

Asymetria systemów stokowych w Tatrach Wysokich w świetle analizy morfometrycznej z użyciem GIS

The asymmetry of slope systems in the High Tatra Mountains in the light of a morphometric analysis using GIS

Monika Lelen

Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie, Instytut Geografii
ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków
e-mail: lelenmonika@gmail.com

Zarys treści: Asymetria rzeźby stanowi cechę charakterystyczną środowiska wysokogórskiego, a jej występowanie uwarunkowane jest budową geologiczną i/lub warunkami klimatycznymi. Badania prowadzone dotychczas na obszarze Tatr potwierdzają występowanie tej prawidłowości, szczególnie w odniesieniu do pięter geoeologicznych tych gór. Celem badań było wykazanie asymetrii w rzeźbie stoków tatrzańskich za pomocą pomiarów morfometrycznych oraz określenie jej przyczyn w powiązaniu z intensywnością procesów peryglacjalnych w okresach glacialnym i postglacialnym. Badano stopień rozwoju systemu stokowego, na podstawie udziału powierzchni stoku piargowego w powierzchni całego systemu stokowego. Analiza morfometryczna systemów stokowych wykazała asymetrię pomiędzy systemami dwóch przeciwnych skłonów – południowego i północnego. Z 86 systemów stokowych, w których udział powierzchni stoku piargowego wynosi 42% i więcej, 60 zlokalizowano na skłonie południowym, a 24 – na północnym. Może to mieć związek ze zróżnicowaną intensywnością procesów peryglacjalnych podczas zlodowacenia plejstoceńskiego oraz w okresie postglacialnym.

Słowa kluczowe: system stokowy, stok piargowy, asymetria rzeźby, Tatry Wysokie

Abstract: Relief asymmetry is typical for the natural environment of high mountains. Its occurrence is conditioned by geological structure and/or climate. Previous studies in the Tatra Mountains have shown the occurrence of this regularity, particularly with regard to the geo-ecological zones of these mountains. This study aim was to show the asymmetry of the relief of slopes in the High Tatra Mountains as well as to specify its control factors taking into account the various intensity of periglacial processes in glacial and postglacial periods. Morphometric measurements were applied to define the level of slope development. It was calculated as a percentage of talus slope area in the total area of a slope system. The asymmetry between the northern and southern slopes of the Tatra massif was found. Among 86 slope systems with talus slopes covering 42% or more of their area, 60 are situated on the southern side of the massif, while 24 on the northern one. This may be related to the different intensity of periglacial processes during glacial and post-glacial periods, and the various rate of Pleistocene glaciers regression.

Keywords: slope system, talus slope, relief asymmetry, the High Tatra Mountains

Wprowadzenie

Jednym z kryteriów wyróżniania obszarów wysokogórskich jest współczesna lub przeszła aktywność procesów glacialnych (Troll 1972). Tatry kilkakrotnie uległy zlodowaceniowi podczas plejstocenu. Obszary objęte zlodowaceniem plejstoceniowym zostały przemodelowane przez procesy glacialne, natomiast obszary niezlodowaczone podlegały procesom peryglacialnym. Lodowce pokrywały 36% powierzchni Tatr; głównie doliny walne lub ich górne odcinki. Ślady niewielkich lodowców stwierdzono także w wierzchowej części Tatr (Zasadni, Kłapyta 2014). Pozostałe 68% powierzchni Tatr znajdowało się w strefie niepokrytej lodem. Obszar peryglacialny obejmował stoki i grzbiety wznoszące się powyżej lodowca oraz doliny reglowe i część dolin wierzchowych (Zasadni, Kłapyta 2014). Współczesna strefa klimatu peryglacialnego w Tatrach obejmuje obszary wzniesione powyżej górnej granicy lasu (Jahn 1975). Procesy tam działające związane są głównie z mrozem i śniegiem (Rączkowska 2007). Widocznym efektem działania procesów peryglacialnych są stoki piargowe (obszar akumulacji), usytuowane u podnóży ścian skalnych (obszar zasilania), z których w wyniku procesu grawitacji dostarczany jest materiał je budujący. Tak rozumiany stok piargowy i ściana skalna tworzą razem system, określony mianem systemu stokowego.

Tempo rozwoju systemu stokowego uwarunkowane jest budową geologiczną podłoża, (głównie litologią) i czynnikami klimatycznymi (Kotarba 1996, Klimaszewski 2005). Analizowany obszar obejmuje tereny o jednolitej litologii,

przyczyn zróżnicowania w rozwoju systemów stokowych należy więc upatrywać w czynnikach klimatycznych, które warunkują intensywność procesów denudacyjnych (Migoń 2006). Głównym procesem modelującym ściany skalne jest wietrzenie, które doprowadza do ich fragmentacji (Migoń 2006).

Wietrzenie to doprowadza do fragmentacji skały, a procesy grawitacyjne powodują odprowadzanie materiału zwietrzelinowego (Migoń 2006). W Tatrach Wysokich powyżej 1500 m n.p.m., dominuje wietrzenie mechaniczne, wynikające głównie ze zmian intensywności promieniowania słonecznego (Klimaszewski 1988, Kotarba 1976). Zmiana temperatury gruntu doprowadza do zamarzania i odmarzania wody w szczelinach. W tym przypadku kluczowe jest przejście temperatury przez 0°C; im większa częstotliwość tych przejść, tym wietrzenie jest bardziej intensywne (French, 2007). Takie warunki termiczne występują w Tatrach przede wszystkim jesienią i wiosną. W innych porach roku największe znaczenie ma nagrzewanie ośrodka skalnego w ciągu dnia i schładzanie nocą, bez przejścia przez temperaturę 0°C. Wówczas zmiana temperatury powoduje reakcję objętościową w minerałach tworzących skałę, co doprowadza do rozluźnienia struktury skały, powodując, że poszczególne minerały są ze sobą związane w coraz mniejszym stopniu, aż oddzielają się od siebie (Migoń 2006). Ponadto w miesiącach ciepłych, w lipcu i sierpniu (średnia roczna temperatura na szczytach wynosi wtedy 8–15°C; Hess 1965), w ciągu dnia może dochodzić do tzw. szoku termicznego, gdy np. na rozgrzane skały spadnie deszcz, powodując powstanie dużego gradientu temperatury między zewnętrzną a wewnętrzną warstwą ośrodka skalnego (Migoń 2006). O skali tego szoku decyduje stopień nagrzania skały. Wymienione reakcje skały na zmianę temperatury, spowodowane zróżnicowaniem intensywności promieniowania słonecznego, obserwuje się w Tatrach.

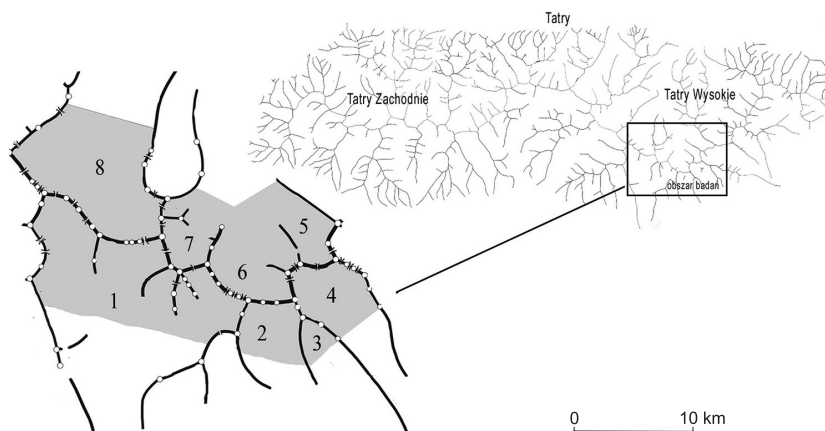
Kluczowe znaczenie w procesie dezintegracji ścian skalnych ma ekspozycja, gdyż ona decyduje o nasłonecznieniu i tempie wietrzenia. Dotychczasowe badania potwierdziły występowanie w Tatrach stoków zimnych i ciepłych w zależności od ekspozycji. A. Kotarba (1976) wykazał asymetrię tempa procesów geomorfologicznych na ścianach o ekspozycji wschodniej i zachodniej w rejonie Czerwonych Wierchów, a wg P. Plesnika (1972) występują różnice w aktywności procesów morfogenetycznych na skłonach północnych i południowych. Najbardziej uprzywilejowane termicznie są stoki zachodnie i południowe, najmniej – wschodnie i północne (Kotarba 1976; Kotarba, Krzemień 1996; Hall, Andre 2003; Plesnik 1972).

Ze względu na równoleżnikowy przebieg łańcucha Tatr, zróżnicowanie intensywności wietrzenia mechanicznego jest bardziej mozaikowe. Dwa główne ich skłony, północny i południowy, różnią się między sobą uprzywilejowaniem termicznym, wynikającym z ekspozycji. Ponadto, w obrębie każdego z nich na stokach N, S, W i E również występują dysproporcje w intensywności insolacji. Stopień rozwinięcia systemów stoków rozpatrywać należy zatem albo razem na skłonach północnym i południowym Tatr, albo w obrębie każdego z nich osobno. Porównanie stoków E i W na przeciwnych skłonach N i S wydaje się niemiarodajne. W celu zbadania wpływu ekspozycji na zróżnicowanie systemów stokowych w Tatrach autorka przeprowadziła analizę morfometryczną z użyciem GIS.

Obszar badań

Obszar badań obejmował wybrane fragmenty Tatr Wysokich, położone w górnej granicy lasu. Na skłonie północnym obszar badawczy znajdował się w obrębie walnej Doliny Białki, obejmując doliny: Rybiego Potoku, Kaczą, Ciężką i Świstową. Po stronie południowej obszar badań zlokalizowany był w obrębie trzech dolin walnych: Miękuszowieckiej, Batyżowieckiej i Wielickiej, oraz w Kotle Gerlachowskim (ryc. 1)

Budowa geologiczna badanej części Tatr jest jednolita, bo w całości zbudowana z odpornych na wietrzenie granodiorytów (Passendorfer, 1954). Rzeźba ma tu charakter glacialny, gdyż została ukształtowana przez plejstocenijskie zlodowacenia. Występują tu typowe formy glacialne, m.in. kotły i żłoby lodowcowe o skalnych zboczach. Partie szczytowe ukształtowane zostały w wyniku intensywnej działalności procesów peryglacialnych. Dolna granica obszaru badawczego pokrywa się częściowo z górną granicą lasu, a wyznacza ją minimalna wysokość bezwzględna najniższej położonej ściany skalnej systemu stokowego, objętego badaniami. Cały obszar badań obejmuje trzy piętra geokologiczne wydzielone przez A. Kotarbę (1996). Najwyższe seminiwalne leży powyżej 2150–2300 m n.p.m., gdzie średnia roczna temperatura wynosi poniżej -2°C ; dominują wietrzenie fizyczne, odpadanie, korazja, niwacja oraz procesy kriogeniczne (mrozowe). Niżej znajduje się piętro alpejskie z dolną granicą na wysokości 1670–1800 m n.p.m. W Tatrach Wysokich w obrębie tego piętra znajdują się cyrki i kotły polodowcowe oraz zespół stoków



Ryc. 1. Obszar badań

Fig. 1. Study area

Objaśnienia: 1 – Dolina Mięgoszowiecka, 2 – Dolina Batyżowiecka, 3 – Kocioł Gerlachowski, 4 – Dolina Wielicka, 5 – Dolina Świstowa, 6 – Dolina Kacza, 7 – Dolina Ciężka, 8 – Dolina Rybiego Potoku

Explanations: 1 – Mięgoszowiecka Valley, 2 – Batyżowiecka Valley, 3 – Kocioł Gerlachowski Valley, 4 – Wielicka Valley, 5 – Świstowa Valley, 6 – Kacza Valley, 7 – Ciężka Valley, 8 – Rybi Potok Valley

Źródło: opracowanie własne na podstawie mapy topograficznej M. Kunicki, T. Szczerba (1996) oraz mapy graniowej J. Balon i in. (2015).

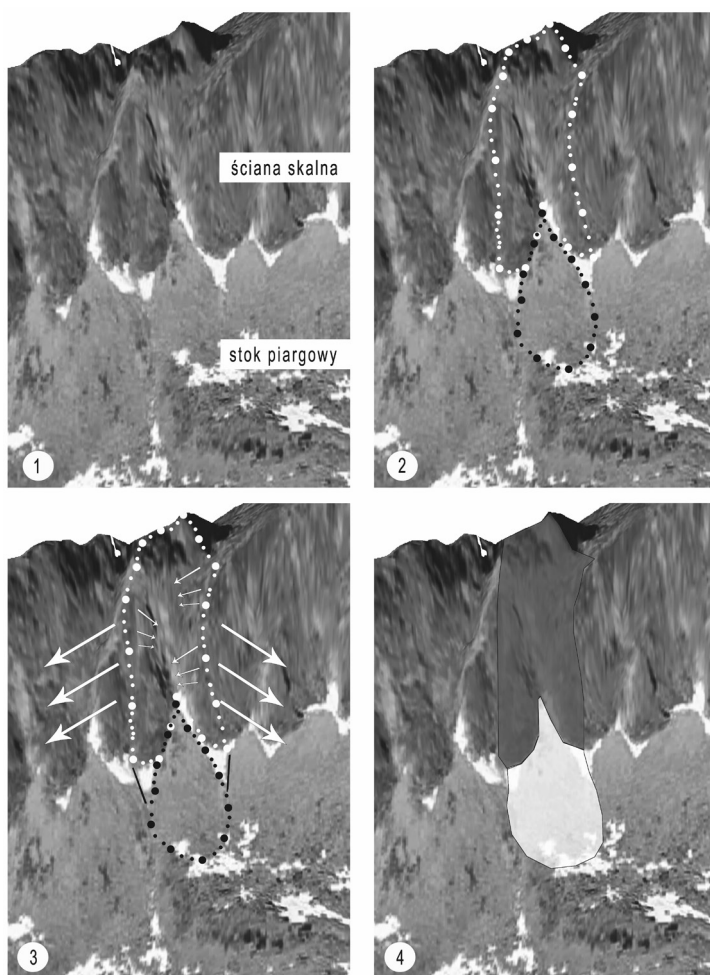
Source: author's own work, on the basis of topographic map by M. Kunicki, T. Szczerba (1996) and topographic map of J. Balon et al. (2015).

i grzbietów o mniejszych wysokościach bezwzględnych niż w piętrze seminiwalnym. Średnia roczna temperatura wynosi tam od -2°C do 0°C . Na stokach stromych dominują procesy grawitacyjne: odpadanie, zsuwanie i obrywy, a łagodnych – ślizganie mrozowe, soliflukcja i pełznięcie pokryw zwietrzelinowych (Rączkowska 2008). Granica trzeciego piętra, subalpejskiego, pokrywa się z górną granicą lasu na wysokości 1250–1550 m n.p.m. Średnia roczna temperatura wynosi tam od 0°C do 2°C , a dominującymi procesami rzeźbotwórczymi są sufozja, spływy gruzowe i depozycja eoliczna (Kotarba 1996).

Metody badań

Podstawą przeprowadzenia analizy morfometrycznej systemów stokowych było wykonanie pomiarów powierzchni ścian skalnych i stoków piargowych, przy wykorzystaniu programu Global Mapper 11. Wykorzystano NMT (numeryczny model terenu) wykonany w 2014 r., który jako pierwszy model wysokościowy obejmuje obszar całych Tatr. Wygenerowany model TIN ma rozdzielczość 10 m (Guzik i in. 2006). Dla obszaru Tatr polskich korzystano także z NMT wykonanego na podstawie skaningu laserowego LIDAR. Do analiz użyto także zdjęcia satelitarne Tatry Słowackie 2002–2003, zdjęcia satelitarne Tatry Polskie 2009 oraz aplikację Google Earth 2015. NMT opracowany na podstawie skaningu laserowego LIDAR ma dokładność 1 m. Dla obszaru Tatr Słowackich podstawą analiz był 10-metrowy NMT dla całych Tatr. Aby wykluczyć zafałszowanie wyników badań, wynikających z korzystania z dwóch różnych modeli, dokonano pomiarów tych samych powierzchni (jest to rejon grani głównej), które objęte są obydwoma modelami. Nie wykazano różnic pomiarowych w powierzchni i objętości badanego obszaru, w obydwu przypadkach uzyskując takie same wartości: powierzchnia obszaru – 0,001793 km², objętość obszaru – 179,11 m. Różnice w dokładności NMT-LIDAR są kluczowe przy badaniu mniejszych form terenu oraz w terenach pokrytych roślinnością.

Analiza morfometryczna systemów stokowych składała się z kilku etapów. Najpierw zidentyfikowano ścianę skalną i odpowiadający jej stok piargowy. Następnie wyznaczano roboczo obszar powierzchni ściany skalnej i stoku piargowego oraz analizowano wybrany teren pod kątem kierunku transferu materiału zwietrzelinowego oraz jego depozycji (ryc. 2). Prawidłowe, precyzyjne określenie obszaru systemu stokowego i jego składowych wymagało analizy zdjęć satelitarnych (z lat 2002–2003 dla Tatr Słowackich, z roku 2009 dla Tatr Polskich), zdjęć satelitarnych dostępnych w aplikacji Google Earth (2015) oraz (w miarę możliwości) dostępnych fotografii badanego obszaru. Efektem końcowym analizy kartograficznej było wyznaczenie obszaru powierzchni systemu stokowego, z zachowaniem jego podziału na dwie części. Następnie, za pomocą oprogramowania GIS, mierzone powierzchnie, określano ekspozycję, maksymalną długość, maksymalną i minimalną wysokość ściany skalnej i stoku piargowego. Ekspozycję określano na podstawie mapy ekspozycji wygenerowanej w programie Global Mapper. Następnie



Ryc. 2. Etapy analizy

Fig. 2. Analysis stages

Objaśnienia: 1 – identyfikowanie ściany skalnej i stoku piargowego, 2 – wstępny zarys obszaru ściany skalnej i stoku piargowego, 3 – weryfikacja zaznaczonego obszaru, 4 – wyznaczenie obszaru ściany skalnej i stoku piargowego

Explanations: 1 – Rock wall and talus slope identification, 2 – preliminary outline of rock wall and talus slope, 3 – verification of the selected area, 4 – delimitation of chosen rock wall and talus slope area

Źródło: opracowanie własne.

Source: author's own work.

obliczano udziały powierzchni stoku piargowego w powierzchni całego systemu stokowego. Na potrzeby dalszej analizy podzielono otrzymane wyniki na klasy, stosując za podstawę podziału ww. udział tych dwóch elementów systemu. Był on nierównomierny, dlatego przedział pierwszy (do 22%) oraz przedział ostatni (od 52 do 90% – tab. 1) są nierówne.

Tabela 1. Zestawienie analizowanych systemów stokowych

Table 1. Summary of slope system analyzed

Udział powierzchni stoku piargowego w powierzchni systemu stokowego w % Percentage of area of talus slope in the slope system area (%)	Liczba badanych systemów stokowych Number of slope system analyzed		
	Ogółem Total	Skłon południowy Southern slope	Skłon północny Northern slope
do 22	30	7	23
22–32	55	21	34
32–42	59	28	31
42–52	50	32	18
52–90	36	28	8

Źródło: opracowanie własne.

Source: author's own work.

Wyniki

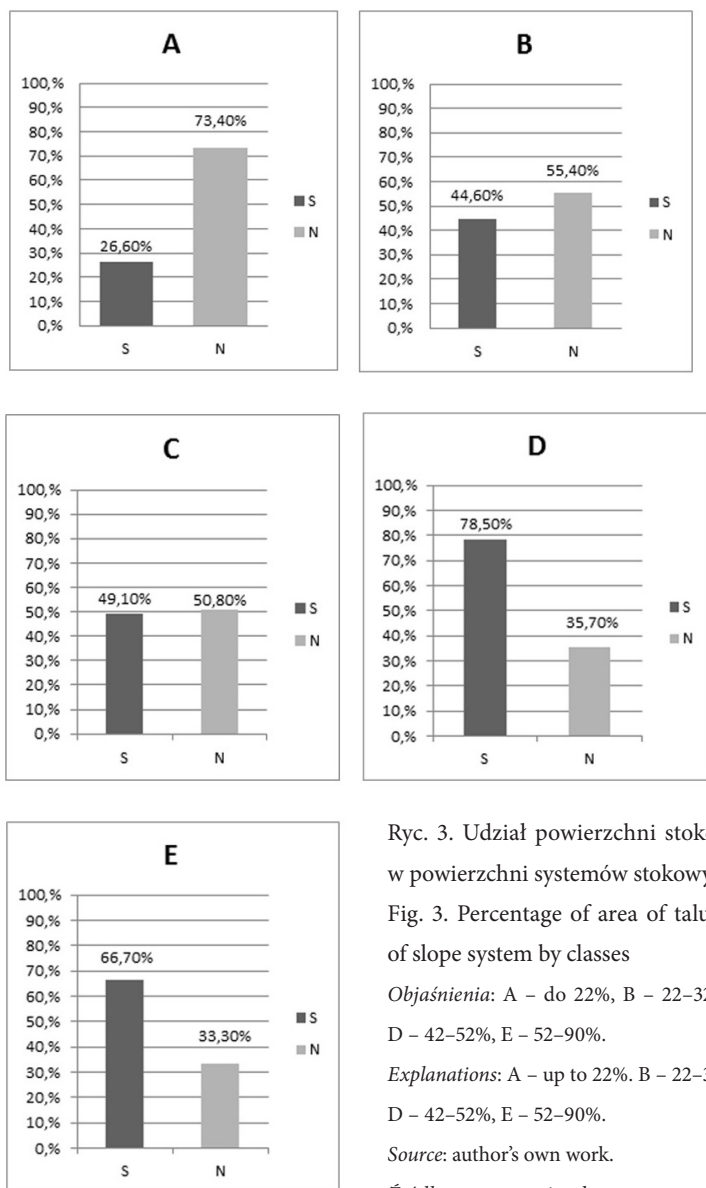
Przeanalizowano 116 systemów stokowych skłonu południowego i 114 – skłonu północnego, (łącznie 230 systemów). Udział powierzchni stoku piargowego w powierzchni systemu stokowego był podstawą do określenia stopnia rozwoju ścian skalnych. Dominacja udziału ściany skalnej w systemie stokowym świadczy o jego młodości. Analizowano też rozmieszczenie systemów stokowych w odniesieniu do ekspozycji terenu. Wyniki analizy struktury systemów stokowych,

z rozróżnieniem na przedziały wielkości udziału poszczególnych elementów systemu stokowego i ekspozycję, przedstawia tab. 1.

Udział powierzchni stoku piargowego w powierzchni całego systemu wynosi od kilkunastu do 90%, a najczęściej mieści się w przedziale 22–52% (tab. 1). W tabeli tej widoczny jest wzrost liczby systemów stokowych o ekspozycji południowej wraz ze wzrostem udziału powierzchni stoku piargowego w systemie stokowym.

Większość z analizowanych systemów stokowych z dominacją ściany skalnej nad stokiem piargowym występuje na skłonie o ekspozycji północnej. Na skłonie południowym przewagę mają zaś systemy z dominacją stoku piargowego (ryc. 3) Wśród systemów stokowych z wyraźną dominacją ścian skalnych (gdzie udział stoku piargowego wynosi 22%) 73,4% znajduje się po stronie północnej, a 26,6% – południowej. Dla systemów, gdzie stoki piargowe zawierają się w przedziale 22–32%, 55,4% stoków mieści się na skłonie północnym, zaś 44,6% – na skłonie południowym. W systemach, gdzie stoki piargowe zawierają się w przedziale 32–42%, różnica jest niewielka, bo 50,8% stanowią stoki ze strony północnej, a 49,10% z południowej. Systemy, w których stoki piargowe zawierają się w przedziale 42–52%, w 78,50% są zlokalizowane po stronie południowej masywu, a w 35,70% po stronie północnej. Natomiast systemy z udziałem powierzchni stoku piargowego w przedziale 52–90%, w 66,70% znajdują się na skłonie południowym, a 33,3% stanowią stoki znajdujące się na skłonie północnym.

Wyniki analizy morfometrycznej systemów stokowych dowodzą występowania asymetrii w ich wykształceniu w obrębie skłonów południowego i północnego Tatr Wysokich. Na 86 systemów stokowych, w których udział powierzchni stoku piargowego wynosił 42% i więcej, 60 znajdowało się po stronie południowej, a 24 – północnej. Natomiast systemów stokowych z udziałem powierzchni stoku piargowego w przedziale do 22% po stronie południowej było 7, a po stronie północnej – 23. Systemy stokowe skłonu południowego są bardziej rozwinięte niż północnego, gdyż stoki piargowe przeważają nad ścianami skalnymi. Wynika to prawdopodobnie z kontrastów radiacyjnych i ich wpływu na zróżnicowanie intensywności procesów denudacyjnych. Pierwszy etap rozwoju ścian skalnych przypadł na okres zlodowacenia plejstoceniowego, gdy powstawały pęknięcia i szczeliny w skałach położonych powyżej lodowca, natomiast rozwój stoków piargowych rozpoczął się dopiero w okresie deglacjacji. Współczesne stoki Tatr Wysokich są więc produktem



Ryc. 3. Udział powierzchni stoków piargowych w powierzchni systemów stokowych

Fig. 3. Percentage of area of talus slope in area of slope system by classes

Objaśnienia: A - do 22%, B - 22-32%, C - 32-42%, D - 42-52%, E - 52-90%.

Explanations: A - up to 22%. B - 22-32%, C - 32-42%, D - 42-52%, E - 52-90%.

Source: author's own work.

Źródło: opracowanie własne.

erozji glacialnej działającej podczas ostatniej epoki lodowej (ang. *Last Ice Age*) oraz procesów peryglacialnych, których największa intensywność przypadła na ten okres (Kotarba, Długosz 2010). Obszar powyżej lodowców nazwany został przez M. Chardona (1984) strefą „supra-periglaciaire”, która istniała w tamtym czasie. Intensywność procesów peryglacialnych w tym okresie była dużo większa niż obecnie. Rozwój stoków piargowych rozpoczął się najpierw w niższych partiach dolin, a później w cyrkach lodowych (Kotarba, Długosz 2010). Czynnikiem decydującym o rozwoju stoków było topnienie lodowca. W Dolinie Rybiego Potoku deglacjacja rozpoczęła się w 14 ka BP, natomiast lodowiec w Morskim Oku istniał jeszcze 12 ka BP (Kotarba, Baumgart-Kotarba 1999).

Uprzywilejowanie termiczne stoków południowych mogło wpływać na większą intensywność procesów dezintegracji ścian skalnych na skłonie południowym, co po okresie deglacjacji przyczyniło się do produkcji i akumulacji większej ilości materiału zwietrzelinowego w postaci stoków piargowych.

Podsumowanie

Wyniki analizy morfometrycznej systemów stokowych potwierdzają występowanie asymetrii stokowej między dwoma przeciwnymi skłonami S i N w Tatrach Wysokich. Wykluczenie czynnika litologicznego na tym obszarze jednoznacznie wiąże asymetrię z czynnikami klimatycznymi. Różnice w nasłonecznieniu stoków o różnej ekspozycji wpływają na przebieg i tempo procesów denudacyjnych. W Tatrach Wysokich powyżej górnej granicy lasu przeważają procesy peryglacialne, których intensywność uwarunkowana jest częstotliwością wahań temperatury przy gruncie. W zależności od okresu klimatycznego wahania termiczne miały mniejszy lub większy wpływ na niszczenie ośrodka skalnego. W okresie zlodowacenia plejstocenijskiego klimat mógł wpływać na zmianę intensywności procesów denudacyjnych, ale biorąc pod uwagę podobny czas deglacjacji dysproporcja w intensywności procesów wynikająca z ekspozycji powinna być stała. Dopiero okres postglacialny mógł zaburzyć równowagę w tempie rozwoju systemów stokowych na przeciwnych skłonach S i N. Istnieje duże prawdopodobieństwo, że uprzywilejowanie termiczne stoków południowych wpłynęło na szybsze tempo deglacjacji. Równoległe do ustępowania lodowców górskich rozpoczął się okres

intensywnego kształtowania rzeźby ścian skalnych i depozycji materiału zwietrzelinowego w postaci stoków piargowych.

Bibliografia

- Balon J., Jodłowski M., Krąż P., 2015, Tatry – orografia [w:] K. Dąbrowska, M. Guzik (red.), Atlas Tatr – Przyroda nieożywiona, Wydawnictwo Tatrzańskiego Parku Narodowego.
- Chardon M., 1984, *Montagne et haute montagne alpine, criteres et limites morphologiques remarquables en haute montagne*, Revue de Geographie Alpine 72, 2–3, 212–224.
- French H., 2007, *The periglacial environment*, John Wiley & Sons, Chichester.
- Guzik M., Struś P., Celer S., Borowski M., 2006, *Ortofotomapa satelitarna* [w:] A. Kotarba, W. Borowiec (red.), *Tatrzański Park Narodowy na tle innych górskich terenów chronionych*, Wyd. TPN, Zakopane, 1, 131–134.
- Hall K., Andre M.F., 2003, *Rock Thermal data at the grain scale: applicability to granular disintegration in cold environments*, Earth Surface Processes and Landforms, 28, 823–836.
- Hess M., 1965, *Piętra klimatyczne w Polskich Karpatach Zachodnich*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geograficzne, 44, 1–267.
- Jahn A., 1975, *Problems of the Periglacial Zone*, PWN, Warszawa.
- Klimaszewski M., 1988, *Rzeźba Tatr Polskich*, PWN, Warszawa.
- Klimaszewski M., 2005, *Geomorfologia*, PWN, Warszawa.
- Kotarba A., 1976, *Współczesne modelowanie węglanowych stoków wysokogórskich na przykładzie Czerwonych Wierchów w Tatrach Zachodnich*, Prace Geograficzne, 120, 1–128.
- Kotarba A., 1996, *Współczesne procesy rzeźbotwórcze* [w:] Z. Mirek (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego*, TPN, Kraków–Zakopane, 125–137.
- Kotarba A., Baumgart-Kotarba M., 1999, *Problems of glaciation of the High Tatra Mountains – Joseph Partsch synthesis in the light of current knowledge*, Zeitschrift für Geomorphologie, N.F. Suppl.-Bd, 113, 19–31.
- Kotarba A., Długosz M., 2010, *Alpine cliff evolution and debris flow activity in the High Tatra Mountains*, Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica, 44, 35–47.
- Kotarba A., Kaszowski L., Krzemień K., 1987, *High – Mountain Denudational system of the Polish Tatra Mountains*, Geographical Studies, Special Issue No. 3, Wrocław, 1–106.
- Kotarba A., Krzemień K., 1996, *Rzeźba Tatr oraz jej postglacjalna ewolucja stan*

- i perspektywy badań geomorfologicznych* [w:] Z. Mirek (red.), *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a człowiek*, TPN, Kraków – Zakopane, 46–56.
- Migoń P., 2006, *Geomorfologia*, PWN, Warszawa.
- Passendorfer E., 1954, *Jak powstały Tatry*, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.
- Plesnik P., 1972, *A contribution to the Question of the Geographical Character of European High Mountains*, *Geogr. Casop.*, 24, 2.
- Rączkowska Z., 2007, *Współczesna rzeźba peryglacialna wysokich gór Europy*, *Prace Geograficzne*, 212, 1–252.
- Rączkowska Z., 2008, *Współczesna ewolucja rzeźby Tatr* [w:] K. Krzemień (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski*, Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, IGIGP UJ, IGIPZ PAN, Kraków, 35–50.
- Troll C., 1972, *Geoecology and world-wide differentiation of high-mountain ecosystem* [w:] C. Troll (red.), *Geoecology of the high-mountain regions of Euroasia*, Wiesbaden, 1–13.
- Zasadni J., Kłapyta P., 2014, *The Tatra Mountains during the Last Glacial Maximum*, *Journal of Maps*, 10, 440–456.

