

PRACE GEOGRAFICZNE

zeszyt 173, 2023, 31–56

doi: 10.4467/20833113PG.23.020.19232

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ

Komisja Geograficzna, Polska Akademia Umiejętności

Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego

DYSTRYBUCJA SZCZYTÓW TATRZAŃSKICH P10 W ŚWIETLE TEORII PROMINENCJI I DANYCH LIDAR

Piotr Mielus

Distribution of Tatra P10 peaks in the light of the prominence theory and LIDAR data

Abstract: The prominence theory describes the rules of the classification of mountain objects. Classification refers to a prominence and a subordination of the peaks. Orographic data regarding height and watersheds allow to calculate prominence of summits, col depths, dominance ladders, and prominence cells. The aim of the article is a distribution analysis of P10 peaks (orographic prominence above 10 m) in the Tatra Mountains. The origin of the analysis are digital maps based on LIDAR data. These data are a unique source of information on the altitude difference between summits and their key saddles or the identification of watershed lines. The article is a first complex prominence research for the Tatra Mountains based on the recently released laser scanning data for the whole massif. The article consists of 5 parts: theoretical introduction, definitions and methodology of the study, results based on the data analysis, discussion and conclusions. The analysis contains three elements: estimation of the prominence distribution density function, analysis of the geographical dispersion of P10 peaks, and allocation of selected static variables to all identified objects. In such a way 1343 Tatra peaks with a prominence not smaller than 9,5 m are precisely identified.

Keywords: orographic analysis, prominence theory, LIDAR data, prominent peaks

Zarys treści: Teoria prominencji opisuje zasady klasyfikowania obiektów górskich pod kątem ich wybitności oraz przyporządkowania. Na podstawie danych orograficznych dotyczących

wysokości oraz układu wododziałów ustala się stopień wybitności szczytów, głębokość przełęcz czy oraz przyporządkowuje się szczyty do odpowiednich obszarów dominacji promineneynej. Celem artykułu jest analiza dystrybucji szczytów P10 (a więc o wybitności na poziomie co najmniej 10 m) na przykładzie masywu tatrzańkiego. Podstawą analizy są mapy cyfrowe bazujące na danych LIDAR, które stanowią unikalne źródło informacji o precyzyjnych deniwelacjach pomiędzy wierzchołkami a ich przełęczami promineneynymi oraz o układzie linii wododziałowych. Artykuł stanowi pierwszą w literaturze kompleksową analizę promineney dla całych Tatr na podstawie upublicznionych danych ze skaningu laserowego. Artykuł składa się z pięciu części: wprowadzenia teoretycznego, definicji i metody badania, wyników na bazie analizy danych, dyskusji oraz podsumowania. Analiza danych obejmuje trzy elementy: wyznaczenie funkcji gęstości rozkładu wybitności w populacji, analizę dyspersji geograficznej punktów o odpowiedniej wybitności oraz przypisanie wybranych zmiennych statycznych do każdego znalezionej punktu. W ten sposób zidentyfikowano 1343 obiekty o minimalnej deniwelacji względnej równiej co najmniej 9,5 m.

Słowa kluczowe: analiza orograficzna, teoria promineney, dane LIDAR, szczyty wybitne

Wprowadzenie

Teoria promineney określa stopień wybitności szczytów umożliwiając odpowiednią klasyfikację wierzchołków. Miarą promineney jest tzw. minimalna deniwelacja względna (MDW), która określa stopień wyniesienia danego szczytu nad otaczający go teren. MDW jest miarą „samodzielnosci” szczytów i pozwala oddzielić szczyty główne (wybitne) od pobocznych (niewybitne).

Historia teorii promineney sięga XIX wieku (Munro 1891) i była wykorzystywana do wyznaczania list samodzielnych szczytów w Alpach (Goedke 1991), Wielkiej Brytanii (Dawson 1992) oraz w Stanach Zjednoczonych (Helman 2005). W Karpatach badania promineneyjne prowadzono w Rumunii (Bica 2019, 2021) oraz w Polsce (Mielus 1998, 2005, 2021).

Przy identyfikacji i wyznaczeniu wybitności szczytów stosuje się dane cyfrowe opisujące numeryczny model terenu (Kirmse, de Ferranti 2017; Torres i in. 2018; Kong i in. 2021). Sama teoria promineney ma również zastosowanie przy analizie danych innych niż orograficzne (np. w archeologii: Llobera 2001; analizie dystrybucji informacji: Schmidt, Stumme 2018; Nelson, McKeon 2019; badaniach demograficznych: Stubbemann i in. 2020).

Stopień wybitności, dzięki jednoznacznemu zdefiniowaniu tego pojęcia, jest miarą obiektywną (podobnie jak wysokość nad poziomem morza). Subiektywne jest jednak przyjęcie poziomu tzw. wybitności granicznej, a więc takiej która oddziela szczyty wybitne od niewybitnych. We wspomnianej literaturze występuje kilka poziomów wybitności granicznej. Ich poziom zależy od zakresu geograficznego badania oraz lokalnych uwarunkowań. W przypadku badania szczytów w skali globalnej, przyjmuje się poziom 1500 m, który wyznacza listę tzw. ultras. Dla krajów stosujących

miary angielskie popularne są wartości graniczne 500 lub 100 stóp. W przypadku list lokalnych (dla poszczególnych krajów lub masywów górskich) najczęstszym limitem jest 100 m. Lista szczytów o MDW nie mniejszym od 100 m określana jest jako HuMP (ang. *hundred meter prominence*), a same szczyty są oznaczane jako P100. Dla szczegółowych analiz stosuje się kryterium 10 m, które pozwala określić zbiór istotnych punktów P10 występujących na danym obszarze. To ostatnie kryterium może być zastosowane dla Tatr i będzie ono podstawą tego opracowania.

Tatry są górami bardzo dokładnie poznanymi i szczegółowo opisanymi. Równocześnie Tatry charakteryzują się niezwykłym bogactwem rzeźby, czego wynikiem jest występowanie licznych obiektów o charakterze turni lub kopek. Autor na podstawie analizy map LIDAR zinwentaryzował wszystkie 1343 obiekty P10 znajdujące się w granicach Tatr. Większość z tych punktów (ok. 75%) została zweryfikowana w ramach prac terenowych. Analiza toponomastyczna wykazała, że aż 36% zidentyfikowanych obiektów nie jest nazwanych. Co więcej, duża liczba tych wzniesień nie była nigdy wzmiankowana w literaturze. Świadczy to o istotnej wartości dodanej skaningu laserowego w poznaniu nawet tak znakomicie opisanego masywu górskiego, jakim są Tatry.

Definicje i metoda badania

Przedmiotem badania jest analiza rozmieszczenia szczytów spełniających określone kryteria na danym obszarze geograficznym. W celu przeprowadzenia badania niezbędna jest identyfikacja szczytów pod względem ich koordynatów, wysokości nad poziomem morza oraz stopnia wybitności. Za miarę wybitności przyjęto współczynnik MDW (minimalna deniwelacja względna) liczony jako różnica pomiędzy wysokością szczytu a wysokością jego przełęczy prominencyjnej. Przełęczą prominencyjną jest najwyższa spośród przełęczy oddzielających dany szczyt od terenu wyższego od niego. Przełęcze identyfikowane są na działach wód jako najniższe punkty pomiędzy danym szczytem a terenem wyższym od niego. Zachodzi zatem równanie:

$$MDW = H_s - H_p$$

gdzie:

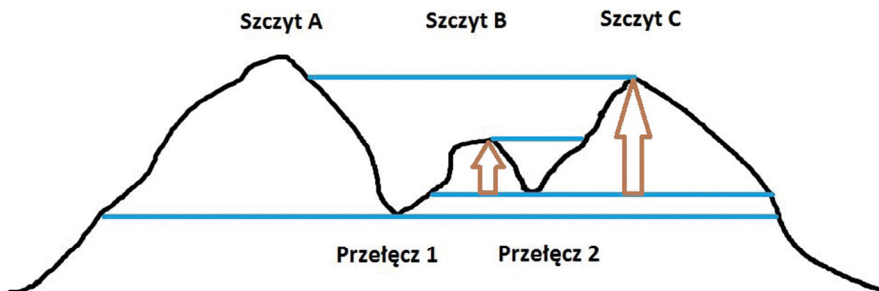
H_s – wysokość badanego szczytu

H_p – wysokość przełęczy prominencyjnej dla danego szczytu

Kirmse i de Ferranti (2017) definiują opisaną powyżej wybitność na dwa sposoby:

1. Minimalna różnica wysokości, którą trzeba pokonać w dół z badanego szczytu, aby dojść do terenu wyższego od niego.
2. Różnica wysokości pomiędzy wysokością szczytu a wysokością najniższej linii poziomicowej obejmującej ten szczyt i nie zawierającej żadnego wyższego punktu.

Przykład wyznaczenia stopnia wybitności przedstawia ryc. 1. Zaznaczono na niej trzy szczyty leżące w jednej grani: A, B i C, z których A jest najwyższy, a B najniższy. Pomiędzy szczytami znajdują się dwie przełęcze: nr 1 między A i B oraz nr 2 pomiędzy B i C. Przełęcz 2 jest wyższa niż przełęcz 1. W związku z tym przełęczą prominenyjną dla szczytu B jest przełęcz 2 a dla szczytu C – przełęcz 1. Strzałkami oznaczono różnicę wysokości pomiędzy szczytem a jego przełęczą prominenyjną, czyli wielkość MDW. Szczyt C jest bardziej wybitny niż szczyt B. Z kolei, szczyt A nie ma wyznaczonej wybitności, ponieważ musielibyśmy określić teren wyższy od niego, a ten znajduje się poza obszarem badania.



Ryc. 1. Ilustracja przełęczy prominenyjnych dla wybranych szczytów

Fig. 1. Illustration of key cols for selected peaks

Źródło: opracowanie własne. / Source: own elaboration.

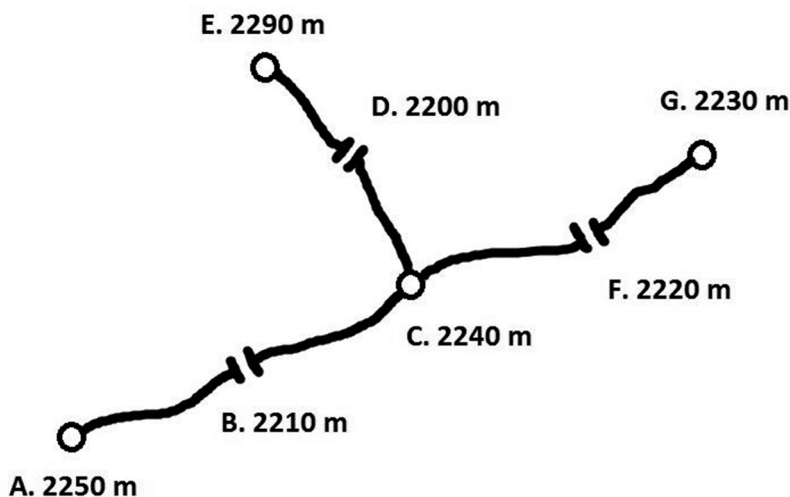
Warto zaznaczyć, że kulminacja wyspy ma MDW równe wysokości tego szczytu. Np. Mt. Everest (jako kulminacja „wyspy” składającej się z Eurazji i Afryki) oraz Aconcagua (jako najwyższy punkt obu Ameryk) mają MDW równe ich wysokościom.

MDW jest najmniejszą możliwą deniwelacją, którą musimy pokonać chcąc wejść na dany wierzchołek startując z terenu wyższego od niego. Jeśli będziemy poruszać się grzbietem (linią wododziałową), trafimy na przełęcz prominenyjną, która wyznacza stopień wybitności danego szczytu. W sytuacji, kiedy dany szczyt jest połączony różnymi grzbietami z kilkoma innymi szczytami wyższymi od niego, wybieramy ten grzbiet, w którym najniższe obniżenie jest najwyższe. Taką sytuację ilustruje ryc. 2.

Na rysunku zaznaczono cztery szczyty oznaczone literami A, C, E i G oraz trzy przełęcze oznaczone literami B, D i F. Szczyt C jest zwornikiem i jego wybitność określa przełęcz B, ponieważ:

- (i) oddziela szczyt C od wyższego terenu (szczytu A),
- (ii) jest wyższa niż przełęcz D, która również oddziela szczyt C od wyższego terenu (szczytu E).

W związku z powyższym MDW szczytu C wynosi 30 metrów (2240–2210).



Ryc. 2. Ilustracja układu grani z przełęczami prominencyjnymi

Fig. 2. Illustration of the ridge system with key cols

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

Oprócz samego pojęcia prominencji jako miary wybitności (samodzielnności) szczytu, stosuje się pojęcia dodatkowe, które pozwalają uporządkować sieć szczytów znajdujących się w danym paśmie górskim. Te pojęcia to: komórka prominencyjna i szczyt dominujący.

Komórką prominencyjną (ang. *prominence cell*) jest obszar dominacji szczytu o odpowiednim poziomie wybitności ograniczony przełęczami i dnami dolin od innych komórek prominencyjnych. W danej komórce prominencyjnej może znajdować się tylko jeden szczyt o określonym minimalnym poziomie wybitności. Obszar prominencyjny zawiera się w wyznaczonych *a priori* granicach masywu, który badamy. W związku z tym, dla większości komórek prominencyjnych dla szczytów P100 w Tatrach fragmentem ich granicy jest granica Tatr (za wyjątkiem szczytów leżących w głębi masywu). Granica komórki prominencyjnej może (ale nie musi) przebiegać przez przełęcz prominencyjną danego szczytu.

Szczytem dominującym dla szczytu X (ang. *prominence parent*) jest szczyt o większej wysokości i większej wybitności od szczytu X znajdujący się najbliżej od przełęczy prominencyjnej po jego przeciwnej stronie (podążając wzdłuż wododziałów). Na przykład dla Babiej Góry szczytem dominującym jest Gerlach, a dla Gerlacha – Mt. Blanc. Każdy szczyt (poza kulminacją wyspy) posiada swój szczyt dominujący

(podobnie jak każdy szczyt, oprócz kulminacji wyspy, posiada „swoją” przełęcz prominenyjną).

Źródłem danych w opracowaniu są mapy LIDAR oparte o skaning laserowy przetworzone w aplikacji Global Mapper. Wykorzystano dane z dwóch źródeł:

- Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (obecnie Główny Urząd Geodezji i Kartografii) – dane pozyskane w czerwcu 2014 r. dla obszaru Tatr Polskich (bez rejonu Mięguszowieckiego Szczytu Wielkiego, który jest dostępny w danych słowackich);
- Geodetický a kartografický ústav – dane pozyskane w październiku 2019 r. dla obszaru Tatr Słowackich (bez rejonu nad Tatrzańską Leśną i bez północnego zbocza Tokarni).

Dane pozyskano w formacie ASC, który zawierał numeryczny model terenu typu DTM (ang. *digital terrain model*). Następnie dokonano weryfikacji otrzymanych wyników za pomocą plików LAS obejmujących chmurę punktów (ang. *point cloud*)¹. Weryfikacja polegała na sprawdzeniu odpowiedniej interpretacji warstw gruntu przez automatyczny algorytm tworzący model DTM. Sprawdzenie obejmowało przede wszystkim punkty o poziomie wybitności między 8 a 12 m, a więc wokół minimalnego poziomu wybitności przyjętego w badaniu. Weryfikacja wykazała wysoki poziom spójności pomiarów dla 94% obiektów. Oznacza to, że dla 85 obiektów (na 1343 w bazie, co stanowi 6%) pomiar MDW musiał zostać skorygowany na podstawie chmury punktów.

Dane poddano kalibracji w aplikacji Global Mapper przyjmując następujące ustawienia (tab. 1):

Tab. 1. Wybrane odwzorowanie i układ współrzędnych dla danych polskich i słowackich
Table 1. Selected projection and datum for Polish and Slovak LIDAR data

Państwo / Country	Odwzorowanie / Projection	Układ współrzędnych Datum
Polska / Poland	Poland 1992/19	WGS84
Słowacja / Slovakia	Krovak/UTM	S-JTSK/ETRS89

Źródło: opracowanie własne. / Source: own elaboration.

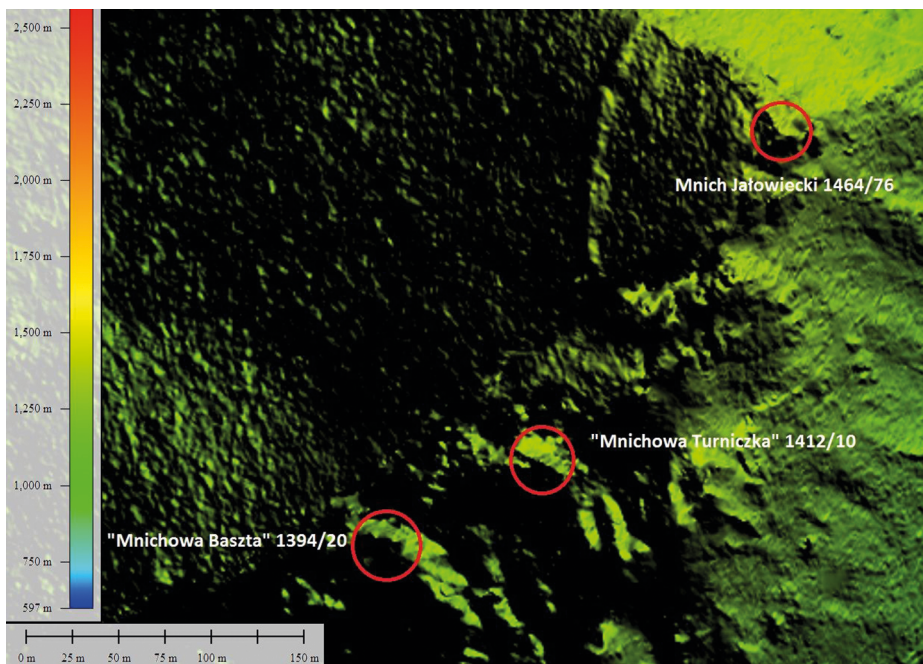
Konwersja ustawień słowackich jest niezbędna dla korekty koordynat o 1,9 sekundy względem szerokości i 6,4 sekundy względem długości geograficznej. W ten sposób uzyskano spójną bazę danych dla całego obszaru Tatr.

¹ Autor składa w tym miejscu podziękowania członkom zespołu badawczego. Jednorodny cyfrowy model terenu dla obszaru całych Tatr został przygotowany przez pana Michała Polańskiego, natomiast weryfikacja na podstawie chmury punktów została przeprowadzona przez pana Rafała Kozubka.

W badaniu przyjęto poziom MDW równy 3 m jako graniczny dla zapisania obiektu w bazie danych. Obiekty o odpowiedniej prominencji zostały zidentyfikowane manualnie na podstawie poziomicy poprowadzonych co 1 metr. Wysokość zidentyfikowanych obiektów i przełęczy odczytano z dokładnością do 0,01 m, natomiast położenie z dokładnością do 0,0001". Następnie przyjęto dokładność zapisu wysokości równą 0,1 m a położenia na poziomie 1" kątowej. Na podstawie zebranego zbioru punktów utworzono bazę danych z wartością odcięcia wybitności na poziomie 9,5 m. Obiekty o wybitności bliskiej wartości odcięcia zostały zweryfikowane na podstawie chmury punktów. W ten sposób otrzymano bazę zawierającą z bardzo wysokim prawdopodobieństwem kompletną listę obiektów P10.

Jako obszar badania przyjęto tzw. klasyczną granicę Tatr (a więc spójny orograficznie obszar znajdujący się pomiędzy przełęczami Huciańską i Zdziarską) określony w Radwańska-Paryska, Paryski (1995). Do analiz porównawczych wykorzystano również współczesny podział Tatr (Balon i in., 2015).

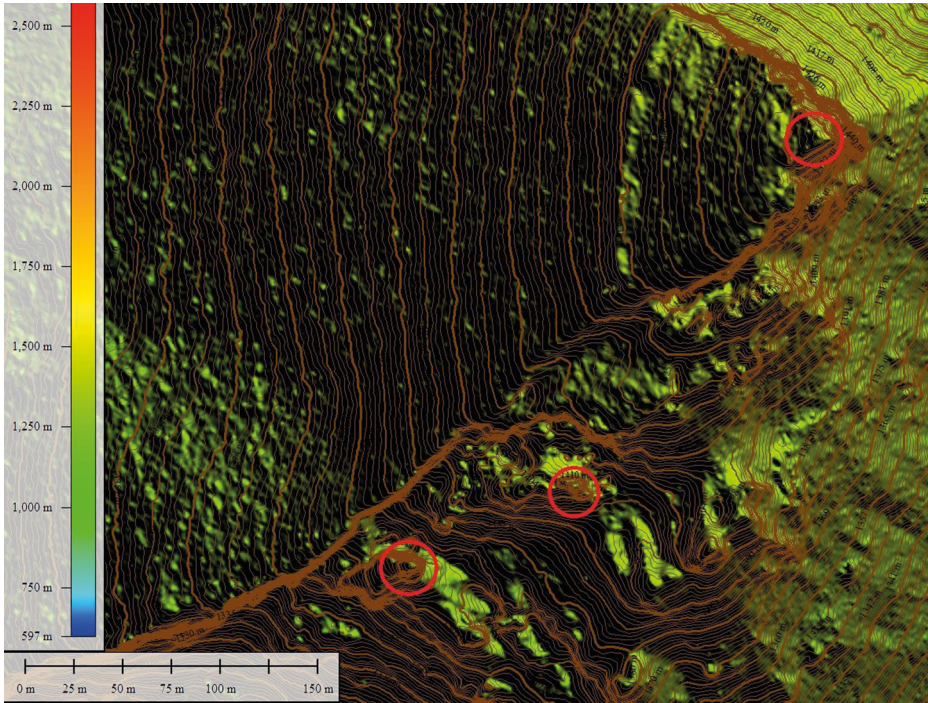
Proces manualnej identyfikacji szczytów na mapie LIDAR przedstawiają ryciny 3–5. Dla przykładu wybrano rejon Mnicha Jałowieckiego w Tatrach Zachodnich.



Ryc. 3. Oryginalna mapa LIDAR ze zidentyfikowanymi szczytami P10

Fig. 3. Original LIDAR map with unidentified P10 peaks

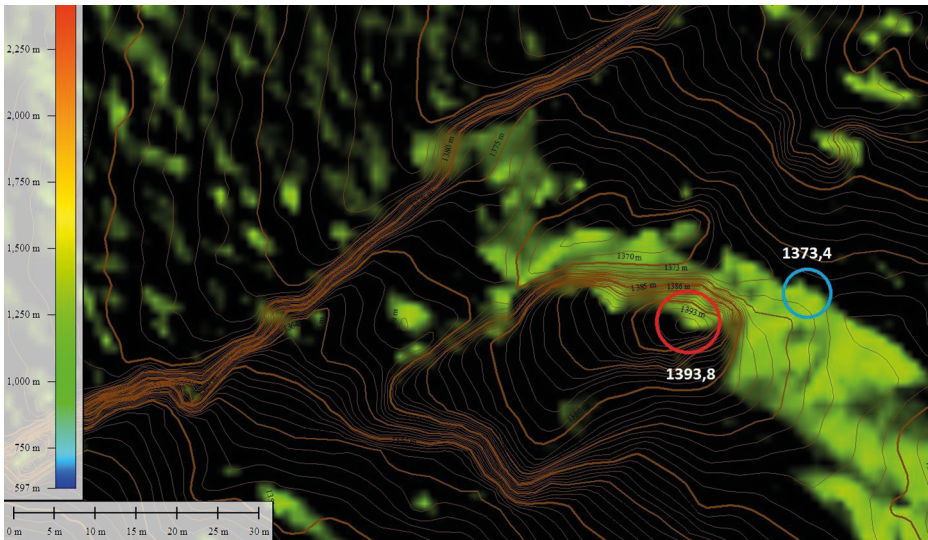
Źródło: opracowanie własne na bazie mapy LIDAR. / Source: own elaboration based on LIDAR map.



Ryc. 4. Mapa LIDAR z poziomiami co 1 m ze zidentyfikowanymi szczytami P10

Fig. 4. LIDAR map with 1 m contours with unidentified P10 peaks

Źródło: opracowanie własne na bazie mapy LIDAR. / Source: own elaboration based on LIDAR map.



Na ryc. 3 przedstawiono surowy obraz danych ze skaningu laserowego z trzema znanymi obiektami P10. Na ryc. 4 zaprezentowano ten sam teren z naniesionymi poziomiami, które umożliwiają odszukanie form wypukłych w terenie zobrazowanym przez mapę cyfrową. Ryc. 5 pokazuje identyfikację MDW konkretnej turni (roboczy oronim Mnichowa Baszta). Różnica pomiędzy wysokością turni (1393,8 m) oraz wysokością znalezionej przełęczy prominenencyjnej (1373,4 m) pozwala nam wyznaczyć współczynnik MDW, który wynosi 20,4 m. Obiekt zostaje więc oznaczony jako 1394/20 (wysokość i MDW po zaokrągleniu do pełnych metrów).

Otrzymany zbiór punktów liczy 5676 obserwacji, z czego 1343 obiekty zostały ostatecznie zaklasyfikowane jako P10. Ze względu na przyjęty poziom graniczny MDW 9,5 m, lista ta jest nieco szersza niż przy odcięciu na poziomie 10,0 (ta druga liczy 1249 obiektów). Autor przyjął jednak kryterium rozszerzające mając na uwadze możliwe błędy przy odczycie i interpretacji danych. Celem nie było ustalenie dokładnej listy szczytów o określonej prominencji, ale wszystkich obiektów, które mogą fizycznie wykazywać graniczny poziom wybitności.

Analiza danych – wyniki

Analiza uzyskanej bazy danych obejmuje następujące elementy:

1. Funkcja gęstości rozkładu wybitności w populacji.
2. Położenie geograficzne punktów o odpowiedniej wybitności.
3. Przypisanie określonych zmiennych statycznych do każdego obiektu.

Rozkład wybitności w badanej populacji

Zebrane punkty P10 posortowano wg współczynnika MDW i zbadano jego rozkład w badanej populacji (a więc zależność liczby szczytów od wybranego poziomu minimalnej wybitności).

Poniższa rycina 6 przedstawia zależność pomiędzy skumulowaną liczbą obserwacji (oś OY) a poziomem MDW (oś OX) dla punktów uznanych za P10.

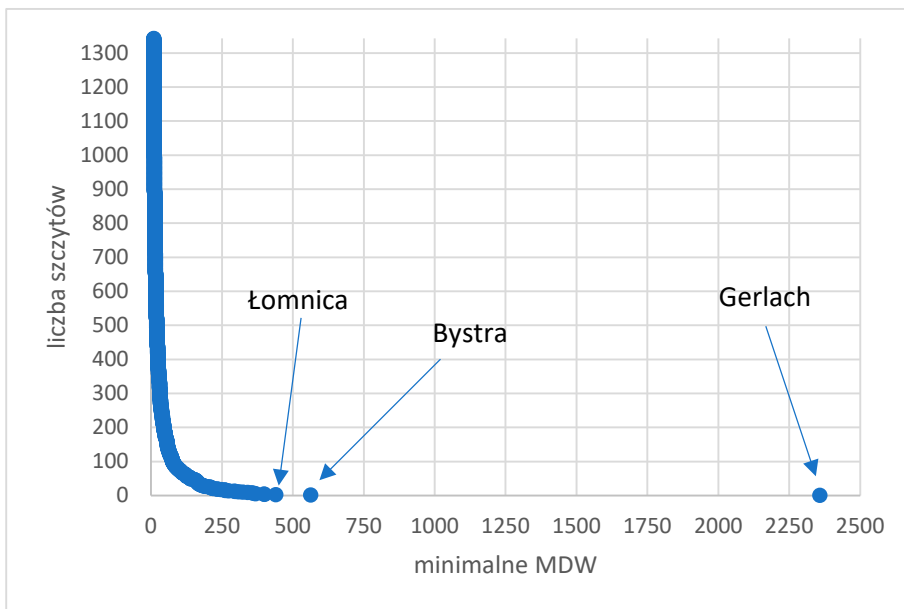


Ryc. 5. Identyfikacja szczytu P10 i pomiar prominenencyjny na mapie LIDAR

Fig. 5. Identification of P10 peak and the prominence measurement on the LIDAR map

Źródło: opracowanie własne na bazie mapy LIDAR.

Source: own elaboration based on LIDAR map.



Ryc. 6. Rozkład liczby szczytów w Tatrach od poziomu ich wybitności (pow. 10 m)

Fig. 6. Distribution of the quantity of peaks in the Tatra Mountains based on their prominence (over 10 m)

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

Na wykresie widać, że istnieje jeden szczyt typu ultras (MDW równe 2358 m) – jest to najwyższy szczyt Tatr, Gerlach oraz jeszcze jeden szczyt o MDW większym niż 500 m (MDW równe 564 m) – Bystra (najwyższy szczyt Tatr Zachodnich). Na osi OX łączna liczba sklasyfikowanych punktów wynosi 1343.

Funkcja zależności wybitności szczytów od ich liczby jest naturalnie malejąca (wybitnych szczytów jest stosunkowo mało). Obniżanie kryterium minimalnej akceptowalnej wybitności zwiększa liczbę szczytów w sposób nieliniowy. Estymacja funkcji przynosi różne wyniki w zależności od przyjętych kryteriów z powodu innej dynamiki rozkładu w obszarze bardzo niskich oraz bardzo wysokich wybitności. Ze względu na niewielką liczbę szczytów o wysokiej wybitności, estymacja funkcji w oparciu o te obserwacje zniekształca obraz zależności wybitności dla niskich poziomów MDW. Autor przyjął więc estymację z wyłączeniem wybitności powyżej 200 m (takich obiektów jest w Tatrach 42). Celem kalibracji zakresu wybitności branych pod uwagę przy estymacji parametrów funkcji była maksymalizacja poziomu dobroci

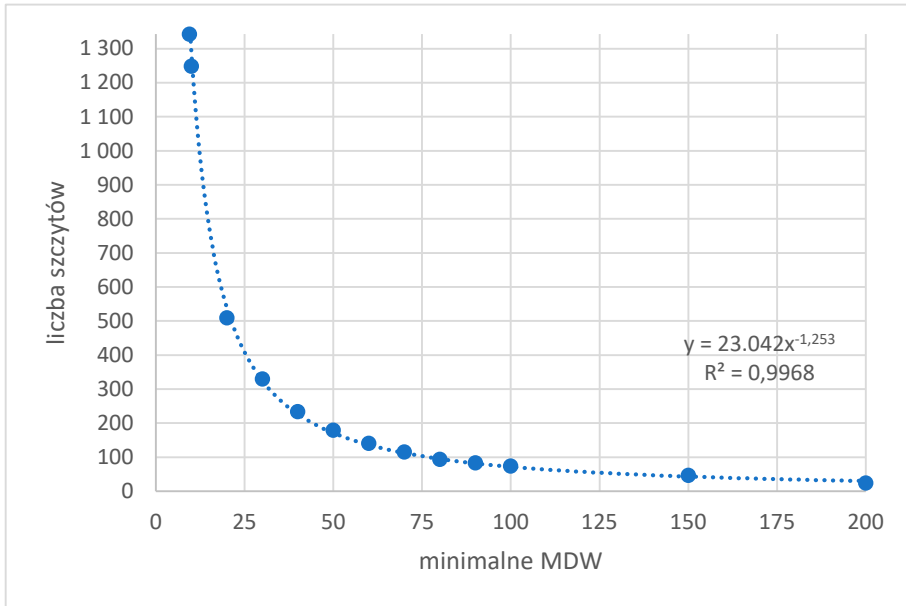
modelu oraz minimalizacja błędu w zakresie bliskim P100. Przy tych założeniach otrzymano następującą funkcję:

$$N = 23.042 * MDW^{-1,253}$$

$$R2 = 0,9968$$

Funkcja zależności liczby szczytów od poziomu ich wybitności została przedstawiona na rycinie 7.

Funkcja ta dość dobrze prognozuje poziomy wybitności poniżej zakresu estymacji (10 m–200 m). Błąd dla oczekiwanej liczby punktów P5 oraz P3 nie przekraczał 2%. Większe błędy odnotowano dla wysokich wybitności (funkcja zawyża ich liczbę o kilkadziesiąt procent). Z punktu widzenia użyteczności, ważniejsza jest prognoza obiektów o niższym poziomie wybitności, które są trudniejsze w identyfikacji i badaniu.



Ryc. 7. Funkcja zależności liczby szczytów w Tatrach od poziomu ich wybitności (MDW do 200 m)

Fig. 7. Function of dependence of the quantity of peaks in the Tatra Mountains based on their prominence (prominence up to 200 m)

Źródło: opracowanie własne.

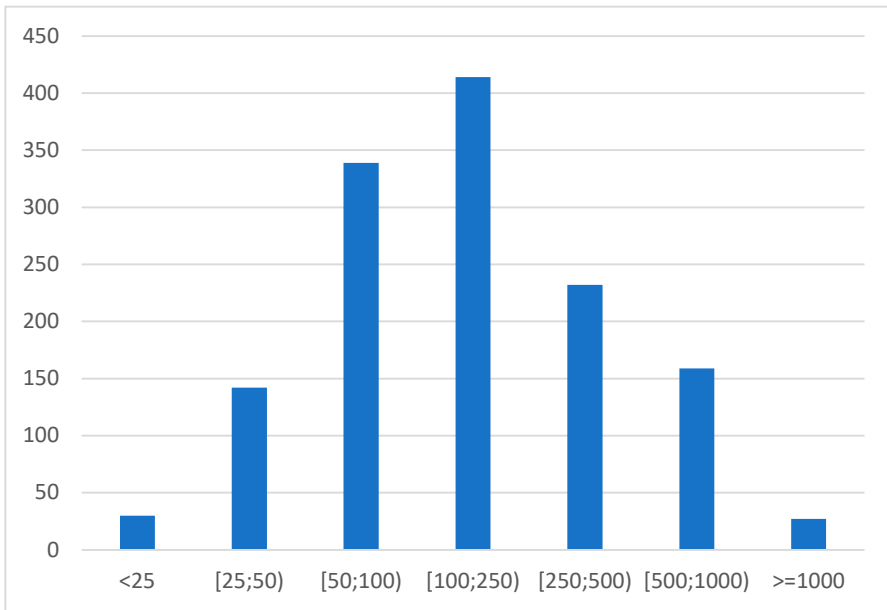
Source: own elaboration.

Położenie geograficzne punktów o odpowiedniej wybitności

Badanie położenia punktów P10 przeprowadzono na kilka sposobów:

1. zbadano rozkład odległości pomiędzy badanymi obiektami;
2. punkty P10 przyporządkowano do odpowiednich komórek promienicyjnych wyznaczonych przez szczyty P100;
3. określono położenie wszystkich punktów P10 względem głównej grani masywu;
4. alokowano poszczególne punkty P10 na części Tatr, w tym uwzględniając najnowszy podział na mezoregiony.

Na podstawie położenia geograficznego 1343 punktów P10 oszacowano wszystkie odległości pomiędzy nimi. W ten sposób ustalono punkty P10 najbliższe od badanego obiektu. Następnie posortowano punkty P10 według kryterium ich minimalnej odległości od innego punktu P10. Rozkład tych odległości został przedstawiony na rycinie 8.



Ryc. 8. Rozkład minimalnej odległości pomiędzy punktami P10

Fig. 8. Distribution of the minimal distance between P10 points

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

Odległość od innego punktu P10 zawiera się w przedziale pomiędzy 25 m a 1 km dla 96% punktów P10, a w węższym przedziale pomiędzy 50 a 500 m dla 73% badanych obiektów. Zwraca uwagę spora różnica pomiędzy średnią a medianą – ta pierwsza wynosi 241 m, ta druga 136 m. Wynika ona z dużej koncentracji obiektów o niskim oddaleniu oraz niemałej liczbie obserwacji bardzo odległych od innych punktów P10.

Najbliżej siebie są bliźniacze turniczki, których wierzchołki odległe są o kilkanaście metrów. Najmniejszą odległość odnotowano dla wierzchołków: tzw. Kocich Lalek (rejon Kocich Skał w Osobitej) – 9,1 m; dla Igły Republiki i tzw. Turni pod Dziadulą w masywie Pośredniej Grani nad Doliną Małej Zimnej Wody – 9,7 m oraz dla Zadniego Słupa i tzw. Słupa nad Oknem w Zameczkach – 10,1 m. Najbardziej odległe od innych punktów P10 są wzgórza położone blisko południowej granicy Tatr: tzw. Bula przed Kamienistą (rejon wylotu Doliny Kamienistej) – 2,91 km; Raki-towiec (rejon wylotu Doliny Furkotnej) 2,38 km oraz Keczka Przybylińska 2,36 km.

W kolejnej analizie rozmieszczenia punktów P10, obszar Tatr podzielono na 74 komórki prominencyjne bazujące na sieci szczytów P100. Tatrzańskie szczyty o MDW nie mniejszym od 100 m zaprezentowano na ryc. 10 (w załączniku, z legendą w tabeli 6 tamże).

Każdy obiekt P10 może być przyporządkowany jednoznacznie do komórki prominencyjnej szczytu P100. Komórki prominencyjne P100 w Tatrach zawierają od 1 do 81 obiektów P10. Zróżnicowanie alokacji geograficznej P10 jest więc bardzo wysokie. Liczbę P10 przyporządkowaną do poszczególnych komórek prominencyjnych przedstawia tabela 7 (w załączniku).

Następne badanie dotyczy umiejscowienia punktów P10 względem głównej grani masywu. Każdy obiekt może znajdować się na północ, na południe lub na linii Grani Głównej Tatr. Liczbę i udział szczytów wg tego kryterium prezentuje tabela 2.

Tab. 2. Położenie punktów P10 w Tatrach względem grani głównej (GGT)

Table 2. Location of P10 peaks in the Tatra Mountains in relation to the main ridge (GGT)

Położenie Location	Liczba punktów P10 Quantity of P10 points	Udział punktów P10 Contribution of P10 points
Na północ od GGT North of GGT	666	50%
Na linii GGT On the GGT line	179	13%
Na południe od GGT South of GGT	498	37%

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

Ostatnią analizą położenia było przyporządkowanie punktów P10 do poszczególnych części Tatr. Mając na uwadze różne klasyfikacje, porównano alokację szczytów dla podziału tradycyjnego w literaturze polskiej (Radwańska-Paryska, Paryski 1995) oraz współczesnego (Balon i in. 2015). Wyniki prezentują tabele 3a i 3b.

Tab. 3a. Alokacja szczytów P100 i punktów P10 w poszczególnych częściach Tatr (podział klasyczny)

Table 3a. Allocation of P100 and P10 peaks in the particular parts of the Tatra Mountains (classic division)

Część Tatr Part of the Tatra Mts	Liczba P100 Quantity of P100	Liczba P10 Quantity of P10
Tatry Zachodnie Western Tatra Mts	31	482
Tatry Wysokie High Tatra Mts	36	782
Tatry Bielskie Belianske Tatra Mts	7	79

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

Tab. 3b. Alokacja szczytów P100 i punktów P10 w poszczególnych częściach Tatr (podział współczesny)

Table 3b. Allocation of P100 and P10 peaks in the particular parts of the Tatra Mountains (modern division)

Mezoregion Mesoregion	Liczba P100 Quantity of P100	Liczba P10 Quantity of P10
Tatry Zachodnie Western Tatra Mts	27	405
Tatry Reglowe Reglowe Tatra Mts	8	103
Tatry Wysokie High Tatra Mts	31	740
Tatry Bielskie Belianske Tatra Mts	7	79

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

Różnica w łącznej liczbie obiektów wynika z innej granicy Tatr w obu przywołanych podziałach. Balon i.in. (2015) wyłącza masyw Golicy Huciańskiej zawierający jeden szczyt P100 i 16 punktów P10.

Przypisanie określonych zmiennych statycznych do każdego obiektu

Analiza danych statycznych polega na przypisaniu do każdego obiektu określonych zmiennych, które go charakteryzują. Wybrane zmienne przedstawia tabela 4.

Dla każdej zmiennej opracowano statystyki, które zaprezentowano poniżej. Pierwszą zmienną jest wysokość nad poziomem morza. Rozkład wysokości przedstawia rycina 9.

Rozkład wysokości w zależności od liczby punktów P10 jest niemal liniowy. Zaburzenie liniowości ma miejsce jedynie dla skrajnych wysokości (bardzo wysokich i bardzo niskich). Funkcja estymująca tę zależność ma postać:

$$N = -1,1326 * H^{+ 2.588,3}$$

$$R2 = 0,9816$$

Przypisanie pozostałych danych statycznych wymagało dokładnej interpretacji każdego zidentyfikowanego obiektu. Interpretacja ta polegała na pełnej identyfikacji obiektu odszukanego na mapie cyfrowej, czyli określenie, czy obiekt ten posiada już oronim i czy został opisany w literaturze przewodnikowej.

Tab. 4. Zmienne statyczne przypisane do obiektów P10

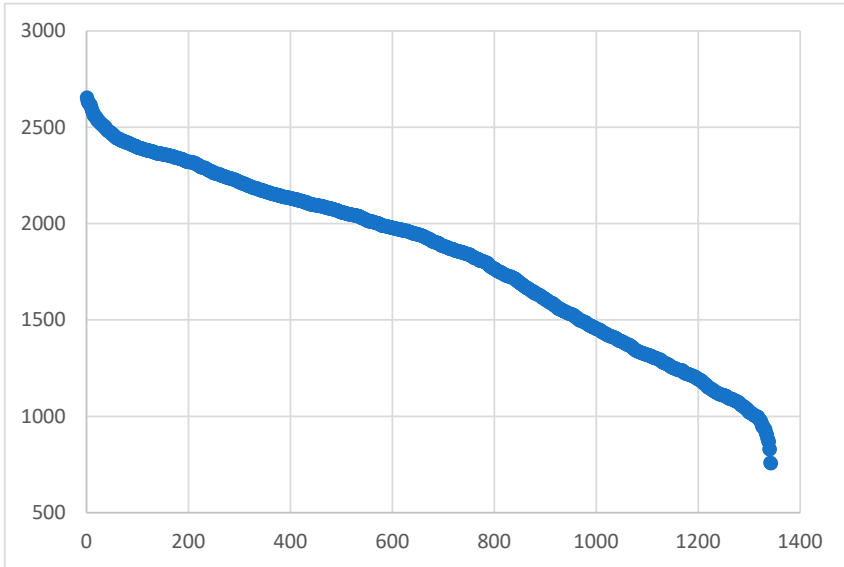
Table 4. Static variables assigned to the P10 objects

Zmienna Variable	Wartości Values
Wysokość nad poziomem morza Altitude a.s.l.	od 755 do 2655 from 755 to 2655
Toponim szczytu Toponym of the peak	Zmienna binarna (1 – istnieje) binary variable (1 – exists)
Toponim przełęczy promienicyjnej Toponym of the prominent col	zmienna binarna (1 – istnieje) binary variable (1 – exists)

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

Analiza toponomastyczna została oparta o oronimy występujące w przewodnikach szczegółowych Witolda Henryka Paryskiego (1951–1985) oraz Władysława Cywińskiego (1994–2013), z uzupełnieniami zaczerpniętymi z Nyki (1994) oraz Kunickiego i Szczerby (1999) dla obszaru Tatr Zachodnich. Wyniki badania przedstawia tabela 5.



Ryc. 9. Rozkład liczby punktów P10 w Tatrach w zależności od ich wysokości n.p.m.

Fig. 9. Distribution of the quantity of P10 peaks in the Tatra Mountains in reference to their altitude a.s.l.

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

Tab. 5. Nienazwane punkty P10 i ich przełęcze promienicyjne.

Table 5. Unnamed P10 points and their prominence cols

	Liczba P10 Quantity of P10	Udział P10 Contribution of P10 points
Szczyt bez nazwy / Unnamed peak	486	36%
Przełęcz bez nazwy / Unnamed col	664	49%

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

Dyskusja

Dyskusja obejmuje dwa zagadnienia: po pierwsze, przedstawiono możliwe powody różnic i skalę rozbieżności pomiędzy danymi odczytanymi z numerycznego modelu terenu a tymi, które widać na chmurze punktów lub bezpośrednio w terenie; po drugie, wskazano na przyczyny takiej a nie innej dystrybucji punktów P10 na obszarze Tatr.

Doświadczenie analizy danych LIDAR oraz porównanie wyników tych analiz z danymi otrzymanymi bezpośrednio w terenie (za pomocą GPS lub dalmierzy laserowych) wskazuje, że dane nierazko posiadają błędną interpretację warstw gruntu (zwrócił na to uwagę Kroh w 2016 r.). Zaburzenia pomiaru są szczególnie widoczne w terenie pokrytym bujną roślinnością oraz przy formacjach pionowych i przewieszonych. Błędy mogą mieć następujący charakter:

1. Interpretacja roślinności jako gruntu powodująca uznanie np. drzewa za turnię – błąd powoduje zidentyfikowanie nieistniejącego obiektu P10.
2. Interpretacja gruntu jako roślinności powodująca „wycięcie” turni – błąd może powodować przeoczenie obiektu P10.
3. Błędna klasyfikacja punktu wierzchołkowego, co powoduje błędne oszacowanie MDW dla punktu P10 (zazwyczaj zaniżenie wybitności z powodu obniżenia wierzchołka w modelu DTM).
4. Błędna klasyfikacja warstw gruntu na przełęczy promienicyjnej skutkująca niepoprawnym szacunkiem MDW (zaniżenie lub zawyżenie).

Różnice – w przypadkach opisanych w p. 1 i 2 sięgają kilkunastu metrów, natomiast dla p. 3 i 4 kilku metrów. Liczba stwierdzonych przypadków 1 oraz 2 nie przekracza kilkunastu sztuk dla każdej kategorii.

Do chwili pisania tego tekstu nie wszystkie obiekty zostały zweryfikowane bezpośrednio w terenie, w związku z tym nadal pozostaje pewne pole niepewności związane z kompletnością i poprawnością otrzymanego zbioru danych. Zespół badawczy autora sprawdził ok. 1000 obiektów (75%), pozostaje zatem istotne pole do dalszych badań terenowych.

Zastosowanie spójnego kryterium wyróżnienia szczytów i homogenicznej metody ich pomiaru umożliwiło szczegółową analizę dystrybucji punktów P10 na obszarze Tatr. Analiza ta skłania do następujących wniosków:

- Punkty P10 są nierównomiernie rozmieszczone – występują obszary o ich wysokiej koncentracji oraz obszary, na których nie ma żadnych analizowanych obiektów. Odległości pomiędzy punktami P10 wahają się od 9 m do 2,9 km. Największe zagęszczenie występuje w wapiennych masywach Tatr Zachodnich (w piętrze leśnym i kosodrzewiny) oraz w wysokogórskiej części granitowych Tatr Wysokich. Najmniejsze zagęszczenie obserwujemy w piętrze lasu na południowym skłonie Tatr.

- Zróżnicowanie liczby punktów P10 w poszczególnych komórkach promienicyjnych wynika z powierzchni tych komórek oraz ich charakteru geograficznego. Duże komórki promienicyjne posiadają naturalnie większą liczbę punktów P10, ale zasada ta jest zaburzona w sytuacji różnego stopnia zróżnicowania rzeźby terenu. Przykładem na takie wysokie zróżnicowanie są obszary pokryte skałami osadowymi. W takich obszarach występuje bogactwo wapiennych i dolomitowych turniczek (np. Siwy Wierch, Osobita, Kominiarski Wierch, Krzesanica, Giewont). W obszarach pokrytych skałami granitowymi, wysoka liczba turniczek wynika z dużej powierzchni komórki promienicyjnej (Świnica, Kozi Wierch, Hruby Wierch, Staroleśny Szczyt). Zidentyfikowano jednak również granitowe komórki promienicyjne o niewielkiej powierzchni i wysokiej liczbie turni (Lodowy Szczyt, Pośrednia Grań).
- Liczba obiektów P10 na północnym skłonie Tatr jest wyraźnie wyższa niż na południowym (mimo porównywalnej powierzchni tych obszarów) – można ten fakt wiązać z występowaniem po północnej stronie dużych masywów zbudowanych ze skał osadowych, które mają bardzo bogatą rzeźbę.
- Wśród punktów P10 dominująca liczba znajduje się w Tatrach Wysokich (mimo tego, że ich powierzchnia jest mniejsza niż Tatr Zachodnich). Wynika to z bogactwa rzeźby granitowej części Tatr. Wprawdzie wapienne rejon Tatr Zachodnich wykazują wysoką liczbę turniczek, ale ich powierzchnia jest wyraźnie mniejsza niż innych regionów Tatr, w związku z czym w ogólnym rozrachunku przeważają turnie zlokalizowane w Tatrach Wysokich.
- Rozkład punktów P10 jest w Tatrach jednorodny wysokościowo, tzn. nie ma preferencji w występowaniu obiektów P10 w określonych piętrach geoekologicznych.
- Aż 36% badanych obiektów oraz 49% przełęczy nie ma ustalonych nazw. Z jednej strony, jest to dowód na paradoksalnie umiarkowany poziom poznania Tatr (mając na względzie, że *gros* oronimów powstało w czasie taternickiej eksploracji masywu). Z drugiej – na niskie znaczenie turniczek o stosunkowo niewielkiej prominencji wśród użytkowników Tatr. Znamienne, że najwybitniejsze nienazwane turnie mają MDW na poziomie 40 m (kilka turni w masywie Siwego Wierchu i Osobitej). Występowanie tych obiektów w słowackich Tatrach Zachodnich może być tłumaczone ich słabszym zakresem opisu w literaturze niż innych części Tatr. Najwybitniejsze nienazwane turnie w dokładnie opisanych Tatrach Wysokich mają MDW przekraczające 20 m (w rejonie Łomnickiej Grani i w Wołoszynie).
- Znacznie wyższy stopień nienazwania przełęczy wynika z większego skupienia toponomastyków na szczytach niż przełęczach pomiędzy nimi. W tym przypadku nawet dwa szczyty P100 nie mają ustalonego oronimu dla swojej przełęczy promienicyjnej (Zadnia Kopa Liptowska i Hrubą Turnią).

Podsumowanie

Przeprowadzone badanie dowodzi wysokiej wartości informacyjnej bazy danych opartej o mapy cyfrowe bazujące na pomiarach laserowych LIDAR. Dodatkowo wykazano istotne znaczenie analizy prominencyjnej, która pozwala na identyfikację nieopisanych w literaturze formacji orograficznych.

Lidarowe badania prominencyjne mają charakter odkrywczy, ponieważ umożliwiają znalezienie szczytów o charakterze turni, które bez wsparcia map cyfrowych mogą być trudne do odszukania i pomierzenia bezpośrednio w terenie ze względu na trudności techniczne (skalne i roślinne). Ma to znaczenie dla prac eksploracyjnych, ponieważ poszerza naszą wiedzę o badanym masywie górskim, przede wszystkim w zakresie rzeczywistej rzeźby terenu (która na mapach tradycyjnych jest zwykle uproszczona, zwłaszcza w zawiłym orograficznie obszarze). Jednocześnie badanie *in situ* i porównanie jego wyników z pomiarami cyfrowymi pozwala na weryfikację ograniczeń związanych z pomiarami LIDAR. Interpretacja danych ma wartość metodyczną i pozwala na identyfikację źródła błędnych pomiarów pochodzących ze skaningu laserowego.

Przedmiotem dalszych badań może być analiza nad-proporcjonalnego występowania punktów P10 na danym obszarze i identyfikacja czynników powodujących lokalne anomalie w rzeźbie terenu. Anomalie te mogą mieć genzę geologiczną lub geomorfologiczną.

Przedstawiona w artykule analiza danych statycznych pozwala na poznanie wysokościowej i geograficznej dystrybucji szczytów o odpowiednim poziomie wybitności. Niewątpliwie występowanie na danym terenie punktów P10 i ich zagęszczenie sprzyja atrakcyjności krajobrazowej badanego obszaru.

Literatura

- Balon J., 2015, *Rola badań terenowych w tatrzańskich studiach krajobrazowych krakowskiego ośrodka uniwersyteckiego*, Problemy Ekologii Krajobrazu, 29, 15–24.
- Balon J., Jodłowski M., Krąż P., 2015, *Tatry – regionalizacja fizycznogeograficzna*, [w:] K. Dąbrowska, K. Guzik (red.), *Atlas Tatr – przyroda nieożywiona*, TPN, Zakopane.
- Bîca I., 2019, *The prominence of the peaks from Rodnei mountains (Romania) with relevance for mountaineering. Methodological and practical aspects*, Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Educatio Artis Gymnasticae, 64(3).
- Bîca I., 2021, *Topographical prominence of the peaks from Făgăraş mountains (Romania) with relevance to the mountain activities. Methodological and practical aspects*, Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Educatio Artis Gymnasticae, 66(3).
- Cywiński W., 1994–2014, *Tatry. Przewodnik szczegółowy*, (t. 1–19), Wydawnictwo Górskie, Poronin.

- Dawson A., 1992, *The Relative Hills of Britain*, Cicerone Press, Milthorpe.
- Goedeke R., 1991, *The Alpine 4000 m Peaks by the Classic Routes*, Bâton Wicks, London.
- Helman A., 2005, *The Finest Peaks, Prominence and other Mountain Measures*, Trafford Publishing, Victoria–Crewe.
- Kirmse A., de Ferranti J., 2017, *Calculating the prominence and isolation of every mountain in the world*, *Progress in Physical Geography*, 41(6), 788–802.
- Kong Y., Wang Y., Guo S., Wang J., 2021, *A mountain summit recognition method based on improved faster R-CNN*, Complexity, Hindawi-Wiley.
- Kroh P., 2016, *Głaz w Wantulach – przykład możliwości i ograniczeń danych LIDAR oraz ich wpływ na prowadzenie badań terenowych*, *Problemy Ekologii Krajobrazu*, 41, 59–68.
- Kunicki M., Szczerba T., 1999, *Słowackie Tatry Zachodnie. Monografia*, RMR, Gliwice.
- Llobera M., 2001, *Building past landscape perception with GIS: Understanding topographic prominence*, *Journal of Archaeological Science*, 28(9), 1005–1014.
- Mielus P., 1998, *Korona Tatr*, Góry, 46, 67.
- Mielus P., 2005, *Studium nad wybitnością szczytów tatrzańskich*, *Magazyn Górski*, 35, 36–44.
- Mielus P., 2021, *Lidarowe odkrycia w Tatrach*, *Tatry*, 76, 60–65.
- Munro H.T., 1891, *The list of distinct Scottish peaks of 3000 ft*, *Scottish Mountaineering Club Journal*.
- Nelson G.D., McKeon R., 2019, *Peaks of people: using topographic prominence as a method for determining the ranked significance of population centers*, *The Professional Geographer*, 71(2), 342–354.
- Nyka J., 1994, *Tatry*, wyd. 2, Sport i Turystyka, Warszawa.
- Paryski W.H., 1951–1985, *Tatry Wysokie. Przewodnik taternicki* (t. 1–15), Sport i Turystyka, Warszawa.
- Radwańska-Paryska Z., Paryski W.H., 1995, *Wielka encyklopedia tatrzańska*, Wydawnictwo Górskie, Poronin.
- Schmidt A., Stumme G., 2018, *Prominence and dominance in networks*, [w:] *European Knowledge Acquisition Workshop*, Springer, Cham, 370–385.
- Stubbemann M., Hanika T., Stumme G., 2020, *Orometric methods in bounded metric data*, [w:] *International Symposium on Intelligent Data Analysis*, Springer, Cham, 496–508.
- Torres R.N., Fraternali P., Milani F., Frajberg D., 2018, *A deep learning model for identifying mountain summits in digital elevation model data*, [w:] *First IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Knowledge Engineering, AIKE 2018*, Laguna Hills, CA, 26–28 September 2018, 212–217.

Piotr Mielus

Szkoła Główna Handlowa

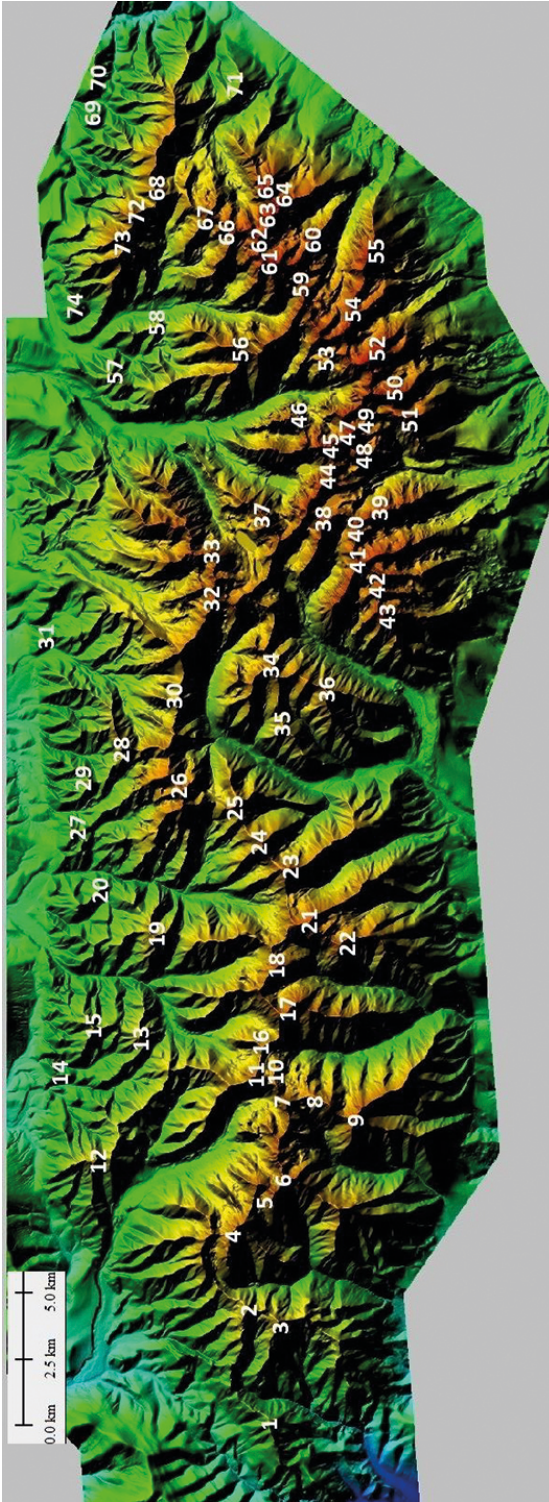
Katedra Ekonomii Ilościowej SGH

al. Niepodległości 128, 02-554 Warszawa

piotr.mielus@sgh.waw.pl

ORCID 0000-0003-0194-5172

ZAŁĄCZNIKI



Ryc. 10. Szczyty P100 w Tatrach na mapie LIDAR (legenda w tabeli 6)

Fig. 10. P100 peaks in the Tatra mountains on the LIDAR map (a legend in the table 6)

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

Tab. 6. Lista szczytów P100 pokazana na rycinie 10
 Table 6. A list of P100 peaks presented on the picture 10

Oznaczenie	Nazwa szczytu	Wysokość n.p.m.	Prominencja (MDW)
1	Golica Huciańska	1 342	155,6
2	Siwy Wierch	1 805	233,2
3	Ostra Bobrowiecka	1 764	109,0
4	Salatyński Wierch	2 048	163,8
5	Pachoł	2 167	123,1
6	Banówka	2 179	262,4
7	Rohacz Płaczliwy	2 126	163,1
8	Smrek	2 072	102,0
9	Baraniec	2 182	363,4
10	Rohacz Ostry	2 086	123,9
11	Wołowiec	2 063	152,1
12	Osobita	1 687	246,9
13	Bobrowiec	1 665	309,4
14	Jeżowy Wierch (Czaplówka)	1 090	107,2
15	Furkaska	1 491	115,2
16	Łopata	1 957	121,2
17	Raczkowa Czuba	2 194	262,1
18	Starobociański Wierch	2 176	221,1
19	Kominiarski Wierch	1 829	368,7
20	Zadnia Kopka Kościeliska	1 334	210,0
21	Bystra	2 248	563,5
22	Zadnia Kopa Liptowska	2 163	138,7
23	Kamienista	2 127	340,5
24	Smreczyński Wierch	2 070	164,3
25	Tomanowy Wierch Polski	1 977	181,2
26	Krzesanica	2 122	324,2
27	Hruby Regiel	1 340	149,7
28	Giewont	1 895	170,1
29	Łysanki	1 447	137,0
30	Goryczkowa Czuba	1 912	111,6
31	Nosal	1 206	104,8

Oznaczenie	Nazwa szczytu	Wysokość n.p.m.	Prominencja (MDW)
32	Świnica	2 302	355,9
33	Kozi Wierch	2 292	169,0
34	Wielka Kopa Koprowa	2 053	173,5
35	Brdarowa Grapa	1 860	159,2
36	Krzyżne Liptowskie	2 039	124,7
37	Miedziane	2 237	215,4
38	Koprowy Wierch	2 366	136,3
39	Szatan	2 423	188,7
40	Szczyrbski Szczyt	2 382	119,4
41	Hruby Wierch	2 429	259,8
42	Krótką	2 375	113,0
43	Krywań	2 495	400,5
44	Mięguszowiecki Szczyt Wielki	2 439	214,8
45	Rysy	2 501	164,5
46	Młynarz	2 172	117,8
47	Wysoka	2 559	298,1
48	Kopa Popradzka	2 355	108,9
49	Ganek	2 465	182,8
50	Kończysta	2 537	207,7
51	Tępa	2 286	105,8
52	Gerlach	2 655	2357,8
53	Hruba Turnia	2 089	103,4
54	Staroleśny Szczyt	2 489	293,8
55	Sławkowski Szczyt	2 453	190,6
56	Szeroka Jaworzyńska	2 211	176,1
57	Karczmarski Wierch	1 438	135,7
58	Suchy Wierch Jaworowy	1 523	166,9
59	Jaworowy Szczyt	2 418	199,8
60	Pośrednia Grań	2 439	157,5
61	Lodowy Szczyt	2 628	274,3
62	Baranie Rogi	2 530	141,1
63	Durny Szczyt	2 622	122,8

Oznaczenie	Nazwa szczytu	Wysokość n.p.m.	Prominencja (MDW)
64	Łomnica	2 633	440,2
65	Kieżmarski Szczyt	2 557	125,0
66	Kołowy Szczyt	2 419	161,4
67	Jagnięcy Szczyt	2 230	138,1
68	Szalony Wierch	2 061	234,3
69	Jaworzynka Bielska	1 266	126,7
70	Tokarnia (Galowir)	1 224	177,5
71	Steżki Bielskie	1 530	138,0
72	Placziwa Skała	2 145	169,2
73	Hawrań	2 152	398,8
74	Kiczora Bielska	1283	159,3

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

Tab. 7. Alokacja punktów P10 w komórkach prominencyjnych P100

Table 7. An allocation of P10 peaks in the P100 prominence cells

Komórka prominencyjna P100	Liczba P10
Staroleśny Szczyt	68
Osobita	54
Hrudy Wierch	53
Kominiarski Wierch	52
Kzesanica	48
Świnica	43
Lodowy Szczyt	43
Pośrednia Grań	42
Giewont	41
Siwy Wierch	39
Rysy	37
Gerlach	36
Szalony Wierch	33

Komórka prominencyjna P100	Liczba P10
Furkaska	30
Mięguszowiecki Szczyt Wielki	29
Młynarz	28
Jaworowy Szczyt	27
Hawrań	25
Szeroka Jaworzyńska	25
Łomnica	23
Ostra Bobrowiecka	23
Kołowy Szczyt	20
Bobrowiec	19
Miedziane	19
Ganek	19
Kieżmarski Szczyt	19

Komórka promienicyjna P100	Liczba P10
Szatan	18
Banówka	16
Golica Huciańska	16
Łysanki	16
Kopa Popradzka	15
Jagnięcy Szczyt	14
Wysoka	13
Sławkowski Szczyt	13
Salatyński Wierch	13
Durny Szczyt	13
Kończysta	12
Baranie Rogi	12
Koprowy Wierch	12
Starorobociański Wierch	11
Krywań	10
Raczkowa Czuba	10
Wielka Kopa Koprowa	10
Wołowiec	10
Bystra	9
Płaczliwa Skała	9
Karczmarzski Wierch	9
Rohacz Płaczliwy	8
Krótką	8
Hruba Turnia	7

Komórka promienicyjna P100	Liczba P10
Suchy Wierch Jaworowy	6
Zadnia Kopa Liptowska	6
Tępa	6
Baraniec	5
Tokarnia (Galowir)	5
Hruby Regiel	5
Pachoł	5
Kamienista	4
Tomanowy Wierch Polski	4
Brdarowa Grapa	4
Krzyżne Liptowskie	4
Jeżowy Wierch (Czaplówka)	4
Zadnia Kopka Kościeliska	3
Smreczyński Wierch	3
Steżki Bielskie	3
Łopata	3
Kiczora Bielska	2
Jaworzynka Bielska	2
Rohacz Ostry	2
Goryczkowa Czuba	2
Nosal	2
Smrek	2
Szczyrbski Szczyt	1

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.