

Cyfrowe modele mikroform rzeźby terenu i ich zastosowanie do badania dynamiki przekształceń powierzchni szlaków turystycznych

Digital models of microrelief and their use in study of the dynamics of changes in tourist trails surfaces

Aleksandra M. Tomczyk*

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

Zarys treści: Przekształcenia powierzchni szlaków turystycznych zachodzą na skutek współdziałania pomiędzy czynnikami wywołanymi działalnością człowieka oraz czynnikami naturalnymi. Skala zmiany rzeźby szlaków jest stosunkowo niewielka i wymaga zastosowania metod dostarczających i umożliwiających obróbkę precyzyjnych danych wysokościowych. W dotychczasowych pracach ocena dynamiki zmian powierzchni ścieżek turystycznych polegała najczęściej na pomiarach w profilach, w określonych interwałach przy wykorzystaniu linijki, wyskalowanej żyłki bądź taśmy mierniczej. Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie możliwości wykorzystania cyfrowych modeli mikroform terenu do analizy przekształcenia rzeźby szlaków turystycznych, co jest podejściem nowatorskim. Do zebrania precyzyjnych danych wysokościowych wykorzystano tachimetr elektroniczny firmy Topcon wraz z minipryzmatem dalmierczym. Badania przeprowadzone zostały na wybranych polach testowych na terenie Gorczańskiego Parku Narodowego (GPN) oraz Popradzkiego Parku Krajobrazowego (PPK). Pomiary dokonywano w postaci nieregularnych pikiet wysokościowych, starając się uwzględnić wszystkie istotne elementy rzeźby terenu. Ponadto przeprowadzono odczyty w stałych liniach profilowych. Dla każdego obszaru wykonano również 30 pomiarów kontrolnych, które posłużyły do weryfikacji utworzonych później modeli. Przeciętna gęstość punktów pomiarowych wynosiła 70 pikiet na m². Na podstawie zebranych danych wysokościowych wygenerowano cyfrowe modele wysokości (DEM) o rozmiarze komórki 5 x 5 cm oraz 1 x 1 cm. W wyniku odjęcia od siebie kolejnych modeli obliczono ilość materiału jaka została przemieszczona w obrębie pól testowych.

Słowa kluczowe: cyfrowy model wysokościowy, Gorczański Park Narodowy, Popradzki Park Krajobrazowy, antropopresja, mikrorzeźba

Abstract: Transformations of the tourist trail surfaces happen due to combined effect of human-related factors and natural factors. Scale of the changes is relatively small. Hence, specific methods capable of delivering and processing precise elevation data are required. Former studies for assessment of changes in tourist trail surfaces have usually based on measurements along profiles at defined space intervals with the use of measurement tape or calibrated line. The aim of this study is to present of an innovative method comprising application of the digital models of microforms to analysis the transformation of tourist trail relief. Electronic Topcon Total Station was used for elevation data gathering. Researches have been done in selected test fields in the Gorce National Park (GPN) and the Popradzki Landscape Park (PLP). Irregular elevation points were surveying taking into account essential elements of the terrain surface.

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

Average density of survey points was 70 per m². Moreover, additional surveys along fixed profile lines were carried out. Measurements in 30 control points were gathered for each test field, creating the base data set for verification of digital elevation models. Based on gathered elevation data, the digital elevation models (DEM) with spatial resolution 5 x 5 cm and 1 x 1 cm were generated. Subtraction of models made in subsequent time periods allowed to calculate amount of material which has been transported within the test fields.

Keywords: Digital Elevation Model, Gorce National Park, Popradzki Landscape Park, human impact, microrelief

Wprowadzenie

Jednym z zadań parków narodowych i krajo-
brazowych jest udostępnianie ich wnętrza w celach
turystyczno - rekreacyjnych, jednakże w sposób
nie wywołujący szkód w przyrodzie (Ustawa o
ochronie przyrody z dnia 16 kwietnia 2004 r.). Ta
powinność realizowana jest powszechnie poprzez
sieć szlaków turystycznych, która ułatwia dotarcie
do atrakcji turystycznych, a z drugiej strony ogra-
nicza penetrację do wybranych tras chroniąc tere-
ny, które z przyczyn ekologicznych powinny być
wyłączone z użytkowania turystycznego (Styperek,
2001, 2002).

Obszary chronione są jednymi z najbardziej
atrakcyjnych pod względem turystycznym obsza-
rów Polski, co sprawia, że na wyznaczonych tra-
sach koncentruje się duża liczba turystów przyczyni-
ając się do znacznie większej degradacji szla-
ków turystycznych oraz ich bezpośredniego oto-
czenia niż obszarów pozostałych.

Jednym z elementów środowiska przyrodnicze-
go, narażonym na degradację pod wpływem dzia-
łalności człowieka, jest powierzchnia terenu. W
literaturze naukowej problematyka związana z
przekształceniem powierzchni szlaków turystycz-
nych dotyczy głównie górskich obszarów chronio-
nych. Badania przeprowadzone były na obszarze
Tatrzańskiego Parku Narodowego, a szczególnie w
rejonie Doliny Chochołowskiej (Krusiec, 1996;
Ewertowski, Tomczyk, 2007), masywu Czerw-
nych Wierchów i Regli Zakopiańskich (Gorczyca
2000), Tatr Zachodnich (Fidelus, 2008). Powstały
także opracowania dotyczące całych Tatr Polskich
(m.in. Czochański, 2000; Szydarowski, 2000; Gor-
czyca, Krzemień, 2002). Ponadto tego typu tema-
tyką zajmowano się w rejonie Pilska (Łajczak,
1996, 2005a, 2005b), Karkonoszy (Parzóch, 1994,
Kasprzak, 2005; Kasprzak, Traczyk, 2005), Śnież-
nika (Klementowski, 1996), na terenie Babiogór-
skiego Parku Narodowego (Buchwał, Fidelus,
2008) Gorczańskiego Parku Narodowego (Wałdy-
kowski, 2006; Tomczyk, 2009), Bieszczadzkiego
Parku Narodowego (Prędkie, 1999, 2000, 2002), a
poza granicami Polski m.in. na obszarze Masywu
Centralnego we Francji (Krzemień, 1995), Gór

Skalistych w USA (Wilson, Seney, 1994) oraz
Wyspy Honsiu w Japonii (Tsuyuzaki, 1994).

Podjęte badania uwiaryściły, że szlaki tury-
styczne i ich najbliższe otoczenie tworzą strefę o
najintensywniej przekształcaną rzeźbę w obrębie
stoków, przez które zostały poprowadzone. Tempo
denudacji jest tu wielokrotnie większe w porówna-
niu z obszarami wyłączonymi spod bezpośrednie-
go wpływu człowieka. Przykładowo, na obszarze
masywu Czerwonych Wierchów szlaki turystycz-
ne, w stosunku do terenów obokległych, rozcięte
są do głębokości 2,2 m. Zaś produktem geomorfo-
logicznym są różnego rodzaju mikroformy o cha-
akterze erozyjnym, jak i akumulacyjnym, m.in.
rynny erozyjne, progi i kotły eworsyjne, jezory
akumulacyjne na stoku, stożki napływowe i usypi-
skowe, bruk deflacyjny, stopnie gelideflacyjne.

Wyróżnia się dwie grupy czynników wpływają-
cych na przekształcenia rzeźby w obrębie szlaków
turystycznych: naturalne procesy morfogenetyczne
oraz antropogeniczne. Wydeptana bądź rozjeżdżo-
na roślinność w wyniku działalności człowieka
odsłania pokrywy zwietrzelinowe na stokach, co
prowadzi do zainicjowania, intensyfikacji i linijne-
go ukierunkowania procesów morfotwórczych,
głównie takich jak: spłukiwanie linijne i po-
wierzchniowe, lód włóknisty, ruchy masowe, de-
flacja i procesy grawitacyjne. Degradacja rzeźby
przebiega z różną intensywnością w zależności od
podłoża geologicznego, rodzaju nawierzchni, poło-
żenia danego odcinka w piętze morfodynamicz-
nym, nachylenia i ekspozycji stoku, charakteru
pokrywy roślinnej, pory roku i natężenia ruchu
turystycznego. Obok turystyki pieszej, na wzrost
stopnia przekształceń środowiska geograficznego
ma wpływ także narciarstwo, gospodarka leśna
oraz pasterstwo – działalności niejednokrotnie na-
kładające się na tym samym obszarze.

W ocenie dynamiki zmian powierzchni szlaków
turystycznych, do tej pory, popularnym sposobem
pozyskania danych wysokościowych były proste
pomiaru w profilach poprzecznych do biegu szla-
ku, w określonych interwałach przy użyciu linijki,
wyskalowanej żyłki bądź taśmy mierniczej (m.in.
Froehlich, Słupik, 1986; Yoda, Watanabe, 2000;
Whinam, Chilcott, 2003; Kasprzak, 2005; Wałdy-

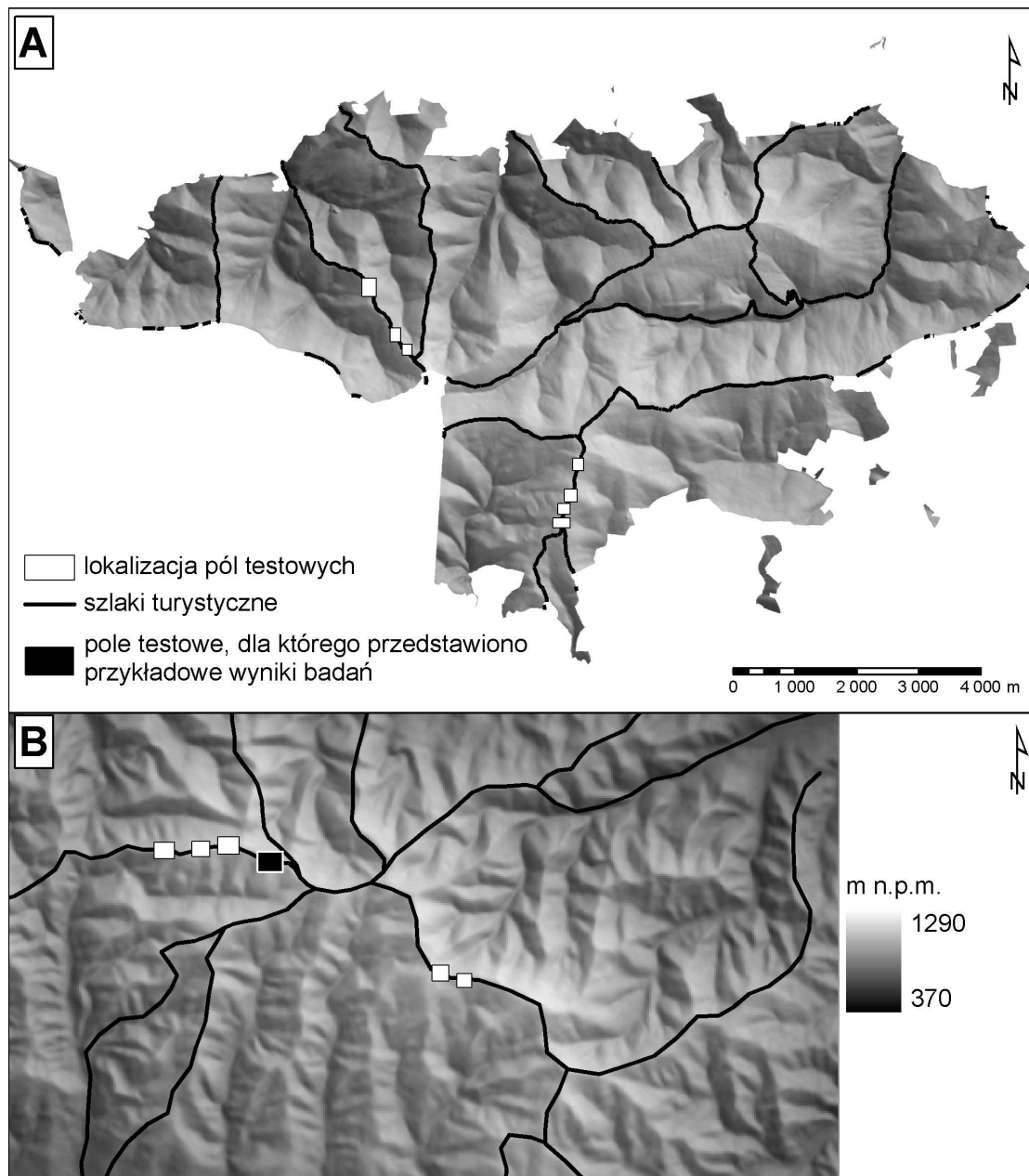
kowski, 2006).

Głównym celem prowadzonych przez autorkę badań jest określenie w sposób ilościowy dynamiki i skali przekształcenia powierzchni szlaków turystycznych. W pracy przedstawiono nowatorskie podejście obejmujące wykorzystanie cyfrowych modeli wysokościowych (ang. *DEM – Digital Elevation Models*) do analizy zmian mikroform terenu w obrębie szlaków turystycznych oraz w ich bezpośrednim otoczeniu.

Metody i obszar badań

Prace terenowe prowadzone były na dwóch obszarach górskich objętych różnymi formami ochrony: w Gorczańskim Parku Narodowym (GPN) oraz w Popradzkim Parku Krajobrazowym (PPK) w Paśmie Radziejowej.

Precyzyjne pomiary wysokościowe wykonywano na wybranych polach testowych, które obejmują



Ryc. 1. Obszar badań i rozmieszczenie pól testowych. A – Gorczański Park Narodowy. B – Popradzki Park Krajobrazowy (Pasma Radziejowej)

Fig. 1. Study area and distribution of the test fields. A – the Gorczański National Park. B – the Popradzki Landscape Park (Radziejowa Range)

mowały pięciometrowe odcinki szlaków wraz z ich najbliższym otoczeniem. Łącznie pozyskano dane wysokościowe dla 7 pól testowych na terenie GPN oraz dla 6 pól testowych w PPK (ryc. 1). Na każdym polu wykonano po trzy sesje pomiarowe: w sierpniu/wrześniu 2008, w czerwcu 2009 oraz pod koniec sierpnia 2009.

Do zebrania precyzyjnych i obiektywnych danych wysokościowych wykorzystano tachimetr elektroniczny (ang. *total station*) firmy Topcon. Jest to urządzenie pomiarowe, które działa na zasadzie odczytu kąta poziomego i pionowego oraz odległości do pryzmatu dalmierczego ustawionego w mierzonym punkcie. Dzięki wykorzystaniu wewnętrznej pamięci możliwa jest rejestracja wyników w postaci cyfrowej.

Etapy postępowania badawczego

Wyznaczenie i zastabilizowanie pól testowych

Podczas wstępnego rozpoznania terenowego wytypowano odcinki szlaków do pomiarów wysokościowych, tak aby zapewnić reprezentatywność różnych typów użytkowania (m.in. ścieżka turystyczna, droga), nachylenia, ekspozycji oraz rodzaju pokrywy roślinnej w otoczeniu szlaku (las z bogatym i ubogim runem, polana). Wykluczono natomiast te odcinki, na których niemożliwe było wykonanie pomiarów geodezyjnych (np. poprzez zbyt gęsty podszyt) lub nie było możliwości zainstalowania punktów reperowych (np. na skutek niekorzystnego ukształtowania terenu). Rozmiary pól testowych wyniosły ok. 5 metrów długości oraz od 3 do 4 metrów szerokości – w zależności od szerokości szlaku.

W otoczeniu każdego z wytypowanych pól zamontowano po cztery repery geodezyjne, które posłużyły do zastabilizowania pola jako punkty lokalnej osnowy geodezyjnej. Jako markery wykorzystano specjalne znaki pomiarowe typu PLASTMARK. Znaki te złożone są z metalowego trzpienia o długości 0,5 m, który otoczony jest powłoką z tworzywa sztucznego z wystającymi „kolcami”, przyczyniającymi się do zachowania ich stabilności. Znaki pomiarowe zostały wbite w ziemię w ten sposób, że ich górna część znajdowała się 5-10 cm pod powierzchnią terenu i przysypane warstwą gleby oraz ściółki, dzięki czemu są one niewidoczne dla odwiedzających. Dla każdego z punktów wykonano opis topograficzny, na którym zaznaczono odległość od co najmniej trzech punk-

tów charakterystycznych znajdujących się w pobliżu (głazy, drzewa ze znakiem szlaku itp.). Dzięki tak przygotowanym opisom możliwe było odnalezienie reperów w kolejnych sesjach pomiarowych.

Ze względu na przyjęty cel badań, nie było konieczności dowiązania pól testowych do Państwowego Układu Współrzędnych Geodezyjnych. Po zamontowaniu reperów obliczono natomiast ich współrzędne w lokalnym układzie odniesienia, wykorzystując do tego celu pomiary przeprowadzone w ciągu poligonowym zamkniętym, przyjmując dla jednego, wybranego punktu współrzędne x , y , z równe 100, 100, 100 m. Wszystkie wykonywane pomiary wysokościowe odnoszone były następnie do tych lokalnych współrzędnych, co umożliwiło określenie wielkości zmian.

Przeprowadzenie pomiarów wysokościowych

Pomiary wysokościowe przeprowadzono przy użyciu tachimetru elektronicznego. Jeden z punktów lokalnej osnowy geodezyjnej pełnił rolę stanowiska – roztawiano na nim instrument. Pozostałe punkty osnowy wykorzystywane były jako nawiązania. Ze względu na konieczność zachowania wysokiej dokładności pomiarów w pracach terenowych zastosowano minilustro (minipryzmat dalmierczy o średnicy ok. 2 cm) zamontowane na tyczce na wysokości 0,2 m. W ten sposób zminimalizowano błędy związane z odchyleniem tyczki od pionu oraz nieprecyzyjnym wycelowaniem krzyża nitek.

Sesja pomiarowa składała się z pomiarów pikiet w rozproszonych punktach w obrębie pola testowego, przy uwzględnieniu charakterystycznych mikroform terenu. Gęstość zmierzonych w ten sposób punktów wносиła ok. 70 pikiet/m². Przeprowadzono także pomiary w profilach poprzecznych względem biegu szlaku, wzdłuż rozciągniętej taśmy geodezyjnej, wykonując odczyt wysokości w odstępach 5 cm. Na zakończenie mierzono 30 losowo wybranych punktów kontrolnych, które służyły w późniejszych etapach do weryfikacji dokładności wyników badań, a także dokonywano powtórnego pomiaru nawiązań w celu sprawdzenia, czy nie nastąpiło rozpozniomowanie i wychylenie instrumentu.

Na każdym polu testowym wykonano po trzy sesje pomiarowe: na przełomie sierpnia i września 2008, w czerwcu 2009 oraz w drugiej połowie sierpnia 2009. W zależności od szerokości szlaku i urozmaïcenia mikrorzeźby terenu pomiary jednego pola trwały od 8 do 15 godzin.

Opracowanie cyfrowych modeli wysokościowych

Wyniki pomiarów zarejestrowanych tachimetrem elektronicznym przetransferowano bezpośrednio do aplikacji Winkalk, gdzie dane obserwacyjne (tj. zawierające kąt poziomy, pionowy oraz odległość) przetworzono na punkty o znanych współrzędnych lokalnych x, y, z . Utworzone w ten sposób pliki zawierające punktowe informacje o wysokości zaimportowano do aplikacji ArcInfo. Następnie dla pojedynczej sesji pomiarowej dla każdego pola testowego utworzono łącznie sześć cyfrowych modeli wysokości (DEM) przy wykorzystaniu różnych metod interpolacji oraz o różnym rozmiarze komórki. Zastosowano metodę *Topo to Raster*, metodę odwrotnych odległości (ang. *inverse distance weighted*) oraz kirging. Przy użyciu każdej z trzech wyżej wymienionych metod wygenerowano po dwa modele o rozmiarze komórki 1×1 cm oraz 5×5 cm.

Do oceny poprawności DEM-ów posłużono się punktami kontrolnymi, które nie były wykorzystywane podczas tworzenia modelu. Różnica pomiędzy wysokością danego punktu kontrolnego zmierzoną w terenie, a wysokością odczytaną z modelu pozwoliła na określenie błędu. Różnica ta była interpretowana jako łączny błąd wynikający z niedokładności pomiaru oraz przyjętej metody interpolacji. Pierwiastek średniego błędu kwadratowego (ang. *RMSE* – *root mean square error*) dla punktów kontrolnych został wykorzystany jako miara poprawności odwzorowania mikrorzeźby terenu za pomocą danego modelu. Pierwiastek średniego błędu kwadratowego (ang. *root mean*

squared error - *RMSE*) dla większości DEM-ów przyjmował wartości mniejsze niż 1 cm.

Obliczenie objętości przemieszczanego materiału

Dla każdego pola testowego wykorzystano modele, które charakteryzowały się najbardziej poprawnym odwzorowaniem powierzchni szlaków. Modele wygenerowane podczas każdej z sesji pomiarowych odjęto od siebie i w ten sposób uzyskano przestrzenny obraz przedstawiający ubytek lub akumulację materiału w każdej komórce modelu pomiędzy jedną sesją a drugą. Następnie przemnożono wartość zmiany przez rozmiar komórki i w ten sposób otrzymano objętość przemieszczanego materiału. Aby uwzględnić błędy wynikające z niedokładności pomiarów oraz przyjętej metody interpolacji, komórki, których wartość mieściła się w granicach RMSE zostały potraktowane jako takie, gdzie nie doszło do zmian rzeźby lub to przekształcenie było mniejsze od błędu modelu, tj. przypisano im wartość 0.

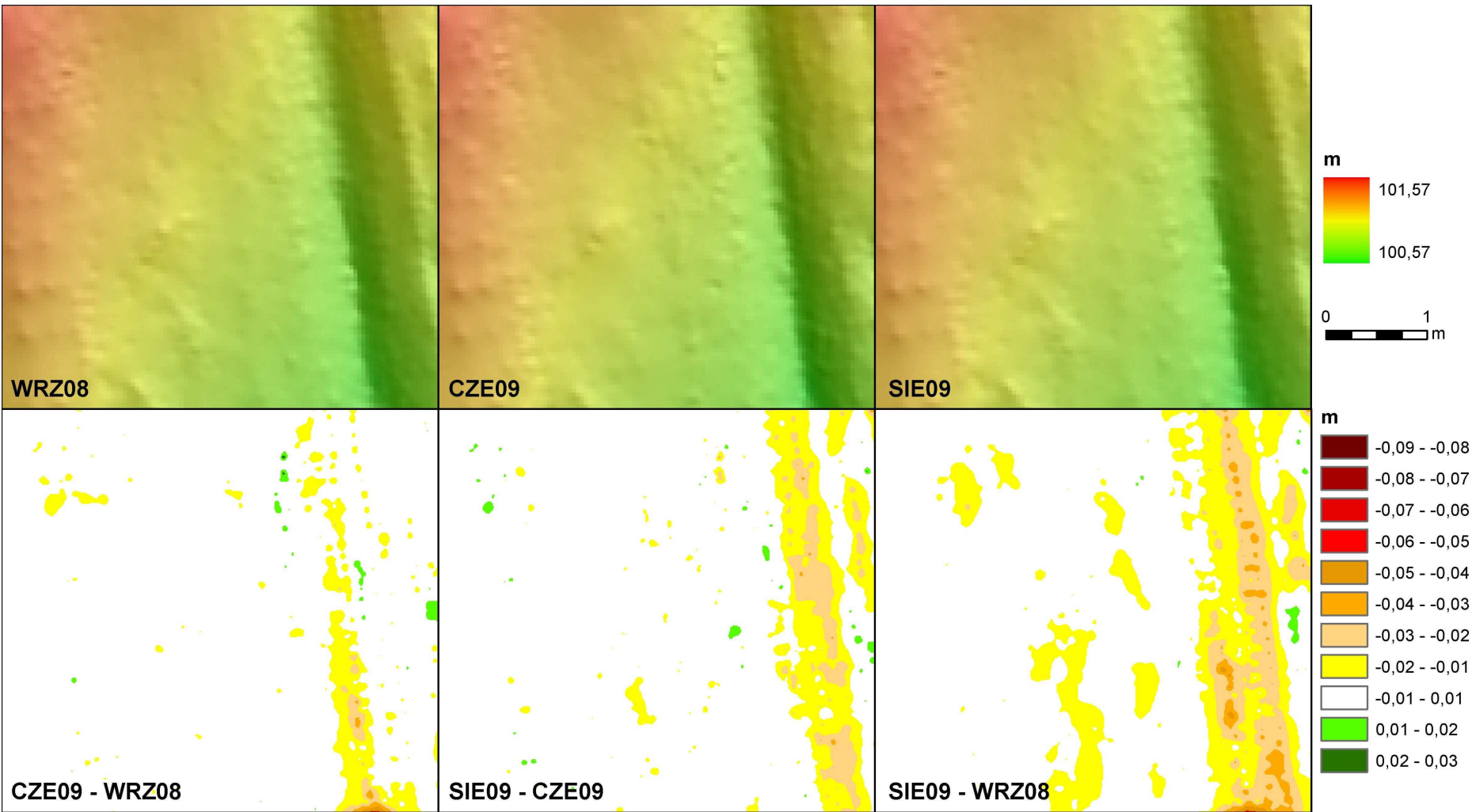
Wybrane wyniki badań

Dla ilustracji zaprezentowanej w pracy metody badań przedstawiono wyniki dla przykładowego pola testowego położonego na terenie PPK na szlaku czerwonym z Przehyby przez Dzwonkówkę w kierunku Krościenka. Znajduje się ono na stosunkowo mało nachylonym (ok. $5,7^\circ$) odcinku szlaku wykorzystywanym równocześnie jako droga leśna przez nadleśnictwo (ryc. 2).



Ryc. 2. Przykładowe pole testowe położone na szlaku czerwonym z Przehyby w stronę Krościenka, na terenie Popradzkiego Parku Krajobrazowego

Fig. 2. An example of a test field located on the "red" trail from Przehyba to Krościenko, Popradzki Landscape Park

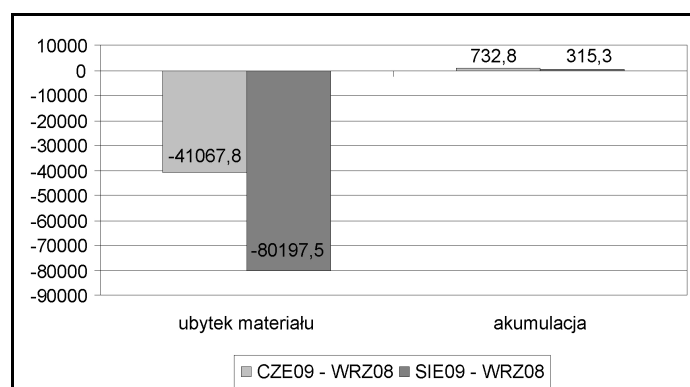


Ryc. 3. Wyniki badań dla przykładowego pola testowego.

W górnym rzędzie przedstawione są modele wysokości: WRZ08 – wrzesień 2008; CZE09 – czerwiec 2009; SIE09 – sierpień w 2009. W dolnym rzędzie przedstawione są zmiany jakie zaszły w obrębie poletka: CZE09 – WRZ08 – pomiędzy wrześniem 2008 a czerwcem 2009; SIE09 – CZE09 – pomiędzy czerwcem 2009 a sierpniem 2009; SIE09 – WRZ08 – pomiędzy wrześniem 2008 a sierpniem 2009. Wszystkie dane przedstawione w metrach

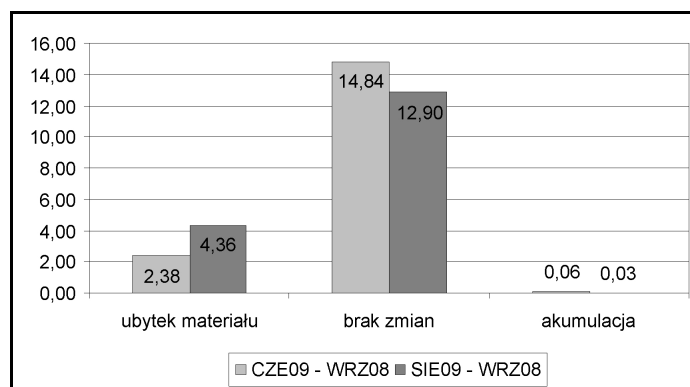
Fig. 3. Survey results for the specified test field.

At the upper row are digital elevation models: WRZ08 – September 2008; CZE09 – June 2009; SIE09 – August 2009. In the lower row are surface changes within the test field: CZE09 – WRZ08 – from September 2008 to June 2009; SIE09 – CZE09 – from June 2009 to August 2009; SIE09 – WRZ08 – from September 2008 to August 2009. Data are presented in meters



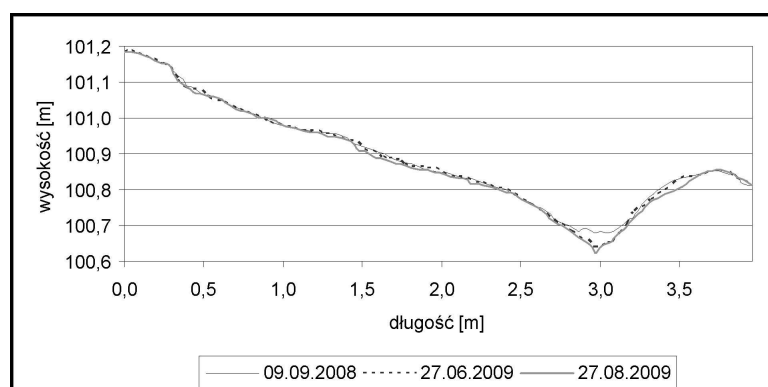
Ryc. 4. Zmiany objętości pola testowego pomiędzy wrześniem 2008 a czerwcem 2009 oraz pomiędzy wrześniem 2008 a sierpniem 2009. Wielkość zmian przedstawiono w cm^3

Fig. 4. Changes of volume of the specified test field in the two periods: from September 2008 to June 2009 and from September 2008 to August 2009. Quantity of changes is presented in cm^3



Ryc. 5. Powierzchnia pola testowego podlegająca zmianom pomiędzy wrześniem 2008 a czerwcem 2009 oraz pomiędzy wrześniem 2008 a sierpniem 2009. Wielkość powierzchni przedstawiono w m^2

Fig. 5. Area of the test field, that was subjected to surface changes in the period from September 2008 to June 2009 and in the period from September 2008 to August 2009. Area is presented in m^2



Ryc. 6. Zmiany powierzchni w profilu poprzecznym do przebiegu szlaku

Fig. 6. Changes of surface observed in profile transverse to the route of the trail

Modele terenu wygenerowane na podstawie zebranych danych przedstawione są na rycinie 3. Biorąc pod uwagę okres roczny (pomiędzy początkiem września 2008 a końcem sierpnia 2009) można zauważyć, że w obrębie omawianego pola testowego dominował ubytek materiału, a przekształcenia dotyczyły przede wszystkim niewielkiej rynny zlokalizowanej z boku drogi (ryc. 3). Zmiany te nie zachodziły równomiernie w czasie – podczas 9 miesięcy poza szczytem turystycznym (początek września 2008 – czerwiec 2009) z pola testowego ubyło ponad 40 tys. cm³ (40 litrów) materiału, a niewiele mniejsza ilość została przemieszczona przez zaledwie trzy miesiące o dużym natężeniu ruchu turystycznego (czerwiec 2009 – koniec sierpnia 2009) (ryc. 4). Biorąc pod uwagę przestrzenny rozkład zmian, na większości powierzchni pola testowego nie dochodziło do przekształceń lub były one mniejsze niż błąd modelu (ryc. 5). Powierzchnia, na której zanotowano ubytek materiału to niespełna 1/5 pola, natomiast akumulacja miała miejsce jedynie na bardzo ograniczonej przestrzeni. Podobny obraz przedstawiają zmiany obserwowane w profilach poprzecznych (ryc. 6), gdzie widać wyraźnie, że przekształcenia dotyczą głównie położonej z boku szlaku niewielkiej rynny erozyjnej.

Podsumowanie

- 1) Tachimetr elektroniczny wraz z minipryzmatem dalmierzowym jest narzędziem dostarczającym precyzyjnych i obiektywnych informacji o wysokości. Są to dane wystarczająco dokładne aby mogły być przydatne przy badaniu przekształcenia rzeźby szlaków turystycznych.
- 2) Cyfrowe modele wysokościowe opracowane na podstawie danych z pomiarów tachimetrycznych charakteryzują się dobrym odwzorowaniem mikrorzeźby szlaków (przeciętny błąd pionowy przedstawienia powierzchni jest mniejszy niż 1 cm).
- 3) Zaproponowany schemat postępowania badawczego pozwala na obliczenie ilości materiału zakumulowanego lub usuniętego z badanych odcinków szlaków. Takie informacje mogą być niezwykle przydatne dla zarządzających obszarami chronionymi w celu monitorowania skutków presji spowodowanej działalnością turystyczną i gospodarką leśną.
- 4) Wybrane wyniki badań wskazują, że dla niektórych odcinków szlaków największe prze-

kształcenia zachodzą w letnich okresach wzmożonego ruchu turystycznego (czerwiec – sierpień).

- 5) Dalsze badania ukierunkowane będą na rozpoznanie czynników sprzyjających bądź ograniczających przekształcenia powierzchni szlaków turystycznych.

Badania finansowane są w ramach projektu badawczego własnego MNiSW nr N N305 3625 33 pt. „Ilościowy model przekształcenia rzeźby szlaków turystycznych na wybranych obszarach Gorczańskiego Parku Narodowego i Popradzkiego Parku Krajobrazowego” realizowanego w latach 2007-2010.

Literatura

- Buchwał A., Fidelus J., 2008. The development of erosive and denudational landforms on footpaths sections in the Babia Góra massif and the western Tatras. *Geomorphologia Slovaca et Bohemica*, 2: 14-24
- Czochański J., 2000. Wpływ użytkowania turystycznego na rozwój procesów i form erozyjno – denudacyjnych w otoczeniu szlaków. W: J. Czochański, D. Borowiak (red.), *Z badań geograficznych w Tatrach Polskich*. Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk: 331-344.
- Ewertowski M., Tomczyk A., 2007. Ocena stanu środowiska geograficznego szlaków turystycznych – wykorzystanie GIS do integracji danych terenowych i kartograficznych. *Przegląd Geograficzny*, 79, 2: 271-295.
- Fidelus J., 2008. Skutki przekształceń rzeźby w obrębie ścieżek i dróg turystycznych w wybranych obszarach Tatr Zachodnich. *Landform Analysis*, 9: 276-279.
- Froehlich W., Słupik J., 1986. Rola dróg w kształtowaniu spływu i erozji w karpaccich zlewniach fliszowych. *Przegląd Geograficzny*, T. LVIII: 67-85.
- Gorczyca E., 2000. Wpływ ruchu turystycznego na przekształcenie rzeźby wysokogórskiej na przykładzie Masywu Czerwonych Wierchów i Regli Zakopiańskich (Tatry Zachodnie). *Prace Geograficzne IGiPZ. Zeszyt 105*, Kraków: 369-389.
- Gorczyca E., Krzemień K., 2002. Wpływ ruchu turystycznego na rzeźbę Tatrzańskiego Parku Narodowego. W: W. Borowiec, A. Kotarba, A. Kownacki, Z. Krzan, Z. Mirek (red.), *Przemiany środowiska przyrodniczego Tatr*. Wyd. Instytutu Botaniki PAN, Kraków – Zakopane: 389-393.

- Kasprzak M., 2005. Tempo degradacji powierzchni dróg i ścieżek turystycznych w Karkonoszach Wschodnich. *Opera Corcotdica*, 41: 17-30.
- Kasprzak M., Traczyk A., 2005. Antropogeniczne formy terenu na grzbiecie Karkonoszy w rejonie Łabskiego Szczytu. [W:] A. Łajczak (red.), *Materiały Warsztatów Geomorfologicznych – „Antropopresja w środowisku górskim – zapis zmian w formach terenu i osadach”*, Korbielów – Pilsko (Beskid Żywiecki), 27-30 maja 2005r. Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Uniwersytet Śląski: 53-60.
- Klementowski J., 1996. Degradacja pokryw stokowych w warunkach antropopresji. Procesy kriogeniczne, spłukiwanie i erozja żłobinowa. [W:] A. Jahn, S. Kozłowski, M. Paulina, *Masyw Śnieżnika. Zmiany w środowisku przyrodniczym*. Wyd. PAE, Warszawa: 123-142.
- Krusiec M., 1996. Wpływ ruchu turystycznego na przekształcenie rzeźby Tatr Zachodnich na przykładzie Doliny Chochołowskiej. *Czasopismo Geograficzne*, 47, 3-4: 303-320.
- Krzemień K., 1995. Morfologiczne skutki gospodarki turystycznej w obszarze wysokogórskim na przykładzie masywu les Monts Dore (Francja). *Prace Geograficzne*, 99: 23-33.
- Łajczak A., 1996. Wpływ narciarstwa i turystyki pieszej na erozję gleby w obszarze podszczytowym Pilsko. W: A. Łajczak, S. Michalik, Z. Witkowski (red.), *Wpływ narciarstwa i turystyki pieszej na przyrodę masywu Pilsko*. *Studia Naturae*, 41: 131-159.
- Łajczak A., 2005a. Antropopresja w górach – rozwój w czasie i zróżnicowanie w układzie wysokościowym, na przykładzie masywu Pilsko w Zachodnich Karpatach. [W:] A. Łajczak (red.), *Materiały Warsztatów Geomorfologicznych – „Antropopresja w środowisku górskim – zapis zmian w formach terenu i osadach”*, Korbielów – Pilsko (Beskid Żywiecki), 27-30 maja 2005r. Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Uniwersytet Śląski: 11-30.
- Łajczak A., 2005b. Wpływ narciarstwa na modelowanie stoków górskich na przykładzie Polskich Karpat. [W:] A. Łajczak (red.), *Materiały Warsztatów Geomorfologicznych – „Antropopresja w środowisku górskim – zapis zmian w formach terenu i osadach”*, Korbielów – Pilsko (Beskid Żywiecki), 27-30 maja 2005r. Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Uniwersytet Śląski: 61-71.
- Parzóch K., 1994. Efekty erozyjne i tempo sukcesji roślinnej na pasie granicznym w Karkonoszach. *Acta Univer. Wratislaviensis*, 1702. *Prace Instytutu Geograficznego*, Seria A, Geografia fizyczna, 7: 27-36.
- Prędko R., 1999. Ocena zniszczeń środowiska przyrodniczego Bieszczadzkiego Parku Narodowego w obrębie pieszych szlaków turystycznych w latach 1995-1999 – porównanie wyników monitoringu. *Roczniki Bieszczadzkie*, 8: 343-352.
- Prędko R., 2000. Przemiany właściwości powietrzno – wodnych gleb w obrębie pieszych szlaków turystycznych Bieszczadzkiego Parku Narodowego. *Roczniki Bieszczadzkie*, 9: 225-236.
- Prędko R., 2002. Wpływ ruchu turystycznego na teksturę oraz właściwości wodne gleb w obrębie szlaków pieszych Bieszczadzkiego Parku Narodowego. [W:] J. Partyka (red.), *Użytkowanie turystyczne parków narodowych. Ruch turystyczny – zagospodarowanie – konflikty – zagrożenia*. Wyd. Ojcowski Park Narodowy, Ojców: 763-770.
- Styperek J., 2001. Piesze szlaki turystyczne w polskich parkach narodowych. *Turyzm* 11/1, Łódź: 25-37.
- Styperek J., 2002. Linearne systemy penetracji rekreacyjnej. Wyd. Naukowe „Bogucki”, Poznań: 27-32.
- Szydarowski W., 2000. Rozwój form erozyjnych w otoczeniu szlaków turystycznych Tatrzańskiego Parku Narodowego. W: J. Czochoński, D. Boroński (red.), *Z badań geograficznych w Tatrach Polskich*. Wyd. Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk: 315-328.
- Tomczyk A.M., 2009. Wykorzystanie tachimetru elektronicznego do badania przekształcenia powierzchni szlaków turystycznych. [W:] L. Kasprzak (red.), *Badania podstawowe i aplikacyjne w naukach geograficznych*, Zakład Graficzny UAM: 23-27..
- Tsuyuzaki S., 1994. Environmental deterioration resulting from ski – resort construction in Japa. *Environmental Conservation*, 21: 121-125.
- Ustawa o ochronie przyrody z dnia 16 kwietnia 2004 roku (Dz. U. 04.92.880 z dnia 30 kwietnia 2004 roku).
- Wałykowski P., 2006. Wpływ dróg górskich na dynamikę procesów morfogenetycznych w rejonie Turbacza. *Ochrona Beskidów Zachodnich*, 1: 67-79.
- Whinam J., Chilcott N.M., 2003. Impacts after four years of experimental trampling on alpine/sub-alpine environments in western Tasmania. *Journal of environmental management*, 67, 4:339-351.
- Wilson J., Seney J., 1994. Erosional impact of hikers, hornes, motorcycles, and off-road bicycles on

mountain trails in Montana. *Mountain Research and Development*, 14, 1: 77-88.

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.