

Zakłócenia wzrostu drzew w borze górnoreglowym spowodowane przez lawiny śnieżne – studium przypadku z Doliny Rybiego Potoku, Tatry Wysokie

Michał Lempa, Ryszard J. Kaczka, Barbara Spyt, Patryk Guzik, Mateusz Guzowski, Zofia Rączkowska

Abstrakt. Celem niniejszej pracy było określenie wpływu lawin śnieżnych na przyrosty roczne drzew rosnących w żlebie sąsiadującym od północy z Urwanym Żlebem na stokach Miedzianego szczytu, w Tatrach Wysokich. Badania oparto na analizie szerokości przyrostów i anatomii drewna 88 drzew (*Picea abies* (L.) H. Karst., *Pinus cembra* L. i *Sorbus aucuparia* L. Emend. Hedl) rosnących wzdłuż dwóch transektów o długości ok. 60 m, i przecinających żleb na wysokości ok. 1455 m i 1405 m n.p.m. Sekwencje szerokości przyrostów drzew iglastych porównano do chronologii referencyjnej pochodzącej z miejsca nie zagrożonego lawinami. Na podstawie przeprowadzonych analiz sporządzono czasoprzestrzenny obraz występowania zakłóceń, który uwzględnia wiek oraz lokalizację drzew.

Słowa kluczowe: dendrogeomorfologia, lawiny śnieżne, Urwany Żleb, Tatry Wysokie,

Abstract. Growth disturbances in subalpine forest caused by the snow avalanche – ase study form the Rybi Potok Valley, High Tatras. We aimed at the assessing the effect of snow avalanches on growth of subalpine forest in the couloir adjacent from the north to the Urwany Żleb couloir on the slopes of the Mt. Miedziane in the High Tatras. The study was based on analyses of the tree-ring width and anatomical features of the 88 trees (*Picea abies* (L.) H. Karst., *Pinus cembra* L. i *Sorbus aucuparia* L. Emend. Hedl) growing along the two transects. Transects have about 60 m of length and cross the examined couloir at the height of 1405 and 1455 m a.s.l. The tree-ring series from coniferous trees was compared to the reference chronology from the place, which is not affected by the snow avalanche. The spatio-temporal analysis was performed for the age of the trees and growth disturbance detected in the analysed trees.

Key words: dendrogeomorphology, snow avalanches, the Urwany Żleb couloir, the High Tatras

Wstęp

Lawiny śnieżne są procesem wysokoenergetycznym polegającym na przemieszczaniu i akumulacji dużych mas śniegu, które jednak znikają z krajobrazu w ciągu najdalej kilku miesięcy. Widocznym i stosunkowo trwałym zapisem zdarzeń lawinowych są przekształcenia

dokonane w drzewostanie. Zniszczenia lasu są widoczne w krajobrazie poprzez m. in. zmiany przebiegu górnej granicy lasu (Czajka 2011, Czajka i in. 2012, Kaczka i in. 2015a, Rączkowska i in. 2016). Oprócz wielkoobszarowych zniszczeń lasu, efektem wystąpienia lawiny mogą być uszkodzenia pojedynczych drzew. Takie zakłócenia wzrostu są widoczne na zewnątrz drzewa (blizny na pniu, odkształcenia pnia oraz zmiany pokroju), jak i zapisane są w słojach rocznych drewna wtórnego. Analiza przyrostów rocznych umożliwi identyfikację głównych procesów przyrodniczych kształtujących rozwój lasu w danym obszarze. Dendrogeomorfologia w połączeniu z odpowiednimi aplikacjami GIS jest dobrym narzędziem do tego typu badań (Muntán i in. 2009, Corona i in. 2010, Lempa i in. 2014).

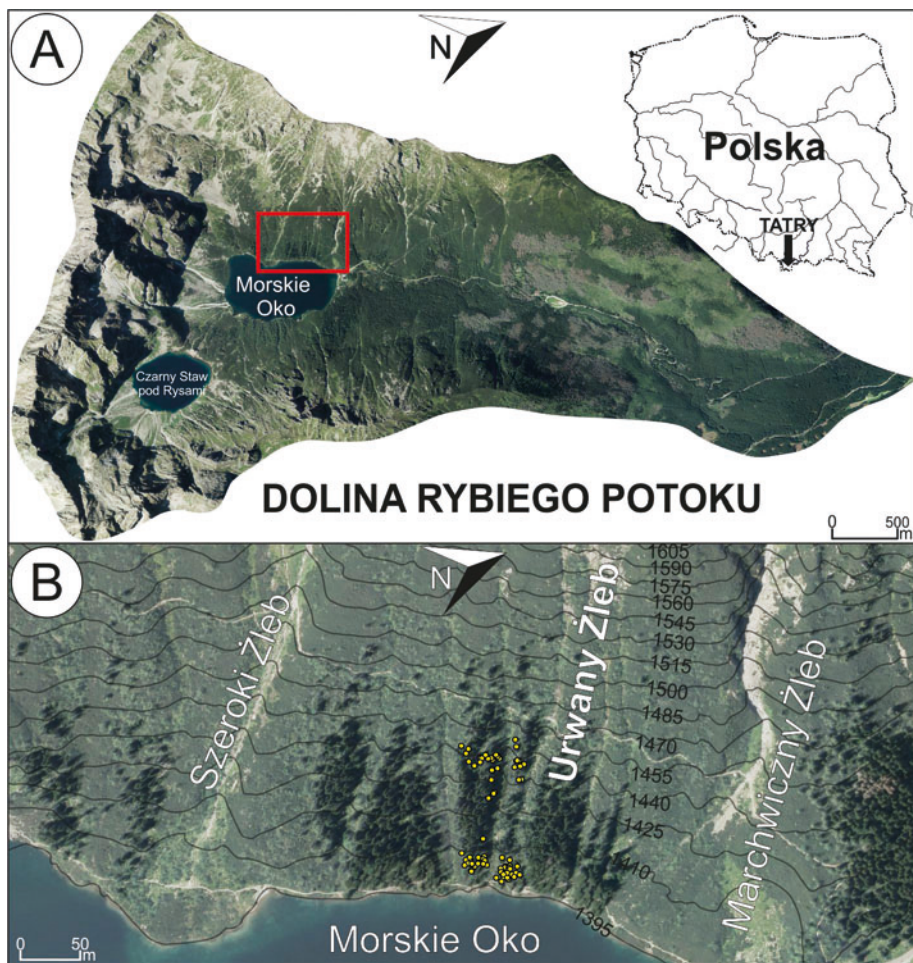
Celem badań było określenie wpływu lawin śnieżnych na kondycję drzew rosnących w borze górnoreglowym na skraju żlebu sąsiadującego od północy z Urwanym Żlebem na wschodnich stokach Miedzianego w Dolinie Rybiego Potoku, który na mapie lawin (Žiak i Długosz 2015) nie został oznaczony jako szlak lawinowy.

Material i metody

Badania przeprowadzono w Tatrach Wysokich, w Dolinie Rybiego Potoku, w żlebie opadającym ze wschodnich stoków Miedzianego i sąsiadującym od północy z Urwanym Żlebem (Ryc. 1A). Mapy z lat 1938 (Wojskowy Instytut Geograficzny), 1976 (Kłapowa), 2003 (Polkart), 2015 (Žiak i Długosz) nie przedstawiają w tym miejscu szlaku lawinowego. Jedynie na mapie lawin z zimy 1947/1948 z rejonu Morskiego Oka zaznaczono w tym miejscu zejście lawiny (Paryski 1948). Długość analizowanego żlebu wynosi około 560 m. Żleb zaczyna się na niewielkim grzbiecie rozdzielającym Żleb Urwany i Żleb Marchwiczny, nie sięgając głównej grani Miedzianego. Na możliwość występowania w nim lawin wskazują zaburzenia w przebiegu górnej granicy lasu i brak lasu wzdłuż osi żlebu (Spyt i in. 2016). Przecinają go dwa szlaki turystyczne: na wysokości 1490 m n.p.m. żółty szlak prowadzący ze schroniska PTTK nad Morskim Okiem m.in. na Szpiglasową Przełęcz oraz na wysokości 1410 m n.p.m. czerwony szlak turystyczny prowadzący wokół Morskiego Oka i dalej na Rysy. Lawiny śnieżne schodzące ze stoków Miedzianego stanowią potencjalne zagrożenie dla turystów odwiedzających tą część Tatr w okresie zimowym i wiosennym (Sawicki 1910, Jagiełło 2002).

Analizowany żleb charakteryzuje się złożonością procesów kształtujących jego obecny krajobraz. W latach 30-tych XX w wyniku długotrwałych opadów deszczu, w Urwanym Żlebie uaktywnił się sływ gruzowy, który spowodował zniszczenie stoku na długości około 430 m (Cywiński 2005).

W przeprowadzonych badaniach wykorzystano analizę szerokości przyrostów rocznych i cech anatomicznych drewna 88 drzew iglastych i liściastych (*Picea abies* (L.) H. Karst – 97%, *Pinus cembra* L. – 1%, *Sorbus aucuparia* L. Emend. Hedl – 2%) rosnących wzdłuż dwóch transektów. Oba transekty miały około 60 m długości i przecinały Urwany Żleb na wysokości 1455 m n.p.m. (transekt górny) oraz 1405 m n.p.m. (transekt dolny) (Ryc. 1B). Powierzchnia badanego lasu w transekcie górnym wynosi 1673 m², natomiast w transekcie dolnym 1320 m². Odwierty pobrano z drzew w 2012 roku na wysokości pierśnicy przy pomocy świdra przyrostowego Presslera. Każde nawiercone drzewo otrzymało kod i zostało namierzone przy pomocy precyzyjnego odbiornika GPS. Sekwencje szerokości przyrostów z drzew iglastych porównano do chronologii referencyjnej pochodzącej z tego samego terenu (Dolina Rybiego Potoku) i podobnej wysokości bezwzględnej (Büntgen i in. 2007, Czajka i Kaczka 2011).



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań (A) oraz rozmieszczenie badanych drzew (B)
Fig. 1. Location of the study site (A) and distribution of the sampled trees (B)

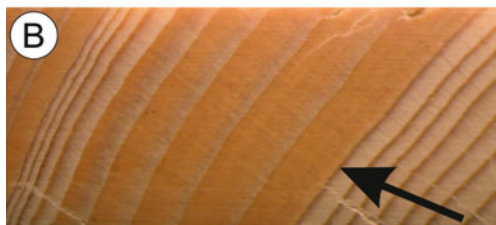
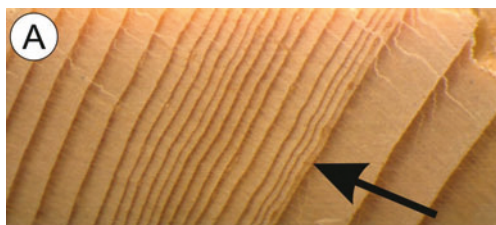
Analizy dendrochronologiczne polegały na określeniu wieku badanego osobnika oraz wykryciu wyraźnych zmian szerokości przyrostów nieobecnych w chronologii referencyjnej (Ryc. 2A). Dla 40 prób konieczne było oszacowanie wieku pierścnicowego, gdyż pobrane odwierty nie zawierały samego rdzenia. Estymację wykonano w programie Coorecorder (Larson 2013), z wykorzystaniem metody Duncana (1989). Nagła zmiana szerokości przyrostów może mieć charakter pozytywny (zwiększenie szerokości) lub negatywny (redukcja szerokości). W przypadku analizowanych drzew redukcja szerokości przyrostów mogła powstać na skutek uszkodzenia części korony (dekapitacja) lub uszkodzenia części pnia (Buttler i Malanson 1985, Stoffel i in. 2010, Lempa i in. 2014). Zwiększenie szerokości przyrostów danego

osobnika (tzw. uwolnienie) związane jest z przerzedzeniem sąsiadującego z nim lasu przez schodzącą lawinę śnieżną, spływ gruzowy lub wiatrołom. Dzięki temu drzewa uzyskują większy dostęp do promieniowania słonecznego, przez co warunki ich wzrostu poprawiają się (Stoffel i Corona 2014).

Analizy anatomiczne polegały na wykryciu anomalii drewna wtórnego takich jak drewno reakcyjne (Ryc. 2B), traumatyczne kanały żywiczne w drzewach iglastych (TKZ) (Ryc. 2C) czy blizny po bezpośrednich uszkodzeniach pni. Drewno reakcyjne w przypadku analizowanych drzew mogło powstać na skutek ich pochylenia przez ruch mas śniegu. Powrót do pierwotnego, pionowego położenia, wymaga wytworzenia przez drzewo drewna reakcyjnego (Timell 1986, Krąpiec i Zielski 2004). Z kolei traumatyczne kanały żywiczne powstają w wyniku uszkodzenia mechanicznego drzewa, które może być widoczne na drzewie w postaci blizny. TKZ są widoczne w przyrostach w postaci szeregu kanałów żywicznych o dużych rozmiarach (Bollschweiler i in. 2008). W przypadku analizowanych drzew występowanie TKZ może być reakcją na uszkodzenie powstałe w wyniku lawin śnieżnych, spływów gruzowych lub działania wiatru. Zidentyfikowanie TKZ spowodowanych przez lawiny wymaga określenia pozycji TKZ w obrębie danego przyrostu rocznego. Tylko TKZ położone w pierwszych rzędach komórek drewna wczesnego można wiązać ze zdarzeniem lawinowym (Kaczka i in. 2015b).

Z powodu niewielkiej replikacji prób oraz niemożności datowania pomostowego prób z jarzębu pospolitego (brak lokalnej chronologii referencyjnej) wykryte zmiany szerokości przyrostów oraz anomalie drewna wtórnego zostały jedynie podliczone dla dziesięcioleci.

Dzięki geopozycjonowaniu poszczególnych drzew możliwe było przeprowadzenie analiz przestrzennych. W analizach tych uwzględniono wiek drzew oraz wykryte zaburzenia wzrostu. Wszystkie analizy zostały przeprowadzone z wykorzystaniem oprogramowania ArcGIS 10.2 (www.esri.com). Tworzenie map ilościowych bazowało na interpolacji przestrzennej wieku drzew oraz ilości zdarzeń przez nie zarejestrowanych. Interpolację przeprowadzono metodą ważonych odwrotności odległości (IDW), w której wartości skrajne nie są generowane poza zadanymi punktami, a wartością decydującą jest odległość od punktu wyjściowego (www.help.arcgis.com, Rzepecka i in. 2012). Podczas interpolacji uwzględniono brak lasu w głównej osi żlebu. W niniejszych badaniach wykorzystano historyczne ortofotomapy z badanego obszaru z lat 1955-2012 w celu lepszej interpretacji uzyskanych map ilościowych. Wiek drzew oraz liczbę zaburzeń zarejestrowanych przez poszczególne drzewa porównano z odległością danego drzewa od głównej osi żlebu.

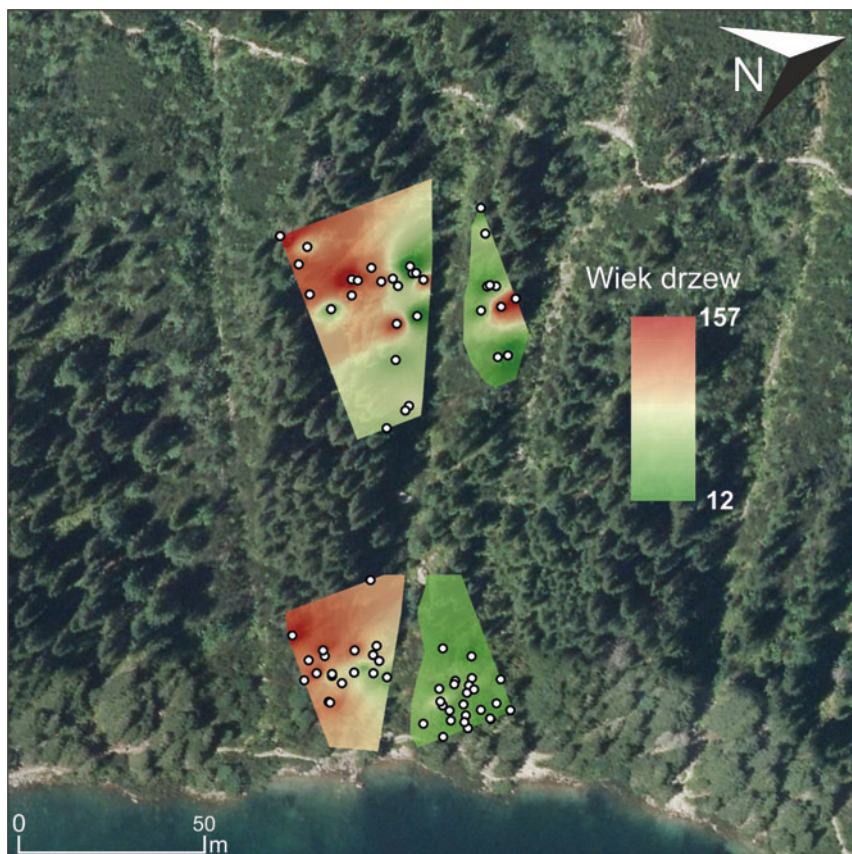


Ryc. 2. Przykłady zakłóceń wzrostu widoczne w przyrostach drewna wtórnego (A - redukcja szerokości przyrostów; B - drewno reakcyjne; C - traumatyczne kanały żywiczne)

Fig. 2. The examples of growth disturbances visible in annual rings (A - growth reduction; B - reaction wood; C - traumatic resin ducts)

Wyniki i dyskusja

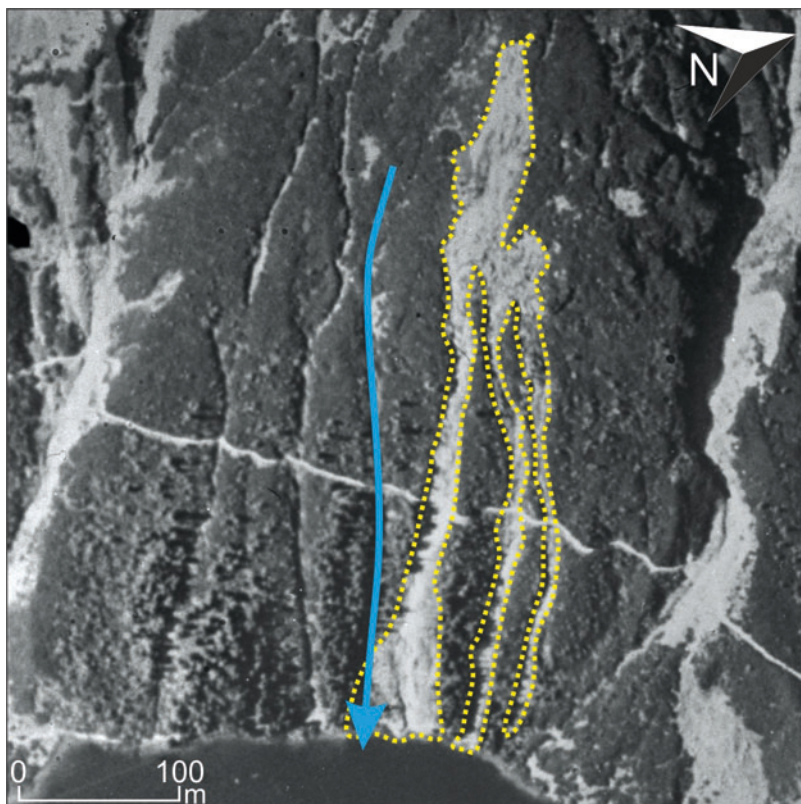
Wpływ lawin śnieżnych na kondycję drzew określono na podstawie czasoprzestrzennych analiz wieku oraz zaburzeń wzrostu badanych drzew. Najstarsze drzewo znajduje się w południowej części górnego transektu i liczy co najmniej 157 lat. Najmłodsze drzewo znajduje się w górnym transekcje bezpośrednio przy torze lawinowym i jego minimalny wiek pierśnicowy wynosi 12 lat. W transekcje dolnym zakres wieku drzew jest niewiele mniejszy. Najstarszy świerk ma co najmniej 139 lat, a najmłodszy 22 lat. Średni wiek drzew znajdujących się w górnym transekcje wynosi 85 lat, w porównaniu do 63 lat w dolnym transekcje. W górnym transekcje najmłodsze drzewa rosną najbliższej szlaku lawinowego, natomiast wraz z oddalaniem się od niego pojawiają się drzewa starsze (Ryc. 3). Jest to powiązane z odradzaniem się lasu po każdym zdarzeniu. W dolnym transekcje po stronie północnej Urwanego Żlebu rosną znacznie młodsze drzewa niż po stronie południowej. Analiza zdjęć lotniczych z 1955 roku pozwoliła zidentyfikować przyczynę takiego rozkładu wieku drzew w tym fragmencie badanego drzewostanu. Na zdjęciu tym widoczny jest spływ gruzowy, prawdopodobnie z I połowy XX wieku, który zniszczył płat lasu rosnący nad samym Morskim Okiem, co stanowi 42% powierzchni północnej części dolnego transektu (Ryc. 4).



Ryc. 3. Przestrzenny rozkład wieku badanych drzew
Fig. 3. Spatio-temporal distribution of the age, of the examined trees

Na podstawie przeprowadzonych badań zidentyfikowano liczne zaburzenia wzrostu w drzewach (Ryc. 5). W sumie zarejestrowano 95 zaburzeń wzrostu w okresie ostatnich 150 lat. Na 88 drzew, aż 58 zarejestrowało w swych przyrostach, chociaż 1 zmianę. Najwięcej zaburzeń wzrostu wykryto w latach 1940-1959. Zanotowano dla tamtego okresu po 12 zaburzeń na dekadę. W ostatniej dekadzie XX wieku nie zanotowano żadnego zaburzenia wzrostu w analizowanych drzewach. Średnia ilość zdarzeń na dekadę wynosi 6. Większa liczba zdarzeń w latach 1929-1949 oraz 1969-1989 może wynikać z działania lawin śnieżnych na tym obszarze. Badania dendrochronologiczne (Laska i Kaczka 2010; Lempa i in. 2014; Lempa i in. 2016) oraz obserwacje terenowe (Paryski 1948) potwierdzają wzmoczoną aktywność lawinową w Dolinie Rybiego Potoku w tym okresie. Działalność spływów gruzowych poza spływem widocznym na Ryc. 4 należy raczej wykluczyć jako przyczynę uszkodzeń drzew w analizowanym obszarze. Według badań lichenometrycznych na sąsiednich stożkach – Szerokim Piargu i Zielonym Piargu nad Morskim Okiem wzmoczoną aktywność procesów morfogenetycznych, w tym spływów gruzo-

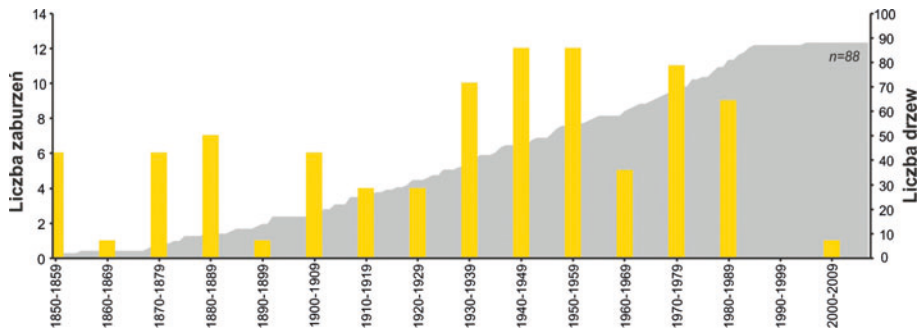
wych stwierdzono w latach 1929-1949 i 1961-1990, a szczególnie w latach 1970-1980 (Gądek i in. 2010, 2016). W pierwszym z tych okresów powstał spływ gruzowy widoczny na Rycinie 4. Natomiast analiza dostępnych zdjęć lotniczych z lat 1964, 1974, 1977, 1994, 1999, 2003 i 2009 wykazała, że po roku 1955 widoczna jest stabilizacja obszaru objętego spływem z I połowy XX wieku. Nawet w latach 70. nie wystąpił tu spływ gruzowy.



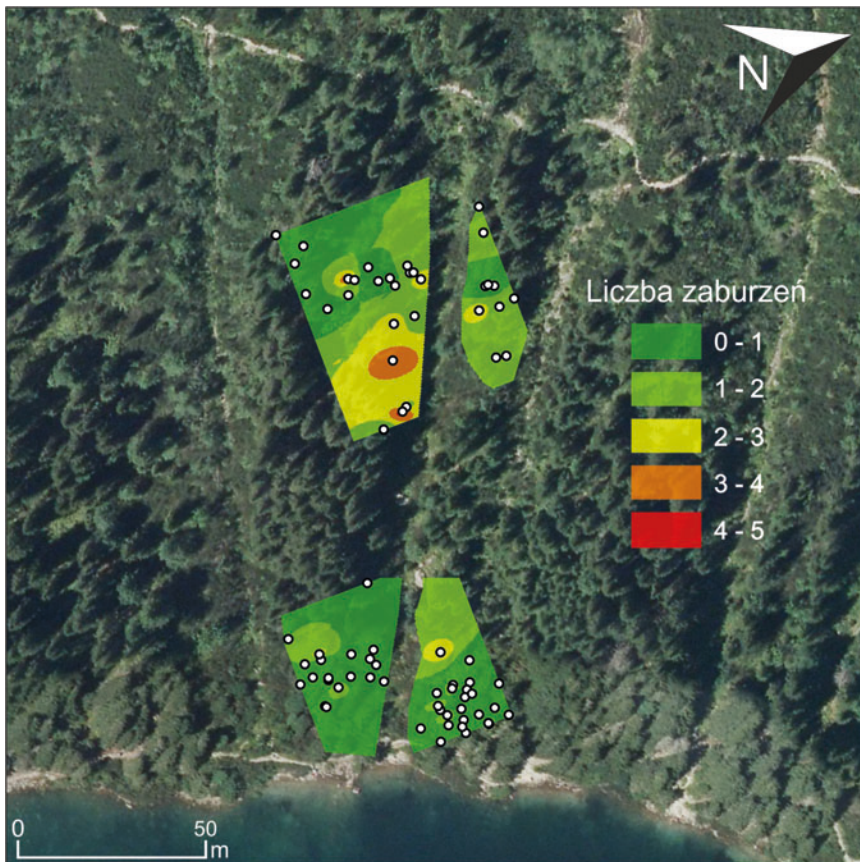
Ryc. 4. Spływ gruzowy widoczny na zdjęciu lotniczym z 1955 roku (żółta przerywana linia – obszar spływu gruzowego; niebieska linia – analizowany tor lawinowy)

Fig. 4. Debris flow visible on the orthophotomap from 1955 (yellow dotted line - surface of the debris flow; blue line - examined avalanche path)

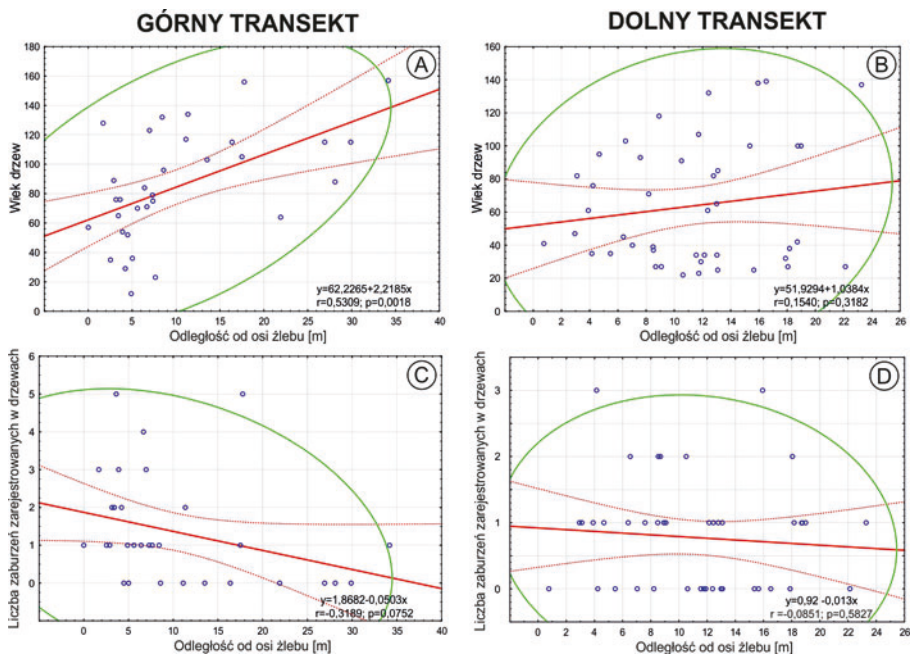
Ponadto zarejestrowane w odwiertach TKZ znajdują się w drewnie wczesnym (Ryc. 2C), co wskazuje na uszkodzenie poza sezonem wegetacyjnym i może być związane z aktywnością lawin śnieżnych (Kaczka i in. 2015b). Zidentyfikowane redukcje szerokości przyrostów mogą być również związane z działalnością lawinową, która ma wystarczającą energię by uszkadzać i łamać drzewa (dekapitacja). Drewno reakcyjne występujące w niektórych drzewach może być związane z długotrwałym zaleganiem śniegu lub niestabilnością stoku, który w przeszłości wykazywał dużą dynamikę.



Ryc. 5. Liczba zaburzeń wzrostu zarejestrowanych przez analizowane drzewa na dekadę
Fig. 5. Number of the growth disturbance registered in examined trees per decade



Ryc. 6. Przestrzenny rozkład liczby zaburzeń wykrytych w badanych drzewach
Fig. 6. Spatio-temporal distribution of the growth disturbance number recorded in examined trees



Ryc. 7. Wykresy zależności pomiędzy odległością od osi żlebu a wiekiem badanych drzew (A i B) oraz odległością od osi żlebu a liczbą zarejestrowanych zaburzeń (C i D). objaśnienia: czerwona linia - linia regresji; czerwona przerywana linia - pas regresji na poziomie ufności 95%; zielona linia elipsa normalna na poziomie 95%

Fig. 7. Scatter plots of relationships between distance from the axis of the couloir and tree age (A and B) and distance from the axis of the couloir and number of growth disturbances registered by the trees (C and D). Legend: red thick line - simple regression; red thin, dotted line - regression belt with confidence interval 95%; green line - normal ellipse on level 95%

Najwięcej zaburzeń wzrostu zostało zarejestrowanych przez drzewa w górnym transekcie po stronie południowej toru lawinowego, a najmniej w dolnym transekcie po tej samej stronie (Ryc. 6). W górnym transekcie w badanych drzewach wykryto w sumie 43 zaburzenia wzrostu, natomiast w dolnym 34. W górnym 22 drzewa (69%) z 32 zarejestrowały w swoich przyrostach przynajmniej jedno zaburzenie wzrostu. Największą ich liczbę (5) zarejestrowały dwa drzewa w płacie lasu rosnącym po południowej stronie badanego żlebu. W dolnym transekcie 25 drzew (57%) z 44 zarejestrowały w swoich przyrostach przynajmniej jedno zaburzenie wzrostu. Największą liczbę zaburzeń wzrostu (3) zarejestrowały dwa drzewa rosnące po obydwu stronach osi badanego żlebu, ale na tej samej wysokości – 1407 m n.p.m. Drzewa rosnące bezpośrednio na granicy toru lawinowego ulegają najczęstszym i najdotkliwszym uszkodzeniom podczas przemieszczania się śniegu do strefy depozycji lawiny. Drzewa w dolnym transekcie zarejestrowały wyraźnie mniej zdarzeń, niż w górnym. Może to być związane z małą energią kinetyczną lawin docierających w to miejsce. Duża ilość zdarzeń zarejestrowanych w analizowanych drzewach oraz widoczne w krajobrazie pasy pozbawione lasu ciągnące się wzdłuż żlebów, rozczłonkujące zwarty las świadczą o stałym udziale lawin śnieżnych w kształtowaniu przebiegu górnej granicy lasu w analizowanym obszarze. Z mapy przebiegu empirycznej granicy lasu (Guzik 2008) wynika, że podobne zjawisko ma miejsce dla całej Doliny Rybiego Potoku. Stałe występowanie lawin w tym żlebie wskazuje, że jest to szlak lawinowy, który nie został uwzględniony na mapach szlaków lawinowych, prawdopodobnie ze względu na konieczność generalizacji przy zastosowanej skali lub braku informacji o historycznych lawinach w tym miejscu.

Zaobserwowano istotną statystycznie zależność pomiędzy wiekiem drzew w górnej części transektu i odległością od osi żlebu ($r = 0,53$; $p < 0,01$) (Ryc. 7A). Im dalej od granicy toru lawinowego, tym starsze drzewa. ($r = 0,15$; $p > 0,1$) (Ryc. 7B). Stwierdzono także, że w górnym transekcie wraz z odległością od żlebu maleje liczba zarejestrowanych w drzewach zaburzeń wzrostu ($r = -0,32$; $p = 0,08$) (Ryc. 7C). Dla transektu dolnego nie zaobserwowano żadnej istotnej zależności pomiędzy ilością zdarzeń zarejestrowanych w drzewach, a odległością od osi żlebu ($r = -0,09$; $p > 0,1$) (Ryc. 7D). Drzewa rosnące najbliżej toru lawinowego są stale narażone na uszkodzenia wywołane przez lawiny śnieżne. Drzewa starsze, rosnące dalej od badanego toru lawinowego nie rejestrują większej liczby zaburzeń w swoich przyrostach. Potwierdza to obserwację dotyczącą wpływu lawin jedynie na pas lasu przylegający bezpośrednio do szlaku lawinowego. Brak takich zależności dla dolnego transektu może być związany z niewielką energią lawin śnieżnych dochodzących do dolnego transektu oraz zakłóceniem całego obrazu przez sływ gruzowy z I połowy XX wieku, który zniszczył płat lasu. W wyniku tego, w dolnym transekcie struktura wiekowa osobników nie jest równomierna – drzewa w północnej części transektu są młodsze, niż te w części południowej.

Wnioski

- Przeprowadzone analizy potwierdziły występowanie w badanym miejscu szlaku lawinowego, który do tej pory był odnotowany tylko jeden raz, jako miejsce zejścia lawiny. Można zatem przypuszczać, że nawet niewielki żleb jest potencjalnym szlakiem lawinowym.

- Dla analizowanych drzew stwierdzono zależności pomiędzy odległością od osi żlebu, a wiekiem drzew oraz liczbą zdarzeń zarejestrowanych przez drzewa. Drzewa w górnym transekcje w miarę oddalania się od osi żlebu są starsze i posiadają mniej zarejestrowanych uszkodzeń. W dolnym transekcje zależności są słabsze, co jest związane z aktywnością splywu gruzowego w przeszłości, który dodatkowo zaburzył strukturę drzewostanu.
- Liczba zakłóceń wzrostu maleje wraz z odległością w dół stoku od granicy lasu. Wynika to z wytracania przez lawinę energii wraz z wkraczaniem mas śniegu w bardziej zwarty las.

Podziękowania

Badania sfinansowane z projektu badawczego NCN 2011/03/B/ST10/06115 „Aktywność lawin śnieżnych w Tatrach jako wskaźnik zmian środowiska przyrodniczego w okresie ostatnich 200 lat”. Serdeczne podziękowania dla Aleksandry Fidytek oraz Piotra Gąstalika i Alberta Milera za pomoc podczas prac terenowych oraz laboratoryjnych.

Literatura

- Bollschweiler M., Stoffel M., Schneuwly D.M., Bourqui K. 2008. Traumatic resin ducts in *Larix deciduas* steams impacted by debris flows. *Tree Physiology* 28: 255-263.
- Butler D. R., Malanson G. P. 1985. A history of high-magnitude snow avalanches, southern Glacier National Park, Montana, U.S.A. *Mountain Research and Development* 5: 175-182.
- Büntgen U., Frank D. C., Kaczka R. J., Verstege A., Zwijacz-Kozica T., Esper J. 2007. Growth responses to climate in a multi-species tree-ring network in the Western Carpathian Tatra Mountains, Poland and Slovakia, *Tree Physiology* 27(5): 689-702.
- Corona C., Rovéra G., Lopez S. J., Stoffel M., Perfettini P. 2010. Spatio-temporal reconstruction of snow avalanche activity using tree rings: Pierres Jean Jeanne avalanche talus, Massif de l'Oisans, France, *Catena* 83(2): 107-118.
- Cywiński W. 2005. Szpiglasowy Wierch. Wydawnictwo Górskie 11: 147.
- Czajka B. 2011. Zapis lawin śnieżnych w przebiegu górnej granicy lasu w Tatrach Zachodnich. Z badań nad wpływem antropopresji na środowisko 12: 26-38.
- Czajka B., Kaczka R. J. 2011. Altitudinal gradient of the growth-climate response in Western Carpathian. W: Cherubini P. (red.). *Euro dendro Conference. Program and book of abstracts. September 19 to September 23, 2011. Engelberg, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and landscape Research WSL*. 130.
- Czajka B., Kaczka R. J., Guzik M. 2012. Zmiany morfometrii szlaków lawinowych w Dolinie Kościeliskiej od utworzenia Tatrzańskiego Parku Narodowego. Antropopresja w wybranych strefach morfoklimatycznych – zapis zmian w rzeźbie i osadach. 126-135.
- 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(3), 1-37.
- Gądek B., Grabiec M., Kędzia S., Rączkowska Z. 2010. Struktura wewnętrzna i morfodynamika wybranych stoków gruzowych Tatr w świetle wyników pomiarów georadarowych i lichenometrycznych. W: A. Kotarba (red.), *Nauka a Zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem, Materiały IV Konferencji Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a Człowiek, 14-16.10.2010, Zakopane. t. 1, Nauki o Ziemi, TPN-PTPNoZ, Zakopane. 55-61.*
- Gądek B., Grabiec M., Kędzia S., Rączkowska Z., 2016. Reflection of climate changes in the structure and morphodynamics of talus slopes (the Tatra Mountains Poland. *Geomorphology* 263: 39-49.
- Guzik M. 2008. *Analiza wpływu czynników naturalnych i antropogenicznych na kształtowanie się zasięgu lasu i kosodrzewiny w Tatrach. Kraków: Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja. Wydzał*

Leśny. Katedra Botaniki Leśnej i Ochrony Przyrody [praca doktorska].

Jagiello M. 2002. Wołanie w Górach. Iskry, Warszawa.

Kaczka R. J., Janecka K., Lempa M., Rączkowska Z. 2015b. Zastosowanie metod dendrochronologicznych w badaniach lawin śnieżnych, *Landform Analysis* 28: 15-27.

Kaczka R.J., Lempa M., Czajka B., Janecka K., Rączkowska Z., Hreško J., Bugar G. 2015a. The recent timberline changes in the Tatra Mountains: A case study of the Mengusovská Valley (Slovakia) and the Rybi Potok Valley (Poland). *Geographia Polonica* 88(2): 71-83.

Kłapowa M. 1976. Mapa zagrożenia lawinowego w Tatrach – Tatry Zachodnie. Wynik kartowania lawin śnieżnych zimą 1969/1970. 8 arkuszy.

Larsson L. 2013. CooRecorder and C dendro programs of the CooRecorder/C dendro package version 7.8.

Laska M., Kaczka R. J. 2010. Dendrochronologiczna rekonstrukcja lawin w Tatrach Wysokich. Nauka a zarządzanie obszarem Tatr i ich otoczeniem 1: 89-94.

Lempa M., Kaczka R. J., Rączkowska Z. 2014. Rekonstrukcja aktywności lawin śnieżnych w Białym Żlebie (Tatry Wysokie) na podstawie przyrostów rocznych świerka pospolitego (*Picea abies* L. Karst.). *Studia i Materiały CEPL* 40: 105-112.

Lempa M., Kaczka R. J., Rączkowska Z., Janecka K. 2016. Combining tree-ring dating and geomorphological analyses in the reconstruction of spatial patterns of the runout zone of snow avalanches, Rybi Potok Valley, Tatra Mountains (Poland). *Geographia Polonica*, 89(1): 31-45

Muntán E., Garcia C., Oller P., Martí G., Garcia A., Gutiérrez E. 2009. Reconstructing snow avalanches in the Southeastern Pyrenees. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 9(5): 1599-1612.

Paryski W. H. 1948. Lawiny przy Morskim Oku. *Taternik*, 30, 1-2, 54-57.

Rączkowska Z., Długosz M., Gądek B., Grabiec M., Kaczka R. J., Rojan R. 2016. Uwarunkowania przyrodnicze, skutki i zmiany aktywności lawin śnieżnych w Tatrach. *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a Człowiek*. Nauka Tatrom. Zakopane, Tatrzański Park Narodowy, (w druku),

Sawicki L. 1910. O lawinach w Tatrach. *Ziemia* 1: 356-389.

Spyt B., Kaczka R. J., Lempa M., Rączkowska Z. 2016. Application of timberline morphometric analysis for detecting snow avalanche paths: A case study of the Tatra Mountain. *Geographia Polonica* 89(1): 91-111.

Stoffel M., Bollschweiler M., Butler D. R., Luckman B. H. 2010. *Tree Rings and Natural Hazards*. Springer Netherlands, Dordrecht, 10-11.

Stoffel M., Corona C. 2014. Dendroecological dating of geomorphic disturbance in trees. *Tree-Ring Research* 70(1): 3-20.

Tatry (część polska). 1934. Mapa turystyczno-narciarska. 1: 20 000. Wojskowy Instytut Geograficzny, Ministerstwa Robót Publicznych i Komunikacji, Politechnika Lwowska.

Tatrzański Park Narodowy. 2003. Mapa turystyczna – wersja zimowa. 1: 25 000. Polkart, Warszawa.

Timell T. E. 1986. *Compression Wood in Gymnosperms*. Springer-Verlag, Berlin.

Zielski A., Krąpiec M. 2009. *Dendrochronologia*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.

Żiak M., Długosz M. 2015. Plansza V.3. Potencjalne obszary lawinowe. W: *Atlas Tatr. Przyroda nieożywiona*. Red. Katarzyna Dąbrowska, Marcin Guzik. Zakopane: Tatrzański Park Narodowy.

¹M. Lempa*, ¹R. J. Kaczka, ¹B. Spyt, ¹P. Guzik, ¹M. Guzowski, ²Z. Rączkowska

¹Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, Sosnowiec

²Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Polska Akademia Nauk, Kraków

*92michal.lempa@gmail.com