przez osuwiska, zajmujące większą powierzchnię po północnej stronie grzbietu (Łajczak i in. 2014). Najbardziej dynamicznym procesem wpływającym na przebieg granicy lasu na Babiej Górze są lawiny śnieżne; największe zagęszczenie tras lawinowych występuje na północnym stoku (Łajczak, Spyt 2016). Do innych procesów rzeźbotwórczych modelujących północny stok tego grzbietu należą obrywy skalne, płytkie osuwanie pokryw zwietrzelinowych, spływy gruzowe, spęływanie blokowisk skalnych, jednak tylko niektóre z nich obniżają granicę lasu. Przebieg tej linii na stokach Babiej Góry lokalnie określają także czynniki edaficzne i hydrograficzne, na przykład pola blokowe bez pokrywy glebowej, młaki, zgrupowania źródeł, podmokłe brzegi miniaturowych jezior (Łajczak, Spyt 2018 – w druku).

Na Babiej Górze wyróżniono pięć pięter klimatycznych i roślinnych (Hess 1965; Celiński, Wojterski 1983) (Ryc. 2). Dwa najwyższe położone piętra należą do dziedziny alpejskiej. Opady w całym profilu wysokościowym Babiej Góry przekraczają 1200 mm i na północnym stoku lokalnie osiągają 1500 mm (Obrębska-Starkel 2004). W sezonie wegetacyjnym ilość energii słonecznej docierającej do strefy ekotonu granicy lasu na południowym stoku wynosi 959 kWh/m², podczas gdy na stoku północnym 666 kWh/m² (Czajka i in. 2015a). W rejonie Babiej Góry dominują wiatry z kierunku SW oraz S i W, zwłaszcza o prędkościach > 10 m/s (Niedźwiedz i in. 1985).

Przez Babią Górę prowadzi granica polsko-słowacka. 2/3 tego masywu znajduje się w granicach Polski (Ryc. 2).

Górna granica lasu na Babiej Górze – dotychczasowy stan poznania

Górna granica lasu na Babiej Górze została po raz pierwszy zaznaczona na mapie Liesganiga i in. (1790). Na mapach zawartych w pracach Zapałowicza (1879) i Walasa (1933) wysokościowy przebieg tej granicy określono po raz pierwszy na północnym stoku na wysokości przekraczającej 1300 m n.p.m., a na stoku południowym na wysokości zbliżonej do 1400 m n.p.m.

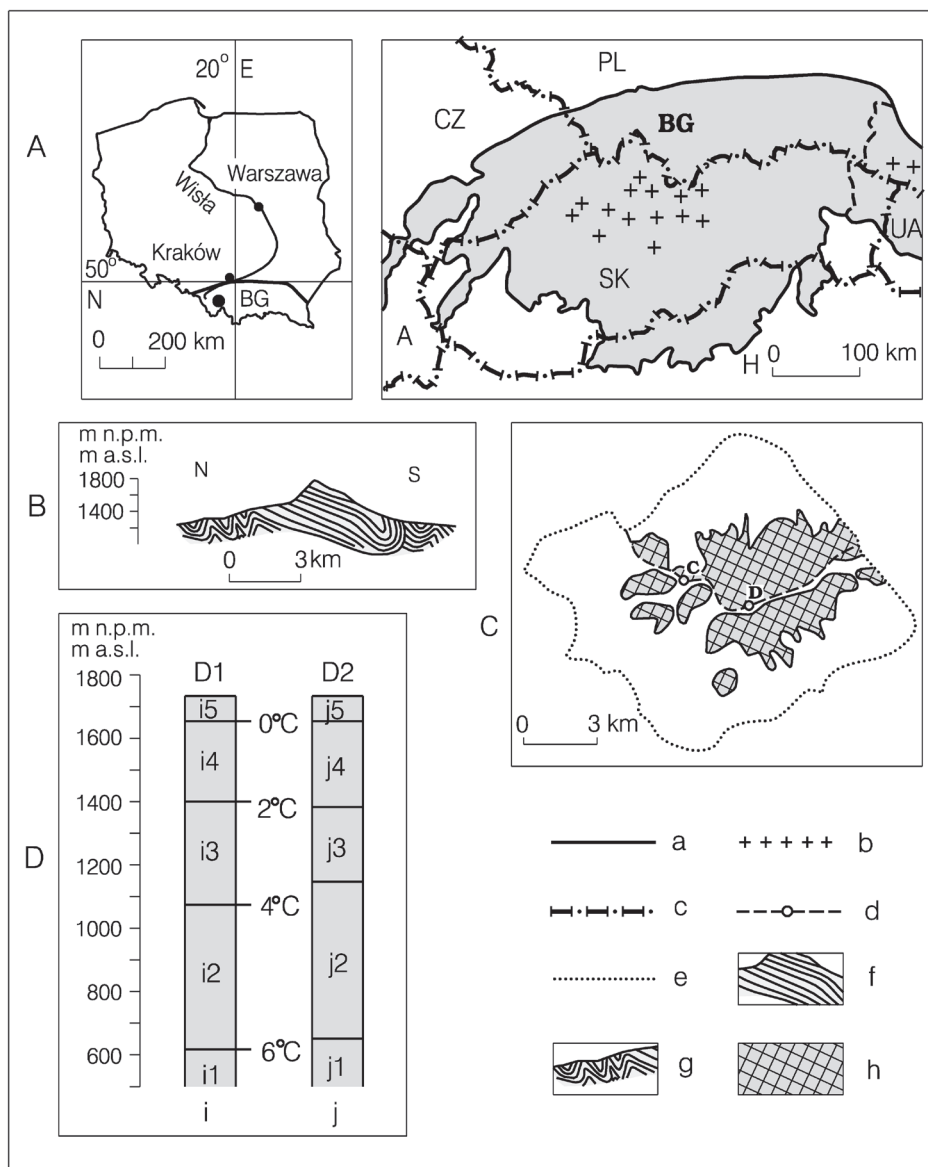


Bardziej szczegółowe informacje dotyczące zróżnicowania wysokościowego górnej granicy lasu na Babiej Górze zawierają prace Celińskiego i Wojterskiego (1963, 1983), w których zwrócono uwagę na czynniki klimatyczne i orograficzne, wpływające na przebieg tej granicy na północnym i południowym stoku. Cytowani autorzy opublikowali także mapy, pokazujące przebieg górnej granicy lasu na obszarze polskiej części Babiej Góry (Celiński, Wojterski 1961, 1978). W cytowanych pracach stwierdzono dominującą rolę ekspozycji stoków Babiej Góry, w największym stopniu w profilu N–S, w zróżnicowaniu wysokości górnej granicy lasu. Wskazano także, że górna granica lasu na północnym stoku przebiega na

←
Ryc. 1. Schematyczny przebieg górnej granicy lasu i granicy drzew na stokach masywu górskiego pod wpływem oddziaływania czynników przyrodniczych (A) i dodatkowo działalności człowieka (B – efekt pasterstwa). a - linia grzbietu, b - przebieg granicy lasu w sytuacji A, c - przebieg granicy lasu w sytuacji B, d - przebieg granicy drzew w sytuacji A i B, e - w sytuacji B przypuszczalne podniesienie wysokości granicy drzew jako efekt wtórnej sukcesji lasu po zaniechaniu pasterstwa, f - enklawy bezleśne, g - eksklawy lasu powyżej granicy drzew, h - zgeneralizowany przebieg granicy drzew wskazujący na zjawisko mass-elevation effect (I) w centralnej części masywu, i - lokalne odchylenia przebiegu granicy drzew: II - podniesienie granicy drzew w wyniku częstych wiatrów wiejących w górę stoku, III - obniżenie granicy drzew w zamknięciach dolin na stokach odsłonecznych, a na stokach zawietrznych głównie w wyniku wiatrów opadających, IV - obniżenie granicy drzew poniżej przełęczy na stokach zawietrznych w wyniku wiatrów opadających, V - obniżenie granicy drzew poniżej kulminacji masywu na urwistym i wysokim stoku odsłonecznym. Lokalne obniżenia granicy lasu są powodowane głównie przez lawiny śnieżne oraz przez inne procesy stokowe oraz przez czynnik edaficzny. Częściowo opracowano na podstawie: Sokołowski (1928), Piękoś (1968), Myczkowski (1972), Holtmeier (2009), Łajczak, Spyt (2018 – w druku).

Fig. 1. Schematic course of timberline and treeline on the slopes of mountain massif influenced by natural processes (A) and additionally human impact (B – effect of pasturing). a - line of ridge, b - course of timberline in situation A, c - course of timberline in situation B, d - course of treeline in situation A and B, e - in situation B probable increased altitude of treeline resulted from secondary succession of forest after abandonment of pasturing, f - forest-free enclaves, g - forest exclaves above treeline, h - generalized course of treeline showing the mass-elevation effect (I) in central part of the massif, i - local deviations in the course of treeline: II - upward shift of treeline due to prevailing up-slope winds, III - downward shift of treeline in head of valleys on shaded slopes and on leeward slopes as a result of rapid katabatic winds (*valley phenomenon*), IV - downward shift of treeline near passes on leeward slopes due to katabatic winds (*pass phenomenon*), V - downward shift of treeline at the base of the massif's culmination on high and precipitous slopes of shaded exposure (*phenomenon of Sarnia Skala in the Tatra Mts or the Diablak effect at the Babia Góra Mt.*). Local downward shift of timberline due to snow avalanches mainly, and also due to other slope processes and edaphic agent. Partly according to Sokołowski (1928), Piękoś (1968), Myczkowski (1972), Holtmeier (2009), Łajczak, Spyt (2018 – in print).

średniej wysokości 1330 m n.p.m., a na stoku południowym na wysokości 1400 m n.p.m. Niższe położenie granicy lasu na stromym stoku północnym cytowani autorzy tłumaczą dłużej trwającym zacienieniem tego obszaru i opóźnionym wytapianiem pokrywy śniegu, co skutkuje skróceniem okresu wegetacyjnego. Zwracają także uwagę na duże znaczenie dominujących wiatrów z sektora SW, które mogą – zależnie od ekspozycji stoków – ułatwiać lub przeciwdziałać ob-



siewaniu się świerka w górę stoku. Wskazują na znaczenie wiatrów opadających na stoku północnym w obniżaniu górnej granicy lasu na tym obszarze. Cytowani autorzy sygnalizują rolę lawin śnieżnych i obrywów skalnych w obniżaniu górnej granicy lasu na północnym stoku Babiej Góry, zwracają też uwagę na obniżony w wyniku pasterstwa przebieg tej granicy na stoku południowym. Różnice w fizjonomii górnej granicy lasu na Babiej Górze między północnym i południowym stokiem stanowiły przedmiot badań Kasprowicza (1980) i Łuszczyńskiego (1980).

Badania Zientarskiego (1976, 1985, 1989), dotyczące wysokościowej pozycji górnej granicy lasu, zostały przeprowadzone na obszarze całego grzbietu Babiej Góry. W wyznaczonym przez cytowanego autora przebiegu tej granicy wskazano miejsca oddziaływania czynników przyrodniczych modyfikujących jej przebieg. Uaktualniony przebieg górnej granicy lasu na Babiej Górze (tylko w granicach Polski), na tle zasięgu zbiorowisk roślinnych, według stanu z drugiej połowy lat 90. XX w., został przedstawiony przez Holeksę i Szwaagrzyka (2005). Cytowani autorzy wskazują nadal tę samą średnią wysokość granicy lasu. Badania nad górną granicą lasu w słowackiej części Babiej Góry, prowadzone przez Vorčaka i in. (2006a,b) oraz Vorčaka i Jankovica (2009), dotyczyły odnowienia świerka na obszarach wcześniej objętych przez pasterstwo.



Ryc. 2. Obszar badań. A - położenie Babiej Góry (BG) w Polsce i w Zachodnich Karpatach, B - schematyczny profil geologiczny i geomorfologiczny (N-S) grzbietu, C - zasięg głębokich osuwisk na stokach Babiej Góry, D - zasięg wysokościowy pięter klimatycznych (D1) i roślinnych (D2). a - granica Karpat (przerwaną linią zaznaczono granicę między Karpatami Zachodnimi i Wschodnimi), b - masywy górskie z górną granicą lasu, c - granice państw, d - oś grzbietu, kulminacje (D - Diablak, C - Cyl), e - granica Babiej Góry, f - piaskowce magurskie, g - warstwy podmagurskie, h - głębokie osuwiska, i - piętra klimatyczne (i1 - umiarkowanie ciepłe, i2 - umiarkowanie chłodne, i3 - chłodne, i4 - bardzo chłodne, i5 - umiarkowanie zimne; podano graniczne wielkości średniej temperatury w °C); j - piętra roślinności (j1 - lasy pogórza, j2 - piętro regla dolnego, j3 - piętro regla górnego, j4 - piętro kosodrzewiny, j5 - piętro halne).

Fig. 2. Investigation area. A - location of Babia Góra Mt. in Poland and the Western Carpathians, B - schematic geological and geomorphological profile (N-S) of the ridge, C - limit of deep-seated landslides on slopes of the Babia Góra Mt., D - limit of climatic (D1) and vegetation (D2) vertical belts. a - boundaries of the Carpathians (broken line shows the border between Western and Eastern Carpathians), b - massifs with upper forest limit, c - state boundaries, d - the ridge axis, culminations (D - Diablak, C - Cyl), e - limit of the Babia Góra Mt., f - Magura sandstone, g - Sub-Magura layers, h - deep-seated landslides, i - climatic vertical belts (i1 - temperate warm, i2 - temperate cool, i3 - cool, i4 - very cool, i5 - temperate cold; border values of mean temperatures, °C, are marked), j - vegetation vertical belts (j1 - submontane forest, j2 - lower montane forest, j3 - upper montane forest, j4 - dwarf mountain pine belt, j5 - alpine meadows).

W ostatnich latach badania nad górną granicą lasu na Babiej Górze dotyczyły głównie topograficznych i geomorfologicznych uwarunkowań jej przebiegu, ze zwróceniem uwagi na różnice między północnym i południowym stokiem grzbietu. W badaniach prowadzonych przez Czajkę i in. (2015a,b) uwzględniono dane przestrzenne LiDAR z 2012 r. oraz wyniki badań dendrochronologicznych. W pracach Czajki i in. (2015b) oraz Łajczaka i in. (2015) wykazano dominujący wpływ lawin śnieżnych na lokalne obniżenie granicy lasu na północnym stoku Babiej Góry. W pracy Łajczaka i Spyt (2016) dokładniej zanalizowano ten problem, uwzględniając kształt stoków i parametry geometryczne tras lawinowych. W najnowszej pracy Łajczaka i Spyt (2018 – w druku) zanalizowano przebieg górnej granicy lasu na północnym i południowym stoku Babiej Góry, nawiązując do makrotopografii i rzeźby grzbietu, nasilenia procesów rzeźbotwórczych, warunków klimatycznych, edaficznych i hydrograficznych.

Ocenę zmian w przebiegu górnej granicy lasu na południowym stoku Babiej Góry w wyniku dawnego pasterstwa, ze wskazaniem lokalnych centrów wypasu i wielkości obniżenia tej granicy (nawet do 300 m), zawierają prace Łajczaka i Lamorskiego (2015) oraz Łajczaka (2016a). Górną granicę lasu na stromym, bardziej aktywnym geomorfologicznie północnym stoku Babiej Góry, uważa się na przeważającej długości za nienaruszoną przez człowieka (Celiński, Wojterski 1983; Zientarski 1989).

Zainteresowania badaczy są także skierowane na zmiany w przebiegu górnej granicy lasu na Babiej Górze, jakie się dokonały w ciągu ostatnich 50 lat (Czajka i in. 2015a). Badania cytowanych autorów wskazują na tendencję progresywną w przebiegu tej granicy na terenach popasterskich, głównie na południowym stoku, a także na lokalnie zaznaczającą się tendencję regresywną na północnym stoku. Według cytowanych autorów duże fragmenty terenów popasterskich na południowym stoku Babiej Góry uległy ponownie zalesieniu i lokalnie granica lasu podniosła się od lat 60. XX w. o ponad 100 m.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że coraz częściej pojawiające się publikacje, dotyczące ekotonu granicy lasu na Babiej Górze, odnoszą się tylko do górnej granicy zasięgu lasu i na ogół nie zawierają statystycznej analizy tej linii. W pracy (Łajczak, Spyt 2018 – w druku) została uwzględniona ocena wpływu wszystkich wskazywanych w literaturze czynników przyrodniczych na przebieg empirycznej granicy lasu. W cytowanej pracy została też po raz pierwszy przeprowadzona kompleksowa analiza wysokościowej pozycji wyróżnionych odcinków górnej granicy lasu (wysokość średnia, zakres wysokości n.p.m.), a także ich krętości, na tle makrotopografii grzbietu i morfologii stoków Babiej Góry oraz lokalnych warunków klimatycznych i edaficznych. Pomimo postępu badań nad górną granicą lasu na Babiej Górze nadal brakuje analizy porównawczej wysokościowej pozycji i krętości tej linii w skali całego obszaru północnego i połu-

dniowego stoku tego grzbietu, włącznie z omówieniem przyrodniczych i antropogenicznych uwarunkowań jej przebiegu. Uwagę zwraca także brak informacji o przebiegu granicy drzew na tym grzbiecie górskim.

Metodyka badań

Przebieg górnej granicy lasu (timberline) i granicy drzew (treeline) na Babiej Górze wyznaczono stosując metodę zaproponowaną przez Guzika (2008) w ramach jego badań w Tatrach, nawiązującą do wcześniejszych badań Sokołowskiego (1928). Metoda ta zakłada, że las przy granicy jego zasięgu (timberline) powinien jeszcze mieć zwarcie koron $> 40\%$, a wysokość drzew (w przypadku Babiej Góry świerków) ma nadal przekraczać 8 m. „Laski jarzębinowe” występujące powszechnie na północnym stoku Babiej Góry, w sąsiedztwie granicy lasu (Parusel i in. 2004), zostały więc wykluczone z tych rozważań. Na podstawie zortorektyfikowanych współczesnych (2009) zdjęć lotniczych, stosując w/w wskazania metodyczne, przeprowadzono fotointerpretację i wyznaczono przebieg górnej granicy lasu (timberline) i granicy drzew (treeline). Lokalizację pierwszej z tych linii uszczegółowiono na podstawie danych przestrzennych Lotniczego Skaningu Laserowego o submetrowej dokładności z 2012 r. o gęstości 6 pkt/m² (dane udostępnione przez Dyрекcję Babiogórskiego Parku Narodowego). Wysokość świerków oceniono na podstawie modelu koron drzew (z NMPT) uzyskanego jako pochodna NMT i NMPT. Przebieg granicy drzew (treeline), czyli hipotetycznej granicy lasu, został wyznaczony jako zgeneralizowana linia łącząca lokalne maksima granicy lasu (timberline), wg założeń metodycznych Guzika (2008), iż nachylenie linii łączącej lokalne maksima (najwyżej położone płaty zwartego lasu) nie może przekraczać 45° (analizy wykonywane były z wykorzystaniem profili wysokościowych przebiegu górnej granicy lasu). Zgodnie z tą metodą przebieg granicy drzew jest złagodzony w stosunku do przebiegu granicy lasu, tzn. średnia i minimalna wysokość pierwszej z tych linii jest większa od drugiej linii, natomiast maksymalna wysokość obu linii jest taka sama (por. Ryc. 1).

Wykorzystanie danych wysokościowych z lotniczego skaningu laserowego umożliwiło obliczenie następujących parametrów górnej granicy lasu i granicy drzew na obszarze całego grzbietu Babiej Góry i osobno na północnym i południowym stoku: długość granicy lasu (L_{timb}) [m] i granicy drzew (L_{tree}) [m], wysokość średnia (h_m), maksymalna (h_{max}) i minimalna (h_{min}) [m n.p.m.] tych linii, zakres wysokości granicy lasu (Δh_1) i granicy drzew (Δh_2) [m], długość poziomic na wysokości h_m (L_{cl}) [m] dla każdej z tych linii i na tej podstawie krętość granicy lasu ($L_{\text{timb}}/L_{\text{cl}}$) i krętość granicy drzew ($L_{\text{tree}}/L_{\text{cl}}$) [–]. Kolejnym etapem badań było wykreślenie kumulowanej z przyrostem wysokości n.p.m. długości granicy lasu i granicy drzew na obszarze całego grzbietu Babiej Góry oraz osobno na północnym i południowym stoku i na tej podstawie ustalenie

mediany wysokości (hme) [m n.p.m.] tych linii na wskazanych obszarach. Stoki Babiej Góry podzielono na segmenty o ekspozycjach N, NE, E, SE, S, SW, W, NW, tylko w zakresie wysokości między hmin granicą lasu i osią grzbietu. W każdym segmencie stoku ustalono wysokość średnią, maksymalną i minimalną górnej granicy lasu i granicy drzew.

Wyniki

Przebieg górnej granicy lasu i granicy drzew na Babiej Górze, na tle uproszczonego rysunku poziomicowego, pokazuje Ryc. 3. Obie linie graniczne przebiegają na tym grzbiecie przez obszary o rzeźbie osuwiskowej, wyścielone blokowymi lub rumoszowymi koluwiami (por. Ryc. 2), a także przez urwiste pozębione stoki z trasami lawin. Nachylenia stoków w sąsiedztwie górnej granicy lasu i granicy drzew wynoszą od 20° do 45°. W pobliżu granicy lasu występują liczne źródła, młaki i miniaturowe jeziora (Łajczak 2016b).

Parametry górnej granicy lasu i granicy drzew na grzbiecie Babiej Góry

Długość górnej granicy lasu na Babiej Górze wynosi 38,2 km i jej przebieg zawiera się w przedziale wysokości 1106–1508 m n.p.m., przy średniej wysokości występowania 1375 m n.p.m. (Tab. 1). Odchylenia skrajnie położonych punktów tej linii od jej średniej wysokości są asymetryczne i wynoszą +133 m i -269 m ($\Delta h_1 = 402$ m). Górna granica lasu przebiega w zakresie wysokości obejmującej zasięg występowania regla górnego, a także najniżej położone fragmenty piętra kosodrzewiny i najwyżej położone fragmenty regla dolnego (por. Ryc. 2). Średnia temperatura w tym przedziale wysokości wynosi od poniżej 2°C do ponad 4°C.

Ryc. 3. Przebieg górnej granicy lasu (a) i granicy drzew (b) w masywie Babiej Góry. c - poziomicę (co 50 m), d - enklawy bezleśne nie związane z pasterstwem, e - eksklawy lasu (bór świerkowy) powyżej granicy drzew na terenach porzuconych przez pasterstwo, f - las limbowy wprowadzony przez człowieka powyżej granicy drzew, g - oś grzbietu, kulminacje, przełęcze, h - granica polsko-słowacka. Zaznaczono największą i najmniejszą wysokość (m n.p.m.) granicy lasu na północnym i południowym stoku masywu.

Fig. 3. Course of timberline (a) and treeline (b) in Babia Góra massif. c - contour-lines (every 50 m), d - forest-free enclaves not connected with sheep and cattle grazing, e - forest exclaves (spruce wood) above the treeline on the areas abandoned by sheep and cattle grazing, f - Swiss stone-pine forest above the treeline introduced by the man, g - ridge axis, culminations, passes, h - Polish-Slovak border. Maximum and minimum elevation of timberline (m a.s.l.) on N and S slope of Babia Góra Mt. is marked.

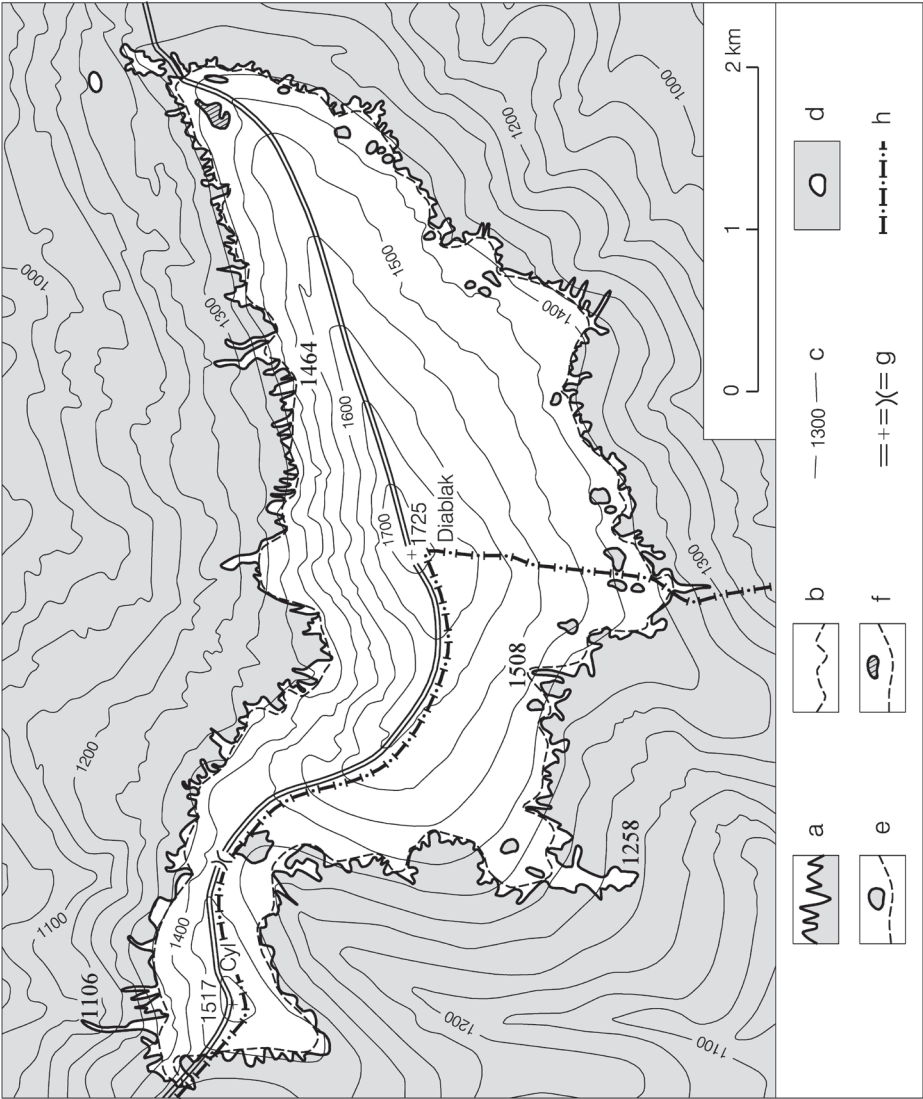


Tabela 1. Parametry górnej granicy lasu i granicy drzew na Babiej Górze.**Table 1.** Timberline and treeline parameters on Mt. Babia Góra.

Linia <i>Line</i>	Parametr <i>Parameter</i>	Grzbiet <i>Ridge</i>	Północny stok <i>Northern slope</i>	Południowy stok <i>Southern slope</i>
Górna granica lasu <i>Timberline</i>	długość L_{timb} [m]	38200	16600	21600
	wysokość średnia h_m [m n.p.m.]	1375	1342	1395
	wysokość maksymalna h_{max} [m n.p.m.]	1508	1464	1508
	wysokość minimalna h_{min} [m n.p.m.]	1106	1106	1258
	przedział wysokości Δh_1 [m]	402	358	250
	mediana wysokości h_{me} [m n.p.m.]	1390	1358	1410
	długość poziomicy na wys. h_m L_{cl} [m]	15300	5600	9700
	krętość $L_{\text{timb}}/L_{\text{cl}}$ [-]	2,50	2,96	2,23
Granica drzew <i>Treeline</i>	długość L_{tree} [m]	16500	6200	10300
	wysokość średnia h_m [m n.p.m.]	1406	1370	1415
	wysokość maksymalna h_{max} [m n.p.m.]	1508	1464	1508
	wysokość minimalna h_{min} [m n.p.m.]	1280	1280	1335
	przedział wysokości Δh_2 [m]	228	182	173
	mediana wysokości h_{me} [m n.p.m.]	1415	1382	1422
	długość poziomicy na wys. h_m L_{cl} [m]	14540	5440	9100
	krętość $L_{\text{tree}}/L_{\text{cl}}$ [-]	1,13	1,14	1,13
	$L_{\text{timb}} / L_{\text{tree}}$ [-]	2,32	2,68	2,10

Granica drzew na Babiej Górze jest ponad dwukrotnie krótsza od górnej granicy lasu (16,5 km) i przebiega na wysokości od 1280 do 1508 m n.p.m. (Tab. 1). Średnia wysokość tej linii jest większa o 31 m od granicy lasu i wynosi 1406 m n.p.m. Skrajne punkty granicy drzew są bardziej zbliżone do jej średniej wysokości i odchylenia w wysokościach są bardziej symetryczne: +102 m i -126 m. Przedział wysokości, w którym znajdują się skrajnie położone punkty granicy drzew (Δh_2), wynosi 228 m i jest on prawie dwa razy węższy od analogicznego przedziału wysokości górnej granicy lasu. Zgodnie z przyjętą metodyką granica drzew występuje w przedziale wysokości zajmowanym przez wyżej położone fragmenty regła górnego i nisko położone fragmenty piętra kosodrzewiny (por. Ryc. 2), w którym średnia temperatura jest bardziej zbliżona do 2°C.

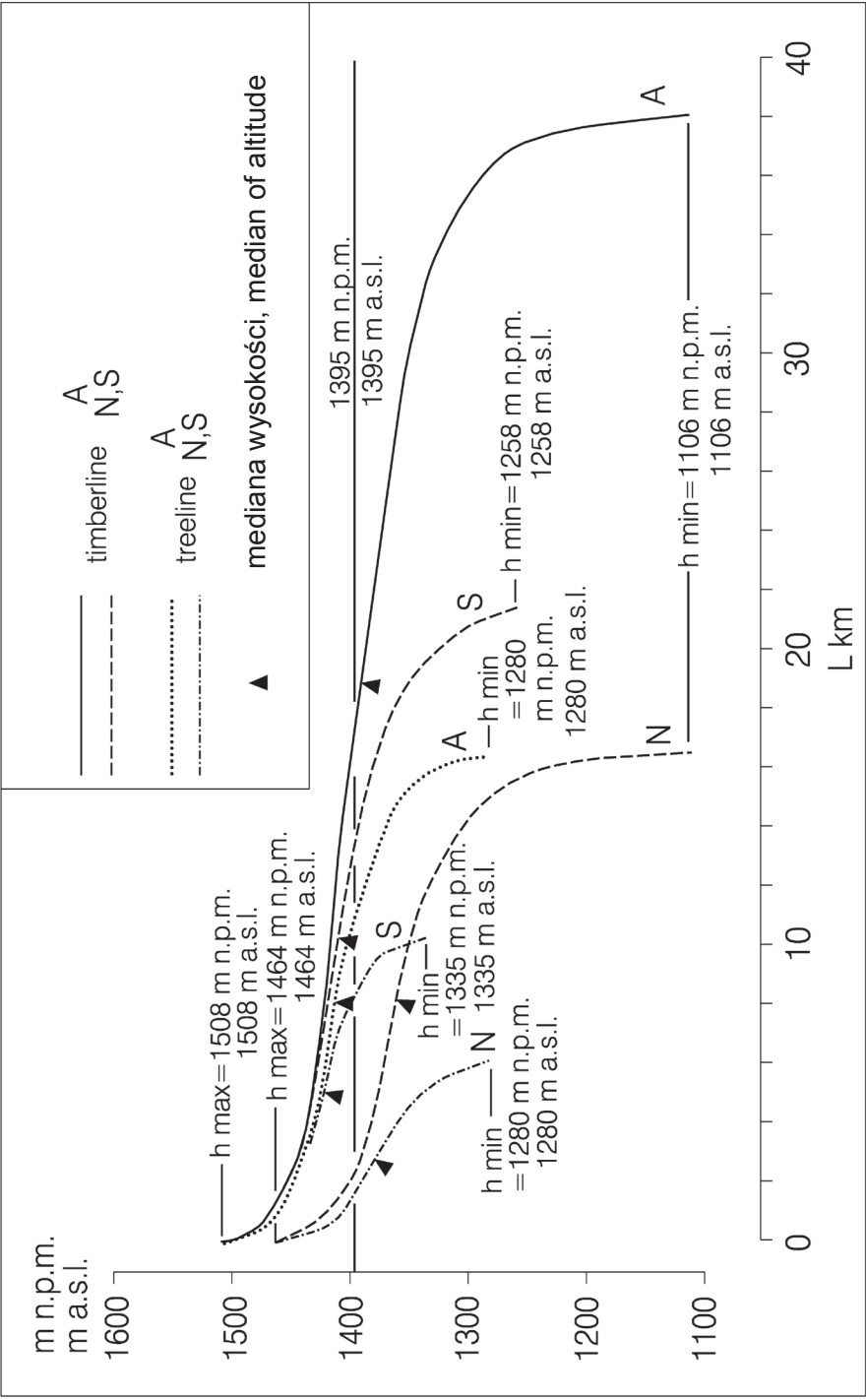
Średnia wysokość górnej granicy lasu, osiągająca 1375 m n.p.m., przebiega 20 m poniżej izotermy 2°C. Wysokość przebiegu tej izotermy na Babiej Górze – 1395 m n.p.m. – została ustalona przez Hessa (1965) i Obrębską-Starkel (2004) jako średnia dla całego grzbietu. Nadal brakuje informacji, jak kształtuje się w

profilu wysokościowym Babiej Góry przebieg średniej temperatury, osobno na stoku północnym i południowym, a także w obrębie form wypukłych i wklęsłych na tych stokach. Zagadnienie to, zbadane przykładowo w Tatrach (Baranowski, Kędzia 2010), wskazuje na istotną rolę topografii masywu w kształtowaniu wysokości przebiegu izotermy 2°C i tym samym w zróżnicowaniu wysokości przebiegu górnej granicy lasu w skali lokalnej, a nawet regionalnej.

Z kolei średnia wysokość granicy drzew przekracza na Babiej Górze 1395 m n.p.m. (jako wyznacznik izotermy 2°C) o 11 m. Występowanie długich odcinków granicy drzew i zwłaszcza górnej granicy lasu poniżej 1395 m n.p.m. informuje o efektywnym obniżaniu granicy lasu na Babiej Górze w stosunku do hipotetycznej wysokości jej występowania uwarunkowanej termicznie, przez procesy rzeźbotwórcze modelujące stoki, głównie przez lawiny śnieżne. Rzeczywista wielkość obniżenia tych linii, z uwagi na nieznaną pozycję wysokościową izotermy 2°C na wypukłych i we wklęsłych formach na północnym i południowym stoku grzbietu, musi się różnić od ustalonych w stosunku do przyjętej wysokości 1395 m n.p.m. depresji granicy lasu i granicy drzew osiągających odpowiednio 289 m i 115 m (por. Ryc. 3). Z kolei występowanie powyżej 1395 m n.p.m. odcinków górnej granicy lasu na południowym stoku objętym w przeszłości pasterstwem, może wskazywać na zachowanie się fragmentów dawnego przebiegu granicy lasu nie zmienionych przez człowieka. Taką pozycję wysokościową odcinków górnej granicy lasu można także tłumaczyć korzystnymi dla ekspansji lasu w górę stoku warunkami morfologicznymi i edaficznymi oraz sprzyjającym mikroklimatem na niektórych obszarach południowego stoku Babiej Góry (Łajczak, Spyt 2018 – w druku). Także analiza wysokościowa tych odcinków górnej granicy lasu jest obciążona błędem wynikającym z nieznanego rzeczywistego przebiegu izotermy 2°C w obrębie wypukłego załomu stoku południowego.

Mediana wysokości górnej granicy lasu na całym obszarze Babiej Góry wynosi 1390 m n.p.m. i jest o 15 m większa od średniej wysokości tej linii (Tab. 1). Mediana wysokości granicy drzew w skali całego grzbietu wynosi 1415 m n.p.m. i jest o 9 m większa od średniej wysokości tej linii. W przedziale wysokości, w którym zaznacza się najszybszy kumulowany przyrost długości górnej granicy lasu z wysokością (1325–1425 m n.p.m.), znajduje się 68% długości tej linii, a w 50 m. przedziale wysokości położonym najbliżej 1395 m n.p.m. (1370–1420 m n.p.m.), w którym kumulowany przyrost długości górnej granicy lasu jest wyjątkowo szybki, 37% jej długości (Ryc. 4). Z kolei w przedziale wysokości, w którym zaznacza się najszybszy z wysokością kumulowany przyrost długości granicy drzew (1390–1435 m n.p.m.), czyli w zdecydowanej przewadze sięgającym wyżej niż 1395 m n.p.m., znajduje się 47% długości tej linii.

Krętość (sinuosity) górnej granicy lasu na całym obszarze Babiej Góry wynosi 2,50 (Tab. 1). Przebieg tej linii jest najbardziej kręty na urwistych pozelebionych fragmentach północnego stoku (por. Ryc. 3), gdzie występują trasy lawinowe.



Na łagodniej nachylonym południowym stoku, gdzie popasterskie tereny ulegają wtórnej sukcesji lasu, górna granica lasu ma bardziej wyrównany przebieg. Natomiast granica drzew ma wyjątkowo wyrównany przebieg na całym obszarze Babiej Góry i krętość tej linii wynosi 1,13 (Tab. 1).

Asymetria w wysokościowej pozycji górnej granicy lasu i granicy drzew oraz w ich krętości w profilu N–S Babiej Góry

Parametry górnej granicy lasu i granicy drzew podane w tabeli 1 uwiadczenia asymetrię w wysokościowej pozycji tych linii w profilu N–S Babiej Góry, uwarunkowaną głównie klimatycznie, a w przypadku minimalnych wysokości górnej granicy lasu na północnym stoku także jako skutek większego nasilenia procesów rzeźbotwórczych na tym obszarze, a zwłaszcza lawin śnieżnych.

Długość górnej granicy lasu na północnym stoku Babiej Góry wynosi 16,6 km, a na zajmującym większą powierzchnię stoku południowym 21,6 km. Linia ta na obu stokach stanowi odpowiednio 43% i 57% jej całkowitej długości. Na północnym stoku empiryczna granica lasu jest ponad 2,5-krotnie dłuższa od granicy drzew ($L_{\text{timb}}/L_{\text{tree}} = 2,68$) i przebiega jako bardzo kręta linia (krętość 2,96) w przedziale wysokości 1106–1464 m n.p.m. Średnia wysokość górnej granicy lasu wynosi na tym obszarze 1342 m n.p.m. Na południowym stoku linia ta jest 2,1 razy dłuższa od granicy drzew i ma mniejszą krętość (2,23). Górna granica lasu na tym obszarze zawiera się w przedziale wysokości 1258–1508 m n.p.m. i jej średnia wysokość wynosi 1395 m n.p.m. Średnia wysokość tej linii jest na północnym stoku o 33 m mniejsza niż na całym obszarze Babiej Góry, natomiast na stoku południowym jest o 20 m większa (różnica między stokami wynosi 53 m). Odchylenia skrajnie położonych punktów górnej granicy lasu na północnym stoku od średniej wysokości n.p.m. tej linii na tym obszarze są asymetryczne i wynoszą +122 m i -236 m, natomiast na południowym stoku są prawie symetryczne (+113 m, -137 m). Mediana wysokości górnej granicy lasu na północnym stoku wynosi 1358 m n.p.m., czyli przekracza o 16 m średnią wysokość tej linii. Na południowym stoku mediana wysokości górnej granicy lasu wynosi 1410 m n.p.m. i sięga wyżej o 15 m niż średnia wysokość tej linii. Różnica między me-

←

Ryc. 4. Kumulowana z przyrostem wysokości n.p.m. długość górnej granicy lasu i granicy drzew (L) na całym obszarze Babiej Góry (A) oraz na północnym (N) i południowym (S) stoku. Podano maksymalne (hmax) i minimalne (hmin) wysokości tych linii. Zaznaczono mediany wysokości przedstawionych linii oraz diskutowaną w tekście wys. 1395 m n.p.m.

Fig. 4. Length of timberline and treeline (L) cumulated with the altitude increase (a.s.l.) in the whole area of Babia Góra Mt. (A), on its northern slope (N) and on its southern slope (S). Maximum altitudes (hmax) and minimum altitudes (hmin) of these lines are shown. Altitude medians of these lines and altitude of 1395 m a.s.l. discussed in the text are marked.

dianą wysokości górnej granicy lasu na północnym i południowym stoku Babiej Góry, wynosząca 52 m, jest niemal identyczna z różnicą średniej wysokości tej linii między obu stokami (53 m).

Górna granica lasu na północnym stoku przebiega w przedziale wysokości, w którym tak jak w przypadku całego grzbietu Babiej Góry zawiera się regiel górny oraz fragmenty piętra kosodrzewiny i regla dolnego. Na południowym stoku przedział wysokości zajmowany przez górną granicę lasu obejmuje tylko regiel górny i fragmenty piętra kosodrzewiny.

Długość granicy drzew na północnym stoku Babiej Góry wynosi 6,2 km, a na południowym stoku 10,3 km, czyli udział drugiego z tych obszarów w całkowitej długości tej linii jest większy (62%) niż w przypadku górnej granicy lasu. Krętość granicy drzew jest na północnym i południowym stoku niemal identyczna i wynosi 1,14 i 1,13. Na północnym stoku ta hipotetyczna linia przebiega w przedziale wysokości 1280–1464 m n.p.m. i jej średnia wysokość wynosi 1370 m n.p.m. Na południowym stoku przebieg granicy drzew zawiera się w przedziale wysokości 1335–1508 m n.p.m. (średnia wysokość 1415 m n.p.m.). Średnia wysokość n.p.m. granicy drzew jest na północnym stoku Babiej Góry o 28 m większa od średniej wysokości górnej granicy lasu, a na stoku południowym o 20 m większa. Średnia wysokość granicy drzew jest na północnym stoku o 36 m mniejsza niż na całym grzbiecie, a na stoku południowym o 9 m większa. Różnica tej wysokości między obu stokami, wynosząca 45 m, jest o 8 m mniejsza niż w przypadku górnej granicy lasu. Odchylenia skrajnie położonych punktów granicy drzew na północnym stoku od średniej wysokości n.p.m. tej linii na tym obszarze są, w przeciwieństwie do górnej granicy lasu, symetryczne i wynoszą +94 m i -90 m, natomiast na południowym stoku są bardziej asymetryczne: +93 m i -80 m. Mediana wysokości granicy drzew jest na południowym stoku o 40 m większa niż na stoku północnym (1422 i 1382 m n.p.m.). Na północnym stoku przekracza średnią wysokość tej linii o 12 m, a na stoku południowym o 7 m, czyli te różnice wysokości są mniejsze niż w przypadku górnej granicy lasu. Różnica między medianą wysokości granicy drzew na północnym i południowym stoku Babiej Góry jest także nieznacznie mniejsza od różnicy średniej wysokości tej linii między obu stokami, wynoszącej 45 m.

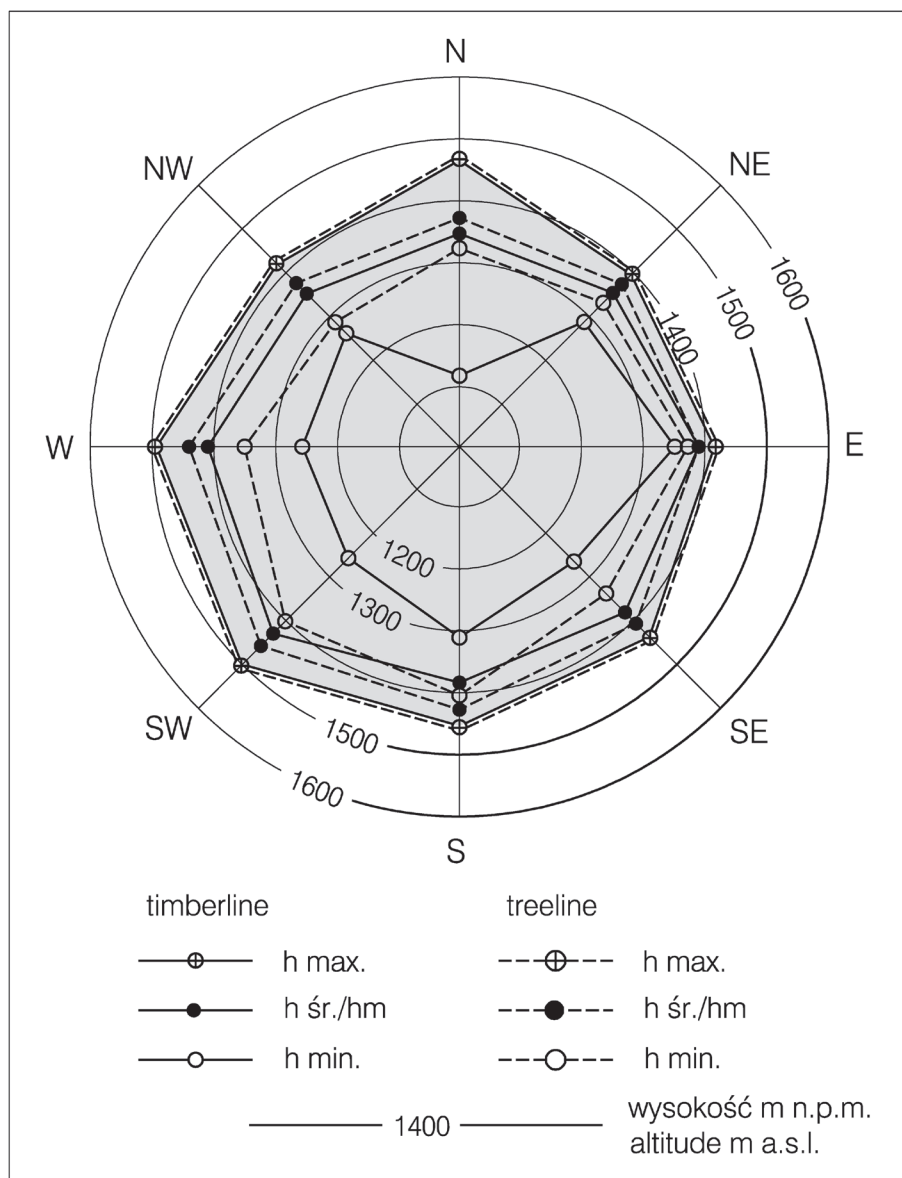
Inne aspekty klimatycznej asymetrii w wysokościowej pozycji górnej granicy lasu i granicy drzew

Średnia temperatura, warunki insolacyjne i kierunki dominujących wiatrów oddziałują zbieżnie na zróżnicowanie średniej wysokości n.p.m. górnej granicy lasu i granicy drzew między północnym i południowym stokiem Babiej Góry. Strefa ekotonu granicy lasu na stoku tego grzbietu eksponowanym na południe otrzymuje w sezonie wegetacyjnym 959 kWh/m², podczas gdy na stoku północ-

nym o 1/3 mniej (666 kWh/m^2) (Czajka i in. 2015a). Najcieplejsze są fragmenty stoku południowego o ekspozycji SW, gdzie pokrywa śniegu wytapia się najwcześniej i okres wegetacyjny jest najdłuższy. Z kolei najchłodniejsze są fragmenty stoku północnego o ekspozycji od N do NE, które na większych wysokościach (urwiste stoki i ściany skalne ze żlebami) są najkrócej naświetlane i gdzie wytapianie płatów śniegu trwa do sezonu letniego (Łajczak 2004; Obrębska-Starckel 2004). Na Babiej Górze dominują wiatry z kierunku SW, częste są także z kierunków S i W, zwłaszcza o prędkościach $>10 \text{ m/s}$ (Niedźwiedz i in. 1985). Łączne oddziaływanie czynników klimatycznych skutkuje coraz większą średnią wysokością n.p.m. górnej granicy lasu na stokach o ekspozycji od N przez E, S do SW oraz o ekspozycji od N przez W do SW, z 1341 do 1434 m n.p.m. (Ryc. 5). Podobne zróżnicowanie wykazują maksymalne wysokości górnej granicy lasu, natomiast lokalne obniżenie minimalnych wysokości tej granicy na stokach o ekspozycjach SE, S, SW, W należy uznać za skutek dawnego pasterstwa. Podobny do górnej granicy lasu przebieg wykazują średnie i maksymalne wysokości granicy drzew, przy czym antropogeniczne zmiany w przebiegu minimalnych wysokości tej linii należy uznać za nieistotne.

Uwagi dyskusyjne

Jak wcześniej wspomniano na Babiej Górze nie były prowadzone badania nad przestrzennym zróżnicowaniem wysokości przebiegu izotermy 2°C w nawiązaniu do ekspozycji stoków oraz zasięgu wypukłych i wklęsłych form w ich obrębie. Dlatego z konieczności, wychodząc z założenia, że izoterma 2°C przyjmowana jako wartość charakterystyczna dla górnej granicy lasu na Babiej Górze występuje na stokach tego grzbietu bez względu na ich ekspozycję i ukształtowanie na wysokości 1395 m n.p.m., co podają Hess (1965) i Obrębska-Starckel (2004), wskazane w niniejszej pracy średnie wysokości n.p.m. górnej granicy lasu i granicy drzew oraz mediana wysokości pierwszej z tych linii są na północnym stoku mniejsze od wysokości 1395 m n.p.m. Z kolei na południowym stoku średnia wysokość n.p.m. górnej granicy lasu jest już zbieżna z wysokością 1395 m n.p.m., a średnia wysokość i mediana wysokości granicy drzew są większe od tej wysokości (por. Tab. 1). Godna zwrócenia uwagi w tych rozważaniach jest mediana wysokości granicy drzew (hme treeline) na północnym i południowym stoku Babiej Góry, czyli linii której pozycja wysokościowa jest w największym stopniu uwarunkowana termicznie (por. Holtmeier 2009). Na północnym stoku hme granicy drzew wynosi 1382 m n.p.m., czyli ustępuje tylko o 13 m branej pod uwagę wysokości 1395 m n.p.m. Na stoku południowym hme granicy drzew wynosi 1422 m n.p.m., co można uznać za przesłankę skłaniającą do wniosku, że co najmniej na takiej wysokości tego obszaru może przebiegać izoterma 2°C . To pierwsza sugestia, wskazująca na 40 m. (lub większą) różnicę w wysokości



Ryc. 5. Średnia ($\bar{h}$), maksymalna ($h_{\max}$) i minimalna ($h_{\min}$) wysokość n.p.m. górnej granicy lasu i granicy drzew we fragmentach stoków Babiej Góry o różnych ekspozycjach. Zaznaczono wysokość n.p.m. co 100 m.

Fig. 5. Mean ($\bar{h}$), maximum ($h_{\max}$) and minimum ($h_{\min}$) altitude of timberline and treeline on the Babia Góra slope fragments of different exposures. Elevation a.s.l. every 100 m is marked.

przebiegu izotermy 2°C między północnym i południowym stokiem Babiej Góry. Brak informacji na temat zróżnicowania wysokościowego tej wartości temperatury między obu stokami tego grzbietu należy tłumaczyć niesymetrycznym rozmieszczeniem posterunków klimatycznych w profilu wysokościowym; na północnym stoku takie posterunki są zlokalizowane na wysokości 697 i 1193 m n.p.m. (ten drugi znajduje się najbliżej granicy lasu), podczas gdy na stoku południowym na wysokości 850 i 1616 m n.p.m. (ten drugi funkcjonował do końca lat 30. XX w.).

Wykazana przez Czajkę i in. (2015a), trwająca od lat 60. XX w., progresja górnej granicy lasu na opuszczonych przez pasterstwo terenach południowego stoku Babiej Góry, może w przyszłości objąć obszary do wysokości lokalnie nawet przekraczającej 1450 m n.p.m., gdzie występują eksklawy boru świerkowego (por. Ryc. 3). Te izolowane płyty lasu prawdopodobnie wyznaczają górną granicę lasu z okresu przed rozpoczęciem pasterstwa na tym obszarze. W tej sytuacji średnia wysokość granicy drzew na tym stoku przekroczy jej obecną wielkość (1415 m n.p.m.), co w konsekwencji spowoduje zwiększenie mediany wysokości przebiegu tej linii granicznej (obecnie 1422 m n.p.m.). Biorąc pod uwagę stabilną pozycję wysokościową górnej granicy lasu na ponad 90% jej długości na północnym stoku (por. Czajka i in. 2015a), a więc także stabilną pozycję wysokościową granicy drzew na tym stoku, różnica wielkości mediany hme granicy drzew między północnym i południowym stokiem Babiej Góry może w przyszłości znacznie przekroczyć 40 m. Tę wielkość należy uznać za prawdopodobną różnicę wysokości, jaka dzieli średnią wysokość położenia izotermy 2°C między obu stokami tego grzbietu.

Zwiększenie wysokości przebiegu górnej granicy lasu i granicy drzew na opuszczonych przez pasterstwo terenach południowego stoku Babiej Góry powinno skutkować zmniejszeniem krętości tych linii. Zmniejszenie krętości górnej granicy lasu będzie przypuszczalnie bardziej znaczące od zmniejszenia krętości granicy drzew, która obecnie w przypadku tej ostatniej linii tylko nieznacznie przekracza 1,10 (por. Tab. 1). W przyszłości, gdy tereny popasterskie w piętrze regla górnego na południowym stoku ulegną całkowitemu zalesieniu, uwidocznia się jeszcze większe różnice w parametrach górnej granicy lasu i granicy drzew między obu stokami Babiej Góry. Empiryczna (widoczna) górna granica lasu może wtedy na południowym stoku przebiegać na średniej wysokości nawet o 100 m większej niż na stoku północnym, a granica drzew (hipotetyczna granica lasu) na wysokości większej tylko o około 80 m. Także krętość górnej granicy lasu może osiągać na obu stokach skrajnie różne wielkości, od prawie 3,00 na północnym stoku do mniej niż 2,00 na stoku południowym.

Ocena roli czynników przyrodniczych w zróżnicowaniu wysokości górnej granicy lasu między północnym i południowym stokiem Babiej Góry

Różnica w wysokości położenia górnej granicy lasu i granicy drzew między północnym i południowym stokiem Babiej Góry stanowi wypadkową oddziaływania topografii tego grzbietu i lokalnych warunków klimatycznych, a także rzeźby stoków, nasilenia procesów geomorfologicznych, a w skali bardzo lokalnej warunków edaficznych i hydrograficznych (Łajczak, Spyt 2018 – w druku). Na uwarunkowany czynnikami przyrodniczymi przebieg granicy lasu nakładają się nadal widoczne skutki pasterstwa, które ulegało wycofywaniu z tego obszaru od lat 20. do lat 60. XX w. (Łajczak, Lamorski 2015; Łajczak 2016a). Udokumentowana w tym czasie progresja górnej granicy lasu na popasterskich terenach południowego stoku (Czajka i in. 2015a) prowadzi do zwiększania różnicy w wysokości granicy lasu między północnym i południowym stokiem Babiej Góry.

Różnica w wysokości występowania górnej granicy lasu między południowym i północnym stokiem Babiej Góry jest w największym stopniu uwarunkowana klimatycznie, czyli na tym grzbiecie zaznacza się asymetria klimatyczna granicy lasu. Oddziaływanie topografii terenu na przebieg górnej granicy lasu i granicy drzew na Babiej Górze, widoczne jest jako zjawisko będące analogiem opisywanego w literaturze zjawiska *mass-elevation effect*, a także jako zjawisko nazwane w tej pracy *efektem Diablaka* (Diablak – szczyt Babiej Góry, por. Ryc. 1) będące analogiem zjawiska znanego z Tatr jako *fenomen Sarniej Skąły* (por. Piękoś 1968; Łajczak, Spyt 2018 – w druku). Te cechy górnej granicy lasu i granicy drzew na Babiej Górze nie zmieniają jednak zasadniczej właściwości wysokościowego zasięgu lasu na tym grzbiecie górskim, jaką jest klimatycznie uwarunkowana asymetria w górnej granicy zasięgu jego występowania w profilu N–S. Na Babiej Górze, z uwagi na niewielką głębokość dolin u podnóża północnego stoku nie stwierdzono sygnalizowanego w literaturze zjawiska *valley phenomenon* (por. Holtmeier 2009). W przeciwieństwie, na przykład do Tatr (por. Myczkowski 1972; Piękoś-Mirkowa, Mirek 1996), to zjawisko nie wpisuje się więc w tendencję do obniżania górnej granicy lasu na stokach o odsłonecznej ekspozycji (Łajczak, Spyt 2018 – w druku). Odmienne ukształtowany północny i południowy stok Babiej Góry i wynikające z tego różnice w nasileniu procesów stokowych, w największym stopniu lawin śnieżnych, uwypuklają skalę asymetrii klimatycznej w przebiegu granicy lasu.

Kolejność czynników przyrodniczych według stopnia ich pozytywnego oddziaływania na przebieg górnej granicy lasu i granicy drzew, czyli sprzyjania podnoszeniu tych linii z wysokością n.p.m., jest na łagodniej nachylonym południowym stoku następująca: większa ilość promieniowania bezpośredniego/temperatura, dłuższy okres wegetacyjny, dominujące wiatry z kierunku SW oraz

S i W, mniejsze nasilenie procesów stokowych, sprzyjające warunki edaficzne. Z kolei na stromym północnym stoku dominuje negatywne oddziaływanie czynników przyrodniczych, prowadzące do obniżania górnej granicy lasu i granicy drzew (mniejsza ilość promieniowania bezpośredniego/temperatura, skrócony sezon wegetacyjny, częste wiatry opadające, a w skali lokalnej lawiny śnieżne, czynniki edaficzne i hydrograficzne, spelzywanie pokryw blokowych). Lokalnie na północnym stoku wysokiemu zasięgowi górnej granicy lasu i granicy drzew sprzyjają czynniki edaficzne (por. Ryc. 3), wykazujące związek ze stabilnym podłożem i jego dużym uwilgoceniem (obszary nie objęte lawinami i osuwiskami). Zaproponowana hierarchia czynników przyrodniczych nawiązuje do modelu zaproponowanego przez Holtmeiera (2009).

Największy, w skali lokalnej, wpływ na przebieg górnej granicy lasu na Babiej Górze wywierają lawiny śnieżne. Przebieg tej linii (por. Ryc. 3) wykazuje głębokie obniżenia na trasach lawinowych, zwłaszcza na północnym stoku. Skutkiem większej liczby tras lawinowych na tym stoku (łącznie 44 trasy) i ich długości (Łajczak, Spyt 2016, 2018 – w druku), jest zygzakowaty przebieg górnej granicy lasu na tym obszarze, gdzie krętość tej linii wynosi w skali całego stoku 2,96 i lokalnie przekracza 4,0. Najdłuższe trasy lawinowe i największe lokalnie obniżenie górnej granicy lasu jest widoczne we fragmentach północnego stoku o profilu prostym lub wklęsłym. Na południowym stoku stwierdzono 13 na ogół krótkich tras lawinowych, dlatego krętość górnej granicy lasu wynosi 2,23 i lokalnie jest znacznie mniejsza. Większe nasilenie lawin śnieżnych na północnym stoku stanowi jedną z przyczyn dłuższego niż na przeciwnym stoku odcinka górnej granicy lasu poniżej 1380 m n.p.m. Minimalna wysokość tej linii na trasach lawinowych wynosi na północnym stoku 1106 m n.p.m., podczas gdy na stoku południowym 1275 m n.p.m. (por. Tab. 1).

Sygnalizowana dawniej przez botaników (Celiński, Wojterski 1963, 1983) znacząca rola obrywów skalnych w obniżaniu górnej granicy lasu na Babiej Górze okazała się nieistotna z uwagi na niewielkie obserwowane współcześnie natężenie tego procesu geomorfologicznego. Znaczący wpływ na lokalne obniżenie tej linii wywiera natomiast powolne spelzywanie pokryw blokowych, zwłaszcza na stromym północnym stoku Babiej Góry u podstawy ścian skalnych sięgających w pobliżu granicy lasu nawet kilkadziesiąt metrów wysokości. Podobne zjawisko jest obserwowane poniżej urwistych zerw osuwiskowych. Obniżanie pozycji wysokościowej górnej granicy lasu w miejscach, gdzie zachodzi powolne przemieszczanie pokrywy blokowych, nie może być mylone z odpadaniem bloków skalnych czy nawet z obrywami skalnymi na ścianach, gdyż aktualnie te procesy sięgają na Babiej Górze minimalne natężenie. Także w miejscach podmokłych, jak młaki, zgrupowania źródeł czy brzegi miniaturowych jezior (tiny lakes), a także na obszarach pokrytych blokowiskiem skalnym pozbawionym pokrywy glebowej, łącznie traktowanych jako czynnik edaficzny i hydrograficzny,

widoczna jest obniżona pozycja wysokościowa górnej granicy lasu. Rolę płytkich osuwisk zwietrzelinowych w obniżaniu wysokości położenia tej granicy należy uznać za nieistotną. Spływy gruzowe, w dużym stopniu obniżające przebieg górnej granicy lasu w wyżej wzniesionych niż Babia Góra masywach górskich (por. Holtmeier 2009), nawet na północnym stoku Babiej Góry nie wpływają na wysokość położenia tej granicy (Łajczak, Spyt 2018 – w druku).

Wnioski

1. W wyniku oddziaływania czynników przyrodniczych (m.in. insolacja, średnia temperatura, kierunek dominujących wiatrów, natężenie procesów modelujących stoki, czynniki edaficzne) 88% długości górnej granicy lasu na północnym stoku Babiej Góry występuje poniżej 1395 m n.p.m., gdzie średnia temperatura $>2^{\circ}\text{C}$. Na łagodniej nachylonym południowym stoku tylko 38% długości górnej granicy lasu występuje poniżej tej wysokości. Wskazuje to na bardziej efektywne obniżanie empirycznej granicy lasu, w stosunku do wysokości uważanej za teoretyczną klimatyczną granicę lasu (por. Holtmeier 2009), przez procesy stokowe na urwistym północnym stoku Babiej Góry.

2. Od ponad 50 lat zachodzi renaturalizacja górnej granicy lasu na południowym stoku Babiej Góry w wyniku wtórnej sukcesji lasu na terenach popasterskich. Nie sposób jest oddzielić tych zmian od skutków współczesnego ocieplania klimatu, które może spowalniać lub przyspieszać ten proces. Z kolei na północnym stoku górna granica lasu ma na przeważającym odcinku przebieg uwarunkowany tylko przez czynniki naturalne, głównie przez klimat, a w następnej kolejności przez lawiny śnieżne.

3. Bardziej wyrównany przebieg górnej granicy lasu i granicy drzew na południowym stoku Babiej Góry, pomijając mniejsze niż na północnym stoku nasilenie procesów rzeźbotwórczych, to efekt wtórnej sukcesji lasu na terenach popasterskich. Można założyć, że wraz z dalszym zanikiem skutków pasterstwa krętość obu linii będzie na południowym stoku coraz mniejsza. W tej sytuacji górna granica lasu i granica drzew będą przebiegały na tym stoku wyżej niż obecnie, co spowoduje jeszcze większy kontrast ze stokiem północnym.

Praca została wykonana w ramach realizacji projektu badawczego MNiSW – N N306070540 zatytułowanego *Naturalne i antropogeniczne uwarunkowania przebiegu górnej granicy lasu w masywie Babiej Góry i jej dynamika w ostatnich 200 latach*. Autorzy pragną podziękować Dyrekcji Babiogórskiego Parku Narodowego za udostępnienie danych LiDAR.

Literatura

- Baranowski J., Kędzia S. 2010. Wpływ rzeźby terenu na topoklimat i położenie górnej granicy lasu. *Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem*, s. 14–16.
- Celiński F., Wojterski T. 1961. Mapa zbiorowisk roślinnych Babiogórskiego Parku Narodowego. *Prace Komisji Biologicznej PTPN*, Wyd. Matem-Przyr., Poznań.
- Celiński F., Wojterski T. 1963. Świat roślinny Babiej Góry. W: W. Szafer (red.) *Babiogórski Park Narodowy*. Wyd. ZOP PAN, nr 22: 109–173.
- Celiński F., Wojterski T. 1978. Zespoły leśne Babiej Góry. *Prace Komisji Biologicznej PTPN*, Wyd. Matem-Przyr., Poznań.
- Celiński F., Wojterski T. 1983. Szata roślinna Babiej Góry. W: K. Zarzycki (red.) *Park Narodowy na Babiej Górze. Przyroda i człowiek*. *Studia Naturae*, ser. B 29: 121–177.
- Czajka B., Łajczak A., Kaczka R.J. 2015a. The dynamics of the timberline ecotone on the asymmetric ridge of the Babia Góra Massif, Western Carpathians. *Geographia Polonica* 88(2): 85–102.
- Czajka B., Łajczak A., Kaczka R.J. 2015b. The influence of snow avalanches on the timberline in the Babia Góra massif, Western Carpathians. *Geographia Polonica* 88(2): 147–161.
- Guzik M. 2008. Analiza wpływu czynników naturalnych i antropogenicznych na kształtowanie się zasięgu lasu i kosodrzewiny w Tatrach. *Kraków – Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja, Wydział Leśny (praca doktorska)*.
- Hess M. 1965. Piętra klimatyczne w Polskich Karpatach Zachodnich. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne*, vol. 11, 267 ss.
- Holeksa J., Szwagrzyk J. 2005. Szata roślinna. W: *Światy Babiej Góry*. Wyd. Babiogórski Park Narodowy, Zawoja, s. 41–93.
- Holtmeier F.K. 2009. Mountain timberlines: Ecology, patchiness, and dynamics. *Advances in Global Change Research*, 36, Dordrecht: Springer.
- Kalafarski M. 2011. Środowiskowe uwarunkowania przebiegu górnej granicy lasu w polskich Tatrach Wysokich. *Sosnowiec – Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi (praca magisterska)*.
- Kasprowicz M. 1980. Górna granica lasu na północno-zachodnich zboczach Babiej Góry. *Poznań – Uniwersytet Adama Mickiewicza, Zakład Ekologii Roślin i Ochrony Środowiska (praca magisterska)*.
- Knorn J., Kuemmerle T., Radeloff V.C., Szabo A., Mindrescu M., Keeton W.E., Abrudan I., Griffiths P., Gancz V., Hoster P. 2012. Forest restitution and protected area effectiveness in post-socialist Romania. *Biological Conservation* 146(1): 204–212.
- Körner C. 2012. *Alpine treelines: Functional ecology of the global high elevation tree limits*. Basel: Springer.
- Körner C., Paulsen J. 2004. A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography* 31(5): 713–732.
- Książkiewicz M. 1963. Zarys geologii Babiej Góry. W: W. Szafer (red.) *Babiogórski Park Narodowy*. Wyd. ZOP PAN Kraków, nr 22: 69–87.
- Liesganig J., Liechtenstern von J., Prixner G. 1790. *Regna Galiciae et Lodomeriae*, ark. II, III (mapa opublikowana w 1824 r.), 1:288000. Wiedeń.

- Łajczak A. 2004. Pokrywa śnieżna Babiej Góry. W: B.W. Wołoszyn, A. Jaworski, J. Szwagrzyk (red.) Babiogórski Park Narodowy. Monografia przyrodnicza. Wyd. Komitetu Ochrony Przyrody PAN i Babiogórskiego Parku Narodowego, s. 179–196.
- Łajczak A. 2016a. Zarys historii działalności gospodarczej w masywie Babiej Góry i otaczającym terenie (Zachodnie Karpaty). *Przegląd Geograficzny* 88(1): 5–30.
- Łajczak A. 2016b. Wody Babiej Góry. Wyd. Babiogórskiego Parku Narodowego, Homago Studio Graficzne, 423 ss.
- Łajczak A., Czajka B., Kaczka R.J. 2014. The new features of landslide relief discovered using LiDAR. Case study from Babia Góra massif, Western Carpathian Mountains. *Quaestiones Geographicae* 33(3): 73–84.
- Łajczak A., Czajka B., Kaczka R.J. 2015. The development of tourist infrastructure on Mt. Babia Góra (Western Carpathians) in conditions where there is a risk due to slope processes. *Prace Geograficzne IGiGP UJ* 142: 7–40.
- Łajczak A., Lamorski T. 2015. Economic use of the Babia Góra Massif and the assessment of anthropogenic changes in the course of the timberline. *Geographia Polonica* 88(2): 115–138.
- Łajczak A., Spyt B. 2016. Geomorphological characteristics of avalanche tracks on Babia Góra Mt., Western Carpathians. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 50: 65–88.
- Łajczak A., Spyt B. 2018. Differentiation of vertical limit of forest at Babia Góra Mt., the Western Carpathian Mountains. *Geographia Polonica* 91(1), w druku.
- Łuszczynski J. 1980. Górna granica lasu na południowo-wschodnich zboczach Babiej Góry. Poznań – Uniwersytet Adama Mickiewicza, Zakład Ekologii Roślin i Ochrony Środowiska (praca magisterska).
- McClung D.M., Schaerer P. 2006. The avalanche handbook. The Mountaineers Book, Seattle-Washington.
- Myczkowski S. 1972. Structure and ecology of the spruce association *Piceetum tatricum* at the upper limit of its distribution in the Tatra National Park. *Acad. of Agriculture, Krakow*, 17 ss.
- Niedźwiedz T., Orlicz M., Orliczowa J. 1985. Wiatr w Karpatach Polskich. Dokumentacja Geograficzna 6: 1–90.
- Obrębska-Starkel B. 2004. Klimat masywu Babiej Góry. W: B.W. Wołoszyn, A. Jaworski, J. Szwagrzyk (red.) Babiogórski Park Narodowy. Monografia przyrodnicza. Wyd. Komitetu Ochrony Przyrody PAN i Babiogórskiego Parku Narodowego, s. 137–151.
- Parusel J.B., Kasprowicz M., Holeksa J., 2004. Zbiorowiska leśne i zaroślowe. W: B.W. Wołoszyn, A. Jaworski, J. Szwagrzyk (red.) Babiogórski Park Narodowy. Monografia przyrodnicza. Wyd. Komitetu Ochrony Przyrody PAN i Babiogórskiego Parku Narodowego, s. 429–475.
- Piękoś H. 1968. Rozmieszczenie roślin regła dolnego i górnego na Sarniej Skale, Krokwi i Łysankach w Tatrach. *Fragn. Flor. Geobot.* 14(3): 317–393.
- Piękoś-Mirkowa H., Mirek Z. 1996. Zbiorowiska roślinne. W: Z. Mirek (red.) *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego*. Wyd. TPN, Kraków-Zakopane, s. 237–274.
- Rączkowska Z., Rojan E., Długosz M. 2016. The morphodynamics of slopes within the snow avalanche starting zones in the Tatras. *Geographia Polonica* 89(1): 17–29.

- Sokołowski M. 1928. O górnej granicy lasu w Tatrach. Zakłady Kórnickie, Zakład Badania Drzew i Lasu, Nr 1.
- Tranquillini W. 1979. Physiological ecology of the alpine timberline. Tree existence at high altitudes with special references to the European Alps. Ecological Studies, 31, Berlin: Springer.
- Tremł V., Migoń P. 2015. Controlling factors limiting timberline position and shifts in the Sudetes: A review. *Geographia Polonica* 88(2): 55–70.
- Troll C. 1973. The upper timberline in different climatic zones. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 5(3): 3–18.
- Vorčák J., Merganič J., Saniga M. 2006a. Structural diversity change and regeneration processes of the Norway spruce natural forest in Babia Hora NNR in relation to altitude. *Journal of Forestry Science* 52(9): 399–409.
- Vorčák J., Merganič J., Merganičová K. 2006b. Strukturalna diverzita smrekoveho proroďného lesa v supramontannom stupni NPR Babia hora. *Beskydy* 19: 143–148.
- Vorčák J., Jankovic J. 2009. Autovegetatívna obnova smreka na hornej hranici supramontánneho stupu a v subalpínskom stupni Babiej Hory a Pilska v Oravských Beskydách. *Lesnícky Časopis* 55(1): 29–46.
- Walas J. 1933. Roślinność Babiej Góry. Państwowa Rada Ochrony Przyrody. Monogr. Nauk. 2: 1–68.
- Weisberg P.J., Shandra O., Becker M.E. 2013. Landscape influences on recent timberline shifts in the Carpathian Mountains: Abiotic influences modulate effects of land-use change. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 45(3): 404–414.
- Zapałowicz H. 1879. Roślinność Babiej Góry pod względem geograficzno-botanicznym. Sprawozdanie Komisji Fizjograficznej. Materiały do fizjografii Galicji, 14, p. 79–250.
- Zhao F., Zhang B., Pang Y., Yao Y. 2014. A study of the contribution of mass elevation effect to the altitudinal distribution of timberline in the Northern Hemisphere. *Journal of Geographical Sciences* 24(2): 226–236.
- Zientarski J. 1976. Wpływ wzniesienia nad poziomem morza na zagęszczenie i ukształtowanie górnoreglowych borów świerkowych w Babiogórskim Parku Narodowym. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Leśnych* 42: 137–149.
- Zientarski J. 1985. Wpływ wzniesienia oraz wielkości masywu górskiego na kształtowanie się górnej granicy lasu w Polsce. Poznań – Akademia Rolnicza (praca doktorska).
- Zientarski J. 1989. Górna granica lasu w Babiogórskim Parku Narodowym. W: S. Korpel (red.), Stav, vyvoj, produkčné schopnosti a funkce využívanie lesov v oblasti Babiej hory a Pilska. Technická univerzita, Zvolen, Vysoká škola lešnická a drevárska, p. 122–148.

Summary

The benchmarking of timberline and treeline on the asymmetric ridge of Babia Góra Mt. in the Western Carpathians showed significant differences in altitude location and sinuosity of these lines between the precipitous northern slope and gently inclined southern slope. Lower located course of timberline on the northern slope in relation to the southern slope is mainly determined by

climatic factors, however its more twisting course on the northern slope results from the influence of slope processes, especially those of large intensity (snow avalanches). The most visible sign of climatic asymmetry in altitudinal position of forest limit on Babia Góra Mt. is location of 88% of timberline length on the northern slope of the massif below 1395 m a.s.l., i.e. at the altitude with mean temperature $>2^{\circ}\text{C}$, whereas on the southern slope its only 38% of this line. In case of treeline these values are 79% i 20%. This indicates more effective downward shift of empirical forest limit in relation to the altitude of theoretical climatic forest limit due to slope processes on the precipitous northern slope of Babia Góra Mt. On the northern slope, altitudinal position of timberline on over 90% of its length is conditioned entirely by natural factors and does not reveal any anthropogenic disturbances. On the other hand, downward shift of this line on the southern slope caused by former sheep and cattle grazing locally reached 300 m, however this limit has shown progression for the last 50 years. More even course of timberline and treeline on the southern slope of Babia Góra Mt. results from, among other factors, the effect of partial vanishing of the consequences of former sheep and cattle grazing on the southern slope of Babia Góra Mt. as a result of secondary succession of forest on post-shepherd's areas. In consequence of progressive vanishing of this anthropogenic factor, more and more even course of timberline (as well as treeline) is expected on the southern slope. Therefore both lines will run on this slope on higher altitude than now, which will cause even larger contrast with the northern slope.