

Fizycznogeograficzne uwarunkowania występowania lawin śnieżnych w Tatrach Polskich na wybranych przykładach

Physicogeographical conditions of avalanche occurrence in Polish Tatra Mountains on selected examples

Izabela Woszczek

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Piotra Borowego 14, 30-215 Kraków
e-mail: izabela.woszczek@imgw.pl

Zarys treści: W procesie powstawania lawin śnieżnych bardzo duże znaczenie mają nie tylko czynniki meteorologiczne i śniegowe, lecz również rzeźba terenu. W tej pracy określono rolę poszczególnych parametrów morfologicznych, tj. wysokości bezwzględnej, krzywizny planarnej, ekspozycji, nachylenia i długości powierzchniowej w powstawaniu lawin śnieżnych w obszarze Tatr Polskich w latach 2005–2011. Najistotniejsze dla występowania lawin uznano średnie nachylenie stoków i ich średnią ekspozycję oraz rzeźbę terenu. Obliczone wartości wybranych parametrów morfologicznych porównano z danymi zawartymi w katalogach IMGW–PIB.

Słowa kluczowe: lawiny śnieżne, rzeźba terenu, Tatry Polskie

Abstract: It is known that in the process of avalanche formation the major influence have not only meteorological and snow factors, but also these of the relief. Therefore, in this paper the role of particular morphological parameters (elevation, plan curvature, aspect, slope and surface length), which may triggering the snow avalanche was determined in The Polish Tatra Mountains for the 2005–2011 period. It was concluded that the most important

parameters for the avalanche occurrence were: the average slope, the average aspect as well as the terrain morphology. The calculated values of chosen morphological parameters were compared with the data collected in the catalogues of the Polish Institute of Meteorology and Water Management – National Research Institute.

Keywords: avalanches, relief, the Polish Tatras

Wprowadzenie

Lawiny ze względu na swą ogromną siłę, ale przede wszystkim dużą nieprzewidywalność, należą do zjawisk ekstremalnych, stanowiących nieodłączny element funkcjonowania środowiska przyrodniczego obszarów górskich. Za lawinę uznaje się gwałtowne przemieszczenie po stoku dużych mas śniegu, bądź też lodu, na odległość, co najmniej 50 m, pod wpływem własnego ciężaru (Jania 1993). Dla powstawania lawin duże znaczenie ma siła spójności śniegu, która decyduje o jego utrzymaniu na wcześniej powstałej już pokrywie śnieżnej lub bezpośrednio na warstwie gruntu. J. Trepínska (2002) za bezpośrednią przyczynę przemieszczania się masy śniegu po stoku uznaje przekroczenie krytycznej wartości jej stabilności, na którą składają się: siła spójności śniegu i jego gęstość, współczynnik tarcia wewnętrznego oraz kąt nachylenia stoku. Uruchomienie mas śniegu następuje w miejscu zwanym obszarem potencjalnego wystąpienia lawiny (ang. *potential release area*), a następnie przesuwiają się one w dół szlakiem lawinowym (ang. *avalanche track*) i kończą się w obszarze akumulacji lawiny (ang. *run out zone*, Chrustek 2005).

W trakcie zalegania pokrywa śnieżna kształtowana jest pod wpływem licznych bodźców, odgrywających dużą rolę w zachodzących w niej procesach i deformacjach. Pierwszą ich grupę stanowią czynniki stałe, związane z uwarunkowaniami terenowymi (Jania 1993), zwłaszcza: ukształtowanie terenu, nachylenie stoku, ekspozycja oraz charakter i pokrycie terenu. Drugą grupę tworzą zaś czynniki zmienne, do których należą uwarunkowania: meteorologiczne (opady śniegu i deszczu, kierunek i prędkość wiatru, warunki termiczne, dopływ promieniowania słonecznego) oraz śniegowe (Jania 1993).

Tradycje badań lawinowych w Tatrach sięgają początków XX w. (Chomicz, Kłapowa 1969). Pierwsze charakterystyki lawin dotyczyły ich genezy (Sawicki 1910), klasyfikacji (Kłapa 1959), lokalizacji oraz skutków przez nie wyrządzonych (Zaruski

1911; Myczkowski 1962). Istotną rolę w tym kierunku odegrały lata 60. XX w., kiedy to w ramach pomiarów klimatologicznych na Stacji Badań Niwalnych Polskiego Instytutu Hydrologiczno-Meteorologicznego (obecnie IMGW-PIB) na Hali Gąsienicowej, rozpoczęto systematyczne badania pokrywy śnieżnej oraz lawin. Obecnie ocena i charakterystyka obszarów zagrożenia lawinowego prowadzi do opracowywania zautomatyzowanych procedur kartowania obszarów zagrożenia lawinowego dla wyznaczonych rejonów obszaru sudecko-karpackiego (Chrustek 2013).

Głównym celem autorki niniejszego opracowania było określenie roli fizycznogeograficznych uwarunkowań największego prawdopodobieństwa wystąpienia lawin. Obszarem badań była polska część Tatr, które stanowią jedno z nielicznych rejonów w kraju, gdzie zaobserwować można tego typu zjawiska. W podziałach regionalnych J. Balon i in. (2015a) są one częścią Łańcucha Tatrzańskiego należącego do Centralnych Karpat Zachodnich. Ich środowisko przyrodnicze charakteryzuje się dużym stopniem złożoności, co powoduje występowanie na małym obszarze dużej liczby typów środowiska i krajobrazu (Balon 2015b)

Dane i metody

W opracowaniu wykorzystano dane z okresu 2005–2011. Podstawowe materiały stanowiły katalogi lawinowe IMGW-PIB oraz zdjęcia lawin pochodzące z bazy IMGW-PIB, Tatrzańskiego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego (TOPR), Tatrzańskiego Parku Narodowego (TPN) i zbiorów własnych autorki. Wstępną analizę materiału źródłowego przeprowadzono łącznie dla 347 przypadków lawin, z których następnie wybrano 20 najbardziej reprezentatywnych (tab. 1). Do oceny uwarunkowań fizycznogeograficznych wykorzystano mapę topograficzną, ortofotomapę, Cyfrowy Model Terenu DEM oraz wektorowy model TIN, które pozyskano przy wsparciu projektu „Wpływ warunków śniegowych i terenowych na wielkość obszarów zagrożenia lawinowego w wybranych masywach górskich Karpat i Sudetów”¹.

¹Projekt realizowany w IGiGP UJ przy wsparciu Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej w ramach Programu VENTURES współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007–2013.

Tabela 1. Lokalizacje wybranych lawin

Table 1. Locations of selected avalanches

Nr No.	Miejsce lawiny Avalanche location	Dolina Valley
1	Maszynka do mięsa	Rybiego Potoku
2	Żółta Turnia	Suchej Wody Gąsienicowej
3	Piekiełko	Małego Szerokiego
4	Świnicka Kotlinka	Gąsienicowa
5	Rysy	Rybiego Potoku
6	Kozi Wierch	Pięciu Stawów Polskich
7	Suchy Żleb spod Długiego Giewontu	Kondratowa
8	Spod Goryczkowej Czuby do Świńskiego Kotła	Goryczkowa
9	Spod Świstowej Czuby	Roztoki
10	Spod Świstowej Czuby	Roztoki
11	Pośrednia Turnia	Gąsienicowa
12	Beskid	Sucha Stawiańska
13	Kościelcowy Kocioł	Suchej Wody Gąsienicowej
14	Starorobociański Wierch - Zdrapy	Starorobociańska
15	Spod Karbu	Suchej Wody Gąsienicowej
16	Spod Zmarzłej Przełęczy	Gąsienicowa
17	Spod Małego Kotła Mięszowieckiego	Rybiego Potoku
18	Beskid na lewo od półek	Sucha Stawiańska
19	Spod Pośredniego do Świńskiego Kotła	Goryczkowa
20	Krówski Żleb spod Długiego Giewontu	Małego Szerokiego

Źródło: opracowanie własne.

Source: author's own work.

W pierwszej kolejności na podstawie dostępnych danych dokonano oceny lawin pod kątem kryterium śniegowego wśród których wyróżniono lawiny deskowe i gruntowe oraz przyczyny ich wystąpienia. Kolejna i zarazem najważniejsza część analiz została przeprowadzona przy zastosowaniu Systemów Informacji Geograficznej (GIS), a ich wynikiem były wartości wybranych parametrów morfologicznych.

Dla ich wyliczenia posłużyły modele DEM oraz TIN, na podstawie których obliczono następujące parametry: powierzchnia, wysokość bezwzględna lawin, ekspozycja (ang. *Aspect*), nachylenie (ang. *Slope*), krzywizna planarna (ang. *Plan Curvature*) oraz długość powierzchniowa (ang. *Surface Length*). Następnie, przy wykorzystaniu programu ArcMap, map topograficznych oraz ortofotomap, utworzono warstwę poligonów lawinowych.

W przypadku parametru wysokości bezwzględnej, podjęto próbę wykazania zależności między otrzymanymi wartościami minimalnej, maksymalnej oraz uśrednionej wartości wysokości lawin, a piętrami geoekologicznymi. Maksymalnym wartościom wysokości przypisano miejsca obrywu lawiny, natomiast wartości wysokości minimalnej odniesiono do obszaru akumulacji. W tym celu, dla wyznaczenia przedziałów wysokości poszczególnych pięter, wykorzystano piętra geoekologiczne wg. A. Kotarby (1976). Piętra te zostały wyodrębnione na podstawie rzeźby i procesów morfogenetycznych oraz pozostałych czynników przyrodniczych takich jak klimat, czy roślinność. Stanowią więc one określone środowiska naturalne modelowane przez zespoły procesów morfogenetycznych (Kotarba 1996) – i mające wpływ na występowanie lawin.

W ostatnim etapie pracy dokonano oceny otrzymanych wyników, jako referencyjne przyjmując dane zawarte w katalogach lawinowych IMGW-PIB. W przypadku otrzymanych wartości powierzchni, wysokości bezwzględnej oraz krzywizny planarnej – porównanie danych nie było możliwe – ze względu na brak informacji w materiałach źródłowych.

Wyniki

Analiza wybranych dwudziestu lawin z okresu 2005–2011 pozwoliły autorce określić wartości parametrów morfologicznych, dla których zagrożenie lawinowe na obszarze Tatr Polskich jest największe. Otrzymane wyniki odniesiono również do powszechnie przyjętych kryteriów wyznaczania obszarów najbardziej podatnych na wystąpienie lawin. Obliczenia wykazały, że w przeważającym stopniu na obszarze Tatr Polskich dominują lawiny naturalne, które stanowiły 65% analizowanych przypadków. Lawiny wywołane w sposób sztuczny były najczęściej spowodowane naruszeniem stabilności pokrywy śnieżnej, związanym z jej dodatkowym

obciążeniem. Biorąc pod uwagę kryterium śniegowe, w 65% były to lawiny deskowe, a w pozostałych 35% – gruntowe, co potwierdzają informacje zawarte w arkuszach lawinowych. W okresie jesiennym lawiny gruntowe tworzy pierwsza, cienka warstwa śniegu, która zsuwa się wzdłuż powierzchni stoku, odsłaniając podłoże pozbawione pokrywy śnieżnej. W okresie wiosennym pojawianie się lawin gruntowych związane jest ze wzrostem temperatury i opadami deszczu, które powodują topnienie, a co za tym idzie – wzrost ciężaru śniegu.

Połowę z analizowanych przypadków stanowią lawiny o powierzchni $<10\,000\text{ m}^2$, drugą natomiast mniejsze od tej wartości. Największy rozmiar ($45\,450\text{ m}^2$) miała lawina gruntowa w Krówskim Żlebie, opadającym spod Długiego Giewontu, najmniejszy natomiast lawina na stokach Starorobociańskiego Wierchu tylko 675 m^2 .

Analiza wybranych wartości wysokości bezwzględnych lawin wykazała, że w przypadku wyników uśrednionych dla całego obszaru lawiny deniwelacja wyniosła 1453–1933 m n. p. m. (tab. 2). Obliczona średnia wysokość dla wszystkich dwudziestu przypadków była równa 1730 m n.p.m. Ponadto, uśredniono wartości wszystkich wysokości minimalnych oraz maksymalnych, które wyniosły odpowiednio: 1646 m n.p.m. i 1841 m n.p.m. Należy jednak zaznaczyć, że te uśrednione wartości nie obrazują dobrze specyfiki miejsca, w którym najczęściej dochodzi do uwolnienia lawiny, bądź też jej akumulacji. Większe znaczenie mają obliczone wartości najmniejszych i największych wysokości maksymalnych oraz minimalnych. W przypadku lawin punktowych, otrzymane wartości wysokości maksymalnych można uznać za miejsca potencjalnego obrywu śniegu. W lawinach deskowych trzeba przyjąć, że jest to jedna z wartości znajdujących się w górnej linii obrywu. Największa maksymalna wysokość została przypisana lawinie w rejonie Buli pod Rysami – 2094 m n.p.m., a najmniejsza – tej w rejonie Małego Kotła Miękuszwowieckiego – 1625 m n.p.m. Najmniejsza wysokość minimalna obliczona została dla wspomnianej już największej lawiny (która miała miejsce w Krówskim Żlebie) – i wyniosła 1363 m n.p.m. Największa natomiast była dla lawiny spod Pośredniego Wierchu Goryczkowego – 1888 m n.p.m.

Otrzymane wartości wybranych parametrów wysokości bezwzględnej przypisano do wspomnianych pięter geoeekologicznych (Kotarba 1996). Jako, że na stokach o ekspozycji północnej i południowej granice te przebiegają na różnych wysokościach, za dolną granicę każdego przedziału przyjęto wartość wysokości

Tabela 2. Minimalne, maksymalne i średnie wartości wysokości bezwzględnych lawin

Table 2. Minimum, maximum and average elevation of avalanches

Nr przypadku No of case	Wysokość minimalna Minimum elevation	Wysokość maksymalna Maximum elevation	Wysokość średnia Average elevation
	m n.p.m. / m a.s.l.		
1	1434	1833	1653
2	1711	2018	1823
3	1507	1756	1605
4	1662	1821	1753
5	1649	2094	1885
6	1788	1901	1815
7	1364	1718	1494
8	1685	1841	1765
9	1652	1756	1694
10	1627	1725	1677
11	1761	1877	1818
12	1792	1983	1880
13	1628	1722	1666
14	1639	1690	1663
15	1621	1768	1693
16	1863	2010	1933
17	1455	1625	1513
18	1821	1996	1914
19	1888	1976	1920
20	1363	1956	1453

Źródło: opracowanie własne.

Source: author's own work.

charakterystyczną dla stoków o ekspozycji północnej. Taki wybór wynika z faktu, iż do polskiej części Tatr należy większość stoków północnych, opartych o grań główną. Ponadto, stoki te z zasady są bardziej narażone na wystąpienie lawin. I tak, w przypadku wysokości minimalnych do piętra subalpejskiego i alpejskiego zaliczono łącznie 80% przypadków, a pozostałe 20% wystąpiło w piętrze leśnym.

Inaczej kształtują się proporcje wartości wysokości maksymalnych. Na dwadzieścia zanalizowanych lawin, zaledwie jedna mieści się w przedziale odpowiadającym piętru subalpejskiemu.

Pozostałe 95% znalazło się w przedziale wysokości charakterystycznych dla piętra alpejskiego. Ostatni parametr, to średnia wysokość określona dla każdej z lawin. Również w tym przypadku liczba wartości przypisanych piętru alpejskiemu jest największa i wynosi 13 przypadków (65%). W piętrze subalpejskim zanotowano 5 lawin, natomiast w leśnym zaledwie 2.

Istotnym czynnikiem sprzyjającym wystąpieniu lawiny jest forma terenu. Kształt stoku ma bowiem wpływ na grubość odkładanej warstwy śniegu, co bezpośrednio wiąże się ze wzrostem zagrożenia lawinowego. Najmniej narażone na wystąpienie lawin są więc stoki wypukłe i płaskie, przy czym powierzchnie płaskie w profilu poprzecznym zwiększają prawdopodobieństwo tworzenia się desek śnieżnych. Największe zagrożenie lawinowe obejmuje stoki wklęsłe w profilu poprzecznym doliny, przede wszystkim żleby i jary. W porównaniu z powierzchniami wypukłymi i płaskimi są one znacznie bardziej niebezpieczne, ze względu na większą pojemność akumulacyjną terenu, co w konsekwencji prowadzi do zachwiania równowagi pokrywy śnieżnej (McClung, Schaerer 2002). W celu określenia formy terenu wykorzystano funkcję krzywizny planarnej – Plan Curvature, która określa gradient zmian ekspozycji poziomic. Metoda – stosowana jest do charakteryzowania form terenu, takich jak: grzbiety (wartości dodatnie), doliny, żleby (wartości ujemne). Zastosowaną funkcję krzywizny planarnej charakteryzuje przyjęty odgórnie przedział wartości. Dla obszarów: *wklęsłych*: ≤ -0.2 ; $-0.2 < \textit{płaskich} < +0.2$; oraz *wypukłych*: $\geq +0.2$ (Chrustek 2005). Dla większości analizowanych lawin (17 na 20 przypadków) obliczona średnia wartość krzywizny planarnej (poziomic) wyniosła ≤ -0.2 , co odpowiada formom wklęsłym. Dla dwóch poligonów lawinowych wyliczona średnia wartość krzywizny odnosi się do form płaskich, natomiast jedna – do form wypukłych. Należy jednak zwrócić uwagę, iż każda z otrzymanych wartości jest wartością uśrednioną dla całego obszaru lawiny.

Analiza i charakterystyka ekspozycji terenu przeprowadzona dla wybranych uśrednionych wartości ekspozycji wykazała, że w badanej próbie największy udział mają ekspozycje północno-wschodnia, wschodnia oraz zachodnia, łącznie stanowiące 75% analizowanych przypadków. Co istotne, żadnej z lawin nie została

przypisana ekspozycja północna, ani północno-zachodnia. Otrzymane wyniki odniesiono do danych zawartych w katalogach lawinowych IMGW-PIB, a dotyczących tych samych przypadków lawin (tab. 3) W przypadku określania ekspozycji występują duże różnice między danymi, które mogą być związane z metodą nanoszenia poligonów lawinowych, a w dalszej kolejności również z wyliczaniem uśrednionej wartości dla całego poligonu.

Niemniej istotne znaczenie ma nachylenie stoku, jako jeden z czynników terenowych, który dodatkowo może być potęgowany przez czynniki meteorologiczne takie jak np. promieniowanie słoneczne. Za najistotniejszy wskaźnik uznano średnią wartość nachylenia. Spośród dwudziestu analizowanych przypadków dla piętnastu z nich (75%) średnie wartości nachyleń odpowiadają przedziałowi od 30° do 40° (tab. 3). Taki stan rzeczy potwierdza przyjęte założenie o tzw. krytycznym kącie nachylenia terenu, który został określony na podstawie wieloletnich obserwacji lawin. Przedział wartości tego kąta wynosi od 20 do 50° (IMGW-PIB).

Ostatnim parametrem poddanym analizie była długość powierzchniowa lawin. Przedstawione w tabeli 3 wyniki świadczą, że przedział wszystkich otrzymanych wartości mieści się w zakresie między 100 a 1000 m. Opierając się na klasyfikacji lawin, uwzględniającej tor lawiny, potencjalne szkody oraz typową długość i objętość lawiny uzyskane wartości długości odpowiadają lawinom średnim. Lawiny te charakteryzuje długość <1000 m ale nie mniejsza niż 100 m, o objętości >10 000 m³. Tor takiej lawiny osiąga płaskie części doliny o nachyleniu znacznie poniżej 30° na dystansie poniżej 50 m. Weryfikując otrzymane wartości z danymi IMGW-PIB (tab. 3) dotyczącymi długości toru lawiny zauważono, iż w 6 przypadkach różnica wyniosła mniej niż 35 m. Praktycznie porównywalną długość (różnica zaledwie 2 m) uzyskano dla lawiny spod Goryczkowej Czuby w kierunku Świńskiego Kotła. Wydaje się, że im teren jest mniej urozmaicony pod względem rzeźby, czyli im bardziej wyrównaną ma powierzchnię, tym różnice dla uzyskanych długości są mniejsze. Dla czterech nie było danych w katalogach. Bardzo duże różnice w pozostałych przypadkach związane są z metodyką tworzenia poligonów, urozmaiconą rzeźbą terenu, a w konsekwencji – z otrzymanymi w trakcie analiz wynikami.

Tabela 3. Wybrane parametry morfologiczne lawin uzyskane w wyniku modelowania (GIS) oraz pochodzące z kwestionariuszy lawinowych (IMGW-PIB)

Table 3. Selected avalanche parameters by GIS model and avalanche questionnaires (IMWM-NIR)

Nr przypadku No of case	Ekspozycja Aspect		Nachylenie Slope		Długość Surface Length	
	GIS	IMGW-PIB	GIS	IMGW-PIB	GIS	IMGW-PIB
1	E	N	35°	31°-5°	814	300
2	W	SW	33°	31°-35°	568	300
3	E	NE	29°	36°-40°	495	600
4	NW	N	32°	31°-35°	336	500
5	W	NW	37°	31°-35°	833	800
6	S	SW	27°	ok. 30°	214	-
7	SE	SE	27°	-	796	-
8	NE	NE	33°	31°-35°	298	300
9	W	W	35°	31°-35°	190	300
10	W	W	34°	31°-35°	188	300
11	SE	NE	32°	36°-40°	245	260
12	NE	NE	31°	31°-35°	389	400
13	NE	NE	35°	31°-35°	182	100
14	E	N	25°	-	100	-
15	NE	NE	35°	36°-40°	270	200
16	W	NW	34°	>40°	279	270
17	E	NE	31°	36°-40°	305	200
18	NE	NE	36°	31°-35°	303	170
19	E	NE	33°	36°-40°	171	150
20	SE	SE	21°	31°-35°	796	-

Źródło: opracowanie własne.

Source: author's own work.

Wnioski

Problematyka związana ze zjawiskami lawinowymi to temat bardzo istotny w charakterystyce i badaniu funkcjonowania środowiska przyrodniczego obszarów górskich. Poznanie i próba ograniczenia ryzyka lawinowego związana jest bowiem bezpośrednio z bezpieczeństwem w górach.

Przeprowadzona analiza wybranych przypadków lawinowych z okresu 2005–2011 na obszarze Tatr Polskich wykazała, że pod względem przyczyny wystąpienia zdecydowanie dominują lawiny naturalne, bez udziału człowieka. Należy jednak pamiętać, iż często lawiny te są prowokowane przez zwierzęta (np. kozice), jednak takie informacje nie są ujmowane w statystykach lawinowych. Przewagę stanowią lawiny deskowe, w mniejszym stopniu udział mają lawiny gruntowe. Potwierdzają to również statystyki lawinowe dla całego badanego okresu.

Obszarami predestynowanymi do wystąpienia lawin są wszelkie formy wklęsłe, jak np. żleby. Jednocześnie warto zaznaczyć, iż, biorąc pod uwagę parametr długości powierzchniowej, w Tatrach dominują lawiny średnie. Taki stan rzeczy związany jest bezpośrednio z rzeźbą terenu, która w przypadku Tatr ogranicza generowanie dużych lawin. Istotną rolę we wzmożeniu procesów lawinowych odgrywa także ekspozycja, w przypadku Tatr północno-wschodnia. W porównaniu ze stokami południowymi, na stokach północnych znacznie wolniej zachodzą wszelkie przemiany śniegowe, co związane jest z brakiem bezpośredniego promieniowania słonecznego. Promieniowanie to, bowiem znacznie przyspiesza metamorfozę śniegu między poszczególnymi jego warstwami, co w konsekwencji prowadzi do stabilizacji pokrywy śnieżnej.

Ustalono również, iż w przypadku parametru nachylenia terenu, największe zagrożenie lawinowe na obszarze Tatr Polskich odnotowuje się w przedziale wartości 30–35°. Wynik ten potwierdza dane dla analizowanych lawin zamieszczone w katalogach IMGW–PIB – a także (w dużym stopniu) powszechnie przyjętą teorię odnośnie krytycznej wartości nachyleń.

Warunki naturalne, meteorologiczne i morfologiczne, charakteryzujące poszczególne piętra geoekologiczne, również mają swoje odzwierciedlenie przy charakterystyce obszarów lawinowych. Najwięcej przypadków wystąpienia lawin odnotowano w piętrze alpejskim. Piętro to charakteryzuje klimat śnieżno-deszczowy

(niweo-pluwialny), ze średnią roczną temperaturą powietrza od 0°C do 2°C i pokrywą śnieżną zalegającą przez 250 dni w roku. Charakterystyczne są dla niego szybkie, powierzchniowe krążenia wód, spływ śródpokrywowy oraz infiltracja. Dominują tutaj procesy rzeźbotwórcze i niwacyjne oraz transport materiału w lawinach śnieżnych, które najczęściej występują w żlebach i dojrzałych stokach skalno-pokrywowych (Kotarba 1996).

Wyniki walidacji pokazują, że nadal pomimo zaawansowanych technik analiz przestrzennych niezbędne jest wykonywanie kartowania terenowego. Ewentualne prace nad automatyzacją klasyfikacji obszarów lawinowych powinny się skupiać na zwiększeniu rozdzielczości informacji tak, aby uwzględnić szczegóły zapewniane przez badania terenowe.

Bibliografia

- Balon J., Jodłowski M., Krąż P., 2015a, *Karpaty – regionalizacja fizycznogeograficzna* [w:] K. Dąbrowska, M. Guzik (red.), *Atlas Tatr – Przyroda nieożywiona*, Wydawnictwo Tatrzańskiego Parku Narodowego.
- Balon J., Jodłowski M., Krąż P., 2015b, *Typy środowiska przyrodniczego* [w:] K. Dąbrowska, M. Guzik (red.), *Atlas Tatr – Przyroda nieożywiona*, Wydawnictwo Tatrzańskiego Parku Narodowego.
- Chomicz K., Kłapowa M., 1969, *Obserwacje lawin śnieżnych w Tatrach*, *Wierchy*, 38, 137–153.
- Chrustek P., 2005, *Zastosowanie GIS w typologii obszarów potencjalnego występowania lawin śnieżnych na przykładzie rejonu Kasprowego Wierchu w Tatrach*, Praca magisterska, IGiGP UJ, Kraków.
- Chrustek P., 2013, *Wpływ warunków śniegowych i terenowych na wielkość obszarów zagrożenia lawinowego w wybranych masywach górskich Karpat i Sudetów*, Praca doktorska, archiwum IGiGP UJ, Kraków.
- Jania J., 1993, *Glacjologia: nauka o lodowcach*, PWN, Warszawa.
- Kłapa M., 1959, *Lawiny*, *Wierchy*, 28, 127–163.
- Kotarba A., 1976, *Współczesne modelowanie węglanowych stoków wysokogórskich na przykładzie Czerwonych Wierchów w Tatrach Zachodnich*, IGiPZ PAN, *Prace Geogr.*, 120.

- Kotarba A., 1996, *Współczesne procesy rzeźbotwórcze* [w:] Z. Mirek (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego*, Tatrzański Park Narodowy, Kraków-Zakopane, 125–137.
- McClung D., Schaerer P., 2002, *The Avalanche Handbook*, The Mountaineers, Seattle-Washington.
- Myczkowski S., 1962, *Wpływ lawin śnieżnych na lasy Tatrzańskiego Parku Narodowego w dolinach: Rybiego Potoku, Roztoki, Waksmundzkiej i Pańszczycy*, *Ochrona Przyrody*, 28, 83–108.
- Sawicki L., 1910, *Lawiny w Tatrach*, *Ziemia I*, Warszawa, 373–374.
- Trepińska J., 2002, *Górskie klimaty*, IGiGP UJ, Kraków.
- Zaruski M., 1911, *Lawiny śnieżne w Dolnie Rybiego Potoku*, Pamiętnik Tow. Tatrzańskiego.

