

## **Rekonstrukcja wpływu naturalnych zaburzeń na dynamikę drzewostanów górnoeregłowych. Porównanie świerczyn w dolinach: Suchej Wody i Kościeliskiej**

**Janusz Szewczyk, Jerzy Szwagrzyk, Elżbieta Muter**

*Katedra Botaniki Leśnej i Ochrony Przyrody, Wydział Leśny, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie,  
Al. 29 Listopada 46, 31-425 Kraków*

**Słowa kluczowe:** *Picea abies*; las naturalny; metoda „linii granicznej”, naturalne zaburzenia, reakcja przyrostowa; przyrost drzew

**Keywords:** *Picea abies*; boundary line method; forest disturbance; growth release; natural forest

### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono próbę rekonstrukcji wpływu naturalnych zaburzeń na przyrost drzew na podstawie odwiertów pobranych w naturalnych świerczynach, położonych w dolinach Suchej Wody i Kościeliskiej w Tatrzańskim PN. W obu obiektach odwierty pobrano ze wszystkich drzew rosnących na powierzchniach kołowych (Dolina Suchej Wody – 20 powierzchni i 548 drzew; Dolina Kościeliska – 10 powierzchni i 95 drzew). Wiek pierścicowy drzew wahał się od 20 do 380 lat w Dolinie Suchej Wody i od 60 do ponad 400 lat w Dolinie Kościeliskiej. Do rekonstrukcji wpływu zaburzeń na przyrost drzew zastosowano metodę linii granicznej Blacka i Abramsa [2004].

Wyniki wskazują na występowanie licznych epizodów silnych i umiarkowanych uwolnień przyrostu drzew, interpretowanych jako reakcja na odsłonięcie, wywołane działaniem naturalnych zaburzeń. Epizody te były jednak bardzo silnie rozproszone w czasie (zostały stwierdzone we wszystkich dekadach poza latami 1820–1830 i przed rokiem 1750), a udział drzew wykazujących zaburzenia niski. Wskazuje to, że na dynamikę analizowanych drzewostanów górnoeregłowych wpływają częste lokalne zaburzenia, a w ostatnich 200–300 latach nie wystąpiły tam bardzo rozległe zaburzenia o dużej intensywności. W efekcie badane drzewostany świerkowe mają złożoną strukturę wiekową, poza dolnymi fragmentami rezerwatu Skoruśniak. Co ciekawe, wzorzec występowania zaburzeń jest prawie taki sam w obu rezerwach, co sugeruje, że czynniki je wywołujące działały ze zwiększoną intensywnością na znacznym obszarze Tatr w tych samych latach.

### **Wstęp**

Górnoeregłowe świerczyny są stosunkowo dobrze przebadanymi lasami, jeśli chodzi o ich strukturę (Kulakowski i in., 2006; Holeksa i in., 2007) i krótkoterminową dynamikę (Korpel, 1995; Holeksa i Cybulski, 2001). Uważa się często, że odnowienie w tych lasach pojawia się w dużych lukach powstałych w drzewostanie w wyniku masowego zamierania drzew pod wpływem oddziaływania owadów kambiofagicznych lub jako rezultat wyłamania dużych fragmentów drzewostanu przez wiatr (Zielonka i in., 2010). Powstające w wyniku takich zaburzeń drzewostany charakteryzują się zwykle niskim zróżnicowaniem wieku drzew i jednopiętrową budową. Równoczesne występowanie drzewostanów świerkowych o złożonej strukturze wiekowej i wysokościowej (Szwagrzyk i in., 1996), sugeruje istnienie odmiennego modelu dynamiki i rozwoju tych lasów. Główną rolę odgrywają w nim niewielkie luki w drzewostanie, w których odnowienie pojawia się po obumarciu pojedynczych drzew lub ich małych grup.

Wśród naturalnych borów świerkowych na obszarze Tatr można odszukać przykłady drzewostanów, w których struktura wieku i budowa odpowiadają obydwu opisanym modelom dynamiki (Szwagrzyk i in., 1996). Prowadzone w nich badania zwykle polegają na analizach bieżącego stanu lasu (Myczkowski, 1964; Holeksa i Zielonka, 2005; Holeksa i in., 2005) lub na pomiarach powtarzanych na stałych powierzchniach w określonych odstępach czasu (Karczmarski, 2007), co pozwala na uchwycenie zmian zachodzących w stosunkowo krótkich odcinkach czasu. Wyniki tak prowadzonych badań wykorzystywane są między innymi do retrospektywnego analizowania historii powstania danego drzewostanu. Niestety analizy takie obciążone są czasami poważnym ryzykiem błędnego zinterpretowania bieżącej struktury wieku drzewostanu (Johnson i in., 1994).

Lepsze wyniki dają zazwyczaj próby odtworzenia historii i skali przestrzennej występowania zaburzeń przy

użyciu dendrochronologicznych analiz zmian wielkości przyrostów rocznych drzew. Badania takie w naturalnej świerczynie w rezerwacie Skoruśniak (Szewczyk i Szwa-grzyk, 2009) wykazały, że struktura wiekowa całego obiektu została ukształtowana pod wpływem lokalnych i stonunkowo często występujących zaburzeń. Liczba silnych zmian średniego przyrostu grubości drzew, sugerujących wystąpienie zaburzenia o dużej intensywności, była niewielka i dotyczyła zazwyczaj ograniczonych przestrzeni grup drzew. Pomimo to na niektórych niżej położonych powierzchniach pojawiły się młodsze generacje drzew o niewielkim zróżnicowaniu, co może świadczyć o wystąpieniu tam w przeszłości wielkopowierzchniowego rozpadu drzewostanu.

Wyniki podobnie przeprowadzonych rekonstrukcji dynamiki świerczyn z południowego przedpoła Tatr pokazały, że zaburzeń było tam wyraźnie mniej, ale za to były one bardzo silne i obejmowały znaczne obszary (Zielonka i in., 2010), co pokazuje, że wskazane byłoby przeanalizowanie innych naturalnych drzewostanów górnoregłowych w Tatrzańskim PN pod kątem struktury wieku i historii występowania zaburzeń. W tej pracy próbujemy przeanalizować i porównać ze sobą dynamikę lasu w naturalnych świerczynach zlokalizowanych we wschodniej (Dolina Suchej Wody) i zachodniej (Dolina Kościeliska) części Tatr.

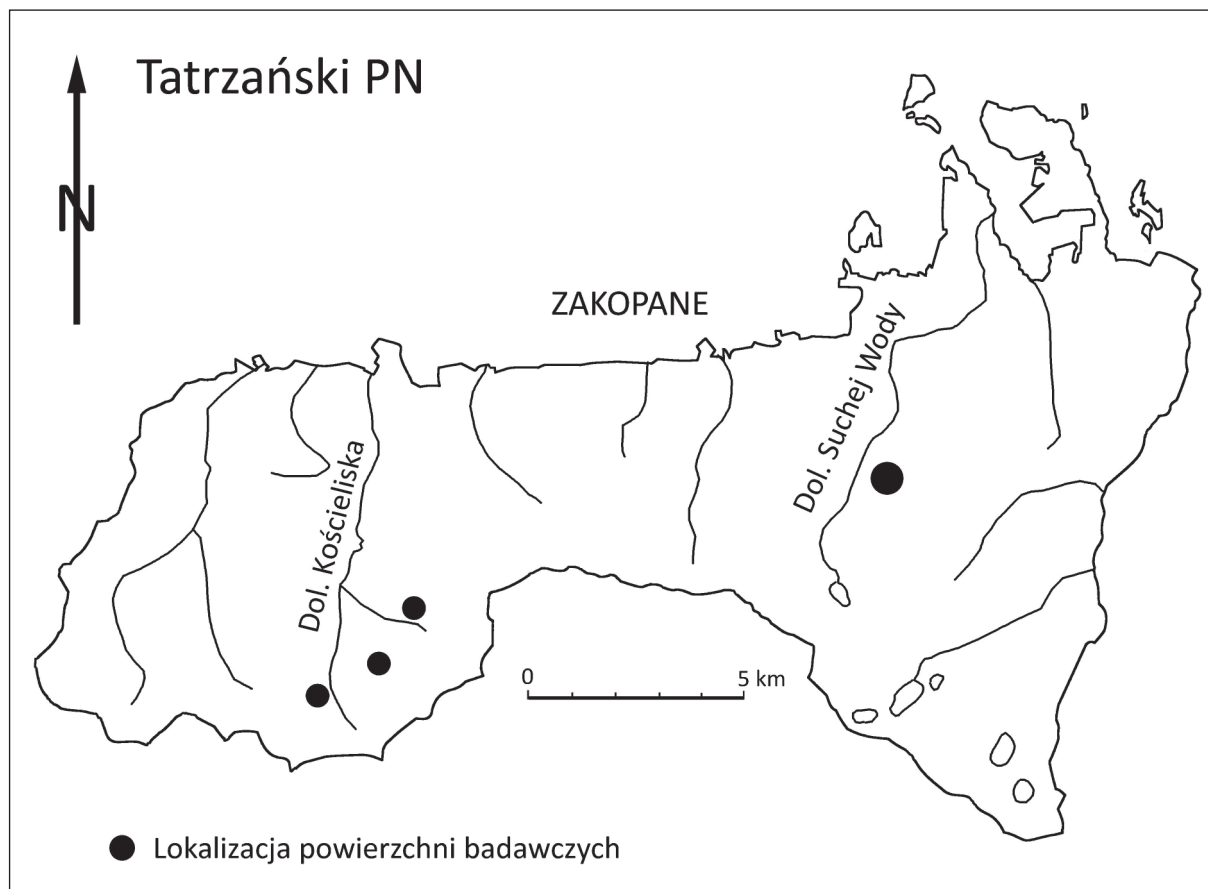
## Teren badań

Materiał do badań został zebrany na terenie Skoruśniaka (na stokach Zadniego Uplazu, pomiędzy doliną Suchej Wody i Pańszczycy) oraz w rejonie dolin Pyszniańskiej i Tomanowej (górną część Doliny Kościeliskiej). Przybliżoną lokalizację powierzchni badawczych przedstawia ryc. 1.

Na Skoruśniaku teren badań położony był na wysokości od 1300 do 1570 m n.p.m., z czego około 75% znajduje się powyżej 1400 m n.p.m. Nachylenie terenu jest zmienne w zakresie od 0 do 40°, a jego średnia wartość wynosi około 13°. Rezerwat obejmuje obszar trzech oddziałów leśnych: 136, 137 i 143, o całkowitej powierzchni 163,96 ha (Jagiello i in., 1978).

Obszar badań, wraz ze znajdującą się w pobliżu Hałą Gąsienicową, leży w obrębie piętra klimatycznego chłodnego, ze średnimi temperaturami rocznymi od 2 do 4°C.

Górna część Doliny Kościeliskiej obejmuje zakres wysokości od 1250 do 1550 m n.p.m., a lasy górnoregłowe zajmują w nim obszar ponad 700 ha. Pozostałe fragmenty zajmuje kosodrzewina, murawy wysokogórskie i wychodnie skał. Większość stoków jest stroma a nachylenia wynoszą od 10 do 45°. Średnie roczne temperatury dla całego rezerwatu wynoszą około 0°C.



Ryc. 1. Lokalizacja powierzchni badawczych na obszarze Tatrzańskiego Parku Narodowego

Fig. 1. Location of sample plots in Tatra Mountains National Park

Las w masywie Skoruśniaka jest jednym z dobrze zachowanych w Tatrach fragmentów zespołu *Plagiothecio-Piceetum*. Pod względem typologicznym jest to siedlisko górnoregłowego boru wysokogórskiego (Jagiello i in., 1978). Analogicznie klasyfikowany jest las w górnej części Doliny Kościeliskiej.

## Metody

Materiał badawczy w obu obiektach pobierany był w odmienny sposób. Na Skoruśniaku odwierty przyrostowe pobrano w latach 2002–2003 z ponad 600 świerków na 20 powierzchniach kołowych, wybranych z siatki regularnie rozmieszczonych powierzchni badawczych, odtworzonych i pomierzonych w latach 2001 i 2002 przez pracowników Instytutu Botaniki PAN. W górnej części Doliny Kościeliskiej odwierty przyrostowe pobrano w 1994 roku z ponad 100 drzew na 10 powierzchniach badawczych, zakładanych w grupach potencjalnie najstarszych świerków oraz w grupach drzew silnie zróżnicowanych pod względem grubości, co sugerowało ich znaczne zróżnicowanie wiekowe.

Odwierty przyrostowe były pobierane świdrami Presslera a szerokości słoju przyrostu rocznego pomierzono przy pomocy programu WinDendro. Ze względu na zgniliznę wewnętrzną w pniach niektórych drzew, część odwiertów została wyeliminowana z analiz. Ostatecznie przeanalizowano 548 drzew z Doliny Suchej Wody i 95 z rezerwatu z Doliny Kościeliskiej, których pomierzone krzywe przyrostowe wstępnie weryfikowano przy użyciu lat wskaźnikowych z chronologii przyrostów grubości świerka z Lasu Gąsienicowego (Feliksik, 1972).

Na podstawie liczby przyrostów rocznych oszacowano wiek pierśnicowy drzew. Ustalenie wieku rzeczywistego było obarczone bardzo dużym ryzykiem popełnienia błędu, ze względu na silne zróżnicowanie czasu potrzebnego młodym świerkom na osiągnięcie wysokości 1,3 m (Szymański i Modrzyński, 1973; Zielonka, 2003; Zwijacz-Kozica, 2003).

Do zidentyfikowania reakcji przyrostowych (uwolnień), świadczących o nagłej zmianie warunków wzrostu danego drzewa wykorzystano metodę opisaną przez Lorimera i Frelicha (1989) w zmodyfikowanym ujęciu Nowackiego i Abramsa (1997) i Blacka i Abramsa (2003, 2004). Miarą wielkości reakcji przyrostowej drzewa w danym roku jest procentowy wskaźnik zmiany średnich dziesięcioletnich przyrostów radialnych drzewa (%GC), który dla danego rocznika przyrostu wyliczano zgodnie ze wzorem:

$$\%GC = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\%$$

gdzie:

$M_1$  – przeciętna wartość przyrostu grubości dla ostatnich 10 lat (wliczając rok, dla którego prowadzimy obliczenia),

$M_2$  – przeciętna wartość przyrostu grubości dla 10 lat, następujących po roku, dla którego prowadzimy obliczenia.

Identyfikację roczników, w których potencjalnie mogło dojść do zaburzeń w otoczeniu drzewa, którego przyrosty analizowano, przeprowadzano na podstawie lokalnych wartości maksymalnych krzywej, przedstawiającej zmienność wskaźnika %GC w kolejnych latach życia drzewa. W dalszej analizie uwzględniano jednak tylko wartości %GC przekraczające poziom 25%, aby odfiltrować słabe, pozytywne reakcje przyrostowe, niezwiązane z lokalnymi zaburzeniami. Ponadto wszystkie wartości %GC zostały podzielone przez maksymalne możliwe wartości tego wskaźnika, wyliczone na podstawie lokalnej linii granicznej, reprezentującej dla danego obszaru maksymalną możliwą zmianę średniego przyrostu dziesięcioletniego %GC w zależności od średniego przyrostu za 10 lat poprzedzających rok, dla którego prowadzone są obliczenia ( $P_i$ ). Uzyskano w ten sposób względną wartość reakcji przyrostowej, wyrażoną w procentach i ponownie wyeliminowano z dalszych analiz wszystkie wyniki z lat, w których wyliczony wskaźnik %GC był niższy niż 25% wartości maksymalnej, odczytanej z linii granicznej.

Linia graniczna została wyliczona poprzez dopasowanie ( $R^2 = 0,99$ ) krzywej wykładniczej do średnich z 10 maksymalnych wartości %GC dla wszystkich klas średniego przyrostu  $P_i$ :

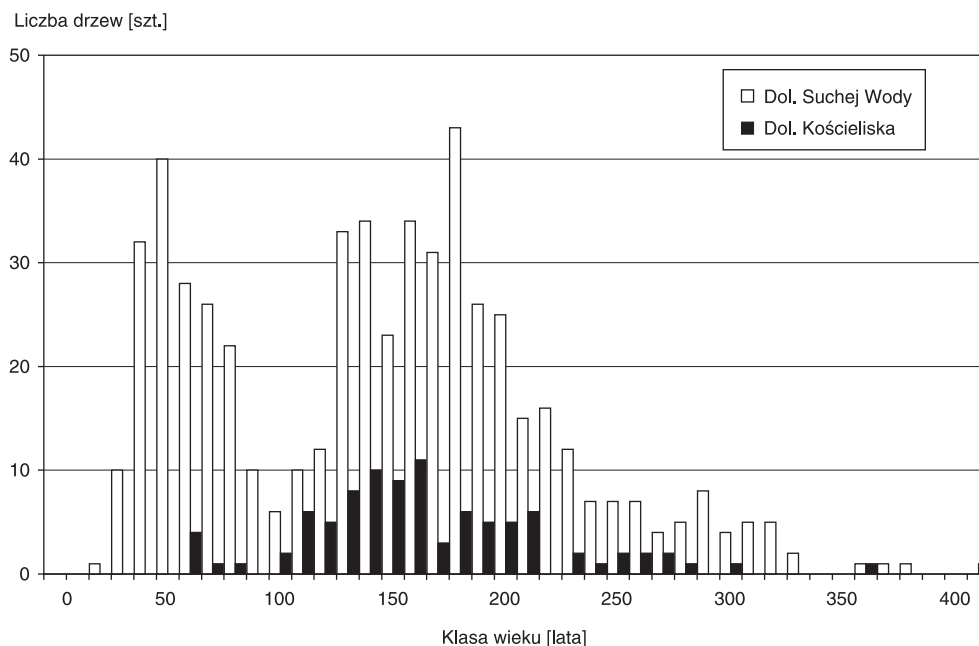
$$\%GC = 620,5e^{-1,2425P_i} \quad (1)$$

Szczegółowy sposób obliczenia parametrów linii granicznej podają Black i Abrams (2004).

## Wyniki

Badane drzewostany wykazały zbliżony zakres zróżnicowania wieku pierśnicowego drzew. Wahał się on w granicach od 20 do 380 (średnia 141 lat) lat w przypadku świerczyn z Doliny Suchej Wody, podczas gdy w Dolinie Kościeliskiej najmłodsze analizowane drzewo miało 53 lata a najstarsze 408 lat (średnia 161 lat). Rozkłady wieku (ryc. 2) różniły się przede wszystkim liczebnością młodszych klas wieku (pomiędzy 41 i 60 lat), które były licznie reprezentowane w przypadku powierzchni w Dol. Suchej Wody, gdzie część powierzchni była dwugeneracyjna. W Dolinie Kościeliskiej drzewa w wieku poniżej 60 lat były bardzo nieliczne, przez co średni wiek jest nieco wyższy, ale różnica ta może być bezpośrednią konsekwencją innego sposobu wyboru powierzchni badawczych. Obie świerczyny należy więc uznać za wielogeneracyjne z najliczniejszymi klasami wieku mieszczącymi się w przybliżeniu w zakresie od 131 do 180 lat.

Występowanie zaburzeń w obu obszarach miało zmienną intensywność. Wyliczone wskaźniki zmiany średnich dziesięcioletnich przyrostów drzewa (%GC) w drzewostanie z Doliny Suchej Wody wskazywały na 1140 przypadków wyraźnych reakcji przyrostowych u 406 (74,9% całej próby) analizowanych drzew. W drzewostanach z Doliny Kościeliskiej stwierdzono 226 takich reakcji u 75 drzew (78,9% całkowitej liczby analizowanych drzew). Po przeskalowaniu wartości wskaźnika



**Ryc. 2.** Struktura wieku naturalnych drzewostanów świerkowych w dolinach Suchej Wody i Kościeliskiej

**Fig. 2.** The age structure of natural spruce stands in Sucha Woda and Kościeliska Valleys

%GC względem maksymalnych reakcji przyrostowych odczytanych z linii granicznej i odrzuceniu wartości nieprzekraczających progu 25% pozostała liczba stwierdzonych, silnych reakcji przyrostowych, wskazujących na występowanie zaburzeń wyniosła 226 w Dolinie Suchej Wody i 98 w Dolinie Kościeliskiej.

Procentowe udziały drzew wykazujących reakcje na zaburzenia w poszczególnych dekadach przedstawiają ryc. 3 (Dolina Suchej Wody) i 4 (Dolina Kościeliska). W obu przypadkach wzorce występowania zaburzeń w poszczególnych dekadach są do siebie zbliżone (współczynnik korelacji rang Kendalla  $\tau = 0,33$ ,  $p < 0,05$ ). Udział drzew wykazujących oznaki zaburzeń jest niski i przekracza 30% jedynie w latach 1700–1710 w Dolinie Kościeliskiej. Wynik ten może być jednak przypadkowy, ze względu na niską liczebność próby najstarszych drzew. Wyraźnie pokrywają się okresy nasilonego występowania zaburzeń oraz lokalne maksima w dekadach 1821–1830, 1871–1880 i 1921–1930 oraz okresy, w których brak jest wyraźnych oznak zaburzeń: 1801–1820. Średnie procentowe udziały drzew wykazujących silne reakcje przyrostowe w poszczególnych dekadach są bardzo niskie i wynoszą 3,49% w drzewostanie z Doliny Suchej Wody i 6,78% w świerczynach z Doliny Kościeliskiej.

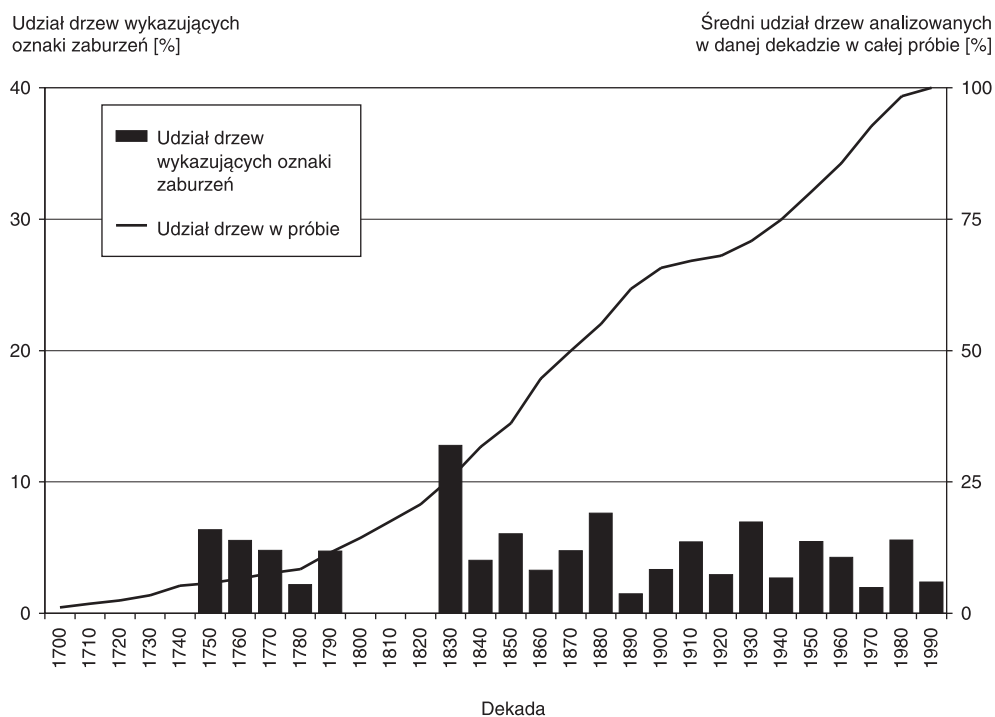
## Dyskusja

Naturalny charakter drzewostanów świerkowych w obydwu dolinach na terenie Tatrzańskiego Parku Narodowego nie budzi wątpliwości. Wykazują one liczne podobieństwa dotyczące zarówno struktury wieku (zbliżony średni wiek i zakres zmienności wieku, wielogeneracyjność) jak i zbliżone do siebie wzorce występowania zabu-

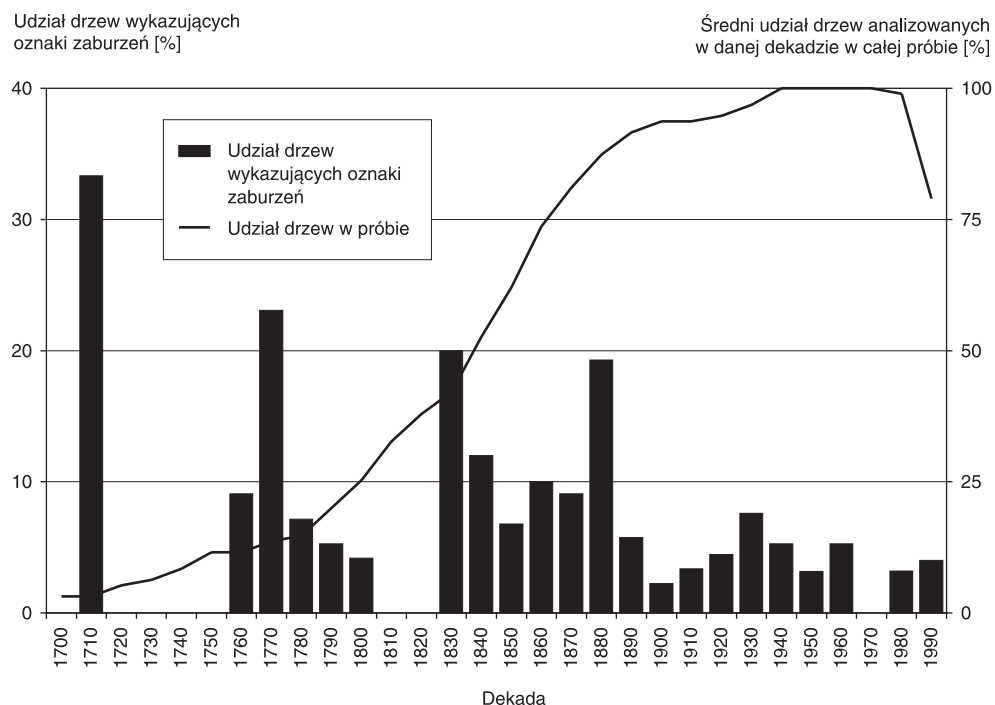
rzeń w warstwie drzew. Po 1700 roku brak jest jakichkolwiek oznak pojawiania się katastrofalnych zmian o charakterze wielkopowierzchniowym, a lokalne zaburzenia zaznaczają się wyraźnymi zmianami wielkości przyrostów rocznych u niewielu drzew. W niżej położonych fragmentach drzewostanu na Skoruśniaku pojawiają się dwie wyraźnie oddzielone generacje drzew (młodsza z nich wyraźnie uwidacznia się w rozkładzie wieku drzew – ryc. 2), co pośrednio może świadczyć o możliwości rozpadu drzewostanu w tym rejonie. W Dolinie Kościeliskiej powierzchnie badawcze były zakładane w miejscach występowania grup świerków o zróżnicowanych rozmiarach, a tym samym potencjalnie różnowiekowych, co z założenia mogło wyeliminować lokalizacje o uproszczonej strukturze wieku. W skali całego obiektu nie zaznacza się żadna odrębna generacja wiekowa drzew.

Podobieństwo rozkładów intensywności występowania zaburzeń w poszczególnych dekadach pozwala sądzić, że mechanizmy ich powstawania były analogiczne we wschodniej i zachodniej części Tatr. Zwiększone udziały drzew, wykazujących oznaki uwolnienia w przyrostach rocznych, występowały najczęściej w tych samych dekadach. W znacznej części nakładały się również okresy czasu, w których w obydwu obiektach nie stwierdzono u drzew oznak nagłego zwiększenia przyrostu.

Mechanizm kształtowania dynamiki drzewostanu w analizowanych obiektach różni się wyraźnie od opisywanych z Tatr Słowackich świerczyn, w których występują dość regularnie bardzo silne i rozległe zaburzenia wywoływane przez huraganowe wiatry (Zielonka i in. 2010). Porównując udziały drzew wykazujących oznaki uwolnienia ze znanymi z zapisów historycznych latami nasilonego występowania wiatrolomów widać, że wiel-



**Ryc. 3.** Procentowy udział drzew wykazujących oznaki wpływu zaburzeń w drzewostanie świerkowym w Dolinie Suchoj Wody  
**Fig. 3.** Relative share of trees affected by disturbances in Sucha Woda Valley spruce stand



**Ryc. 4.** Procentowy udział drzew wykazujących oznaki wpływu zaburzeń w drzewostanach świerkowych w Dolinie Kościeliskiej  
**Fig. 4.** Relative share of trees affected by disturbances in Kościeliska Valley spruce stands

kopowierzchniowe zaburzenia wywołują silne lub średnie zmiany przyrostu u przynajmniej 20–30% drzew, które przeżyły. Występowania takiego nasilenia reakcji przyrostowych nie stwierdzono w lasach z Doliny Kościeliskiej i Suchoj Wody.

### Podziękowania

Dziękujemy Dariuszowi Hutce, Piotrowi Giemzie i Jarosławowi Łabajowi za pomoc przy pobieraniu i pomiarach odwiertów.

**Reconstruction of natural disturbances influence on subalpine stands dynamics. A comparison of spruce forests in Sucha Woda and Kościeliska Valleys**

The paper presents an attempt to reconstruct the influence of natural disturbances on tree increments on the basis of increment cores collected in natural spruce forests in Sucha Woda and Kościeliska Valleys (Tatra Mountains NP). In both areas the cores were taken from all trees growing on circular sample plots (20 plots and 548 trees in Sucha Woda Valley; 10 plots and 95 trees in Kościeliska Valley). Pith age of trees was between 20 and 380 in Sucha Woda Valley and in Kościeliska Valley youngest trees were about 60 years old and oldest exceeded 400 years. "Boundary line" method of Black and Abrams [2004] was used to find out the signs of post-disturbance tree-ring reactions.

The analysis revealed numerous episodes of major and moderate growth releases, interpreted as results of sudden change in light conditions, caused by natural disturbance impact. Those episodes were strongly scattered in all analyzed decades except the years 1700–50, 1820–30 and their range was limited. It suggests that the dynamics of analyzed subalpine forests is driven by frequent local disturbances and during last 200–300 years they were not subject to any large-scale disturbances. As a result both spruce stands have complex age structure, except lower parts of Skoruśniak reserve. What is interesting, also the pattern of changes in disturbance frequency is almost the same in both stands, suggesting that the factors causing increased numbers of releases in some decades were acting in large areas of Tatra Mountains.

**Literatura**

- Black B.A., Abrams M.D., 2003. Use of boundary-line growth patterns as a basis for dendroecological release criteria, *Ecological Applications*, 13, s. 1733–1749.
- Black B.A., Abrams M.D., 2004. Development and application of boundary-line release criteria, *Dendrochronologia*, 22, s. 31–42.
- Feliksik E., 1972. Studia dendrochronologiczne nad świerkiem (*Picea excelsa* L.). Część I. Badania nad świerkiem z Lasu Gąsienicowego w Tatrach, *Acta Agraria et Silvestria*, Vol. XII, s. 39–70.
- Holeksa J., Cybulski M., 2001. Canopy gaps in Carpathian subalpine spruce forest, *Forstw. Cbl.*, 120, s. 331–348.
- Holeksa J., Giemza P., Krawczyń B., Łabaj J., Michalska D., Szewczyk J., Wesołowska M., Żywiec M., 2005. Tatrzańska i babiogórska świerczyna górnoregłowa – podobieństwa i różnice. [w:] Mirek Z., Godzik B. (red.), *Tatrzański Park Narodowy na tle innych górskich terenów chronionych*, Tom III, Zakopane, Wyd. TPN, s. 77–85.
- Holeksa J., Saniga M., Szwagrzyk J., Dziedzic T., Ferenc S., Wodka M., 2007. Altitudinal variability of stand structure and regeneration in the subalpine spruce forests of the Połana biosphere reserve, Central Slovakia, *European Journal of Forest Research*, 126, s. 303–313.
- Holeksa J., Zielonka T., 2005. Different landscape patterns of subalpine spruce forests in the Tatra Mts. and Babia Góra massif (West Carpathians), *Polish Botanical Studies*, 19, s. 167–175.
- Jagiello Z., Poznański R., Raimer J., Rutkowski B., 1978. Zastosowanie wielkoobszarowej metody losowych powierzchni próbnych do inwentaryzacji i kontroli zapasu i przyrostu w projektowanym rezerwacie ściśłym Skoruśniak w Tatrzańskim Parku Narodowym, *Sylvan*, 1, s. 31–41.
- Johnson E.A., Miyanishi K., Kleb H., 1994. The hazards of interpretation of static age structures as shown by stand reconstructions in a *Pinus contorta-Picea engelmannii* forest, *Journal of Ecology*, 82, s. 923–931.
- Karczmarski J., 2007. Budowa, struktura i dynamika górnoregłowych borów świerkowych o charakterze pierwotnym w dolinach Pańszczyca i Stawów Gąsienicowych (Tatrzański Park Narodowy) w okresie kontrolnym 1991–2002, *Sylvan*, 11, s. 41–59.
- Korpeľ Š., 1995. *Die Urwälder der Westkarpaten*. Stuttgart, Jena, New York, Gustav Fischer Verlag.
- Kulakowski D., Rixen C., Bebi P., 2006. Changes in forest structure and the relative importance of climatic stress as a result of suppression of avalanche disturbances, *Forest Ecology and Management*, 223, s. 66–74.
- Lorimer C.G., Frelich L.E. 1989. A method for estimating canopy disturbance frequency and intensity in dense temperate forests, *Canadian Journal of Forest Research*, 19, s. 651–663.
- Myczkowski S., 1964. Struktura i ekologia zespołu świerka *Piceetum tatricum* u górnej granicy zasięgu w Tatrzańskim Parku Narodowym w dolinach Stawów Gąsienicowych i Pańszczyca, *Ochrona Przyrody*, 30, s. 51–105.
- Nowacki G.J., Abrams M.D., 1997. Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks, *Ecological Monographs*, 67, s. 225–249.
- Szewczyk J., Szwagrzyk J., 2009. Struktura starodrzewia świerkowego a dynamika przyrostu drzew na powierzchni badawczej „Skoruśniak” w Tatrzańskim Parku Narodowym, [w:] A. Kownacki (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a Człowiek. Tom II Biologia*, TPN i PTPNoZ, Kraków – Zakopane, s. 60–62.
- Szwagrzyk J., Szewczyk J., Hutka D., Zielonka T., 1996. Struktura wiekowa naturalnych drzewostanów świerkowych w Tatrzańskim Parku Narodowym, [w:] A. Kownacki (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a Człowiek*, Tom II Biologia, TPN i PTPNoZ, Kraków – Zakopane, s. 60–62

- Szymański S., Modrzyński J., 1973. Określenie wieku potrzebnego do osiągnięcia przez świerk wysokości pierśnicy na różnych wzniesieniach nad poziomem morza, *Sylvan*, 1, s. 11–24.
- Zielonka T., 2003. Tempo rozkładu martwego drzewna a odnowienie świerka *Picea abies* (L.) Karst. na kłodach w karpackim borze górnoregłowym, Praca doktorska wykonana w Zakładzie Ekologii Instytutu Botaniki im. W. Szafera PAN, Kraków.
- Zielonka T., Holeksa J., Fleischer P., Kapusta P., 2010. A tree-ring reconstruction of wind disturbances in a forest of the Slovakian Tatra Mountains, Western Carpathians, *Journal of Vegetation Science*, 21, s. 31–42.
- Zwijacz-Kozica T., 2003. Różnicowanie się struktury populacji świerka w procesie starzenia tatrzańskich borów górnoregłowych, Praca doktorska wykonana w Katedrze Botaniki Leśnej SGGW, Warszawa.

