

Warunki występowania erozji w obszarze stacji narciarskich w Karpatach Polskich

Conditions for the occurrence of erosion in the area of ski resorts in the Polish Carpathians

Dawid Piątek , Kazimierz Krzemień , Agata Gołąb 

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, Kraków, dawid.piatek@uj.edu.pl

Zarys treści: Wzrost popularności turystyki narciarskiej wpływa na intensywny rozwój stacji narciarskich, w szczególności tych posiadających koleje linowe. W literaturze szeroko opisywane są przyrodnicze skutki narciarstwa, również wpływ na rzeźbę terenu. Jednakże, nie ma opracowań wskazujących stacje narciarskie jako obszary o zwiększonej podatności na erozję oraz skalę przestrzenną tego zjawiska. Celem badań było poznanie warunków wystąpienia erozji oraz intensywnego przeobrażania stoków w strefie stacji narciarskich na przykładzie Karpat Polskich. W tym celu, z wykorzystaniem danych GUGiK, oprogramowania GIS oraz metod statystycznych przeprowadzono analizę liczby, położenia i morfologii stoków narciarskich oraz sposobów ich utrzymania. Dokonano również podziału stacji narciarskich ze względu na typy rzeźby w ich otoczeniu oraz dominujące procesy morfogenetyczne. Uzyskane parametry morfometryczne oraz dane o infrastrukturze stacji narciarskich wykorzystano w analizie składowych głównych (PCA), która pozwoliła na wytypowanie stacji narciarskich o największej podatności na erozję w Karpatach Polskich. Otrzymane wyniki wskazują, że stacje narciarskie w masywie Skrzycznego charakteryzują się największym zagrożeniem wystąpienia erozji. Zwrócono również uwagę na duży potencjał erozyjny stacji na Kasprowym Wierchu oraz stacji w najwyższych partiach Beskidów. Wykazano, że najmniejszy potencjał erozyjny cechuje nisko położone, niewielkie stacje narciarskie. Badania wskazują również na istotną rolę sztucznego naśnieżania oraz występowania nieciągłej pokrywy roślinnej na warunki wystąpienia erozji w obszarze nartostrad niezależnie od energii rzeźby.

Słowa kluczowe: erozja, narciarstwo, energia rzeźby, GIS, Karpaty Polskie

Abstract: Increasing in popularity of skiing lead to intensive development of ski resorts, especially these with cable transport. In the literature is a wide characteristic of environmental effects of skiing as well as the impact on the relief. However, there is a lack of works presenting ski resorts as areas with higher susceptibility to erosion and the spatial scale of the phenomenon. For this purpose, with the use of Head Office of Geodesy and Cartography (GUGiK) data, GIS software and statistical methods, an analysis of the number, location and morphology of ski slopes and the methods of their maintaining was carried out. The ski resorts were also divided according to the types of relief in their surroundings and the dominant morphogenetic processes. The obtained morphometric parameters and data about the infrastructure of ski resorts were used in the principal component analysis (PCA) allowed to select ski resorts with the highest susceptibility to erosion in the Polish Carpathians. The obtained results indicate that the ski stations in the Skrzyczne massif are characterized by the highest risk of erosion. Attention was also paid to the high erosion potential of the station on Kasprowy Wierch and the stations in the highest parts of the Beskids. It has been shown that the lowest erosion potential is found low mountains, small ski resorts. The research also indicates a significant role of artificial snowmaking and the presence of discontinuous vegetation cover on the conditions of erosion in the area of ski slopes, regardless of the relief energy.

Key words: erosion, skiing, relief energy, GIS, Polish Carpathians

Wprowadzenie

W związku z intensywnie rozwijającą się turystyką narciarską (Candela 1982, Elsasser, Messerli 2001, Krzesiwo 2014) w obszarach górskich przybywa stacji narciarskich. Ze względu na dużą przepustowość,

prędkość działania i wygodę, najbardziej opłacalnym i przyciągającym turystów obiektem umożliwiającym wywożenie narciarzy jest kolej linowa. Wyższe koszty budowy i utrzymania kolei linowej wymagają gospodarowania stacją narciarską na wyższym poziomie: zwiększenia jej atrakcyjności i warunków

uprawiania narciarstwa poprzez profilowanie stoku, sztuczne naśnieżanie i regularne ratrakowanie. Wszystkie te zabiegi, zwłaszcza przygotowanie powierzchni nartostrad oraz sztuczne naśnieżanie powodują istotne zmiany w środowisku przyrodniczym, (Mosimann 1985, Bayfield 1996, Tsuyuzaki 1994, Ries 1996, Holden 1998, Keller i in. 2004, Wipf i in. 2005, Barni i in. 2007, Duda, Ziaja 2010), w szczególności w rzeźbie terenu danego obszaru (Krzemień 1997, David i in. 2009, Pintar i in. 2009, Ristić i in. 2012, Fidelus-Orzechowska i in. 2018, Wrońska-Wałach i in. 2019).

Geomorfologiczne skutki uprawiania narciarstwa

Wpływ narciarstwa zjazdowego na zmiany rzeźby terenu w obszarach górskich, w szczególności polegający na przygotowaniu warunków do aktywizacji procesów morfogenetycznych w wyniku inwestycji narciarskiej i utrzymania stacji jest niedostatecznie zbadany w literaturze. Należy również podkreślić, że brakuje opracowań dotyczących przestrzennej i pionowej skali wpływu narciarstwa na rzeźbę terenu w skali dużych obszarów górskich. W związku z chęcią uzyskania jak największej długości stoku, nartostrady w ośrodkach narciarskich mogą być położone w obszarach o różnej energii rzeźby i przebiegać przez różne piętra morfoklimatyczne, którym odpowiadają różne grupy procesów morfogenetycznych.

Najważniejszymi parametrami stoku do uprawiania narciarstwa zjazdowego jest jego długość, nachylenie oraz ekspozycja (Baranowska-Janota 1973, Sibley 1982). Najbardziej korzystne warunki dla narciarstwa występują na stokach, których długość przekracza 600 m a średnie nachylenia mieszczą się w przedziale 13–20° (Baranowska-Janota, 1973 Sibley 1982). W związku z tym budowa tras narciarskich często wiąże się z wycinką drzew, wykorzystaniem ciężkich maszyn budowlanych, wyrównaniem powierzchni stoków, nadaniem odpowiedniego nachylenia oraz zniszczeniem mikroreliefu stoków (Krzemień 1997, 2008, Ruth-Balaganskaya, Myllynen-Malinen 2000, Ristić i in. 2007, Ristić i in. 2012, Fidelus-Orzechowska i in. 2018). Wykorzystanie ratraków oraz uprawianie narciarstwa przy niewystarczającej miąższości pokrywy śnieżnej powoduje zniszczenie pokrywy roślinnej na stoku, wyorywanie okruchów, kompaktację pokryw a w rezultacie aktywizację erozji gleb (Tsuyuzaki 1994, Bayfield 1996, Łajczak 1996, Holden 1998, Krzemień 1997, 2008, Ruth-Balaganskaya, Myllynen-Malinen 2000, Wipf i in. 2005, Barni i in. 2007, Pintar i in. 2009, Duda, Ziaja 2010, Roux-Fouillet i in. 2011, Ristic i in. 2012). Co więcej, wykorzystanie ratraków powoduje kompaktację śniegu oraz

opóźnienie roztopów, w obszarze trasy narciarskiej, nawet o 4 tygodnie (Keller i in. 2004). Wykorzystanie sztucznego naśnieżania pozwala uniknąć negatywnego wpływu ratraków na powierzchnie stoków oraz poprawić warunki śniegowe na trasach narciarskich, jednakże prowadzi ono do zwiększenia objętości wody krążącej po stoku, co przekłada się na wzrost energii w obiegu w zlewni (Piątek 2019). W zależności od sposobu odwodnienia nartostrady, większa objętość wody powoduje erozję na powierzchniach stoków poza trasą narciarską oraz w korytach potoków otaczających nartostrady. Może prowadzić także do przebudowy sieci dolinnej i zmian w obiegu materii w zlewni (Krzemień 1997, David i in. 2012, Ristić i in. 2012, Fidelus-Orzechowska i in. 2018, Piątek 2019, Wrońska-Wałach i in. 2019).

Pomimo mniejszego zróżnicowania rzeźby Karpat w porównaniu z wyższymi systemami górskimi, podobne uwarunkowania występują również w Karpatach Polskich, a rzeźba tego obszaru pozwala na funkcjonowanie i rozwój stacji narciarskich. Celem opracowania jest poznanie warunków wystąpienia erozji oraz intensywnego przeobrażania stoków w strefie stacji narciarskich na przykładzie Karpat Polskich. Celami pomocniczymi są:

1. poznanie liczby, położenia i morfologii stoków narciarskich oraz sposobów ich utrzymania,
2. poznanie morfologii stoków narciarskich w obrębie tych stacji,
3. podział stacji narciarskich ze względu na typy energii rzeźby w ich otoczeniu.

Zarys obszaru badań

Karpaty stanowią łańcuch górski o długości przekraczającej ponad 1300 km. W obszarze Polski ciągną się one na długości ponad 300 km. Ze względu na wiek i polaryzację orogeniczną w Polskich Karpatach można wyróżnić dwa obszary: Karpaty Wewnętrzne, obszar starszy złożony z Tatr, Podhala i Pienińskiego Pasa Skałkowego oraz młodszy, Karpaty Zewnętrzne, w skład których wchodzi Beskidy, Pogórze oraz kotliny śródgórskie (Książkiewicz 1972, Oszczypko 1995). Pod względem budowy geologicznej, w Karpatach Wewnętrznych, szczególnie wyróżniają się Tatry, zbudowane z: trzonu krystalicznego wraz z jego permsko-mezozoiczną osłoną oraz płaszczowin wierchowych i reglowych (Książkiewicz 1972, Oszczypko 1995). Podhale zbudowane jest z warstw fliszu podhalańskiego. Karpaty Zewnętrzne zbudowane są z górnourajsko-dolnomioceńskich, warstw fliszowych. Pieniński Pas Skałkowy będący strefą szwu orogenicznego Karpat, zbudowany jest z węglanowych skał jurajskich i górnokredowych. W jego wschodniej części występują również intruzje an-

dezytowe wieku mioceńskiego (Oszczypko 1995). Karpaty Zewnętrzne, zbudowane z serii fliszowych, dzieli się na następujące po sobie jednostki tektoniczne: magurską, dukielską, przedmagurską, śląską, podśląską i skolską, różniące się od siebie facjalnie i odpornościowo (Oszczypko 1995, Oszczypko i in. 2008).

Dla rzeźby Karpat charakterystyczne jest występowanie równoległych do siebie, wydłużonych systemów pasm i grzbietów górskich nawiązujących do przebiegu struktur geologicznych. Grupy górskie, pasma i grzbiety rozdzielają kotliny i doliny pochodzenia tektonicznego i erozyjno-denudacyjnego (Starkel 1972, Izmańłow i in. 1995). Wysokość kulminacji w obrębie masywów Karpat Polskich mieści się w przedziale od 300 na Pogórzach do 2500 m n.p.m. w Tatrach. Jednakże dominujące wysokości są stosunkowo niskie i tylko w dwóch grupach górskich poza Tatrami przekraczają 1500 m n.p.m. – na Babiej Górze (1725 m n.p.m.) oraz na Pilsku (1557 m n.p.m.). Dna przedgórskich kotlin u progu Karpat położone są na wysokości około 200 m n.p.m. a dna kotlin śródgórskich około 300-800 m n.p.m. (Starkel 1972, Izmańłow i in. 1995). Współczesna rzeźba Karpat jest efektem działalności procesów peryglacjalnych zachodzących w schyłkowym okresie plejstocenu oraz późniejszych przekształceń rzeźby związanych z naprzedmiennymi fazami wzrostu i spadku uwilgoceń od początku holocenu (Starkel 1986). Od ponad tysiąca lat w Beskidach a od neolitu na Pogórzach, notuje się również wpływ człowieka na rzeźbę Karpat, zintensyfikowany w ostatnich 150 latach (Valde-Nowak 1988, Starkel 2004, Świąchowicz i in. 2021). Antropopresja związana jest ze zmianą profilów stoków i ich przeobrażaniem wynikającym z rozwoju osadnictwa oraz rolnictwa a także zmianami w korytach potoków, wynikającymi początkowo ze znaczącego spadku a następnie wzrostu powierzchni leśnej (Starkel 1960, Lach 1984, Froehlich, Słupik 1986, Gil 1986, Starkel, Bucała 2012, Krzemień, Gorczyca 2021b). Również ważnym czynnikiem zmian w korytach rzecznych jest nielegalny pobór rumowiska z koryt oraz liczne regulacje powodujące intensywną erozję wgłębną (Korpak 2007, Korpak i in. 2008, Gorczyca 2016, Krzemień, Gorczyca 2021a). Ostatnie 20 lat to przeobrażanie stoków wynikające z intensywnego rozwoju osadnictwa, zmian w gospodarce leśnej oraz rozwoju infrastruktury sportowej (Ciołkosz i in. 2006, Krocak i in. 2018, Wrońska-Wałach i in. 2018, Fidelus-Orzechowska i in. 2020).

Dla klimatu Karpat typowa jest duża zmienność parametrów klimatycznych, wynikająca ze zróżnicowania wysokościowego i dużej rozciągłości równoleżnikowej łańcucha górskiego (Margielewski i in. 2008, Świąchowicz i in. 2021). Klimat Karpat kształtowany jest przede wszystkim przez masy powietrza polarno-morskiego i polarno-kontynentalnego oraz ma-

lejący ku wschodowi wpływ klimatu oceanicznego. Z zachodu na wschód obniża się średnia temperatura stycznia oraz wzrasta liczba dni z pokrywą śnieżną. Jednakże wyraźnie obniżają się roczne sumy opadów (Margielewski i in. 2008) Zróżnicowanie pionowe Karpat wpływa na występowanie zróżnicowanych pięter klimatycznych (Hess 1965). W Beskidach dominują dwa piętra, umiarkowanie ciepłe i umiarkowanie chłodne. Jedynie najwyższe partie Beskidów położone są w piętrze chłodnym. Ponad górną granicą lasu występuje piętro bardzo chłodne, notowane na Babiej Górze i w Tatrach (Hess 1965, Kotarba i Starkel 1972). Wysokości opadów w Karpatach są wypadkową ekspozycji stoków i wysokości nad poziomem morza. Przeciętny gradient pionowy wynosi 60 mm na 100 m wysokości (Obrębska-Starkłowa i in. 1995). Opady atmosferyczne maleją ku wschodowi. Okresem charakteryzującym się najwyższymi sumami opadów jest pora letnia. Długość zalegania pokrywy śnieżnej różnicuje się od 63 dni na pogórzach do 290 dni w partiach szczytowych Tatr (Hess 1965, Obrębska-Starkłowa i in. 1995). Na zacienionych stokach gruzowych płyty śnieżne mogą utrzymywać się przez większość roku (Kłapa 1970).

Zasoby wodne Karpat warunkowane są poprzez urozmaiconą rzeźbę terenu, niską przepuszczalność skał podłoża oraz stosunkowo wysokie opady (Dynowska 1995). Rzeki karpackie charakteryzują się dużą zmiennością odpływu. Dorzecza na zachód od Dunajca charakteryzują się zasilaniem deszczowo-śnieżnym, dorzecza na wschód od Białej Tarnowskiej wyróżniają się zasilaniem śnieżno-deszczowym (Dobija 1981, Dynowska 1995). Reżim hydrologiczny rzek karpackich cechuje duża zmienność sezonowa. Rzeki położone w zachodniej części Karpat Polskich charakteryzują dwie kulminacje przepływu: pierwsza związana z roztopami oraz druga, efekt maksymalnych opadów letnich. W części wschodniej notuje się wysokie wezbrania roztopowe (Dynowska 1995, Chełmicki 1998).

Metody badań

Chcąc analizować warunki występowania erozji w obszarze stacji narciarskich w Karpatach Polskich, zdecydowaliśmy się analizować stacje narciarskie, które posiadają co najmniej jedną kolej linową. Do kolei linowych zaliczamy: koleje krzeselkowe, określane także jako wyciągi krzeselkowe, koleje kabino-we oraz koleje gondolowe (MTiGM 1998). Inwestycja w kolej linową wiąże się z wyższymi kosztami budowy, jednakże gwarantuje większą przepustowość wyciągu, atrakcyjność dla narciarzy oraz możliwość wykorzystania również w porze bezśnieżnej dla pieszych czy rowerzystów (Łajczak 1996, Krzemień

2008). Koszty budowy i skala inwestycji powodują również potrzebę regularnego utrzymywania i użytkowania kolei linowych. W związku z tym faktem, obecność co najmniej jednego typu kolei linowej, najczęściej wyciągu krzeselkowego, uznaliśmy za warunek niezbędny do ujęcia danej stacji narciarskiej w naszej analizie. Jeśli warunek obecności kolei linowej był spełniony, analizowaliśmy wszystkie wyciągi w danej stacji narciarskiej. Identyfikacji dokonaliśmy wykorzystując internetową bazę stacji narciarskich „skionline.pl” oraz strony internetowe poszczególnych stacji narciarskich, w celu weryfikacji czy stacja jest nadal użytkowana.

Po wytypowaniu stacji wyznaczono ich zakres przestrzenny w oprogramowaniu ESRI: Arc GIS Pro 2.5 oraz Arc Map 10.8 w oparciu o schematy tras narciarskich udostępniane przez poszczególne ośrodki narciarskie na stronach internetowych oraz z wykorzystaniem ortofotomap. Następnym krokiem było przeprowadzenie analiz przestrzennych oraz morfometrycznych. W analizach wykorzystano cyfrowy model wysokościowy (CMW) oraz ortofotomapy (GUGiK 2017, 2019). Wykorzystując CMW o rozdzielczości 1 m dla każdej stacji narciarskiej określono: wysokość n. p. m stacji dolnej i górnej, energię rzeźby rozumianą jako deniwelację w obszarze ośrodka, typ energii rzeźby oraz nachylenie średnie narciarskich tras w danej stacji narciarskiej. Maksymalne nachylenie tras określono wykorzystując zgeneralizowany CMW o rozdzielczości 5 m w celu uniknięcia skrajnych wartości nachylenia wynikających z nasypów czy wkopów wokół stacji kolejek i słupów nośnych.

W celu określenia typu energii rzeźby stoków w obszarze stacji narciarskich, wysokość względna obliczana była jako różnica wysokości między górną stacją wyciągu oraz korytem potoku położonym poniżej dolnej stacji wyciągu.

Zasięgi i powierzchnię tras narciarskich w oparciu o schematy i rysunki przebiegu tras wyznaczano na ortofotomapach z 2017 i 2019 o rozdzielczości przestrzennej kolejno 0,01 m oraz 0,25 m. Na podstawie ortofotomap z okresu lato-jesień 2019 roku wykonanych dla całych Karpat Polskich, gwarantujących porównywalny moment czasowy, określono powierzchnię oraz procentowy udział pokrycia roślinnością powierzchni tras narciarskich. Powierzchnię pokrycia roślinnością obliczono wykorzystując półautomatyczną klasyfikację obrazu w Arc Map 10.8 (*Interactive Supervised Classification*). Wykorzystując dane ze stron internetowych ośrodków narciarskich oraz ortofotomapy określono również przepustowość stacji, obecność rowów odwadniających na powierzchniach narciarskich oraz fakt wykorzystania sztucznego naśnieżania. W celu określenia stacji narciarskich najbardziej podatnych na wystąpienie erozji przeprowadzono analizę składowych głównych

(PCA). Liczbę czynników do interpretacji określono na podstawie kryterium Kaisera (Stanisz 2007). Analizy statystyczne przeprowadzono w programie Statistica 13 (StatSoft). Na podstawie analizy wartości współrzędnych czynnikowych poszczególnych stacji narciarskich, określono stacje najbardziej podatne na wystąpienie erozji w ich obszarze.

Położenie stacji narciarskich w Karpatach Polskich, morfologia stoków narciarskich oraz sposób ich utrzymania

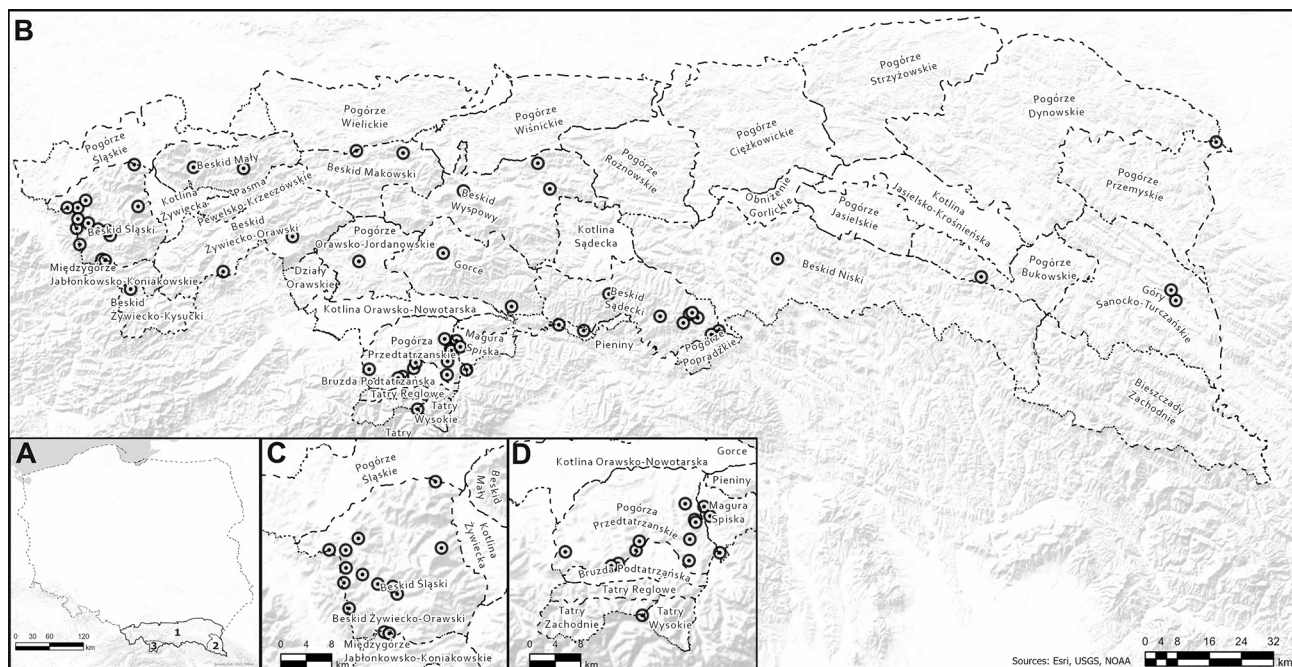
Wykorzystując przyjęte kryteria zidentyfikowano 56 stacji narciarskich położonych w Karpatach Polskich (ryc. 1). Liczbę stacji oraz sumę powierzchni tras narciarskich według położenia w mezoregionach przedstawia tab. 1.

Najwięcej stacji, 12, położonych jest w Beskidzie Śląskim (ryc. 1), co stanowi 21% wszystkich stacji narciarskich ujętych w analizie. W trzech obszarach charakteryzujących się największą liczbą ośrodków narciarskich (Beskid Śląski, Pogórze Przedtatrzańskie, Beskid Sądecki) położonych jest ok. 52% wszystkich stacji narciarskich z koleją linową w Karpatach Polskich (ryc. 1). Pod względem powierzchni,

Tabela 1. Liczba stacji narciarskich oraz suma powierzchni tras narciarskich według położenia w mezoregionach

Table 1. Number of ski resorts and summary area of ski runs in mesoregions

Mezoregion	Liczba stacji	Powierzchnia tras [km ²]
Beskid Makowski	2	0,15
Beskid Mały	2	0,18
Beskid Niski	1	0,04
Beskid Sądecki	7	1,36
Beskid Śląski	12	2,01
Beskid Wyspowy	3	0,27
Beskid Żywiecko-Kysucki	1	0,13
Beskid Żywiecko-Orawski	2	0,52
Gorce	2	0,20
Góry Sanocko-Turczańskie	2	0,22
Magura Spiska	3	0,37
Międzygórze Jabłonkowsko-Koniakowskie	2	0,28
Pieniny	2	0,31
Pogórze Przedtatrzańskie	10	1,84
Pogórze Bukowskie	1	0,17
Pogórze Orawsko-Jordanowskie	1	0,13
Pogórze Popradzkie	1	0,12
Pogórze Przemyskie	1	0,06
Tatry	1	0,71
Razem	56	9,07



Ryc. 1. Położenie stacji narciarskich w Karpatach Polskich

A – Położenie Karpat w Polsce, 1 – Zewnętrzne Karpaty Zachodnie, 2 – Zewnętrzne Karpaty Wschodnie, 3 – Karpaty Wewnętrzne; B – Położenie stacji narciarskich na tle mezoregionów; C – Położenie stacji narciarskich w Beskidzie Śląskim; D – położenie stacji narciarskich w Tatrach i na Podhalu

Fig. 1. Location of ski stations in the Polish Carpathians

A – Location of the Carpathians in Poland, 1 – West Outer Carpathians, 2 – East Outer Carpathians, 3 – Inner Carpathians; B – Location of ski stations in the front of the mesoregions; C – Location of ski stations in the Silesian Beskids; D – location of ski stations in the Tatra Mountains and Podhale

trasy narciarskie największy obszar zajmują na Pogórzach Przedtatrzańskich – 1,84 km² (tab. 1). Najmniej stacji narciarskich jest w Beskidzie Niskim, jest to jedna stacja o powierzchni 0,04 km². Pod względem powierzchni stacji narciarskiej, największy jest kompleks na stokach Skrzycznego: COS Szczyrk + Szczyrk Mountain Resort – 1,11 km² (tab. 2). Powierzchnię powyżej 0,4 km² mają kompleksy: Kotelnica Białczańska i Bania, PKL Kasprowy Wierch, PKL Jaworzyna Krynicka oraz Pilsko-Jontek (tab. 2). Najwyżej położone stacje kolei linowej to: górna stacja wyciągu na Pilsku (1490 m n.p.m.) oraz górna stacja wyciągu na Kasprowym Wierchu (1959 m n.p.m.), górna stacja kolei krzeselkowej COS Szczyrk na Skrzycznym (1244 m n.p.m.) (tab. 2). Najniżej położoną górna stacją kolei linowej jest stacja w Przemyślu, 344 m n.p.m. Największe deniwelacje pomiędzy stacją górną a dolną notuje się na Kasprowym Wierchu (975 m) (tab. 2). Warto odnotować również deniwelacje na Pilsku i Skrzycznym, przekraczające 700 m. Najmniejsze deniwelacje występują w obszarze stacji Olczań Ski w Bukowinie Tatrzańskiej i nie przekraczają 72 m (tab. 2). Pod względem średnich nachyleń dominują trasy narciarskie o spadku w przedziale 11-14°. Największe średnie nachylenie notowane jest na nartostradach na stokach Kasprowego Wierchu i wynosi 22°. Również tam notuje się największą wartość maksymalnego nachylenia wśród wszystkich tras

narciarskich – 50° (tab. 2). Najmniejsze nachylenia występują w stacji narciarskiej Klepki, średnie: 9,7° i maksymalne: 14,1° (tab. 2).

Analizując parametry infrastruktury narciarskiej, można zauważyć bardzo duże zróżnicowanie przepustowości, czyli liczby osób jaką są w stanie przewieźć wszystkie wyciągi w danej stacji narciarskiej na godzinę. Średnia przepustowość dla wszystkich stacji wynosi 4 347 osób/h. Najwyższą przepustowością na godzinę charakteryzuje się stacja Kotelnica Białczańska – 18 770 osób/h. Przepustowość powyżej 10 000 osób/h posiadają również stacje na Skrzycznym i Jaworzynie Krynickiej. Najniższą przepustowość odnotowano w stacji narciarskiej Palenica w Ustroniu (980 osób/h). Należy podkreślić, że wśród wszystkich 56 analizowanych stacji narciarskich tylko PKL Kasprowy Wierch nie wykorzystuje sztucznego naśnieżania tras, na które zgody nie wyrażają władze i rada naukowa Tatrzańskiego Parku Narodowego. Ostatnim analizowanym parametrem była powierzchnia i odsetek powierzchni pozbawionej okrywy roślinnej. Najwyższy odsetek powierzchni pozbawionej okrywy roślinnej odnotowano w stacji narciarskiej Skolnity Ski&Bike Park w Wiśle i wynosi on 77% powierzchni. Ponad 50% powierzchni pozbawionej okrywy roślinnej określono w stacjach narciarskich: Magura Ski w Małastowie (61% powierzchni), COS Szczyrk i Szczyrk Mountain Resort (55% powierzch-

Tabela 2. Charakterystyka stacji narciarskich w Karpatach Polskich

Table 2. Characteristic of ski resorts in Polish Carpathians

Nazwa stacji narciarskiej	Mezoregion	Wysokość stacji górnej	Wysokość stacji dolnej	Deniwelacja	Nachylenie średnie	Nachylenie maksymalne	Powierzchnia tras	Przepustowość wyciągów	Powierzchnia pozbawiona roślinności	Udział powierzchni pozbawionej roślinności
		[m n.p.m.]	[m]	[°]	[m ²]	[os. h ⁻¹]	[m ²]	[%]		
Kotelnica Białczańska + Bania	Pogórze Przedtatrzzańskie	943	704	239	11,7	24,6	789978	18770	285884,0	36,2
Kaniówka	Pogórze Przedtatrzzańskie	928	772	156	10,8	19,6	102853	4920	12750,6	12,4
Dębowiec Bielsko-Biała	Beskid Śląski	526	416	110	13,3	20,0	33020	2400	7082,7	21,5
Rusiń Ski	Pogórze Przedtatrzzańskie	942	766	176	11,4	17,3	202633	7810	14284,6	7,1
Olczań Ski	Pogórze Przedtatrzzańskie	951	879	72	11,1	19,1	107795	3250	910,4	0,8
Kozieniec Ski	Magura Spiska	901	770	131	12,0	22,1	63535	6000	2911,1	4,6
Grapa Ski	Magura Spiska	892	735	157	11,5	19,8	96360	4900	3372,3	3,5
PKL Góra Żar	Beskid Mały	754	456	298	14,5	24,0	74879	1950	6287,5	8,4
Szklana Góra Ski	Beskid Makowski	563	385	178	14,5	19,5	63006	2400	18102,3	28,7
Zagroń Ski	Międzygórze Jabłonkowsko-Koniakowskie	699	545	154	11,9	26,5	145676	3050	62891,5	43,2
Złoty Groń	Międzygórze Jabłonkowsko-Koniakowskie	707	555	152	12,6	27,1	129974	3850	9275,8	7,1
Arena Narciarska Jaworki-Homole	Pieniny	712	594	118	12,7	30,3	183301	2600	7974,8	4,4
Jurgów Ski	Magura Spiska	1025	818	207	13,3	27,1	212471	8400	48397,0	22,8
Kasina Ski&Bike Park	Beskid Wyspowy	867	586	281	16,2	25,9	72839	3000	28758,5	39,5
Czorsztyn-Ski	Gorce	765	613	152	13,4	35,0	161295	4300	17370,8	10,8
Pilsko-Jontek	Beskid Żywiecko-Orawski	1490	693	797	14,3	45,0	426356	7300	113138,0	26,5
PKL Jaworzyna Krynicka	Beskid Sądecki	1113	641	472	15,1	32,0	437881	10700	35653,4	8,1
Henryk Ski	Beskid Sądecki	812	599	213	13,7	28,7	73716	4300	35311,9	47,9
Kompleks Narciarski Słotwiny	Beskid Sądecki	876	681	195	12,8	22,9	140168	3600	13054,9	9,3
Słotwiny Arena	Beskid Sądecki	856	695	161	12,0	23,2	230298	6000	61587,3	26,7
Laskowa Ski	Beskid Wyspowy	762	463	299	14,2	27,7	115126	3750	21189,6	18,4
Limanowa Ski	Beskid Wyspowy	775	610	165	15,2	26,9	84849	3800	1487,2	1,8
Magura Ski	Beskid Niski	780	520	260	13,6	22,4	35158	2960	21464,3	60,8
Stacja Narciarska Małe Ciche	Pogórze Przedtatrzzańskie	1091	872	219	12,0	20,3	219626	4540	7342,2	3,3
Myślenice Sport Arena	Beskid Makowski	613	377	236	17,0	25,3	82805	3750	23352,8	28,2
Ostoja Górską Koninki	Gorce	961	654	307	16,2	26,5	37306	1450	10749,9	28,8
POSiR Przemysł Kiczera Ski	Pogórze Przemyskie	344	235	109	14,5	22,6	60426	2706	6192,1	10,2
	Pogórze Bukowskie	634	465	169	11,0	25,2	165640	1850	10676,9	6,4

Tabela 2. cd.

Table 2. continued

Nazwa stacji narciarskiej	Mezoregion	Wysokość stacji górnej	Wysokość stacji dolnej	Deniwelacja	Nachylenie średnie	Nachylenie maksymalne	Powierzchnia tras	Przepustowość wyciągów	Powierzchnia pozbawiona roślinności	Udział powierzchni pozbawionej roślinności
		[m n.p.m.]	[m]	[m]	[°]	[m ²]	[os. h ⁻¹]	[m ²]	[%]	
RyterSKI	Beskid Sądecki	629	422	207	17,3	27,3	88055	3500	7093,6	8,1
Czarny Groń	Beskid Mały	802	595	207	14,2	26,4	102472	6200	46045,6	44,9
Kompleks Beskid	Pogórze Orawsko-Jordanowskie	754	606	148	12,2	18,7	129167	3000	7456,8	5,8
Ski Suche	Pogórze Przedtatrzańskie	923	777	146	14,1	34,3	90986	2200	7374,2	8,1
PKL Palenica	Pieniny	741	461	280	14,3	30,7	121893	4480	32008,8	26,3
COS Szczyrk + Szczyrk Mountain Resort	Beskid Śląski	1244	537	707	14,2	37,3	1109884	16620	612700,0	55,2
Master Ski	Pogórze Popradzkie	680	575	105	9,9	23,9	118438	3600	39035,7	33,0
Tylicz Ski	Beskid Sądecki	716	568	148	13,4	27,3	181814	5700	65908,3	36,2
Poniwiec	Beskid Śląski	840	607	233	18,1	23,7	42436	1500	13308,4	31,4
Kolej Linowa Czantoria	Beskid Śląski	852	389	463	15,5	24,4	161165	3675	59230,5	36,7
Palenica Ustroń	Beskid Śląski	659	423	236	16,3	24,3	41837	980	7923,5	18,9
Laworta Ski	Góry Sanocko-Turczańskie	746	492	254	16,5	30,9	96129	2650	42000,8	43,7
Gromadzyń Ustrzyki	Góry Sanocko-Turczańskie	655	494	161	14,6	28,9	119119	5170	39239,3	32,9
Hotel Wierchomla Ski & Spa Resort	Beskid Sądecki	899	592	307	13,1	25,5	212959	4050	39889,5	18,7
Klepki	Beskid Śląski	602	513	89	9,7	14,1	36751	2700	9321,3	25,4
Stacja narciarska Cieńków	Beskid Śląski	719	516	203	14,8	31,9	136617	4200	9778,6	7,2
Nowa Osada Kolej Krzeselkowa	Beskid Śląski	683	491	192	13,2	22,7	107278	2800	21682,2	20,2
Soszów	Beskid Śląski	882	596	286	16,9	31,0	137344	5450	34294,4	25,0
Skolnity Ski&Bike Park	Beskid Śląski	664	461	203	15,4	30,2	61573	2650	47363,6	76,9
Stok Stacja Narciarska	Beskid Śląski	677	478	199	16,3	24,4	65790	2000	30906,2	47,0
ON Stożek	Beskid Śląski	940	699	241	19,2	33,6	72193	1200	31897,9	43,4
Witów Ski	Pogórze Przedtatrzańskie	976	832	144	10,6	17,3	43639	2500	7853,6	18,0
PKL Kasprowy Wierch	Tatry	1994	1019	975	21,9	49,9	706254,7	3487	90224,2	12,8
PKL Gubałówka	Pogórze Przedtatrzańskie	1116	1000	116	16,1	22,7	39786	2000	5040,0	12,7
Polana Szymoszkowa	Pogórze Przedtatrzańskie	1127	861	266	11,4	30,0	125378	5000	21360,8	17,0
Harenda	Pogórze Przedtatrzańskie	967	770	197	18,5	30,5	116708	5890	5931,0	5,1
PKL Mosorny Groń	Beskid Żywiecko-Orawski	1045	757	288	14,5	26,7	91983	2400	10698,5	11,6
Zwardoń Ski	Beskid Żywiecko-Kysucki	954	689	265	12,4	27,4	127354	3530	24366,3	19,6

ni) (tab. 2). Kompleksy narciarskie, gdzie odnotowano najmniejsze braki w okrywie roślinnej to: Olczań Ski w Bukowinie Tatrzańskiej (0,8% powierzchni bez pokrywy roślinnej), Limanowa Ski (1,8% powierzchni bez pokrywy roślinnej) oraz stacja narciarska Małe Ciche i Grapa Ski w Czarnej Górze (oba ośrodki ok. 3,5% powierzchni bez pokrywy roślinnej). Średnio 23% powierzchni tras narciarskich w Karpatach Polskich pozbawionych jest pokrywy roślinnej (tab. 2).

Stacje narciarskie w obszarach o różnym typie energii rzeźby

Elementem niezbędnym do wystąpienia procesu geomorfologicznego jest energia, która może zostać uwolniona przez różne czynniki morfogenetyczne, np. siłę grawitacji. Wielkość tej energii może zależeć od długości stoku po jakiej części się poruszają, wysokości z jakiej mogą spadać lub nachylenia stoku, które będzie wpływać na opór podłoża (Embleton, Whalley 1985). Energia rzeźby najczęściej określana jest jako wysokość względna między grzbietami a dnami dolin (Price 1981). Price podkreśla, że deniwelacja i stromo nachylone stoki są podstawowym kryterium pozwalającym na wyróżnienie gór, czyli obszaru, gdzie środowisko przyrodnicze ulega zmianom nie tylko horyzontalnie, ale przede wszystkim wertykalnie (Price 1981). Na potrzeby niniejszego opracowania wyróżniliśmy w Karpatach polskich trzy typy obszarów o zróżnicowanej rzeźbie (tab. 3). W tym wydzieleniu uwzględniliśmy dotychczasowe prace Starkla (1972), Izmańłow i in. 1995 oraz literaturę międzynarodową.

W literaturze polskiej najczęściej wykorzystywanym podziałem na typy energii rzeźby jest podział opracowany przez Starkla (1972), w którym autor wyróżnił 4 główne typy rzeźby: den dolin i kotlin, pogórskiej, nisko- i średniogórskiej oraz wysokogórskiej (Starkel 1972, Izmańłow i in. 1995) uwzględniając przede wszystkim wysokości względne. Natomiast w literaturze międzynarodowej, geomorfologdy w określaniu energii rzeźby i typów rzeźby górskiej wykorzystują przede wszystkim wysokości masywu nad poziom morza oraz budowę geologiczną, uwarunkowania tektoniczne oraz piętrowość (Troll 1973, Brunnsden, Allison 1986, Yamada 1999, Meybeck i in. 2001). Autorzy anglosascy i niemieccy wyróżniają przede wszystkim wzgórza lub góry niskie, góry średnie oraz góry wysokie (Troll 1973, Brunnsden, Allison 1986, Meybeck i in. 2001, Slaymaker, Emebelton-Hamman 2009).

W niniejszym opracowaniu na wzór anglosaski określiliśmy pogórza jako góry niskie. Porządkując przedziały wysokości względnych określone przez Starkla (1972) i Izmańłow i in. (1995) przyjęliśmy trzy typy energii rzeźby: gór niskich, gór średnich

Tabela 3. Liczba stacji narciarskich według przyjętych kryteriów typów energii rzeźby w Karpatach Polskich

Table 3. Number of ski resorts according to the adopted criteria of the relief energy types in the Polish Carpathians

Typ energii rzeźby	Wysokości względne	Liczba stacji narciarskich
Gór niskich	< 400 m	50
Gór średnich	400–800 m	5
Gór wysokich	> 800 m	1
Karpaty Polskie	–	56

oraz gór wysokich. Przyjęte przedziały wysokości względnych prezentuje tabela 3.

Analizując przyjęte kryteria można stwierdzić, że jedynie stacja narciarska PKL Kasprowy Wierch charakteryzuje się typem energii rzeźby gór wysokich (tab. 3). Stacje, w obrębie których energia rzeźby klasyfikowana jest jako energia gór średnich to w kolejności: Pilsko-Jontek, COS Szczyrk + Szczyrk Mountain Resort, PKL Jaworzyna Krynicka, Kolej Linowa Czantoria oraz PKL Góra Żar (tab. 3). Pozostałe 50 stacji charakteryzuje energia rzeźby gór niskich (tab. 3).

Dominujące procesy morfogenetyczne na stokach użytkowanych przez narciarzy w górach o różnej energii rzeźby

Przebieg, intensywność i rodzaj procesów morfogenetycznych w Karpatach Polskich zmienia się w zależności od piętra klimatyczno-roślinnego oraz podłoża (Kotarba i in. 1987, Rączkowska 2008). W zależności od zróżnicowania piętrowego zmienia się skład zespołu procesów morfogenetycznych lub hierarchia procesów w ich zespole (Kotarba 1976, Kłapa 1980, Kotarba i in. 1987, Rączkowska 2008, Rączkowska, Krzemień 2021). Współcześnie najintensywniej przekształcanymi obszarami w górach są strefy bez roślinności. Strefy takie narażone są na bezpośrednie oddziaływanie licznych procesów morfogenetycznych. Bardzo dobrym przykładem są stoki w obrębie nartostrad (Krzemień 1997, 2008, Fidelus-Orzechowska 2017, 2018). Ze względu na zróżnicowanie energii rzeźby w górach niskich, średnich i wysokich, rodzaj i przebieg procesów morfogenetycznych w tych obszarach będzie zróżnicowany (tab. 4). Przy czym szczególnie istotne są dwie granice: górna granica lasu (ok. 1500 m n.p.m.) i pas wysokościowy izotermy rocznej 0°C (Kotarba 1976). Z tego względu ewolucja rzeźby jest zasadniczo odmienna w obszarze wysokogórskim i średniogórskim, czyli w piętrze leśnym. Rzeźba w obszarze wysokogórskim jest przekształcana przez zespół procesów morfogenetycznych, głównie

Tabela 4. Zróznicowanie aktywności procesów morfogenetycznych w Karpatach Polskich

Table 4. Differentiation of the activity of morphogenetic processes in the Polish Carpathians

Proces	góry wysokie	góry średnie	góry niskie
spływy gruzowe	+++	+	=
spływy torencjalne	+	++	+=
spłukiwanie	+	+++	++
erozja linijna	++	+++	+
niwacja	++	+	=
lód włóknisty	++	+	+=
sufozja	++	++	+
spelzywanie	++	+	+=
osuwanie	+	++	+
erozja eoliczna	+++	+	+

+++ proces najbardziej aktywny, ++ proces o średniej aktywności, + proces o niewielkiej aktywności, += proces incydentalny, = proces niewystępujący

grawitacyjnych i peryglacialnych, uwarunkowanych lokalnym klimatem, wśród których najważniejsze są spływy gruzowe (tab. 4, Kotarba i in. 1985, Krzemień 1988, Krzemień i in. 1995). Zasięg tych procesów na stoku może wynosić 500-700 m, a nawet do 1000 m. Odgrywają one najważniejszą rolę w modelowaniu stoków i den cyrków glacialnych. Dzięki nim zwietrzeli- na może być przemieszczana od grzbietów, aż do den cyrków, a nawet do den dolin. Jeden z najdłuższych spływów gruzowych dochodzący do 1700 m zanotowano podczas 5 godzinowego lokalnego opadu burzowego o sumie 73,8 mm w Dolinie Kościeliskiej (Krzemień i in. 1995). Materiał uruchamiany przez spływy gruzowe zasypuje nierówności w obrębie cyrków i den dolin. W obszarze wysokogórskim stoki pozbawione roślinności podlegają również przekształcaniu przez niwację, soliflukcję oraz deflację (Kotarba 1976, Rączkowska 2007, 2008, 2021, Fidelus-Orzechowska i in. 2017) (tab. 4).

Z kolei w piętrze leśnym, a więc w obszarze średniogórskim najważniejszy jest transport luźnego materiału zwietrzelinowego i organicznego przez wodę płynącą w kierunku niższych położań (tab. 4). Z tego względu erozja linijna, spływy torencjalne, a także procesy fluwialne ogrywiają najważniejszą rolę (Kotarba 1976, Rączkowska 2008, Gorczyca i in. 2014, Krzemień, Kłapyta 2018, Płaczkowska i Krzemień 2018). W obszarze tym ważnymi procesami przeobrażającymi rzeźbę są też sufozja (Bernatek-Jakiel i in. 2016, 2017) i procesy osuwiskowe (Gorczyca 2004, Margielewski i in. 2008, Święchowicz i in. 2021)

W niskich górach ze względu na najmniejszą energię rzeźby, liczba i aktywność procesów morfogenetycznych jest najmniejsza (tab. 4). Jedynie na stokach okrytych pokrywami pylastymi z ubogim pokryciem przez roślinność, procesy związane z erozyjną działalnością wody płynącej na stokach mogą być znaczne

(Święchowicz 2002, Margielewski i in. 2008, Święchowicz i in. 2021). Ważną rolę ogrywiają też procesy fluwialne, osuwiskowe i sufozja (Margielewski i in. 2008, Święchowicz i in. 2021).

Warunki występowania erozji w obszarze stacji narciarskich

W celu określenia stacji narciarskich najbardziej podatnych na wystąpienie erozji przeprowadzono analizę składowych głównych (PCA). Na podstawie kryterium Kaisera (Stanisz 2007) określono dwa czynniki do interpretacji, które w sumie tłumaczą 72% zmienności. Wykorzystane w analizie zmienne oraz ładunki czynnikowe przedstawia tabela 5.

Analiza wartości ładunków czynnikowych (tab. 5) wskazuje, że Czynniki 1 opisuje dodatnią korelację, która powoduje wzrost podatności danej stacji narciarskiej na erozję. Są to relacje pomiędzy następującymi prawidłowościami:

1. maksymalną wysokością n.p.m. wraz z którą spada średnia temperatura roczna i wzrastają opady powodujące intensyfikację procesów morfogenetycznych,
2. deniwelacją, czyli energią rzeźby rosnącą wraz z różnicą pomiędzy górną a dolną stacją kolei krzeselkowych,
3. nachyleniem maksymalnym w obszarze nartostrady, którego im wyższa wartość tym większa intensywność procesów,
4. powierzchnią tras narciarskich w danym ośrodku, które stanowią obszar, w którym następuje wzrost aktywności procesów,
5. powierzchnią nartostrad pozbawioną roślinności, której to brak powoduje znaczący wzrost intensywności procesów morfogenetycznych

Najniższe wartości czynnikowe przypadków wskazują na stacje narciarskie najbardziej podatne na wystąpienie erozji w obrębie nartostrad. Najwyższe wartości wskazują na stacje najmniej narażone na erozję.

Tabela 5. Wartości zmiennych oraz ładunków czynnikowych z analizy składowych głównych (PCA)

Table 5. Values of variables and factor loadings from principal components analysis (PCA)

Zmienna	Czynniki 1	Czynniki 2
Max. m n.p.m.	-0,68	0,00
Deniwelacja	-0,84	0,32
Nachylenie śr.	-0,38	0,84
Nachylenie max.	-0,75	0,35
Powierzchnia tras	-0,82	-0,42
Przepustowość/h	-0,59	-0,69
Pow. odkryta	-0,75	-0,13

Tabela 6. Współrzędne czynnikowe przypadków z analizy składowych głównych (PCA)
 Table 6. Coordinates of variables factors from principal components analysis (PCA)

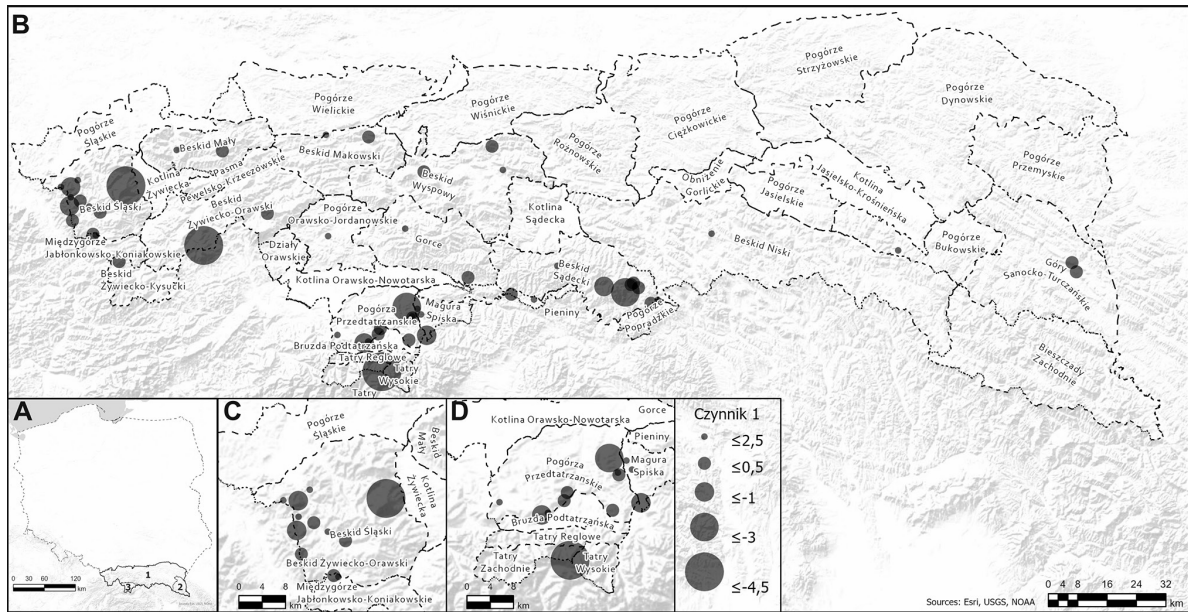
Stacja narciarska	Współrzędne czynnikowe przypadków		Stacja narciarska	Współrzędne czynnikowe przypadków	
	Czynnik 1	Czynnik 2		Czynnik 1	Czynnik 2
Arena Narciarska Jaworki-Homole	0,73	-0,27	Nowa Osada Kolej Krzeszełko	0,79	-0,19
COS Szczyrk + Szczyrk Mountain Resort	-5,93	-1,52	Olczań Ski	2,68	-1,31
Czarny Groń	-0,54	-0,50	ON Stożek	-0,59	3,05
Czorzstyn-Ski	-0,49	-0,20	Ostoja Górska Koninki	0,58	2,22
Dębowiec Bielsko-Biała	3,01	0,17	Palenica Ustroń	1,77	2,34
Grapa Ski	1,35	-1,22	Pilsko-Jontek	-4,98	0,29
Gromadzyń Ustrzyki	-0,17	-0,28	PKL Góra Żar	0,88	1,07
Harenda	-0,75	1,01	PKL Gubałówka	1,61	1,22
Henryk Ski	-0,23	0,02	PKL Jaworzyna Krynicka	-3,31	-0,68
Hotel Wierchomla Ski & Spa Resort	-1,05	-0,54	PKL Kasprowy Wierch	-5,65	2,69
Jurgów Ski	-1,47	-1,32	PKL Mosorny Groń	-0,16	0,86
Kaniówka	0,87	-1,57	PKL Palenica	-0,83	0,17
Kasina Ski&Bike Park	-0,28	1,05	Polana Szymbarkowa	-1,01	-0,75
Kiczera Ski	1,23	-0,45	Poniwiec	0,91	2,33
Klepki	3,53	-1,39	POSiR Przemyśl	2,94	0,25
Kolej Linowa Czantoria	-1,38	0,44	Rusiń Ski	0,17	-2,22
Kompleks Beskid	1,49	-0,85	RyterSKI	0,53	1,15
Kompleks Narciarski Słotwiny	0,32	-0,59	Ski Suche	0,30	0,90
Kotelnica Białczańska + Bania	-3,00	-3,31	Skolnity Ski&Bike Park	0,12	1,04
Kozieniec Ski	1,47	-1,06	Słotwiny Arena	-0,54	-1,74
Laskowa Ski	-0,42	0,26	Soszów	-1,53	0,65
Laworta Ski	-0,60	1,30	Stacja narciarska Cieńków	-0,24	0,31
Limanowa Ski	1,17	0,52	Stacja Narciarska Małe Ciche	-0,02	-1,25
Magura Ski	0,94	0,50	Stok Stacja Narciarska	0,74	1,25
Master Ski	1,13	-1,68	Szklana Góra Ski	1,72	0,35
Myślenice Sport Arena	0,21	0,89	Tylicz Ski	-0,48	-1,05
			Witów Ski	2,11	-0,72
			Zagroń Ski	0,19	-0,77
			Złoty Groń	0,68	-0,56
			Zwardoń Ski	-0,52	-0,30

Czynnik 2 (tab. 5) opisuje ujemną relację pomiędzy przepustowością tras na godzinę a średnim nachyleniem stoku w obrębie nartostrad. Ujemne wartości czynnikowe przypadku wskazują na stacje narciarskie o najbardziej sprzyjającym nachyleniu dla jak najszerzej grupy narciarzy, co przekłada się na dobre warunki rozwoju infrastruktury i wzrost przepustowości. Dodatkowo wartości czynnikowe wskazują na stacje o niesprzyjającym nachyleniu stoków dla początkujących narciarzy, co może powodować brak rozwoju infrastruktury na większą skalę.

Analizując tabelę wartości czynnikowych przypadków (tab. 6) można stwierdzić, że ośrodkiem narciarskim, najbardziej podatnym na wystąpienie erozji jest ośrodek narciarski położony w masywie Skrzycznego (COS Szczyrk + Szczyrk Mountain Resort) (Czynnik 1 = -5,99) (tab. 6). Na intensywną erozję narażone są również ośrodki: PKL Kasprowy Wierch, Pilsko-Jontek, PKL Jaworzyna Krynicka oraz Kotelnica Białczańska – Bania (tab. 6). Na wystąpie-

nie erozji w obszarze tras narciarskich najmniej narażone są ośrodki: Klepki w Wiśle, Dębowiec Bielsko Biała, POSiR Przemyśl oraz Witów Ski (tab. 6). Przestrzenne zróżnicowanie wartości Czynnika 1 przedstawia ryc. 2.

Pod względem wartości Czynnika 2 można stwierdzić, że ośrodkiem narciarskim posiadającym najkorzystniejsze warunki do rozwoju infrastruktury pod kątem jak największej grupy narciarzy jest ośrodek Kotelnica Białczańska (najniższe wartości Czynnika 2) (tab. 6). Kolejną stacją z bardzo korzystną relacją między średnim spadkiem stoku a przepustowością jest Stacja Rusiń Ski (tab. 6), również położona na Pogórzach Przedtatrzańskich. Najwyższe wartości Czynnika 2, czyli najmniej korzystne warunki infrastruktury i spadków stoku dla niedoświadczonego narciarza występują na stokach Kasprowego Wierchu, charakteryzujących się największym średnim nachyleniem. Przestrzenne zróżnicowanie wartości Czynnika 2 przedstawia rycina 3.

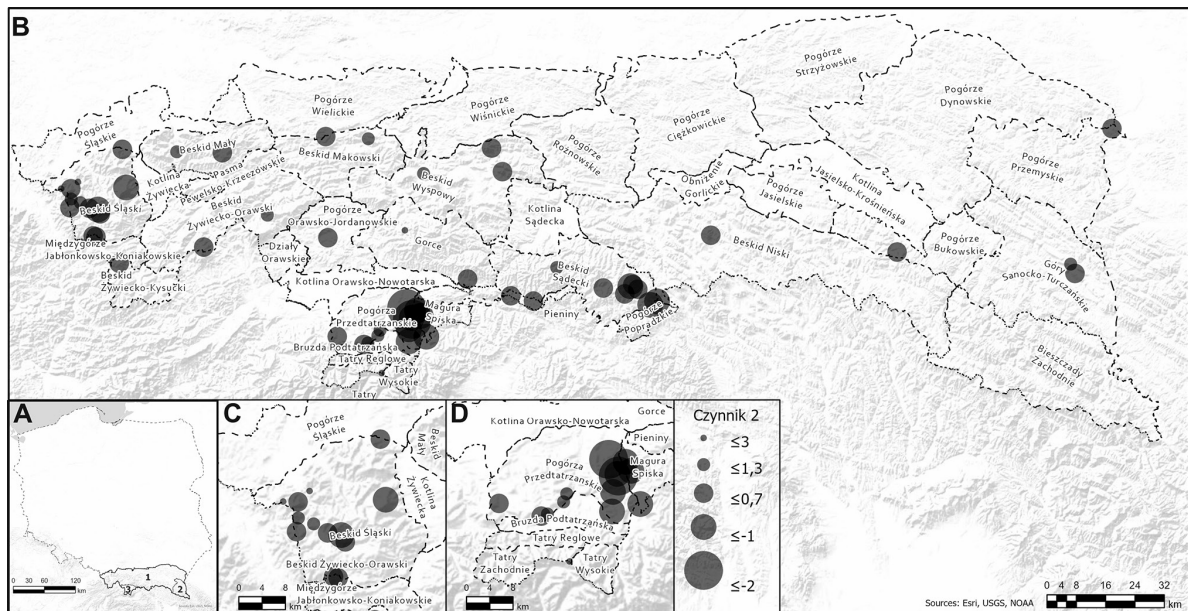


Ryc. 2. Zróżnicowanie wartości Czynnika 1 w stacjach narciarskich w Karpatach Polskich

A – Położenie Karpat w Polsce, 1 – Zewnętrzne Karpaty Zachodnie, 2 – Zewnętrzne Karpaty Wschodnie, 3 – Karpaty Wewnętrzne; B – Zróżnicowanie wartości Czynnika 1 w stacjach narciarskich w Karpatach; B – Zróżnicowanie wartości Czynnika 1 w stacjach narciarskich w Karpatach Polskich na tle mezoregionów; C – Zróżnicowanie wartości Czynnika 1 w stacjach narciarskich w Beskidzie Śląskim; D Zróżnicowanie wartości Czynnika 1 w stacjach narciarskich w Tatrach i na Podhalu

Fig. 2. Differentiation of Factor 1 values at ski stations in the Polish Carpathians

A – Location of the Carpathians in Poland, 1 – West Outer Carpathians, 2 – East Outer Carpathians, 3 – Inner Carpathians; B – Differentiation in the value of Factor 1 at ski stations in the Polish Carpathians compared to mesoregions; C – Differentiation in the value of Factor 1 in the ski stations in the Silesian Beskids; D – Differentiation in the value of Factor 1 in ski stations in the Tatra Mountains and in Podhale



Ryc. 3. Zróżnicowanie wartości Czynnika 2 w stacjach narciarskich w Karpatach Polskich

A – Położenie Karpat w Polsce, 1 – Zewnętrzne Karpaty Zachodnie, 2 – Zewnętrzne Karpaty Wschodnie, 3 – Karpaty Wewnętrzne; B – Zróżnicowanie wartości Czynnika 2 w stacjach narciarskich w Karpatach Polskich na tle mezoregionów; C – Zróżnicowanie wartości Czynnika 2 w stacjach narciarskich w Beskidzie Śląskim; D – Zróżnicowanie wartości Czynnika 2 w stacjach narciarskich w Tatrach i na Podhalu

Fig. 3. Differentiation of Factor 2 values at ski stations in the Polish Carpathians

A – Location of the Carpathians in Poland, 1 – West Outer Carpathians, 2 – East Outer Carpathians, 3 – Inner Carpathians; B – Differentiation in the value of Factor 2 at ski stations in the Polish Carpathians compared to mesoregions; C – Differentiation in the value of Factor 2 in the ski stations in the Silesian Beskids; D – Differentiation in the value of Factor 2 in ski stations in the Tatra Mountains and in Podhale

Potencjalne przeobrażenie rzeźby w rejonie stacji narciarskich

Większość badanych stacji narciarskich położona jest w górach niskich, charakteryzujących się najmniejszą energią rzeźby (tab. 3). W tym obszarze stacje narciarskie wyróżniają się również największym udziałem zwartej pokrywy trawiastej w powierzchni nartostrad (tab. 2). Sytuacja ta powoduje, że oddziaływanie narciarstwa w górach niskich jest najmniej intensywne, w szczególności w wypadku stacji narciarskich o niewielkiej przepustowości.

Uzyskane wyniki wyraźnie wskazują, że stacje narciarskie położone w obszarach charakteryzujących się wysoką energią rzeźby narażone są na najintensywniejszą erozję. Ważnym elementem sprzyjającym wystąpieniu erozji jest również stopień pokrycia nartostrad roślinnością oraz przepustowość tras narciarskich wskazująca na intensywność użytkowania, mające szczególne znaczenie w obszarach niżej położonych. Wskazuje na to wartość Czynnika 1 dla stacji Kotelnica Białczańska. Warto szczególnie uwagę zwrócić na wyniki uzyskane dla stacji PKL Kasprowy Wierch. Stacja ta, mimo stosunkowo niewielkiej przepustowości charakteryzuje się drugą najwyższą wartością Czynnika 1, który wprost wskazuje na dużą podatność na erozję. Wynik ten jest efektem o wiele wyższej energetyczności obszarów wysokogórskich. Należy nadmienić, że stacja ta jest jedyną z ujętych w analizie, niewykorzystującą sztucznego naśnieżania. Wykorzystanie naśnieżania w tym obszarze doprowadziłoby do bardzo intensywnej erozji i aktywizacji procesów o dużo większej sile niszczącej niż procesy występujące w niżej położonych obszarach, przede wszystkim splotów gruzowych.

Stacje położone w obszarze średniogórskim, w wyższych partiach Beskidów, charakteryzują się wysoką podatnością na erozję wynikającą z energii rzeźby, ale w dużej mierze również z wysokiej intensywności użytkowania oraz nieciągłej pokrywy roślinnej w obszarze nartostrad. Niestety bardzo wysoka przepustowość, nieciągła pokrywa roślinna i duża energia rzeźby oraz wykorzystanie naśnieżania w najwyższym stopniu nakładają się na siebie w masywie Skrzycznego. Wyniki wskazują, że obszar stacji COS Szczyrk oraz Szczyrk Mountain Resort jest obszarem charakteryzującym się najwyższymi warunkami do wystąpienia erozji związanej z narciarstwem w całych Karpatach Polskich. Analiza procesów występujących w górach średnich wskazuje, że stacje położone w masywie Skrzycznego są najbardziej narażone na wystąpienie intensywnej erozji liniowej oraz spłukiwania a także ruchów masowych. Potencjał erozyjny w tym obszarze można zmniejszyć zwiększając udział powierzchni pokrytych zwartą roślinnością trawiastą oraz wykorzystując zabiegi prze-

ciwerozyjne takie jak okrywanie powierzchni ciętą słomą czy wykorzystanie siatek szalowych (Krzemień 1997, 2008, Fidelus-Orzechowska i in. 2017).

Trasy narciarskie w obszarze gór średnich a w szczególności gór wysokich mogą być przekształcane także przez procesy związane ze śniegiem i lodem, które działają najintensywniej w sytuacji nieciągłej pokrywy śnieżnej (Rączkowska 2007). Przy niewystarczająco miększej pokrywie śnieżnej również ratraki, poprzez niszczenie pokryw, sprzyjają wystąpieniu erozji (Łajczak 1996, Ries 1996). W literaturze przedmiotu zwraca się uwagę, że sztuczne naśnieżanie może wyeliminować ten problem (Łajczak 1996, Keller i in. 2004). Jednakże prowadzi ono do intensyfikacji erozji wodnej poprzez zmianę objętości wody na stoku oraz wydłużenie roztopów (Keller i in. 2004, Fidelus-Orzechowska i in. 2018, Wrońska-Wałach i in. 2019). Również odpowiednie poprowadzenie odwodnień tras narciarskich może prowadzić do zmniejszenia erozji w ich obszarze, jednakże intensyfikować ją poza nartostradami (Krzemień 1997, Piątek 2019, Wrońska-Wałach i in. 2019).

Należy dodać, że jednym z czynników mogących modyfikować podatność danego obszaru na erozję jest częstość występowania opadów ulewnych. W Karpatach Polskich miesięczne sumy opadów, ich rozkład w ciągu roku a przede wszystkim częstość występowania opadów ulewnych zmniejszają się z zachodu na wschód (Cebulska i Twardosz 2020, Święchowicz i in. 2021). Cebulska i Twardosz (2020) analizowali zróżnicowanie przestrzenne i częstość występowania skrajnych sum miesięcznych w Karpatach Polskich w wieloletniu 1881-2018 na 18 stacjach meteorologicznych. Na podstawie rozkładu zmiennych przyjęli jako wartości odniesienia, dwie wartości opadów, ≥ 241 mm, oraz ≥ 400 mm. Analizując te wartości, zaznacza się dużo wyższa częstość występowania opadów ulewnych w zachodniej części Karpat, w szczególności w Beskidzie Śląskim (stacja w Wiśle, opady 46 razy ≥ 241 mm, 3 razy ≥ 400 mm) oraz na Podhalu (stacja w Zakopanem, opady 54 razy ≥ 241 mm, 4 razy ≥ 400 mm). Niewielka liczba opadów skrajnych w tym wieloletniu charakteryzuje intensywnie użytkowany narciarsko Beskid Sądecki (stacja w Krynicy Zdrój, opady 8 razy ≥ 241 mm, 0 razy ≥ 400 mm). Podsumowując, podatność stacji narciarskich na wystąpienie erozji w związku z dużą częstością opadów ulewnych znacząco większa będzie w rejonie Wisły, Zakopanego oraz Szczyrku. Warto również zwrócić uwagę, iż obszar Beskidu Sądeckiego, w szczególności rejon Krynicy Zdrój cechujący się dość wysoką erozyjnością tras narciarskich, charakteryzuje się najmniejszą częstością opadów ulewnych w Beskidach.

Warto zwrócić uwagę, że większość analizowanych stacji narciarskich powstała w obszarze gęsto zaludnionym i otoczeniu dużych miast (Krzesiwo 2014). Podobna sytuacja ma miejsce w krajach wy-

sokorozwiniętych (Tsuyzaki 1994, Reis 1996, Pop, Guitton 2010). Sprzyja to rozproszeniu ruchu turystycznego co może powodować spadek liczby narciarzy i presji antropogenicznej w górach wysokich, charakteryzujących się dużą wrażliwością środowiska przyrodniczego.

Wnioski

Karpaty Polskie charakteryzują się znaczną liczbą stacji narciarskich, położonych przede wszystkim w górach niskich, więc w pobliżu dużych miast. Wskazuje to na duże zapotrzebowanie na infrastrukturę narciarską i szybki wzrost popularności sportów zimowych. W górach średnich i wysokich stacje narciarskie są nieliczne, lecz wyróżniają się dużą przepustowością i powierzchnią nartostrad, co powoduje większe oddziaływanie na środowisko przyrodnicze. Zróżnicowana energia rzeźby wpływa na intensywność erozji oraz zróżnicowanie procesów morfogenetycznych w rejonie stacji narciarskich. Stacje narciarskie położone w górach średnich charakteryzują się wysoką podatnością na erozję, która jest efektem wysokiej energii rzeźby, intensywności użytkowania tras narciarskich oraz nieciągłej pokrywy roślinnej a także intensywnego naśnieżania. Wykorzystanie sztucznego naśnieżania może powodować przyspieszenie erozji niezależnie od energii obszaru. Stoki w obrębie jedynej stacji wysokogórskiej w Karpatach Polskich, PKL Kasprowy Wierch, charakteryzują się największą energią rzeźby oraz bardzo dużym potencjałem erozyjnym, jednakże ze względu na brak naśnieżania oraz relatywnie niską przepustowość, aktualnie nie podlegają intensywnym przekształceniom. Stacje narciarskie w masywie Skrzycznego charakteryzują się najwyższą podatnością na erozję i największymi przekształceniami stoków ze wszystkich analizowanych stacji narciarskich w Karpatach Polskich. W związku z tym zabiegi rekultywacyjne mogą w znaczący sposób zmniejszyć zagrożenie erozją w obszarze tras narciarskich.

Podziękowania

Autorzy składają podziękowania recenzentom i edytorowi za wnikliwe uwagi do pierwotnej wersji artykułu. Autorzy dziękują również pracownikom Zakładu Geomorfologii Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego za prowadzone dyskusje nad wynikami badań.

Wkład autorów

Dawid Piątek: koncepcja badań, opracowanie metodyki, analizy przestrzenne, analizy statystyczne,

wizualizacja, edycja tekstu, zarządzanie projektem, Kazimierz Krzemień: koncepcja badań, edycja tekstu, Agata Gołąb: analizy przestrzenne.

Finasowanie

Badania przeprowadzone zostały w oparciu o dostępne nieodpłatnie dane publiczne z wykorzystaniem programów komercyjnych na licencji udostępnianej pracownikom Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie.

Literatura

- Baranowska-Janota M., 1978. Metoda wyznaczania terenów dla narciarstwa zjazdowego. *Człowiek i Środowisko* 2 (2): 43–51.
- Barni E., Freppaz M., Siniscalco C. 2007. Interactions between vegetation, roots and soil stability in restored high-altitude ski runs in the Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 39(1): 25–33. DOI: [10.1007/s10531-010-9808-y](https://doi.org/10.1007/s10531-010-9808-y).
- Bayfield N.G., 1996. Long-term changes in colonization of bulldozed ski pistes at Cairn Gorm, Scotland. *Journal of Applied Ecology* 33: 1359–1365.
- Bernatek-Jakiel A., Jakiel M., Krzemień K., 2017. Piping dynamics in mid-altitude mountain under a temperate climate: Bieszczady Mountains, eastern Carpathians. *Earth Surface Processes and Landforms* 42(9): 1419–1433. DOI: [10.1002/esp.4160](https://doi.org/10.1002/esp.4160).
- Bernatek-Jakiel A., Krzemień K., Jakiel M., 2016. Formy sufozyczne w Bieszczadach (Karpaty Wschodnie). *Roczniki Bieszczadzkie* 24: 249–262.
- Brunsdon D., Allison R. J., 1986. Mountains and highlands. W: P.G.Fookes, P. R.Vaughan (red.), *A Handbook of Engineering Geomorphology*. Surrey University Press, Guildford: 150–165.
- Candela R.M., 1982. Piste de ski et erosion anthropique dans les Alpes du Sud. *Méditerranée* 46(3–4): 51–55.
- Cebulska, M., Twardosz, R., 2020. Zróżnicowanie skrajnych sum miesięcznych opadów atmosferycznych w polskich Karpatach Zachodnich i ich przedpolu. *Przegląd Geofizyczny* 1-2: 55–68. DOI: [10.32045/PG-2020-004](https://doi.org/10.32045/PG-2020-004).
- Ciołkosz A., Guzik C., Luc M., Trzepacz P., 2011. Zmiany użytkowania ziemi w Karpatach Polskich w okresie 1988–2006. *IGiP UJ, Kraków*.
- David G.C.L., Bledsoe B.P., Merritt D.M., Wohl E., 2009. The impacts of ski slope development on stream channel morphology in the White River National Forest, Colorado, USA. *Geomorphology* 103: 375–388. DOI: [10.1016/j.geomorph.2008.07.003](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.07.003).
- Dobjija A., 1981. Sezonowa zmienność odpływu w zlewni górnej Wisły (po Zawichost). *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne* 53: 51–112.
- Duda E., Ziaja W., 2010. Wpływ turystyki i rekreacji na środowisko przyrodnicze i krajobraz Białki Tatrzańskiej. *Problemy Ekologii Krajobrazu* 27: 131–140.
- Dynowska I., 1995. *Wody*. W: J.Warszyńska (red.), *Karpaty. Polskie Przyroda, człowiek i jego działalność*. UJ, Kraków: 49–67.
- Elsasser H., Messerli P., 2001. The Vulnerability of the Snow Industry in the Swiss Alps. *Mountain Research and Development* 21 (4): 335–339. DOI: [10.1659/0276-4741\(2001\)021\[0335:TVOT-SI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1659/0276-4741(2001)021[0335:TVOT-SI]2.0.CO;2).
- Embleton C., Whalley W. B., 1985. Energia, siły i reakcje. W: C.Embleton, J.B.Thornes (red.), *Geomorfologia dynamiczna*, PWN, Warszawa: 26–58.
- Fidelus-Orzechowska J., Strzyżowski D., Cebulski J., Wrońska-Walach D., 2020. A Quantitative Analysis of Surface Changes on an Abandoned Forest Road in the Lejowa Valley (Tatra Mountains, Poland). *Remote Sensing*: 12(20): 3467. DOI: [10.3390/rs12203467](https://doi.org/10.3390/rs12203467).

- Fidelus-Orzechowska J., Gorczyca E., Krzemień K., 2017. Geomorfologiczne skutki gospodarki turystycznej w Tatrach. TPN, IGiGP UJ, Kraków.
- Fidelus-Orzechowska J., Wrońska-Wałach, D., Cebulski, J., Żelazny M., 2018. Effect of the construction of ski runs on changes in relief in a mountain catchment (Inner Carpathians, Southern Poland). *Science of the Total Environment* 630: 1298–1308. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.305.
- Froehlich W., Słupik J., 1986. Rola dróg w kształtowaniu splywu i erozji w karpaccich zlewniach fliszowych. *Przegląd Geograficzny* 58 (1–2): 129–160.
- Gil E., 1986. Rola użytkowania ziemi w przebiegu splywu powierzchniowego i splukiwania na stokach fliszowych. *Przegląd Geograficzny* 58(1–2): 51–65.
- Gorczyca E., 2004. Przekształcanie stoków fliszowych przez ruchy masowe podczas katastrofalnych opadów (dorzecze Łososiny). Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków.
- Gorczyca E., 2016. Rozwój górskich zwirowanych koryt rzecznych w warunkach antropopresji. IGiGP UJ, Kraków.
- Gorczyca E., Krzemień K., Wrońska-Wałach D., Boniecki M., 2014. Significance of extreme hydro-geomorphological events in the transformation of mountain valleys (Northern Slopes of the Western Tatra Range, Carpathian Mountains, Poland). *Catena* 121: 127–141. DOI: 10.1016/j.catena.2014.05.004.
- GUGiK [Główny Urząd Geodezji i Karografii], 2017. Geoportal: Ortofotomapa wysokorozdzielcza. Online: mapy.geoportal.gov.pl/imap/lmgp_2.html. (dostęp: 12.01.2022).
- GUGiK [Główny Urząd Geodezji i Karografii], 2019. Geoportal: Numeryczny Model Terenu – PL-KRON86_NH. Online: mapy.geoportal.gov.pl/imap/lmgp_2.html. (dostęp: 12.01.2022).
- GUGiK [Główny Urząd Geodezji i Karografii], 2019. Geoportal: Ortofotomapa. Online: mapy.geoportal.gov.pl/imap/lmgp_2.html. (dostęp: 12.01.2022).
- Hess, M. T. 1965. Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich. Uniwersytet Jagielloński, Kraków.
- Holden A., 1998. The use of visitor understanding in ski management and development decisions at the Cairngorm mountains Scotland. *Tourism Management* 19(2): 145–152. DOI: 10.1016/S0261-5177(97)00106-4.
- Izmałłow B., Kaszowski L., Krzemień K., Świąchowicz J. 1995. Rzeźba. W: J.Warszyńska (red.), Karpaty Polskie. Przyroda, człowiek i jego działalność. Uniwersytet Jagielloński, Kraków: 23–30.
- Kaszowski L., Kotarba A., 1985. Mapa współczesnych procesów morfogenetycznych TPN. Atlas Tatrzańskiego Parku Narodowego, Zakopane–Kraków.
- Keller T., Pielmeier C., Rixen C., Gadiant F., Gustafsson D., Stähli M., 2004. Impact of artificial snowand ski-slope grooming on snowpack properties and soil thermal regime in a sub-alpine ski area. *Annals of Glaciology* 38: 314–318. DOI: 10.3189/172756404781815310.
- Kłapa M., 1970. Problématique et méthodes de recherches de la station scientifique de l'Institut de Géographie de l'Académie Polonaise des Sciences à Hala Gąsienicowa dans les Tatras. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 4: 205–217.
- Kłapa M., 1980. Procesy morfogenetyczne i ich związek z sezonowymi zmianami pogody w otoczeniu Hali Gąsienicowej w Tatrach. *Dokumentacja Geograficzna* 4.
- Korpak J., 2007. The influence of river training on mountains channel changes (Polish Carpathians Mountains). *Geomorphology* 92: 166–181. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.07.037.
- Korpak J., Krzemień K., Radecki-Pawlik A., 2008. Wpływ czynników antropogenicznych na zmiany koryt cieków karpaccich. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich* 4.
- Kotarba A. Kaszowski L. Krzemień K., 1987. High-mountain denudational system of the Polish Tatra Mountains. *Geographical Studies, Special Issue No.3*, Wrocław.
- Kotarba A., 1976. Współczesne modelowanie węglanowych stoków wysokogórskich: na przykładzie Czerwonych Wierchów w Tatrach Zachodnich. *Prace Geograficzne, Polska Akademia Nauk*.
- Kotarba A., Starkel L., 1972. Holocene morphogenetic altitudinal zones in the Carpathians. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 6: 21–35.
- Krocak R., Fidelus-Orzechowska J., Bucala-Hrabia A., Bryndal T., 2018. Land use and land cover changes in small Carpathian catchments between the mid-19th and early 21st centuries and their record on the land surface. *Journal of Mountain Science* 15(12): 2561–2578. DOI: 10.1007/s11629-018-5095-y.
- Krzemień K., 1988. The dynamics of debris flows in the upper part of the Starorobociańska Valley (Western Tatra Mts). *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 23: 123–144.
- Krzemień K., 1997. Morfologiczne skutki gospodarki turystycznej w obszarze wysokogórskim na przykładzie masywu les Monts Dore (Francja). W: B.Domański (red.), *Geografia, człowiek, gospodarka*. IG UJ, Kraków: 277–286.
- Krzemień K., Kłapyta P., 2018. Current state of knowledge and turning points in geomorphologic studies on the present-day evolution of the Tatra Mountains. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 51–52: 107–137.
- Krzemień K., Libelt P., Mączka T., 1995. Geomorphological conditions of the timberline in the Western Tatra Mountains. *Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne* 98: 153–170.
- Krzemień K., 2008. Contemporary landform development in the Monts Dore Massif, France. *Geographia Polonica* 81(1): 67–78.
- Krzemień K., 2010. Les transformations contemporaines du relief du massif du Mont- Dore. W: D.Ricard (red.), *Développement durable des territoires: de la mobilization des acteurs aux démarches participatives*. Clermont-Ferrand: 353–378.
- Krzemień K., Gorczyca E., 2021a. Stan koryt rzek i potoków górskich w warunkach seminaturalnych i silnej antropopresji na przykładzie Karpat Polskich. W: E.Gorczyca, A.Pawlik, K.Krzemień (red.), *Procesy fluwialne a utrzymanie rzek i potoków górskich*. IGiGP UJ: 13–24.
- Krzemień K., Gorczyca E., 2021b. Główne etapy antropopresji w dnach dolin rzek i potoków karpaccich. W: E.Gorczyca, A.Pawlik, K.Krzemień (red.), *Procesy fluwialne a utrzymanie rzek i potoków górskich*. IGiGP UJ: 25–32.
- Krzesiwo K., 2014. Rozwój i funkcjonowanie stacji narciarskich w polskich Karpatach. IGiGP UJ, Kraków.
- Książkiewicz M., 1972. Budowa geologiczna Polski. T. 4, Tektonika. Cz. 3, Karpaty. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Lach J., 1984. Geomorfologiczne skutki antropopresji rolniczej w wybranych częściach Karpat i ich Pogórza. *Prace Monograficzne WSP w Krakowie* 66: 1–120.
- Łajczak A., 1996. Wpływ narciarstwa i turystyki pieszej na erozję gleby w obszarze podszczytowym Pilska. *Studia Naturae* 41: 131–159.
- Margielewski W., Świąchowicz J., Starkel L., Łajczak A., Pietrzak M., 2008. Współczesna ewolucja rzeźby Karpat fliszowych. W: L.Starkel, A.Kostrzewski, A.Kotarba, K.Krzemień (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski*. SGP, IGiGP UJ, IGiPZ PAN, Kraków: 57–133.
- Meybeck M., Green P., Vörösmarty C., 2001. A new typology for mountains and other relief classes. *Mountain research and development* 21(1): 34–45. DOI: 10.1659/0276-4741(2001)021[0034:ANTFMA]2.0.CO;2.
- Mosimann T., 1985. Geo-ecological impacts of ski piste construction on in the Swiss Alps. *Applied Geography* 5(1): 29–37. DOI: 10.1016/0143-6228(85)90004-9.
- MTiGM [Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej], 1998. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie. Dz.U. z 1998 r. nr 151, poz. 987, Dział VIII, Rozdział 2.
- Obrebska-Starkłowa B., Hess M., Olecki Z., Trepińska J., Kowanetz L., 1995. *Klimat*. W: J.Warszyńska (red.), *Karpaty Polskie*. Przyroda, człowiek i jego działalność. UJ, Kraków: 31–47.
- Oszczytko N., Ślęczka A., Żytko K. 2008. Regionalizacja tektoniczna Polski – Karpaty zewnętrzne i zapadlisko przedkarpaccie. *Przegląd Geologiczny* 56: 927–935.

- Oszczypko N., 1995. Budowa geologiczna. W: J. Warszyńska (red.), *Karpaty Polskie. Przyroda, człowiek i jego działalność*. UJ, Kraków: 15–22.
- Piątek D., 2019. Oddziaływanie inwestycji narciarskiej na przekształcanie rzeźby Pogórza Gubałowskiego. MS, Zakład Geomorfologii, IGI GP UJ.
- Pintar M., Mali B., Kraigher H., 2009. The impact of ski slopes management on Krvavec ski resort (Slovenia) on hydrological functions of soils. *Biologia* 64 (3):639–642. DOI: [10.2478/s11756-009-0101-z](https://doi.org/10.2478/s11756-009-0101-z).
- Płaczkowska E., Krzemień K., 2018. Natural conditions of coarse bedload transport in headwater catchments (Western Tatras, Poland). *Geografiska Annaler Series A Physical Geography* 100(4): 370–387. DOI: [10.1080/04353676.2018.1522957](https://doi.org/10.1080/04353676.2018.1522957).
- Pop O., Guitton M., Surdeanu V., 2009. L'erosion sur les sentiers de randonnée et leurs aménagements dans le Massif du Sancy (Massif Central Français). *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geographia* 54(2): 193–202.
- Price L.W., 1981. *Mountains & man: a study of process and environment*. University of California Press.
- Rączkowska Z., 2007. Współczesna rzeźba peryglacialna wysokich gór Europy. *Prace Geograficzne IGI PAN* 212.
- Rączkowska Z., 2008. Współczesna ewolucja rzeźby Tatr, W: L. Starkel, A. Kostrzewski, A. Kotarba, K. Krzemień (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski*. SGP, IGI GP UJ, IGI PAN, Kraków: 35–56.
- Rączkowska Z., 2021. Współczesna ewolucja rzeźby Tatr, W: A. Kostrzewski, K. Krzemień, P. Migoń, L. Starkel, M. Winowski, Z. Zwoliński (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 95–222.
- Rączkowska Z., Krzemień K., 2021. Współczesne przemiany rzeźby Tatr – uwarunkowania i tendencje. W: A. Chrobak, Z. Rączkowska, J. Szwańgrzyk, T. Zwijacz-Kozica (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a Człowiek. Zmiany w Tatrach – Zagrożenia istniejące i potencjalne*. Wydawnictwo Naukowe UJ, Kraków: 11–32.
- Ries J.B., 1996. Landscape damage by skiing at the Schauinsland in the Black Forest, Germany. *Mountain Research and Development* 16(1): 27–40. DOI: [10.1080/04353676.2018.1522957](https://doi.org/10.1080/04353676.2018.1522957).
- Ristić R., Kašanin-Grubin M., Radić B., Nikić Z., Vasiljević N., 2012. Land degradation at the Stara Planina ski resort. *Environmental Management* 49(3): 580–592. DOI: [10.1007/s00267-012-9812-y](https://doi.org/10.1007/s00267-012-9812-y).
- Roux-Fouillet P., Wipf S., Rixen Ch., 2011. Long-term impacts of ski piste management on alpine vegetation and soils. *Journal of Applied Ecology* 48(4):906–915. DOI: [10.1111/j.1365-2664.2011.01964.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01964.x).
- Ruth-Balaganskaya E., Myllynen-Malinen K., 2000. Soil nutrient status and revegetation practices of downhill skiing areas in Finnish Lapland — a case study of Mt. Ylläs. *Landscape and Urban Planning* 50(4): 259–268. DOI: [10.1016/S0169-2046\(00\)00067-0](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00067-0).
- Sibley R. G., 1982. *Ski Resort Planning and Development*. Foundation for the Technical Advancement of Local Government Engineering in Victoria, Melbourne.
- Skionline 2021. Baza stacji narciarskich. Online: <https://www.skionline.pl/stacje/polska,kraj,1.html>. (dostęp: 18.12.2021).
- Slymaker O., Embleton-Hamann C., 2009. *Mountains*. W: O. Slymaker, T. Spencer, C. Embleton-Hamann (red.), *Geomorphology and global environmental change*. Cambridge University Press.
- Stanisz A., 2007. *Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny*. StatSoft Polska, Kraków t. 1.
- Starkel L., 1960. *Rozwój rzeźby Karpat fliszowych w holocenie*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.
- Starkel L., 1972. Charakterystyka rzeźby Polskich Karpat i jej znaczenie dla gospodarki ludzkiej. *Problemy Zagospodarowania Ziemi Górskich* 10.
- Starkel L., 1986. Role of the Vistulian and Holocene in the evolution of relief of the Poland's territory. *Biuletyn Peryglacjalny* 31: 261–273.
- Starkel L., 2004. Klimatyczne czy antropogeniczne przyspieszenie obiegu wody i materii w ostatnich tysiącletniach na obszarze Polski. W: Z. Śnieszko (red.), *Zmiany środowiska geograficznego w dobie gospodarki rolno-hodowlanej*. Studia z Obszaru Polski, Katowice: 29–36.
- Starkel L., Bucala A., 2013. Postępująca recesja rolnictwa a zmiany w środowisku przyrodniczym polskich Karpat. *Przegląd Geograficzny* 85(1): 15–29.
- Święchowicz J., Margielewski W., Starkel L., Łajczak A., Pietrzak M., Krzemień K., Gorczyca E., Bucala-Hrabia A., 2021. Współczesna ewolucja rzeźby Karpat Zewnętrznych i Podhala, W: A. Kostrzewski, K. Krzemień, P. Migoń, L. Starkel, M. Winowski, Z. Zwoliński (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 95–222.
- Troll C., 1973. High Mountain belts between the polar caps and the equator: their definition and lower limit. *Arctic and Alpine Research* 5(3): 19–28.
- Tsuyuzaki S., 1994. Environmental deterioration resulting from ski-resort construction in Japan. *Environmental Conservation* 21(2): 121–125. DOI: [10.1017/S0376892900024541](https://doi.org/10.1017/S0376892900024541).
- Valde-Nowak P., 1988. *Etapy i strefy zasiedlenia Karpat polskich w neolicie i na początku epoki brązu*. Ossolineum, Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, Wrocław.
- Wipf S., Rixen C., Fischer M., Schmid B., Stoeckli V., 2005. Effects of ski piste preparation on alpine vegetation. *Journal of Applied Ecology* 42(2):306–316. DOI: [10.1111/j.1365-2664.2005.01011.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01011.x).
- Wrońska-Wałach D., Cebulski J., Fidelus-Orzechowska, J., Żelazny M., Piątek D., 2019. Impact of ski run construction on atypical channel head development. *Science of the Total Environment* 692: 791–805. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2019.07.083](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.083).
- Wrońska-Wałach D., Żelazny M., Małek S., Krakowian K., Dąbek N., 2018. Channel heads in mountain catchments subject to human impact—the Skrzyczne range in Southern Poland. *Geomorphology* 308: 190–203. DOI: [10.1016/j.geomorph.2018.02.005](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.02.005).
- Yamada S., 1999. Mountain ordering: A method for classifying mountains based on their morphometry. *Earth Surface Processes and Landforms* 24(7): 653–660. DOI: [10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199907\)24:7<653::AID-ESP984>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199907)24:7<653::AID-ESP984>3.0.CO;2-A).