

Zastosowanie wysokorozdzielczych cyfrowych modeli wysokościowych w badaniu zmian mikrorzeźby

Application of high-resolution digital elevation models for studying microrelief transformation

Joanna Gudowicz^{1*}, Agata Buchwał¹, Paweł Ćwiąkała²

¹*Instytut Geoekologii i Geoinformacji, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, ul. Dziegielowa 27, 61-680 Poznań*

²*Katedra Ochrony Terenów Górniczych, Geoinformatyki i Geodezji Górniczej, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków*

Zarys treści: W artykule przedstawiono metodykę służącą określeniu zarówno przestrzennych jak i ilościowych zmian mikrorzeźby. Prezentowana metoda opiera się na zastosowaniu wysokorozdzielczych cyfrowych modeli wysokościowych wykonanych na podstawie seryjnych pomiarów geodezyjnych. Analizę wykonano na podstawie badań prowadzonych na powierzchni punktu widokowego poddanego denudacji antropogenicznej. Największy ubytek materiału został wykazany dla okresu letniego i jest bezpośrednim efektem wydeptywania. Dla wybranych metod interpolacyjnych zaprezentowano różnicę ilości materiału przemieszczanego w obrębie badanego poletka.

Słowa kluczowe: cyfrowy model wysokościowy, mikrorzeźba, pomiary geodezyjne, denudacja antropogeniczna

Abstract: The paper presents the method of qualitative and quantitative assessments of microrelief transformation. The sequence of geodetic measurements during three seasons was used to generate high resolution digital elevation models (DEMs). The analyse was conducted within the surrounding of hiking trail, on the surface of viewing point reshaped by man-induced denudation processes. The highest soil loss was indicated for the summer period and is directly correlated with trampling. For chosen interpolation methods the differences in a total relief transformation within the analyzed plot were presented.

Keywords: digital elevation model (DEM), microrelief, geodetic measurements, man-induced denudation processes

Wprowadzenie

Wśród szeregu badań geomorfologicznych, szczególne miejsce zajmują badania mikrorzeźby. Ocena ich morfodynamiki jest możliwa jedynie na podstawie precyzyjnych pomiarów wysokościowych, wykonywanych w stosunkowo wąskich

interwałach czasowych. Istotnym aspektem tych pomiarów jest ich dokładność, gdyż rejestrowane zmiany w cyklu rocznym są niewielkie. Ważny jest w tym względzie wybór techniki pomiarowej i sposób dalszej analizy pozyskanych w terenie danych. W artykule przedstawiono metodykę badania zmian mikrorzeźby, opierającą się na zastosowaniu wysokorozdzielczych cyfrowych modeli wysokościowych wykonanych na podstawie seryjnych

* e-mail: gudowicz@amu.edu.pl

pomiarów geodezyjnych. Metodę przedstawiono w oparciu o badania prowadzone na powierzchni punktu widokowego, zlokalizowanego w sąsiedztwie szlaku turystycznego w Babiogórskim Parku Narodowym, poddanego denudacji antropogenicznej (Buchwał i in., 2009). Podejście opierające się na wykorzystaniu cyfrowych modeli terenu dla rekonstrukcji zmian przemieszczanego materiału jest z powodzeniem stosowane w badaniach geomorfologicznych procesów o zróżnicowanym natężeniu m. in. do analizy procesu spełzywania mrozowego (Kääb, Vollmer, 2000; Wangenstein i in., 2006); do abrazji wybrzeży klifowych (Adams, Chandler, 2002); do badań procesów stokowych (Kerle, 2002); czy w analizie tempa recesji lodowców (Schiefer, Gilbert, 2007). W literaturze niewiele jest jednak prac analizujących stosunkowo małe obszary, o powierzchni rzędu kilkuset metrów kwadratowych. Z drugiej strony, problem denudacji antropogenicznej szlaków turystycznych (ang. *footpaths erosion*) jest zagadnieniem szeroko podejmowanym, zarówno w literaturze krajowej (m.in. Krusiec, 1996; Łajczak i in., 1996; Gorczyca, 2000), jak i zagranicznej (m.in. Jewell, Hammitt, 2000; Yoda, Watanabe, 2000; Marion, Leung 2001; Marion, Olive, 2006). W pracach tych dominuje jednak stosowanie klasyfikacji opisowych zmian rzeźby zachodzących pod wpływem intensywnego użytkowania turystycznego. Spotykane w literaturze (m.in. Cole, 1983) metody ilościowego określenia wielkości materiału usuwanego czy też przemieszczanego w obrębie szlaków turystycznych odnoszą się głównie do wykonywania ponawianych profili poprzecznych (ang. *cross-sectional area method*). Prezentowana w niniejszym artykule metoda określania wielkości denudacji antropogenicznej, wykorzystująca precyzyjne pomiary geo-

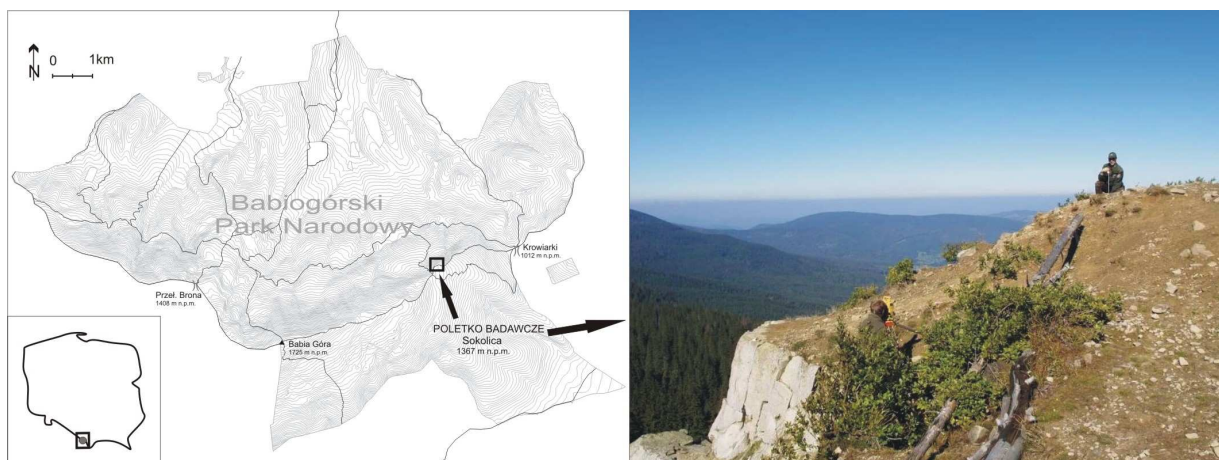
dezyjne oraz analizę wysokorozdzielczych modeli wysokości, nie była do tej pory prezentowana w literaturze. Metoda stanowi uzupełnienie tradycyjnych metod pomiarowych szlaków turystycznych i jest niewątpliwie cennym źródłem danych ilościowych o wielkości materiału przemieszczanego w obrębie szlaków turystycznych.

Obszar badań

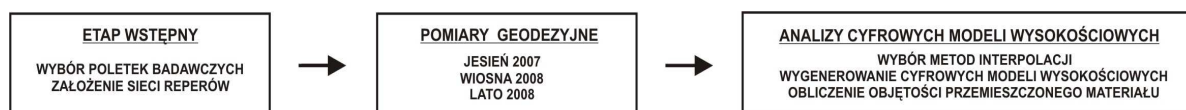
Wytypowana do badań powierzchnia stanowi platformę widokową na szczycie Sokolicy (1 367 m n.p.m.), będącej wybitną kulminacją we wschodniej części masywu Babiej Góry w Beskidzie Żywieckim (ryc. 1). Analizowany obszar o powierzchni 150 m² pozbawiony jest zwartej pokrywy roślinnej co sprzyja przemieszczaniu materiału, zarówno w wyniku działania naturalnych procesów morfogenetycznych, jak również postępującej presji turystycznej.

Etapy postępowania badawczego

W przyjętym postępowaniu badawczym wyróżnić należy trzy etapy, które obejmowały kolejno: etap wstępny, cykliczne pomiary geodezyjne oraz analizy cyfrowych modeli wysokościowych (ryc. 2). Etap wstępny poświęcony był na wybór poletka badawczego oraz założenie sieci reperów. Właściwy dobór sieci reperów był zadaniem szczególnie istotnym dla zabezpieczenia powtarzalności pomiarów. Osnowa obejmowała 14 punktów zlokalizowanych na krawędzi wychodni piaszczystych, stanowiących górną część skalnej zerwy Sokolicy.



Ryc. 1. Lokalizacja poletka badawczego na szczycie Sokolicy (1 367 m n.p.m.) w Babiogórskim Parku Narodowym
Fig. 1. Location of study plot on the top of Sokolica (1 367 m a.s.l.) in the Babia Góra National Park



Ryc. 2. Ideogram postępowania badawczego

Fig. 2. Research procedure

Pomiary geodezyjne

Drugim etapem prac były pomiary geodezyjne. Łącznie przeprowadzono trzy sesje pomiarowe, tj. przed sezonem jesienno-zimowym (wrzesień 2007 r.), przed sezonem letnim (maj 2008 r.) oraz w trakcie sezonu turystycznego (lipiec 2008 r.).

Przy wyborze instrumentu pomiarowego należy kierować się przede wszystkim możliwą do uzyskania dokładnością wyznaczenia współrzędnych płaskich oraz rzędnych wysokościowych. Istotna jest też możliwa do zebrania ilość punktów w czasie sesji pomiarowej, łatwość transferu danych do systemu informacji geograficznej, a w terenie górskim także waga i wymiary sprzętu. Próbkę oceny metod pozyskiwania szczegółowych danych wysokościowych w aspekcie badań mikrorzeźby przedstawili Tomczyk i Ewertowski (2009).

Biorąc pod uwagę powyższe założenia do tego typu pomiarów użyte mogą być 3 techniki pomiarowe: niwelacja techniczna, niwelacja tachimetryczna (także z możliwością pomiarów bezlustrowych) oraz skanowanie laserowe. Niwelacja techniczna zapewnia dokładność wyznaczenia współrzędnych wysokościowych na poziomie 0,3 cm. Problemami związanymi z pozyskaniem danych w takiej metodzie jest zapis obserwacji (najczęściej w formie analogowej) oraz konieczność wyznaczania współrzędnych poziomych w inny sposób. W odróżnieniu od wcześniej opisanej metody pomiar tachimetryczny pozwala na uzyskiwanie współrzędnych przestrzennych z dokładnością nawet 0,3-0,5 cm oraz na pełną automatyzację procesu zapisu obserwacji. Zastosowanie tachimetrów bezlustrowych pozwala na bezpośredni pomiar powierzchni terenu. Należy jednak zauważyć, że najnowszą na chwilę obecną metodą pomiarową jest naziemny skanowanie laserowe. Skanery laserowe są w stanie

pomierzyć tysiące pkt/s (do 300 tys. pkt/s). Umożliwia to pokrycie skanowanej powierzchni tzw. chmurą punktów i wygenerowanie na jej podstawie cyfrowego modelu wysokościowego o bardzo wysokiej rozdzielczości (Teza i in., 2007).

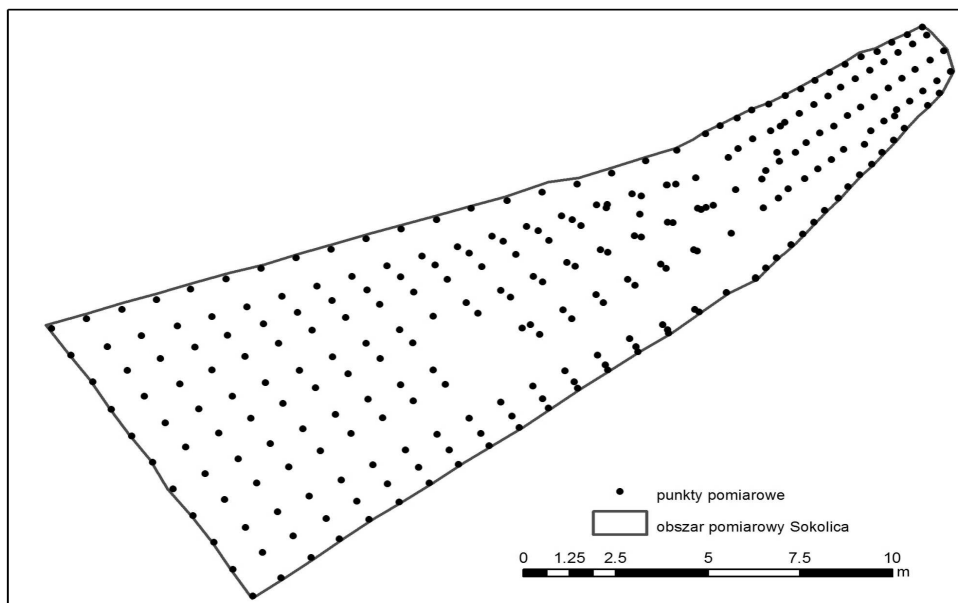
Wewnętrzna spójność otrzymanej w wyniku pomiaru chmury punktów może wynosić mniej niż 0,3 cm. Ograniczenie dla stosowania naziemnych skanerów laserowych wynika z ich słabej

dostępności, powodowanej wysoką ceną tych urządzeń. Rozwiązaniem pośrednim między zwykłym tachimetrem elektronicznym, a skanerem laserowym może być tachimetr skanujący (Suchocki i in., 2008). Możliwa do uzyskania prędkość wyznaczenia współrzędnych punktów w tachimetrach skanujących to 30 pkt/s.

Przy omawianiu poszczególnych metod pomiarowych nie można nie wspomnieć o innych czynnikach mających wpływ na dokładność pomiaru, czyli o wpływie odpowiedniego doboru osnowy oraz jakości punktów podlegających pomiarowi. W przypadku pomiarów tego typu należy wykorzystać stabilne punkty osnowy zapewniające trwałość w całym czasokresie pomiarowym. Punkty te należy dobrać tak, aby w łatwy sposób możliwe było skontrolowanie ich stabilności. Należy także zaznaczyć, że w tego typu pomiarach wystarczające jest określenie przemieszczeń względnych punktów lub modeli terenu względem siebie. Wybór punktów i rodzaj stabilizacji osnowy determinowany jest techniką jaka będzie zastosowana w pomiarze. W omawianym przypadku na obszarze podlegającym badaniu założono sieć punktów pomocniczych, w oparciu o które wyznaczano na powierzchni terenu punkty podlegające pomiarowi. Osnowę zastabilizowano w bezpośrednim sąsiedztwie analizowanej powierzchni. Do wykonania pomiarów na analizowanym poletku badawczym zastosowano tachimetr firmy TOPCON model GPT-3005.

Analizy cyfrowych modeli wysokościowych

Na podstawie danych pomiarowych wygenerowane zostały cyfrowe modele wysokościowe, które były podstawą dalszych obliczeń. Istotnym zadaniem przy ich tworzeniu był wybór metody interpolacji. Zastosowana metoda interpolacyjna ma bowiem istotny wpływ na jakość cyfrowego modelu wysokościowego (Chaplot i in., 2006). W badaniach przetestowano następujące metody interpolacyjne: metodę średniej ważonej (*IDW*), naturalnego sąsiedztwa (ang. *natural neighbor*), kriging zwykły (ang. *ordinary kriging*), funkcje sklepane (ang. *spli-*



Ryc. 3. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na poletku badawczym
Fig. 3. Spatial distribution of measurement points on the research plot

ne functions), funkcję *topo to raster*.

W procesie interpolacji ważną rolę odgrywa ilość punktów pomiarowych i ich rozkład przestrzenny. Warto zaznaczyć, że jeżeli w obrębie analizowanej powierzchni występują wyróżniające się formy takie jak np. krawędzie erozyjne, to ich przebieg musi zostać zarejestrowany na etapie pomiarów terenowych. Na poletku badawczym punkty pomiarowe rejestrowane były wzdłuż jedenastu profili pomiarowych. Profile zostały umieszczone prostopadłe do spadku terenu. W nachylonej części platformy widokowej pomiarowi podlegały punkty w odległości 50 cm (ryc. 3.). W słabo nachylonej części platformy punkty pomiarowe były oddalone od siebie maksymalnie o 100 cm. Dokładność wyznaczenia punktów w przypadku współrzędnych płaskich nie przekraczała 3 cm, a rzędnych wysokościowych 1 cm.

Ocena przydatności metod interpolacji opierała się o porównanie wielkości błędów interpolacyjnych oraz wiarygodności map wynikowych (ich realistyczności). Błąd interpolacyjny wyliczany był z różnicy pomiędzy wyinterpolowaną wielkością parametru (Z_{int}) w punkcie badawczym, a zmierzoną wielkością tego parametru w terenie (Z_{dane}). Do obliczeń wykorzystano punkty kontrolne (20 pomiarów z każdej sesji), które nie były uwzględniane w procesie interpolacji. Zastosowano wzór na średni błąd kwadratowy (ang. *root mean square error*):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Z_{int} - Z_{dane})^2}{n}}$$

Ocena rezultatów interpolacji dla różnych metod była także wykonana dla zmiennej rozdzielczości siatki interpolacyjnej. Przetestowano następujące wielkości oczka siatki: 2 cm, 5 cm i 10 cm.

Na podstawie oceny wyników interpolacji do dalszych analiz wybrano następujące metody: funkcje sklepane, kriging zwykły oraz metodę odwrotnych odległości. Metoda naturalnego sąsiedztwa nie została uwzględniona, ponieważ nie pozwalała ona na ekstrapolację wartości punktów pomiarowych poza obszar ich występowania. Cyfrowe modele terenu utworzone przy zastosowaniu drugiej odrzuconej metody *topo to raster* nie spełniały natomiast warunku realistyczności map wynikowych. Wartości błędów interpolacyjnych dla trzech wybranych metod mieściły się w zbliżonych zakresach, przy czym należy odnotować najmniejsze błędy dla metody średniej ważonej oraz rozdzielczości siatki interpolacyjnej wynoszącej 2 cm (tab. 1.)

Tabela 1. Błędy interpolacyjne cyfrowych modeli wysokościowych

Table 1. Interpolation errors of digital elevation models

Metoda interpolacji	RMSE (cm)		
	Rozdzielczość siatki interpolacyjnej		
	2 cm	5 cm	10 cm
IDW	0,685	0,698	0,721
KRIGING	0,898	0,903	0,923
SPLINE	1,277	1,292	1,302

Ostatnim etapem analiz było określenie obszarów ubytku oraz depozycji przemieszczonego materiału oraz obliczenie jego objętości. Wykorzystano w tym celu funkcję *Cut/Fill*, która dostępna jest w module *3D Analyst* programu *ArcGIS*. Wynikowy raster generowany był na podstawie dwóch cyfrowych modeli wysokościowych (powierzchni wyjściowej i zmienionej) o takiej samej rozdzielczości. Objętość materiału dla każdego oczka siatki obliczono według wzoru:

$$V = A_p * (Z_0 - Z_1)$$

V – objętość materiału

A_p – powierzchnia oczka siatki

Z_0 – wartość oczka siatki powierzchni wyjściowej

Z_1 – wartość oczka siatki powierzchni zmienionej

Obraz klasyfikowany był ze względu na rodzaj odnotowanych zmian tj. ubytku bądź akumulacji materiału, trzecią klasę stanowiły obszary bez zmian. Rycina 4 przedstawia przykładowy fragment wyników siatek obliczeniowych przeprowadzonej analizy.

Utworzone mapy były podstawą do określenia zakresu wartości reprezentujących objętość materiału, który uległ przemieszczeniu w okresach między pomiarami.

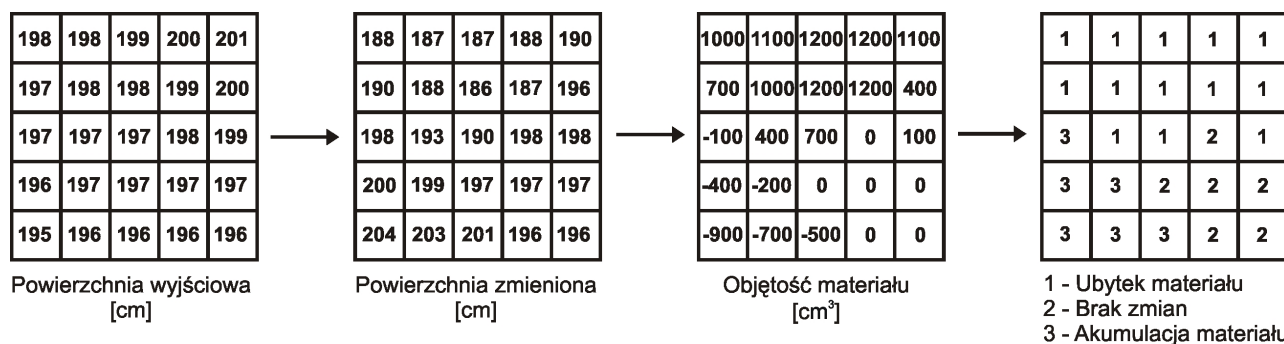
Wyniki i ich dyskusja

Zastosowanie w analizie trzech różnych metod interpolacyjnych przy tworzeniu cyfrowych modeli wysokościowych wykazało, że metoda interpolacji ma wpływ na jakość DEM, co z kolei przekłada się na wyniki obliczeń przestrzennych oraz ilościowych zmian mikroform badanej powierzchni. Ukształtowanie terenu analizowanego obszaru przedstawiało się zatem nieco odmiennie w zależności od przyjętej metody interpolacyjnej (ryc. 5).

Wpływ na poprawne odzwierciedlenie mikrorzeźby ma także rozdzielczość modelu. W przeprowadzonej analizie najbardziej odpowiednią była wielkość 2 cm oczka siatki macierzy rastrowej.

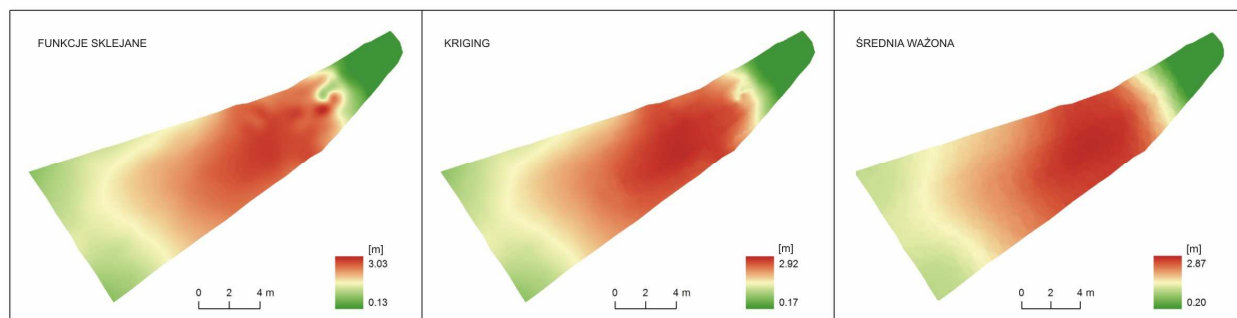
Na wynikowych mapach przedstawiających obszary akumulacji i ubytku materiału oraz obszary bez zmian kierunek przemieszczania materiału dla danego okresu pomiarowego był zbliżony (ryc. 6). Odnotować należy jednak pewne różnice, zwłaszcza dla map uzyskanych na podstawie modeli wysokościowych utworzonych metodą odwrotnych odległości (*IDW*). Efektem tego są nieco odmienne wartości objętości przemieszczonego materiału uzyskane na podstawie poszczególnych map wejściowych. Sumarycznie najmniejsze przemieszczenia wykazują mapy wygenerowane metodą funkcji sklepanych, natomiast największe sporządzone przy użyciu metody średniej ważonej (ryc. 7 i 8).

Szczegółowe pomiary geodezyjne w połączeniu z zastosowanymi narzędziami geoinformacyjnymi pozwoliły na pomiar ubytku materiału z powierzchni użytkowanej przez turystykę pieszą. Analizując pomiary jesienne (wrzesień 2007) z wiosennymi (maj 2008) zauważymy, że bezwzględnie dominującym procesem w obrębie badanej powierzchni była akumulacja (ryc. 7), którą w tym przypadku należy traktować, jako efekt wtórnego przemieszczania oraz wymarzania wierzchniej warstwy materiału mineralnego. Wartość nadkładu materiału po okresie zimowym należy również wiązać z depozycją materiału mineralnego pochodzącego z ablacji pokrywy śnieżnej, której nadmierną kompakcję obserwuje się powszechnie w obrębie szlaków turystycznych oraz miejsc postojowych przy szlakach. Istotne znaczenie dla redepozycji materiału w obrębie analizowanego poletka mogą mieć procesy eoliczne, w tym również niweoeoliczne.



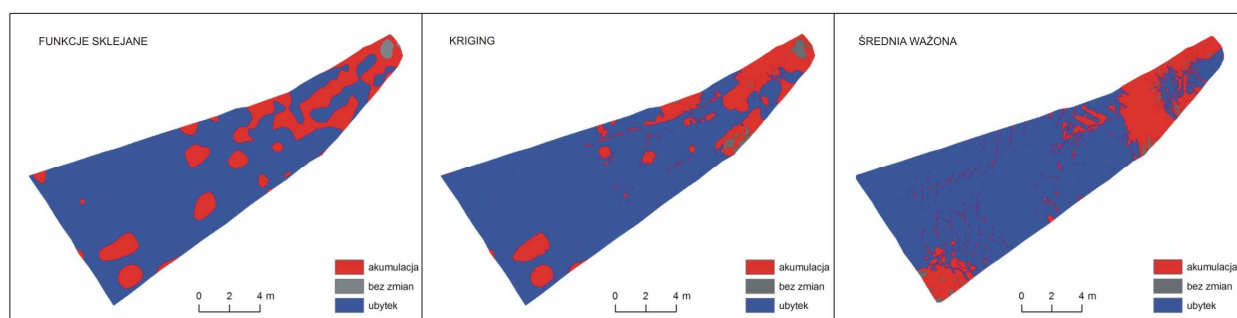
Ryc. 4. Przykładowe siatki obliczeniowe dla wielkości 10 cm boku oczka siatki

Fig. 4. Sample grids for the 10 cm mesh size



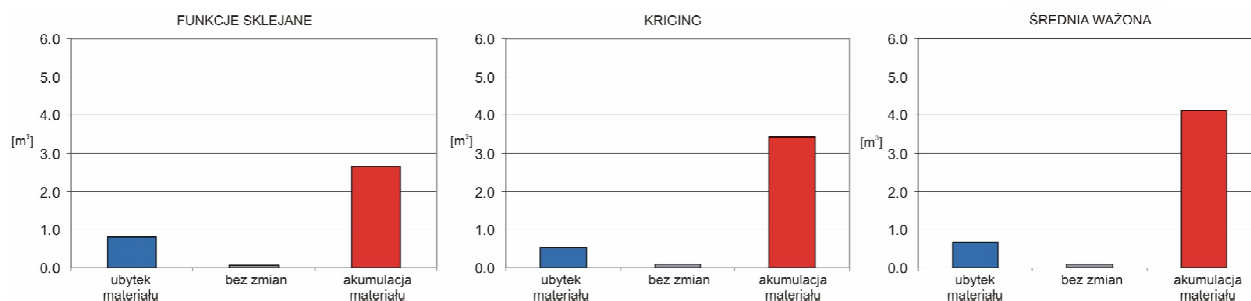
Ryc. 5. Cyfrowe modele wysokościowe dla pomiarów jesień 2007 r.

Fig. 5. Digital elevation models for the measurement of autumn 2007



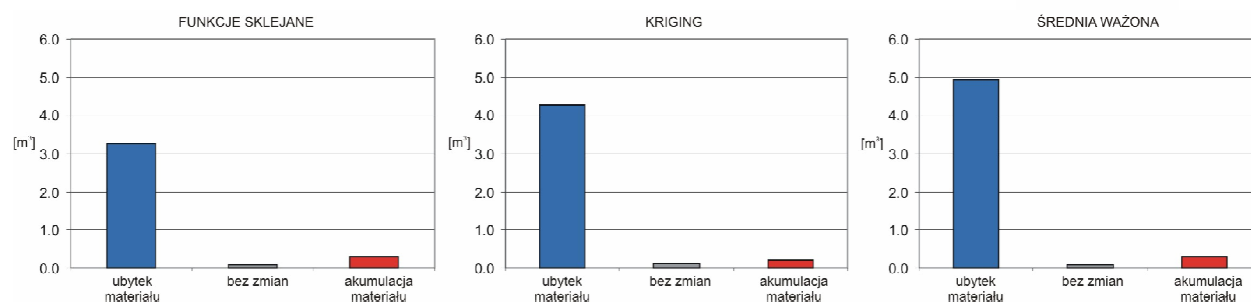
Ryc. 6. Przesunięcia materiału na badanym obszarze między wrześniem 2007 r. a lipcem 2008 r.

Fig. 6. Material displacement in the study area between September 2007 and July 2008



Ryc. 7. Objętość materiału obszarów akumulacji i ubytku oraz obszarów bez zmian dla pomiarów wrzesień 2007 - maj 2008 r.

Fig. 7. The volume of material accumulation and loss from the research plot and areas with no changes between September 2008 – May 2008



Ryc. 8. Objętość materiału obszarów akumulacji i ubytku oraz obszarów bez zmian dla pomiarów maj 2008 – lipiec 2008 r.

Fig. 8. The volume of material accumulation and loss from the research plot and areas with no changes between May 2008 – July 2008

Zdecydowany ubytek materiału wykazano dla sezonu letniego (ryc. 8), co wskazuje na istotną rolę ruchu turystycznego w przekształcaniu mikrorzeźby w sąsiedztwie szlaków turystycznych. Nie można jednak wykluczyć, iż skutki denudacji antropogenicznej są intensyfikowane w wyniku działania naturalnych procesów morfogenetycznych, w tym deflacji i spłukiwania.

Uzyskane na podstawie przeprowadzonych analiz geoinformacyjnych wyniki, pozwalają na uchwycenie kierunku zmian oraz tendencji wynoszenia materiału z powierzchni punktu widokowego Sokolica. Podane wartości wielkości materiału przemieszczonego na stoku są efektem działania zarówno czynników naturalnych, jak i antropogenicznych. Jednak z uwagi na charakter użytkowania badanego obszaru wpływ antropopresji pełni tutaj rolę dominującą w procesie przemieszczania i wynoszenia materiału.

Podsumowanie

Przetawiona metodyka może być podstawą do określenia zarówno przestrzennych, jak i ilościowych zmian w rzeźbie bardzo małego obszaru nawet na podstawie stosunkowo krótkiej serii pomiarowej (niespełna rok). Jednak dla uzyskania poprawnych wyników niezbędne jest posługiwanie się jak najbardziej dokładnym przyrządem pomiarowym oraz pewną i stabilną podstawą (wystarczającą podstawą może być założona lokalnie sieć punktów). W celu zapewnienia większej reprezentatywności uzyskiwanych wyników należałoby wydłużyć sesję pomiarową i porównywać ze sobą wyniki przemieszczania materiału nie tylko między sezonami morfogenetycznymi ale również w cyklu wieloletnim.

Kluczowym etapem analizy jest wygenerowanie poprawnego cyfrowego modelu wysokościowego analizowanej powierzchni dla każdej serii pomiarowej. Przy wyznaczeniu objętości przemieszczonego materiału ważnym elementem jest uwzględnienie błędów, jakim obarczony jest DEM. Weryfikacja poprawności wyników przeprowadzonych analiz oraz ich uszczegółowienie może być w przyszłości wykonana w oparciu o techniki naziemnego skaningu laserowego (ang. *terrestrial laser scanning*).

Badania terenowe przeprowadzono w ramach grantu własnego MNiSW Nr N306 059 32/3660. Autorzy pragnęliby również podziękować Dyrekcji oraz pracownikom Babogórskiego Parku Narodowego za życzliwą pomoc podczas badań terenowych.

Literatura

- Buchwał A., Ćwiakała P., Gudowicz J., 2009. Wykorzystanie pomiarów geodezyjnych do analizy denudacji antropogenicznej (Sokolica, Babia Góra). *Prace naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, 126: 35-44.
- Adams J.C., Chandler J.H., 2002. Evaluation of Lidar and medium scale photogrammetry for detecting soft-cliff coastal change. *Photogrammetric Record*, 17: 405-418.
- Chaplot V., Darboux F., Bourennane H., Leguèdois S., Silvera N., Phachomphon K., 2006. Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. *Geomorphology*, 126: 289-308.
- Cole D. N., 1983. Assessing and monitoring back-country trail conditions. *Res. Pap. INT-303*. Ogden, UT: U.S.
- Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station: 1-10.
- Gorczyca E., 2000. Wpływ ruchu turystycznego na przekształcenie rzeźby wysokogórskiej na przykładzie masywu Czerwonych Wierchów i Regli Zakopiańskich, *Prace Geograficzne*, zeszyt 105, Instytut Geografii UJ, Kraków: 369-388.
- Jewell M. C., Hammitt W. E., 2000. Assessing Soil Erosion on Trails: A Comparison of Techniques. *USDA Forest Service Proceedings RMRS*, 15, vol., 5: 133-140.
- Kääb A., Vollmer M., 2000. Surface Geometry, Thickness Changes and Flow Fields on Creeping Mountain Permafrost: Automatic Extraction by Digital Image Analysis. *Permafrost and Periglacial Process*, 11: 315-326.
- Kerle N., 2002. Volume estimation of the 1998 flank collapse at Casita Volcano, Nicaragua: a comparison of photogrammetric and conventional techniques. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27: 759-772.
- Krusiec M., 1996. Wpływ ruchu turystycznego na przekształcanie rzeźby Tatr Zachodnich na przykładzie Doliny Chochołowskiej, *Czasopismo*

- Geograficzne, 67: 3-4: 303-320.
- Marion J.L., Leung Y.-F., 2001. Trail resource impacts and an examination of alternative assessment techniques. *Journal of Park and Recreation Administration*, 19, 3: 17-37.
- Marion J. L., Olive N., 2006. Assessing and understanding trail degradation: Results from Big South Fork.
- National River and Recreational Area. National Park Service, Final Research Report. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey: 1-80.
- Schiefer E., Gilbert R., 2007. Reconstructing morphometric change in a proglacial landscape using historical aerial photography and automated DEM generation. *Geomorphology*, 88: 167-178.
- Suchocki C., Wasilewski A., Aksamitauskas C., 2008. Application of scanning technology in cliff shores monitoring. *Environmental engineering, The 7th International Conference*, Faculty of Environmental Engineering, Vilnius Gediminas Technical University, May 22-23, 2008, Vilnius: 1493-1496.
- Teza G., Galgaro A., Zaltron N., Genevois R., 2007. Terrestrial laser scanner to detect landslide displacement fields: a new approach. *International Journal of Remote Sensing*, 16: 3425-3446.
- Tomczyk A., Ewertowski M., 2009. Cyfrowe modele wysokościowe w geomorfologii – wprowadzenie. [W:] Z. Zwoliński (red.), GIS – platforma integracyjna geografii, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań: 67-87.
- Wangensteen B., Guðmundsson A., Eiken T., Kääb A., Farbrot H., Etzelmüller B., 2006. Surface displacements and surface age estimates for creeping slope landforms in Northern and Eastern Iceland using digital photogrammetry. *Geomorphology*, 80: 59-79.
- Yoda A., Watanabe T., 2000. Erosion of mountain hiking trail over a seven-year period in Daisetsuzan National Park, central Hokkaido, Japan. *USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-15*, Vol., 5: 172-178.