

CEZARY TOŚ, GRZEGORZ MIREK\*

ZASTOSOWANIE POPULARNEGO ZESTAWU  
FOTOGRAFICZNEGO W MONITORINGU OSUWISK  
METODĄ FOTOGRAMETRII NAZIEMNEJAPPLICATION OF POPULAR PHOTOGRAPHY  
EQUIPMENT IN MONITORING OF LANDSLIDE AREAS  
WITH TERRESTRIAL PHOTOGRAMMETRY METHOD

## Streszczenie

Celem artykułu była weryfikacja tezy o przydatności fotogrametrii naziemnej z zastosowaniem bazy pionowej oraz z wykorzystaniem ogólnodostępnego sprzętu fotograficznego w monitoringu terenów zagrożonych przez ruchy mas ziemnych. Prace obejmowały trzy etapy: konfigurację sprzętu na bazie popularnych aparatów fotograficznych (wybór aparatu, opracowanie zdalnego sterowania), pomiar dwóch obiektów o różnej charakterystyce powierzchni różnymi metodami fotogrametrii naziemnej z użyciem ww. sprzętu oraz porównawczo metodą tachimetrii skanującej, opracowanie wyników pomiarów i na tej podstawie sformułowanie wniosków. Wyniki prac wskazują na możliwość zastosowania proponowanej metody w przypadku obiektów wymagających informacji w stosunkowo krótkim czasie przy niskich kosztach pomiaru i niewysokich oczekiwaniach dokładnościowych.

*Słowa kluczowe: fotogrametria naziemna, monitoring osuwisk, kamera niemetryczna*

## Abstract

Paper's main target was verification of a thesis that terrestrial photogrammetry with application of vertical offset and a non-specialist photo camera can be used in monitoring of landslide hazard areas. Working included three stages: preparing configuration of a proper equipment, measurement of two objects with different surface with terrestrial photogrammetry method and 3D scanning as a comparative method, elaboration of results and drawing conclusions. Results indicate possibility of successful using the proposed method in cases where high accuracy isn't required but speed and low cost of measurements.

*Keywords: terrestrial photogrammetry, monitoring of landslide areas, non-metric camera*

\* Dr inż. Cezary Toś, dr inż. Grzegorz Mirek, Instytut Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Monitoring terenów zagrożonych ruchami mas ziemnych przeprowadzany metodą tradycyjnej tachimetrii, w trakcie której niezbędne jest pozyskanie dużej liczby danych dyskretnych jest bardzo czasochłonny [1]. Zastosowanie nowoczesnych skanerów laserowych 3D znacznie przyspiesza pomiar, jednak w obu powyższych metodach należy liczyć się ze znacznymi kosztami przeprowadzanych prac. W pierwszym przypadku ze względu na czasochłonność i wynikający z niej znaczny nakład pracy, natomiast w drugim ze względu na bardzo duży koszt samego skanera laserowego. Monitoring obiektów oraz budowli ziemnych, takich jak skarpy, nasypy oraz tereny osuwiskowe nie wymaga najwyższej precyzji danych pomiarowych, w wielu przypadkach jako wystarczające można przyjąć dokładności wyznaczenia współrzędnych poszczególnych punktów rzędu 5–10 cm. Biorąc to pod uwagę, autorzy doszli do wniosku, że metodą dającą zadowalające rezultaty przy możliwie minimalnych kosztach przeprowadzanych prac, może być fotogrametria naziemna z zastosowaniem popularnego sprzętu fotograficznego [2, 3]. Głównym problemem prowadzenia pomiarów z poziomu ziemi jest przesłonięcie obiektu naturalnego przez przeszkody (roślinność wysoką, obiekty antropogeniczne) [4].



Rys. 1. Sposób wykonania stereoskopowej pary zdjęć z zastosowaniem bazy pionowej i poziomej  
 Fig. 1. Making of stereoscopic pair of photos with application of horizontal and vertical offset

Ograniczenie tego wpływu w przypadku fotogrametrii naziemnej jest możliwe przez zastosowanie bazy pionowej, która może ułatwić pozyskanie danych w przypadku częściowego przysłaniania obiektu przez przeszkody terenowe lub gdy brak jest miejsca przed obiektem dla zastosowania tradycyjnej bazy poziomej (rys. 1) [5]. Wiąże się to jednak z konstrukcją odpowiedniego zestawu aparaturowego. Nie jest to zadanie szczególnie trudne i kosztowne nawet z zastosowaniem ogólnodostępnych komponentów. Niniejszy artykuł przedstawia konstrukcję takiego zestawu oraz wyniki testów przydatności metody fotogrametrii naziemnej z jego zastosowaniem do inwentaryzacji ruchów mas ziemnych.

## 2. Konfiguracja aparatury

Przygotowany zestaw aparaturowy umożliwiający zdalne wykonywanie zdjęć z zastosowaniem bazy pionowej składa się z popularnego aparatu fotograficznego Nikon D5100, teleskopowego wysięgnika umożliwiającego ustawienie aparatu na zadanej wysokości, przedłużacza kabla USB oraz komputera przenośnego z zainstalowanym oprogramowaniem Nikon Camera Control 6.0 (rys. 2). Dzięki takiej konfiguracji na ekranie komputera możliwy jest podgląd w czasie rzeczywistym obrazu widzianego przez obiektyw aparatu ustawionego na wysięgniku. Tym sposobem możliwe jest dokładne jego wycelowanie i zdalne wykonanie zdjęcia. W zestawie znalazły zastosowanie ogólnodostępne oraz niedrogie, szczególnie w porównaniu z profesjonalnym sprzętem, komponenty. Zastosowanie notebooka okazało się skuteczne, ale mało wygodne w terenie ze względu na jego gabaryty. Lepszym rozwiązaniem jest wykorzystanie urządzenia typu palmtop lub tablet, jednak muszą to być urządzenia z systemem Windows, na którym można zainstalować oprogramowanie Nikon Camera Control Pro. Przedstawione rozwiązanie ma również swoje ograniczenia wynikające z możliwości połączenia przez kabel USB. Maksymalna długość bazy pionowej w tej konfiguracji nie przekracza 7 m, gdyż przy większych długościach urządzenia połączone w ten sposób mają trudności z komunikacją. Istnieją możliwości bezprzewodowego połączenia poprzez WiFi lub Bluetooth, jednak wiąże się to ze znacznie większymi nakładami finansowymi (zakup odpowiedniego aparatu bądź specjalnych adapterów). Ponadto przy większych bazach pionowych konieczna jest zarówno stabilizacja masztu, jak i zdalna manipulacja aparatem. Baza 7 m pozwala na dokładne odwzorowanie obszaru do odległości ok. 70 m, co w większości małych osunięć mas ziemnych jest w zupełności wystarczające. Dla większych obszarów konieczne jest zwiększenie liczby stanowisk pomiarowych.

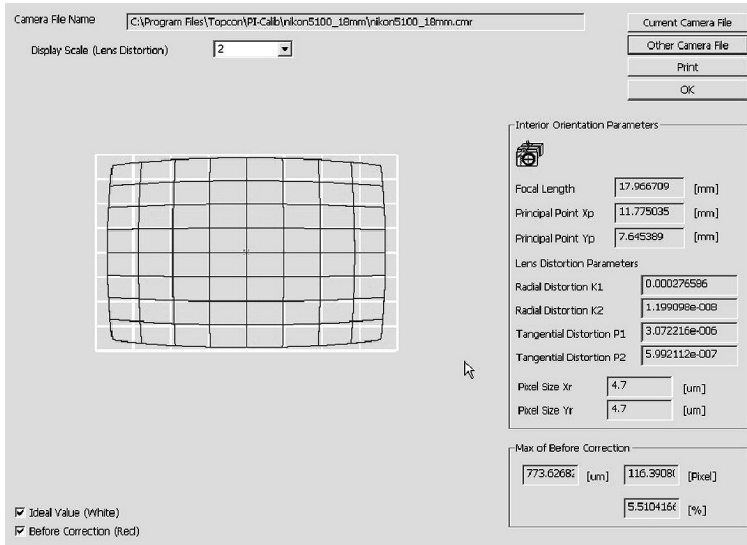


Rys. 2. Skonfigurowany zestaw aparaturowy

Fig. 2. Configured photography equipment

Aparat fotograficzny (lustrzanka cyfrowa) przed wykonaniem pomiarów musi zostać poddany kalibracji w celu wyznaczenia jego elementów orientacji wewnętrznej. Należą do nich współrzędne punktu głównego obrazu w układzie zdjęcia  $(x_0, y_0)$  oraz odległość obrazowa (stała  $c_k$ ). Bardzo ważnym elementem również wyznaczanym w trakcie kalibracji jest dystorsja obiektywu [6, 7]. Dokładne obliczenie jej parametrów jest szczególnie ważne, gdyż

w popularnych aparatach zniekształcenia obrazu wynikające z dystorsji obiektywu mogą być znaczne (rys. 3) [3]. Parametry kalibracji pozwalają na odtworzenie wiązki rzutu środkowego, a w efekcie budowę modelu 3D sfotografowanego obiektu na podstawie stereogramu.



Rys. 3. Parametry dystorsji obiektywu

Fig. 3. Parameters of len's distortion

Należy podkreślić, że przedstawiony zestaw jest tylko jednym z możliwych [8]. Czynnikiem podstawowym w konstruowaniu sposobu połączenia i wyborze oprogramowania zestawu jest marka i możliwości aparatu fotograficznego.

### 3. Pomiary terenowe na wybranych obiektach

Inwentaryzacja osuwisk polega na wyznaczeniu ich zasięgu oraz intensywności ruchów mas ziemnych. Niezależnie od sposobu opracowania wyników pomiar sprowadza się do wyznaczenia położenia zbioru punktów na powierzchni terenu, w co najmniej dwóch seriach. Jednym z kluczowych elementów przydatności metody jest, dokładność wyznaczenia współrzędnych punktów. Jeżeli punkty te nie są punktami charakterystycznymi (np. punkty monitoringu powierzchniowego zastabilizowane w terenie), tylko przypadkowo rozmieszczonymi, to dla prawidłowego opisu terenu znaczenie ma również ich gęstość.

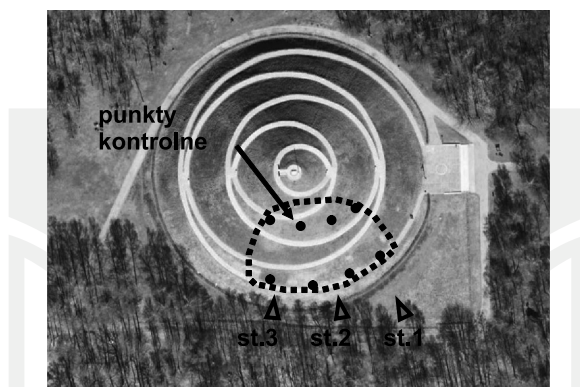
Nie ulega wątpliwości, że wykorzystanie metod fotogrametrycznych w opisie powierzchni terenu jest uwarunkowane stopniem jego pokrycia głównie przez roślinność. Należy mocno podkreślić, że jedynie w przypadku pokrycia częściowego lub tylko niską roślinnością trawiastą można planować zastosowanie metod fotogrametrycznych.

W związku z powyższym do badań wybrano dwa obszary: stok kopca Piłsudskiego o idealnych warunkach niskiej pokrywy trawiastej oraz naturalnego osuwiska na terenie Nowej

Huty częściowo pokrytym roślinnością wysoką. Na obu obiektach zastabilizowano punkty kontrolne pomierzone metodą tachimetryczną oraz wykonano zdjęcia z bazy pionowej oraz poziomej. Ponadto dla porównania wykonano skanowanie tachimetrem skanującym.

### 3.1. Kopiec Piłsudskiego

Pomiarami został objęty południowy stok kopca Piłsudskiego, na którym w ostatnim okresie dochodziło do znacznego osunięcia się materiału. Na obiekcie wykonano pomiar inwentaryzacyjny jego skarpy metodą fotogrametrii naziemnej za pomocą przygotowanego zestawu aparaturowego.



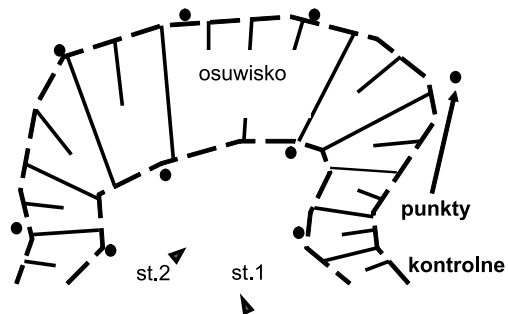
Rys. 4. Kopiec Piłsudskiego z zaznaczonym obszarem objętym pomiarem oraz stanowiskami

Fig. 4. Piłsudski Mound with selected measurement area and stations

Fotogramy wykonano z zastosowaniem bazy poziomej, jak również bazy pionowej. W obydwu przypadkach długość bazy wynosiła 3 m. Zdjęcia wykonano z trzech stanowisk, których współrzędne wyznaczono w układzie lokalnym. Do potrzeb orientacji zdjęć na obiekcie zastabilizowano palikami 8 punktów i tyle samo punktów kontrolnych służących do oceny dokładności. Punkty te pomierzono metodą tachimetryczną w układzie lokalnym i wyznaczono ich współrzędne. Dla celów porównawczych wykonano ponadto pomiar obiektu metodą tachimetrii skanującej z ustaloną gęstością skanowania około 1 metra. Zbocze kopca cechowało się prawie całkowitym brakiem przesłaniającej go roślinności. Natomiast w nielicznych miejscach obiekt zasłonięty był przez maszyny oraz składowane materiały budowlane, co związane było z prowadzonymi na nim pracami renowacyjnymi.

### 3.2. Osuwisko skarpy w Nowej Hucie

Drugim obiektem objętym pomiarem było osuwisko w skarpie nad łąkami nowohuckimi. Obiekt cechowało pokrycie roślinnością w znacznej jego części oraz osunięcia gruntu, co utrudniało dostęp do niego. Zdjęcia wykonano z dwóch stanowisk, stosując 1,5 metrową bazę poziomą i pionową. Podobnie jak w przypadku pierwszego obiektu zastabilizowano i pomierzono punkty orientacji i kontrolne. Pomiar porównawczy wykonano metodą tachimetrii skanującej z ustaloną gęstością skanowania około  $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ .



Rys. 5. Lokalizacja obszaru objętego pomiarem oraz szkic rozmieszczenia punktów kontrolnych i stanowisk pomiarowych

Fig. 5. Measurement area and sketch with location of stations and control points

#### 4. Opracowanie wyników pomiarów

Wykonane zdjęcia opracowano fotogrametrycznie w programie Pi3000. We wszystkich przypadkach wyznaczono w oparciu o pomierzone tachymetrycznie punkty elementy orientacji bezwzględnej dla każdej stereopary. Wyniki orientacji dla bazy pionowej i poziomej zestawiono w tabeli 1. Orientację wszystkich stereopar wykonano na podstawie 6 punktów orientacyjnych. Otrzymano rozdzielczość terenową pikseli w granicach 0,005–0,008 m przy odległości fotografowania ok. 30 m i 3-metrowej bazie. Punkty kontrolne, które nie brały udziału w orientacji stereopar wykorzystano do wyznaczenia odchyłek położenia uzyskanego w wyniku użycia metod fotogrametrycznych w odniesieniu do metody tachymetrycznej (tab. 2).

Tabela 1

Wyniki orientacji stereopar dla kopca Piłsudskiego

Obiekt	Rodzaj bazy	Średnia paralaksa poprzeczna [pixel]	Średni błąd orientacji [pixel]
K. Piłsudskiego stereopara 1	pionowa	0,18	0,75
K. Piłsudskiego stereopara 2	pionowa	0,38	0,58
K. Piłsudskiego stereopara 3	pionowa	0,19	1,21
K. Piłsudskiego stereopara 4	pozioma	0,35	0,62
K. Piłsudskiego stereopara 5	pozioma	0,65	1,30
K. Piłsudskiego stereopara 6	pozioma	0,49	0,68

Po wykonaniu orientacji zdjęć na stereogramie wykonuje się pomiar granicy obszaru osuwiska oraz występujących w jego obrębie linii nieciągłości terenu. Następnym krokiem jest wyznaczenie punktów węzłowych powierzchni TIN (rys. 6). Tryb postępowania jest identyczny w przypadku stereopar wykonanych z bazy poziomej i pionowej. Jediną różni-



cą, jest tylko to, że w przypadku bazy pionowej zdjęcia w trakcie opracowania są obrócone na ekranie komputera.

Tabela 2

**Odchyłki położenia punktów kontrolnych dla kopca Piłsudskiego**

Nr punktu	Odchyłka położenia punktu przy bazie poziomej [m]	Odchyłka położenia punktu przy bazie pionowej [m]
1	0,028	0,020
2	0,018	0,016
3	0,012	0,009
4	0,021	0,017
5	0,013	0,020
6	0,022	0,024
7	0,019	0,015
8	0,014	0,019



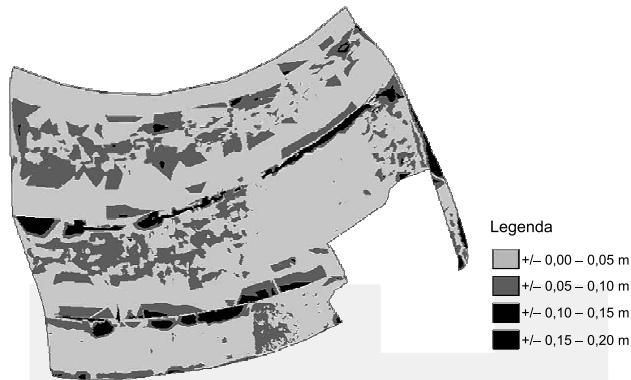
Rys. 6. Stereopara wykonana z bazy pionowej w trakcie opracowania

Fig. 6. Stereoscopic pair made with vertical offset during elaboration

Powierzchnia TIN może być generowana automatycznie w trybie autokorelacji (z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów lub funkcji *cross correlation*) o zadanej gęstości. W przypadku niniejszego opracowania zastosowana gęstość to 20 cm. W efekcie powstał model powierzchni terenu w obrębie osuwiska. Porównanie modeli terenu uzyskanych metodą fotogrametryczną ze zdjęć z bazy pionowej i poziomej oraz metodą skanowania przedstawiono w postaci map różnicowych (rys. 7, 8).

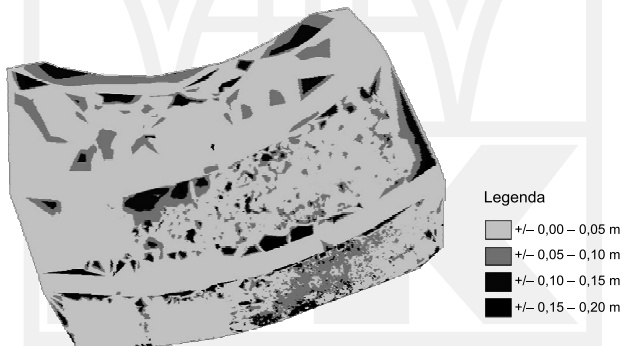
Jak widać na obu rysunkach różnice w wysokości powierzchni są znacznie większe niż w przypadku pomiarów punktów kontrolnych. W większości przypadków nie przekraczają one jednak 10 cm. Większe różnice dochodzące niekiedy do 20 cm występują głównie w pobliżu granic obszaru lub linii nieciągłości terenu. Linie te mierzone są ręcznie ze znacznie mniejszą gęstością punktów. Inna lokalizacja punktów wierzchołkowych linii nieciągłości lub granicy może skutkować znacznym odchyleniem powierzchni od siebie. Zaleta bazy pionowej pole-

gająca na większej możliwości omijania przeszkód terenowych uwidoczniła jest na rys. 6, gdzie w prawej dolnej części znajduje się obszar zasłonięty przez przeszkodę. W przypadku bazy poziomej nie było możliwości ominięcia tej przeszkody, co udało się w przypadku bazy pionowej.



Rys. 7. Mapa różnicowa powierzchni opracowanych metodą fotogrametryczną z bazy poziomej oraz na podstawie danych ze skanowania

Fig. 7. Map of differences between surfaces created using photogrammetry method (horizontal offset) and 3D scanning method



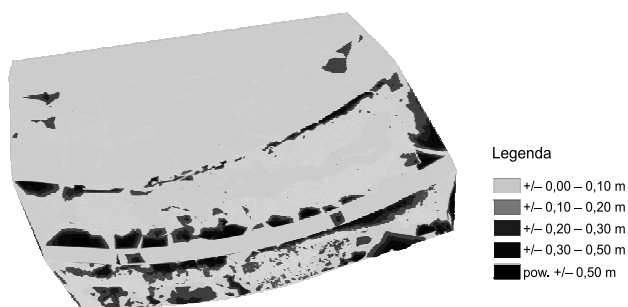
Rys. 8. Mapa różnicowa powierzchni opracowanej metodą fotogrametryczną z bazy pionowej oraz na podstawie danych ze skanowania

Fig. 8. Map of differences between surfaces created using photogrammetry method (vertical offset) and 3D scanning

Powtórny pomiar tej budowli wykonany po 3 miesiącach pozwolił na określenie zmian ukształtowania terenu przez porównanie dwóch powierzchni. Przemieszczenia gruntu pomiędzy pomiarem wyjściowym i kolejnym przedstawiono na rys. 9.

W tym konkretnym przypadku zaobserwowane zmiany w dolnej części obiektu są wynikiem przeprowadzonych w tym miejscu prac nad wzmocnieniem stoku kopca. W górnej części stoku nie objętej robotami ziemnymi, dla której nie prognozowano ruchu mas ziemnych, nie są one większe niż 10 cm.





Rys. 9. Mapa przemieszczeń utworzona jako różnica powierzchni wyjściowej i kolejnej  
 Fig. 9. Map of displacements created as differences between base surface and following surface

Dla drugiego obiektu zastosowano identyczną procedurę pomiaru oraz opracowania danych. Wyniki orientacji stereopar zestawiono w tabeli 3. Uzyskano rozdzielczość terenową pikseli wynoszącą 0,003–0,004 m przy odległości do obiektu ok. 15 m i bazie o długości 1,6 m. Wyznaczone odchyłki położenia punktów kontrolnych zestawiono w tab. 4.

Tabela 3

#### Wyniki orientacji stereopar dla osuwiska w Nowej Hucie

Obiekt	Rodzaj bazy	Średnia paralaksa poprzeczna [pixel]	Średni błąd orientacji [pixel]
N. Huta – skarpa stereopara 1	pionowa	0,78	0,91
N. Huta – skarpa stereopara 2	pionowa	0,82	1,12
N. Huta – skarpa stereopara 3	pozioma	0,72	0,88
N. Huta – skarpa stereopara 4	pozioma	0,54	1,22

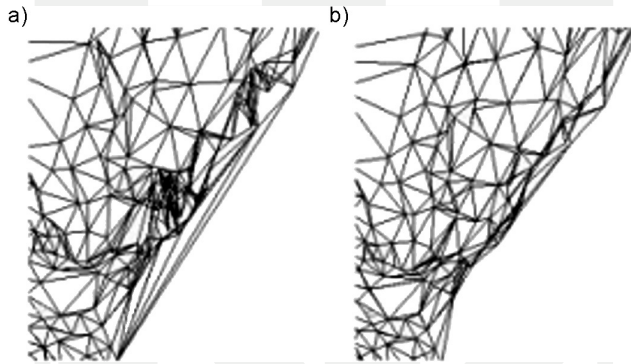
Tabela 4

#### Odchyłki położenia punktów kontrolnych dla osuwiska w Nowej Hucie

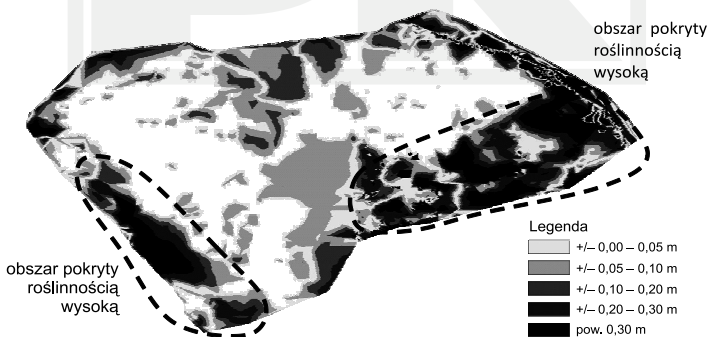
Nr punktu	Odchyłka położenia punktu przy bazie poziomej [m]	Odchyłka położenia punktu przy bazie pionowej [m]
1	0,025	0,022
2	0,015	0,016
3	0,016	0,018
4	0,022	0,018
5	0,017	0,019
6	0,012	0,014
7	0,024	0,020
8	0,020	0,020
9	0,018	0,016

Wyniki orientacji zdjęć oraz odchyłki położenia punktów kontrolnych są podobne jak te zaobserwowane na kopcu Piłsudskiego pomimo mniejszej odległości do obiektu. Jednak stosunek długości bazy do odległości fotografowania pozostał na tym samym poziomie około 1:10. Uzyskane dokładności rzędu 1,5–2 cm są 2–3-krotnie gorsze niż te otrzymywane profesjonalnym sprzętem [5].

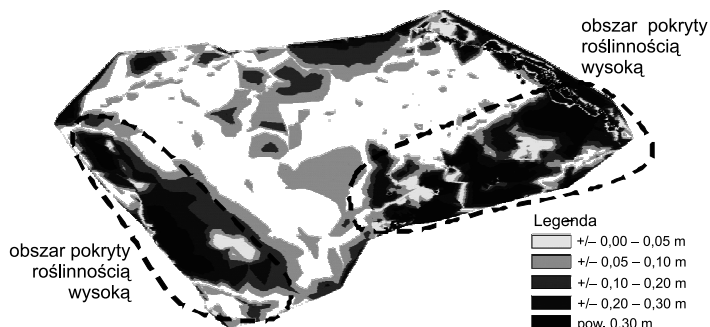
W przypadku technik zdalnych pomiar punktów powierzchni terenu naturalnego obarczony jest wieloma błędami. Wynikają one z faktu, że niektóre punkty zadeklarowanej siatki wypadają na przeszkodach terenowych. Usunięcie błędnych punktów jest możliwe za pomocą odpowiednich automatycznych metod filtracji lub ręcznie. Oprogramowanie oferujące tego typu automatyczne filtry dedykowane np. do opracowania danych LIDAR jest kosztowne, dlatego dla małych obszarów i niewielkiej liczby punktów nie ma alternatywy dla filtracji przeprowadzanej „ręcznie”. Jest ona o tyle łatwiejsza, że dysponujemy zdjęciami tego terenu, pozwalającymi na identyfikację poszczególnych przeszkód lub stref całkowicie zasłoniętych. Na rys. 10 przedstawiono fragment dwóch siatek TIN obszaru przed i po ręcznej filtracji punktów.



Rys. 10. Fragment modelu TIN powierzchni osuwiska przed (a) i po filtracji (b) błędnych punktów  
Fig. 10. Fragment of TIN surface before (a) and after (b) filtration of erroneous points



Rys. 11. Mapa różnic wysokości powierzchni opracowanych metodą fotogrametryczną z bazy poziomej oraz na podstawie danych ze skanowania (w metrach)  
Fig. 11. Map of height differences between surfaces created using photogrammetry method (horizontal offset) and 3D scanning method (in meters)



Rys. 12. Mapa różnic wysokości powierzchni opracowanych metodą fotogrametryczną z bazy pionowej oraz na podstawie danych ze skanowania (w metrach)

Fig. 12. Map of height differences between surfaces created using photogrammetry method (vertical offset) and 3D scanning (in meters)

Lokalne różnice w wysokości pomiędzy ostatecznymi powierzchniami uzyskanymi metodami fotogrametrycznymi w porównaniu z wynikami skanowania ukazano na rys. 11, 12. Dobrze widoczny jest wpływ roślinności porastającej obiekt na dokładność jego modelu. W rejonach braku pokrywy roślinnej lub występującej jedynie w postaci niskich traw różnice te nie przekraczają 10 cm. Modele terenów o wysokiej pokrywie roślinnej wykazują znacznie większe różnice. Należy jednak podkreślić, że w przypadku tego typu obszarów skanowanie, jak każda zdalna metoda, również nie jest pozbawiona błędów.

## 5. Wnioski

Obserwowane dziś tendencje wykorzystywania najnowocześniejszej i nierzadko bardzo drogiej aparatury nawet w prostych zagadnieniach pomiarowych, w praktyce nie zawsze znajdują uzasadnienie i sens. Dobrym przykładem jest tutaj monitoring ruchów mas ziemnych. Wyniki przeprowadzonych badań terenowych na dwóch obiektach wskazują na opisywaną metodę wraz z proponowanym zestawem pomiarowym jako zdecydowanie tańszą i prostszą alternatywę. Zalety tej metody to:

- niski koszt zastosowanej aparatury,
- szybkość pozyskania danych w terenie,
- nieskomplikowany proces opracowania wyników,
- możliwość uniknięcia wpływu przesłaniania obiektu przez pojedyncze przeszkody za pomocą bazy pionowej.

Dokładności wyznaczenia położenia punktów charakterystycznych rzędu 1–2 cm są wprawdzie 2,3-krotnie gorsze niż w przypadku zestawów profesjonalnych, lecz w zupełności wystarczające dla tego typu obiektów.

Do wad trzeba zaliczyć:

- przydatność metody jedynie w przypadku małych obszarów,
- brak możliwości prawidłowego pozyskania danych w przypadku występowania na monitorowanym obiekcie roślinności.

Zakrzewienie czy też porastanie obiektu przez wysokie trawy jest problematyczne nie tylko w przypadku opisywanej technologii, ale również we wszystkich zdalnych metodach pozyskiwania danych. Model terenu zbudowany na podstawie automatycznie wygenerowanych punktów jest zadowalający pod względem dokładnościowym jedynie na terenach bez pokrycia roślinnego oraz pod warunkiem poprawnego zdefiniowania linii nieciągłości, granic badanego obszaru, a także dużej gęstości punktów.

*Prezentowane wyniki badań, zrealizowane w ramach tematu nr Ś-2/242/DS/2012, zostały sfinansowane z dotacji na naukę przyznanej przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*

## Literatura

- [1] Toś C., Wolski B., Zielina L., *Scanning tachometers. Applications of scanning technology at generating precise model of engineering objects*, Monografia 385 seria Inżynieria Środowiska, Politechnika Krakowska, Kraków 2010.
- [2] Cardenal J., Mata E., Castro P., Delgado J., Hernandez M.A., Perez J.L., Ramos M., Torres M., *Evaluation of a digital non metric camera (Canon D30) for the photogrammetric recording of historical buildings*, IAPRS and Spatial Information Sciences, Vol. 34, Part XXX, Instabul 2004.
- [3] Tokarczyk R., Boroń A., *Badanie cyfrowych aparatów fotograficznych dla potrzeb fotogrametrii bliskiego zasięgu*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 10, Kraków 2000, 63-1 do 63-10.
- [4] Hervas J., Barredo J., Rosin P., Pasuto A., Mantovani F., *Monitoring landslides from optical remotely sensed imagery: the case history of Tessina landslide*, Geomorphology, 54, Italy 2003, 63-75.
- [5] Akca D., Gruen A., Askarinejad A., Springman S., *Photogrammetric monitoring of an artificially generated landslide*, International conference on Geoinformation for Disaster Management, May 3–8, Antalya 2011.
- [6] Sitek Z., *Fotogrametria ogólna i inżynierska*, Państwowe Przedsiębiorstwo Wydawnictw Kartograficznych, Warszawa 1991.
- [7] Luhmann T., Robson S., Kyle S., Harley I., *Close range photogrammetry. Principles, methods and applications*, Whittles Publishing, U.K. 2006.
- [8] Atkinson K.B. (ed.), *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*, Whittles Publishing, Scotland, U.K. 1996.