

Zastosowanie skanera naziemnego w monitorowaniu brzegów klifowych

Czesław Suchocki
Politechnika Koszalińska

1. Wstęp

Łączna długość brzegów klifowych na polskim wybrzeżu wynosi ponad 100 kilometrów. Klify są jednym z najbardziej widowiskowych i ciekawych rodzajów brzegów morskich, charakteryzujących się znacznymi wysokościami oraz dużą stromizną. Walory te często sprzyjały w podejmowaniu decyzji budowania obiektów mieszkalnych w bliskim sąsiedztwie zbocza klifu. W wyniku działania czynników erozyjnych następuje niszczenie, a następnie cofanie się zboczy klifowych o średnią wielkość około 0,5 m rocznie [1, 8], co stanowi zagrożenie dla obiektów znajdujących się w ich bezpośrednim zapleczu.

Zaplanowanie działań ochronnych dotyczących brzegów klifowych wymaga wykonywania okresowych obserwacji w celu zarejestrowania zachodzących zmian. Do tej pory geodezyjne pomiary brzegów klifowych polegały jedynie na pomiarze górnej i dolnej krawędzi skarpy klifu ze względu na niedostępność pozostałej części klifu [4]. Takie obserwacje są niewystarczające do monitorowania szczegółowych zmian zachodzących na klifie. Wykorzystanie metod fotogrametrycznych w badaniu przemieszczeń brzegów klifowych jest trudne. Wąska plaża, która zazwyczaj występuje przy zboczach klifu często uniemożliwia zastosowanie fotogrametrii naziemnej. Zdjęcia lotnicze stosowane są najczęściej do zaobserwowania zmian linii brzegowej morza, rzadziej do badania zmian powierzchni klifu.

Rozwój techniki pozwolił na wprowadzenie do geodezji nowoczesnych technologii i systemów pomiarowych, które dzięki bezlustrwowemu pomiarowi odległości dają możliwość obserwacji całej powierzchni klifu, w tym również obszarów niedostępnych. Wykonywanie pomiarów tymi instrumentami jest szybsze, dokładniejsze i w większym stopniu zautomatyzowane niż metodami

klasycznymi. Zdaniem autora rozwiązania problemu monitorowania zmian zachodzących w obiektach geotechnicznych, jakim jest klif, należy upatrywać właśnie w metodzie polegającej na skanowaniu laserowym.

2. Instrumenty skanujące

Instrumenty skanujące tj. skanery laserowe oraz tachimetry skanujące pozwalają na szczegółowe badania obiektów inżynierskich, głównie ich geometrii oraz przeprowadzanie monitoringu. Instrumenty te znajdują coraz szersze zastosowanie w pomiarach obiektów niedostępnych, a także takich, które ze względu na bezpieczeństwo i ich ochronę nie mogą podlegać pomiarom tachimetrycznym przy wykorzystaniu lustra. Takimi obiektami są np.: klify, które wchodzi w skład nadmorskiego pasa technicznego i podlegają ochronie oraz zakazowi wstępu na ich powierzchnię, ponieważ może to powodować zagrożenie dla życia ludzkiego [13, 14].

Zasadnicza różnica między skanerem naziemnym a tachimetrem skanującym jest w prędkości pozyskiwania danych. Skanery naziemne dokonują pomiaru od kilku do kilkudziesięciu tysięcy pikiet na sekundę, natomiast tachimetry skanujące dokonują pomiar z prędkością jednej pikiety w ciągu kilku sekund. Możliwość pozyskania tak dużego zbioru informacji o obserwowanym obiekcie w krótkim czasie powoduje duże zainteresowanie skanerami naziemnymi w środowisku geodezyjnym. Mimo to nie są one jeszcze tak bardzo rozpowszechnione z powodu ich dużej ceny, kilkukrotnie wyższej w stosunku do tachimetrów skanujących. Dokładność skanerów naziemnych i tachimetrów skanujących jest porównywalna i uzależniona przede wszystkim od dokładności dalmierza wynoszącej zazwyczaj poniżej $\pm 0,01$ m.

3. Obiekt badawczy i jego pomiar

Przedmiotem badań jest fragment brzegu klifowego położonego nad Morzem Bałtyckim w pobliżu miejscowości Pleśna, między 314 a 315 km wybrzeża według kilometrażu polskiej linii brzegowej. Obiekt ten jest klifem żywym (tzn. znajdującym się w strefie oddziaływania fal morskich) o długości 150 m i wysokości od 5 do 10 m (rys. 1).

Analizując dostępną literaturę przedmiotu dotyczącą badań brzegów klifowych można odnaleźć wiele informacji na temat ich budowy geologicznej, zniszczeń lub ochrony [2, 8, 12]. Natomiast przykładów zastosowania instrumentów skanujących w monitorowaniu brzegów klifowych znajdujących się na polskim wybrzeżu nie odnaleziono. Jedynie natrafiono na prace badawcze związane z możliwością zastosowania laserowych skanerów naziemnych w monitoringu wybrzeży klifowych Wysp Brytyjskich [9]. Odnaleziono rów-

niez przykłady zastosowania tachimetrów skanujących w monitorowaniu obiektów geotechnicznych o podobnym charakterze jak klif. Badania monitoringu skalnych urwisk prowadzono np. na Uniwersytecie w Tokio (Japonia) oraz na Uniwersytecie w Atenach (Grecja) [3, 5]. W Polsce natomiast badania nad monitoringiem Kopca im. Józefa Piłsudskiego w Krakowie prowadzono na Politechnice Krakowskiej [10, 11].



Rys. 1. Fragment klifu położonego w pobliżu miejscowości Pleśna
Fig. 1. Part of the cliff, vicinity of Plesnia village

Wykorzystywanie skaningu laserowego (skanerów naziemnych) jest metodą nową, o wciąż jeszcze nierozpoznanych możliwościach aplikacyjnych, szczególnie przy monitoringu obiektów geotechnicznych.

W wyniku porozumienia z przedstawicielami firmy Leica Geosystem w celach badawczych wypożyczono na czas pomiaru skaner laserowy HDS (High-Definition Surveying) ScanStation 2. Skaner ten charakteryzuje się następującymi parametrami technicznymi podanymi przez producenta:

- typ użytego lasera – impulsowy;
- zakres pomiaru do 300 m;
- maksymalna liczba pozyskiwanych punktów pomiarowych – 50 tys. pkt./s;
- dokładność pomiaru odległości – ± 4 mm (do 50 m);
- dokładność pomiaru kąta poziomego i pionowego – $\pm 3,8^{\circ}$;
- maksymalne zagęszczenie chmury punktów – 1 mm.

Największe zniszczenia brzegów morskich występują w okresie jesienno-zimowym, z powodu największej liczby sztormów. Dlatego też po tym okresie i tuż przed wegetacją roślin, które mogą utrudniać obserwację klifu, najlepiej jest wykonywać obserwacje. W związku z tym pomiar wykonano na początku maja 2008 roku skanerem ScanStation 2 (rys. 2).



Rys. 2. Skaner ScanStation 2 firmy Leica wykorzystany w pomiarach klifu
Fig. 2. Leica ScanStation 2 used in cliff survey

Pomiar zaplanowano tak aby przy jak najmniejszej liczbie stanowisk zaobserwować cały obiekt. Stanowiska pomiarowe usytuowano maksymalnie blisko morza w taki sposób aby zminimalizować powstawanie „cieni” (tzw. martwych pól). Na każdym stanowisku pomiarowym przed rozpoczęciem skanowania wykonywano panoramiczne zdjęcie obserwowanego obiektu wbudowanym aparatem cyfrowym. Zdjęcie te wykorzystywano do definiowania okna pomiarowego tzn. obszaru, który będzie objęty skanowaniem. Poza tym wykonaną fotografię można wykorzystać podczas obróbki danych, jako dokumentację techniczną lub do realistycznej wizualizacji modelu 3D [6]. Następnym ważnym elementem było ustawienie parametrów skanowania, przede wszystkim zagęszczenia punktów tj. rozdzielczości pionowej i poziomej. Zagęszczenie punktów powinno być tak dobrane aby zarejestrowany zbiór punktów pomiarowych wiarygodnie odzwierciedlał kształt i zróżnicowanie obserwowanej powierzchni klifu oraz było wolny od redundancji danych (nadmiernej liczby danych). Należy zaznaczyć również, że wykonywanie pomiarów o zbyt dużej rozdzielczości powodowałyby powstawanie bardzo dużych zbiorów danych (megadanych) niezwykle trudnych w obróbce.

Ostatecznie na każdym stanowisku w miejscu wykonywanego pomiaru próbnego ustawiano rozdzielczość 0,03 x 0,03 m w pionie i poziomie, a następnie skanowano całą widoczną powierzchnię klifu.

Podczas pomiaru skanerem naziemnym na każdym stanowisku pomiarowym jest rejestrowana chmura punktów, która reprezentuje część obserwowanego obiektu. Mierzone punkty w każdej chmurze odnoszone są do wewnętrznego układu współrzędnych instrumentu, którego początek umieszczony jest w centrum skanera [7]. Chmury te muszą być ostatecznie połączone w jedną całość oraz zorientowane w zewnętrznym układzie współrzędnych (w układzie osnowy pomiarowej). W tym celu podczas wykonywania pomiarów na każdym stanowisku pomiarowym dokonywano również obserwacji co najmniej trzech tzw. punktów łącznych, które posiadały określone współrzędne w państwowym układzie „2000”. Przestrzenne współrzędne tych punktów określano metodą GPS RTK w nawiązaniu do stacji referencyjnej uprzednio wyznaczonej do tego celu. W pomiarach tych wykorzystano odbiorniki Leica GPS1200, posiadające możliwość wyznaczania pozycji na podstawie dwóch systemów globalnej nawigacji satelitarnej (GPS i GLONASS). Tak przyjęty sposób określania pozycji punktów wiążących jest szybki i łatwy, a uzyskane dokładności ($m_p < 0,010$ m, $m_h < 0,015$ m) są wystarczające do badania naturalnych form ukształtowania terenu takich jak klify.

Ostatecznie obserwacje klifu wykonano skanerem z trzech stanowisk pomiarowych w nawiązaniu do sześciu punktów sygnalizowanych specjalnymi tarczkami, które są jednoznacznie identyfikowalne w chmurze punktów (rys. 3). Punkty te były rozmieszczone równomiernie w pobliżu badanego obiektu, w taki sposób aby wzajemnie nie były współliniowe i współpłaszczyznowe.



Rys. 3. Przykładowa sygnalizacja punktów łączących dla poszczególnych chmur punktów (ScanWorld)

Fig. 3. The example signaling of points joining for individual clouds of points (ScanWorld)

4. Opracowanie danych

Do opracowania danych posłużono się oprogramowaniem Cyclone 5.5, który posiada modułową budowę (Cyclone Scan, Register, Model, Survey, Viewer, Server) zapewniającą wydajną pracę. Oprogramowanie to pozwala w efektywny sposób obsługiwać chmurę punktów i pozyskiwać z niej interesujących nas informacji inżynierskich.

W wyniku skanowania i rejestracji poszczególnych chmur punktów pochodzących z różnych stanowisk pomiarowych powstała jedna kompletna baza punktów pomiarowych reprezentująca całą powierzchnię klifu wyrażona w państwowym układzie współrzędnych „2000”. Wzajemna przestrzenna dokładność położenia punktów łącznych między sobą wynosiła:

- w wewnętrznym układzie współrzędnych skanera $1 \div 5$ mm,
- w zewnętrznym państwowym układzie współrzędnych „2000” $2 \div 22$ mm.

Podczas zautomatyzowanego pomiaru skanerem HDS rejestracji podlega nie tylko badany obiekt, ale również elementy nie wchodzące w jego skład (np. krzaki, gałęzie, konary). Obserwacje te zostały nazwane przez autora obserwacjami nieistotnymi. Przed szczegółowym opracowaniem należy je wyeliminować ze zbioru danych pomiarowych. Jest to zadanie stosunkowo trudne, ponieważ nie ma takiego algorytmu, który w sposób automatyczny mógłby wiarygodnie wyselekcjonować takie obserwacje. Program Cyclone posiada moduły służące do filtracji danych, które można w pewnym stopniu wykorzystać do tego zadania. Etap tego opracowania jest bardzo pracochłonny, ale zarazem niezbędny w celu pozyskania danych opisujących wyłącznie rzeczywistą powierzchnię klifu.

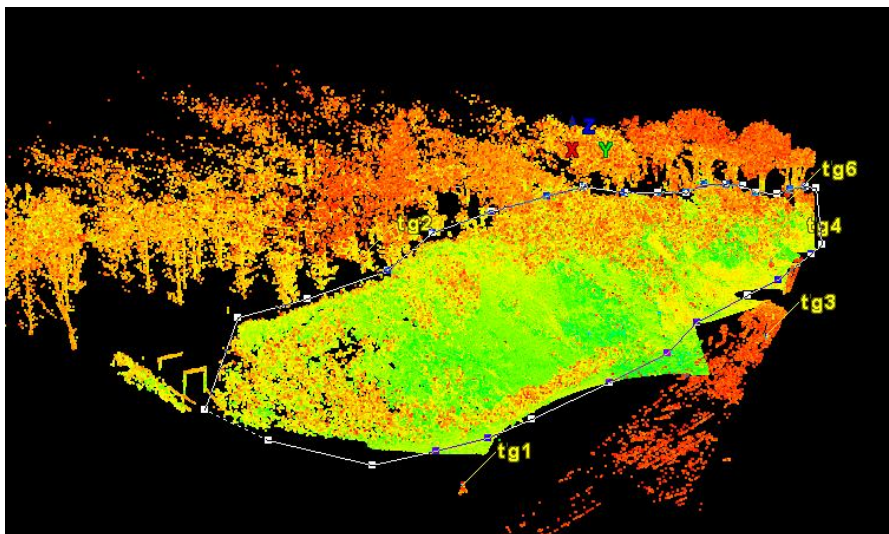
Propozycja etapów eliminacji danych nieistotnych w programie Cyclone z chmury punktów pozyskanej ze skaningu laserowego:

1. W pierwszym etapie należy usunąć obserwacje znacznie wykraczające poza zakres mierzonego obiektu. Wykonać to można w prosty sposób obserwując obiekt na monitorze w układzie trójwymiarowym i ograniczając go obszarem granicznym (rys. 4). Następnie należy wyselekcjonować wszystkie obserwacje wykraczające poza ten zakres, a następnie je usunąć.

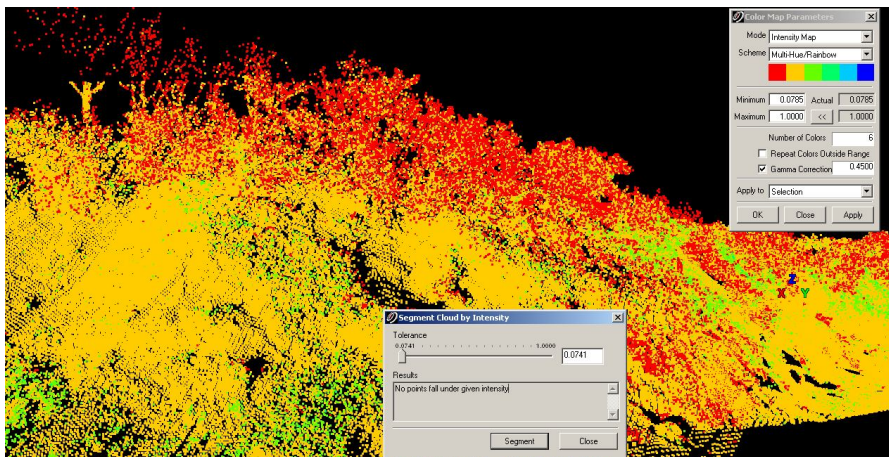
Wstępnej selekcji danych można również dokonać w trakcie samego pomiaru ustawiając odpowiednio filtry np. maksymalną i minimalną odległości między instrumentem a mierzonym obiektem.

2. Podczas pomiaru, skaner poza współrzędnymi X, Y, Z rejestruje czwartą „wirtualną” współrzędną, która informuje o ilości odbitego światła lasera od obiektu (intensity). Wielkość ta przedstawiana jest kolorystycznie w przedziale barw RGB 16-sto bitowych (32768 kolorów). Korzystając z tej miary dokonując podziału na odpowiednie grupy możemy wyselekcjonować część danych pomia-

rowych, których własności odbicia światła były słabe. Zazwyczaj takimi parametrami odbicia charakteryzują się rośliny zielone (liście, trawy itp.), „szumy” z pomiaru lub nieciągłości (np. edge effects). Na rys. 5 przedstawiono wyselekcjonowane takie obserwacje poprzez podział wartości „intensity” na 6 grup.



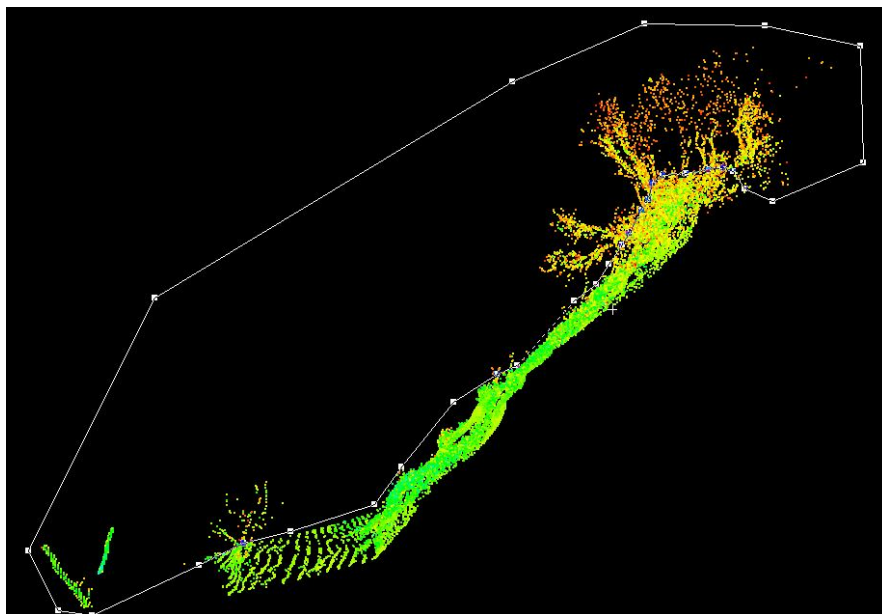
Rys. 4. Widok w perspektywie chmury punktów zeskanowanego klifu
Fig. 4. View in perspective of cloud of points scanned cliff



Rys. 5. Chmura punktów z wyselekcjonowanymi obserwacjami o niskiej wartości „intensity”

Fig. 5. The cloud of points with sorted observations about low value the intensity

3. Pozostałą część obserwacji nieistotnych należy wyselekcjonować i usunąć „ręcznie”. Dokonać to można poprzez podział klifu na kilkumetrowe lub kilkunastometrowe odcinki, a następnie obserwując je w widoku 3D. Wówczas łatwo jest zaobserwować takie punkty i wyselekcjonować je poprzez funkcję „fence”, a następnie usunąć (rys. 6). Dane te można dodatkowo konfrontować ze zdjęciem obiektu zapisanym w bazie danych.

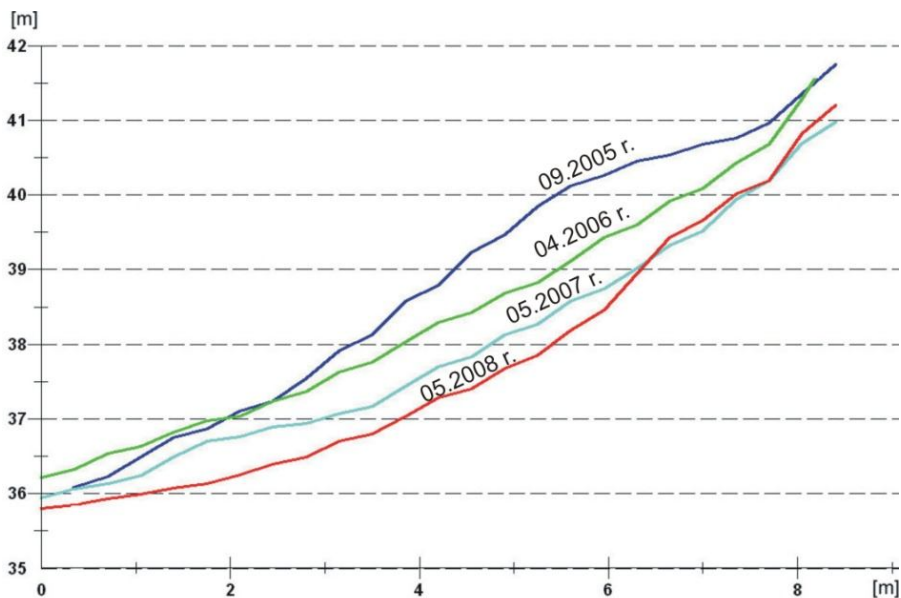


Rys. 6. Kilkumetrowy odcinek klifu w widoku 3D (w przekroju)
Fig. 6. The few meters fragment of cliff in view 3D (in section)

Po tak szczegółowej analizie zbioru danych ze skaningu laserowego klifu można wnioskować, że wyselekcjonowana chmura punktów będzie reprezentować wyłącznie monitorowany obiekt. W celu przestrzennej prezentacji powierzchni klifu z danych pomiarowych należy zbudować NMT typu TIN lub GRID. Do tego celu można wykorzystać również oprogramowanie Cyclone lub inne posiadające możliwość wizualizacji w 3D np. ArcGIS, Autodesk Land Desktop, PI-3000, Surfer.

Analizowany w pracy obiekt badawczy był już trzykrotnie monitorowany w latach 2005÷2007 przy użyciu tachimetrów skanujących. Korzystając również z tych danych wyinterpolowano cztery powierzchnie GRID z różnych okresów pomiarowych w oprogramowaniu ArcGIS. Dzięki temu możliwe było dokonanie ich bezpośredniego porównania za pomocą przekrojów pionowych wykonanych

wzdłuż zadanej linii. Analizując te przekroje zaobserwowano zachodzące zmiany na klifie powstałe na skutek działania czynników erozyjnych (rys. 7).



Rys. 7. Profile powierzchni klifu z czterech okresów pomiarowych
Fig. 7. Cross-sections cliff surfer for four-year observations

Z powyższego wykresu wynika, że w miejscu wykonania przekroju ściana klifu przesunęła się w głąb lądu o około 2 m. Natomiast na całym odcinku badanego brzegu klifowego w ciągu 3 lat zaobserwowano cofnięcie się klifu o 0,5÷3,0 m. Zauważone różnice w zniszczeniach klifu wynikają nie tylko z samego falowania, ale również z działania wód infiltrujących oraz budowy geologicznej klifu warunkującej wielkość zniszczeń. Odporniejsze na erozję i abrazję są klify zbudowane w większości z utworów dyluwialnych (glin zwałowych, piasków i żwirów lub ilów), stąd też charakteryzują się one bardziej zróżnicowaną powierzchnią.

5. Wnioski

- Skanery naziemne sprawdzają się w pomiarach obiektów geotechnicznych takich jak np. klify. W wyniku zastosowania bezlustrowej techniki pomiaru, istnieje możliwość obserwacji całej powierzchni klifu, w tym również obszarów niedostępnych, przy jednoczesnym spełnieniu przepisów dotyczących ochrony brzegów morskich.

- Podczas pomiaru brzegów klifowych skanerem naziemnym odległość między stanowiskami pomiarowymi powinna być tak dobrana, aby nie powstały tzw. martwe pola. W tej sytuacji należy zwrócić szczególną uwagę na stopień zróżnicowania rzeźby ściany klifu oraz na odległość stanowisk pomiarowych od zbocza klifu, która uwarunkowana jest szerokością plaży.
- Dobór zagęszczenia punktów pomiarowych należy uzależnić od typu monitorowanego obiektu, jego zróżnicowanej powierzchni oraz od oczekiwanej dokładności wynikowej numerycznego modelu badanego obiektu.
- Proces filtracji chmury punktów pozyskanej ze skaningu laserowego klifu nie może być całkowicie zautomatyzowany, ale może być wspomagany przez moduły obliczeniowe służące do tego celu, występujące np. w programie Cyclone.

Literatura

1. **Furmańczyk K.:** *Erozja brzegu problem europejski. ZZOP w Polsce – Stan obecny i perspektywy. Problemy erozji brzegu.* Szczecin. 2005.
2. **Kostrzewski A., Zwoliński Zb.:** *Wybrzeże klifowe Wyspy Wolin – monitoring geomorfologiczny.* XV Sympozjum Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego: Funkcjonowanie geosystemów Polski w warunkach zmian klimatu i różnokierunkowej antropopresji. Międzyzdroje, 2004.
3. **Lambrou E., Pantazis G.:** *A new geodetic methodology for the accurate Documentation and Monitoring of inaccessible surfaces.* 3rd IAG / 12th FIG Symposium, Baden, 2006.
4. **Marcinowski Z., Salik K.:** *Pomiary fragmentu brzegu klifowego w Jarosławcu metodą fotogrametrii naziemnej.* Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Wrocław. 2002.
5. **Murai S., Otani H., Ito T.:** *Digital photogrammetric system using total station with the scanning function.* 2007.
6. **Pudło M.:** *Skaner Leica.* Geodeta Nr 6 (133), 2006.
7. **Studencki M.:** *Rzeźbienie laserem.* Geodeta Nr 6. 2003.
8. **Szopowski Z.:** *Zarys historyczny zniszczeń polskich morskich brzegów klifowych.* Materiały do monografii polskiego brzegu bałtyckiego. Zeszyt 1. Wyd. Polska Akademia Nauk. Instytut Budownictwa Wodnego w Gdańsku. Gdańsk-Poznań. 1961.
9. **Pennington C., Hobbs P.:** *Coastal Surveying Techniques.* GEOInformatics No 6. 2008.
10. **Toś C., Wolski B., Zielina L.:** *Modelling of natural slopes and earthen constructions monitored by scanning technology.* Reports on Geodesy. Warszawa. 2007.
11. **Toś C., Wolski B., Zielina L.:** *Geodezyjny monitoring obiektu geotechnicznego. Na przykładzie Kopcu im. J. Piłsudskiego w Krakowie.* Geoinżynieria drogi mosty tunele. Nr 03/2008.
12. **Winowski M.:** *Geomorfologiczne skutki tajania pokrywy śniegu na wybrzeżu klifowym wyspy Wolin.* Landform Analysis. Vol. 9: 222-225. 2008.

13. Ustawa z dnia 21 marca 1991 r. „O obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i administracji morskiej” (Dziennik Ustaw z 2003 r. Nr 153 poz. 1502).
14. Zarządzenie Porządkowe Nr 1/2004 Dyrektora Urzędu Morskiego w Słupsku z dnia 21 stycznia 2004 r. (Dziennik Województwa Pomorskiego nr 13 poz. 265, Dziennik Województwa Zachodniopomorskiego nr 10 poz. 192) w sprawie określania wymogów zabezpieczenia brzegu morskiego, wydm nadmorskich i zalesień ochronnych w nadbrzeżnym pasie technicznym.

Application of Terrestrial Laser Scanner in Cliff Shores Monitoring

Abstract

The coastline in Poland is around 500 km long, including around 110 km of shore cliff. Cliffs belong to the most interesting types of sea coast, and enjoy a great interest on the part of scientists dealing with their protection, geological structure, and monitoring.

Up to this time, the geodetic surveys of shore cliff have been conducted by means of classical methods, namely establishing the location of top edge and the bottom of the cliff slope. Such observation is not sufficient to monitor detailed changes taking place on the shore cliff. Application of ground photogrammetry to examine cliff retreat proves difficult because of narrow beach. Aerial photography can be unsuitable due to long vertical sections of a cliff or tree branches protruding over cliffs. Over the last few years, ground laser scanners, one of the major technological achievements in geodesy, developed significantly. Application of these instruments throws new light on cliff shore monitoring. Reflectorless technology allows safe surveying of a cliff slope, which can oftentimes be difficult to access. The use of this technology allows automatization of surveys with high accuracy and short time of observations.

This paper presents the application of the terrestrial laser scanner to monitoring of cliff shores. The object of study is situated on the Baltic Sea in the vicinity of Pleśnia village, between 314 and 315 km of the coastline, according to the Polish coastline kilometric marking. This cliff is 150 m long, 5 to 10 m high and is located in the area of water waves activity. It was decided to conduct the surveying of this particular object, because dynamic changes taking place on this cliff were observed.

The scanner used in the survey (ScanStation 2 Leica Geosystem company) is equipped with impulse laser with surveying range of up to 300 m. This instrument can obtain data with the speed of 50 thousand points per second and can save it as a cloud of points of sub millimeter resolution. During the scanner survey, not only the object itself is being observed, but certain additional elements such as bushes or tree branches. In this paper was proposed a way of elimination irrelevant observations from the measurements data. It also presents the results of four-year observations in the form of vertical cross sections conducted along the same line. Thus it is possible to observe the changes caused by the erosion.

