



Ocena dynamiki zmian brzegu klifowego położonego w pobliżu miejscowości Pleśna w latach 2006-2015

CZESŁAW SUCHOCKI, MARZENA DAMIĘCKA-SUCHOCKA,
ANGELIKA JERZAKOWSKA, WOJCIECH GAWRON

Politechnika Koszalińska, Wydział Inżynierii Lądowej Środowiska i Geodezji, 75-453 Koszalin,
ul. Śniadeckich 2, suchocki@wilsig.tu.koszalin.pl, damiecka@wilsig.tu.koszalin.pl,
angelika-jerzakowska@wp.pl, gawron-wojciech@wp.pl

Streszczenie. W wyniku widocznych na naszym globie zmian klimatycznych, które przyczyniają się do podnoszenia średniego poziomu mórz i oceanów oraz do zwiększonej liczby sztormów, zauważalny jest nasilający się proces abrazji morskiej występującej na klifach. W artykule zaprezentowano badania zmierzające do określenia tempa cofania się fragmentu odcinka brzegu klifowego zlokalizowanego w pobliżu miejscowości Pleśna. Przeanalizowano przemieszczenia klifu zachodzące wskutek czynników erozyjnych na podstawie obserwacji z lat 2006-2015. Okresowe pomiary klifu były wykonywane techniką naziemnego skaningu laserowego. W analizach zastosowano opracowaną metodykę monitorowania brzegów klifowych, która była wynikiem pięcioletnich badań prowadzonych przez pracowników Katedry Geodezji Politechniki Koszalińskiej.

Słowa kluczowe: abrazja morska, klif, naziemny skaningu laserowy

DOI: 10.5604/12345865.1211143

1. Wstęp

Prace badawcze prowadzone w strefie brzegowej południowego Bałtyku jednoznacznie wskazują, że obszar lądowy podlega niekorzystnym procesom erozji, w wyniku czego następuje cofanie się linii brzegowej i ubytek obszaru lądowego naszego kraju [2]. Cofanie się brzegów klifowych jest złożonym procesem, na który ma wpływ wiele czynników. Głównym powodem jest niszczycielski proces dwóch zjawisk — abrazji morskiej u podnóża klifu oraz zsuwu lub obrywu jego górnych partii, a także osłabienie stoku w wyniku nawodnienia wodami

infiltrującymi przez niewielkie przewarstwienia piaszczyste [14, 15]. W ostatnim stuleciu można zaobserwować zmiany klimatyczne, które przyczyniają się do podnoszenia średniego poziomu mórz i oceanów o wartość około 1-2 mm na rok [7] oraz wzrostu sztormowej aktywności Bałtyku [4, 8]. Czynniki te powodują coraz większe uaktywnienie się procesów erozyjnych brzegów klifowych. Istotne jest więc wykonywanie okresowych pomiarów brzegów klifowych, które pozwolą na określenie ich tempa cofania.

Klify ze względu na strome zbocza są zazwyczaj obiektami trudno dostępnymi do pomiaru, dlatego należy stosować taką technikę pomiaru, która nie wymaga bezpośredniej ingerencji w monitorowany klif. Do tego bardzo dobrze sprawdza się technika naziemnego skaningu laserowego, która pozwala zdalnie pozyskiwać dane w postaci chmury punktów. W literaturze można odnaleźć wyniki badań nad wykorzystaniem techniki naziemnego skaningu laserowego w pomiarach brzegów klifowych [1, 2, 5, 6, 9, 16] lub obiektów geotechnicznych o podobnym charakterze (np. skarpy, wały, urwiska) [3, 13]. Autorzy tych publikacji wskazują szereg zalet takiego pomiaru, m.in. łatwy i szybki sposób pozyskiwania danych, ich wysoką dokładność oraz możliwość wykonywania obserwacji z bezpiecznej odległości z uwagi na zagrożenia np. spadającymi odłamkami. Również technika mobilnego skaningu laserowego znajduje coraz większe zastosowanie w pomiarach inwentaryzacyjnych stanu brzegu morskiego. Przykładem może być pomiar czternastu kilometrów plaży, wydmy i klifów w okolicy Trzęsacza, Niechorza i Mrzeżyna [<http://www.gispro.pl/>].

Zmiany zachodzące na klifie można ocenić poprzez budowę numerycznych modeli klifu typu GRID na podstawie danych z różnych okresów pomiarowych, a następnie porównanie otrzymanych modeli. Ze względu na to, że brzegi klifowe posiadają dużą stromizną zbocza, następuje znaczne obniżenie dokładności interpolacji rzędnej terenu w węzłach siatki GRID. W niniejszej pracy w celu zwiększenia dokładności numerycznego modelu klifu zastosowano odmienny sposób opracowania danych pomiarowych, polegający na wyrażeniu ich nie w układzie współrzędnych osnowy pomiarowej, lecz w układzie współrzędnych obiektu.

W artykule określono dynamikę zmian fragmentu brzegu klifowego na podstawie dziewięcioletnich obserwacji, do których wykorzystano technikę naziemnego skaningu laserowego.

2. Obiekt badawczy i jego pomiary

Przedmiotem badań jest odcinek brzegu klifowego położonego nad Morzem Bałtyckim w pobliżu miejscowości Pleśna, między 314 a 315 km wybrzeża według kilometrażu polskiej linii brzegowej. Odcinek ten należy więc do tzw. Klifu Sarbinowskiego, który rozciąga się między 308,75 a 316,80 km [10]. Obiekt ten o długości około 70 m i wysokości od 5 do 10 m jest klifem ciągle aktywnym. Klif ten stanowił poligon

badawczy do opracowania metodyki monitorowania brzegów klifowych przy wykorzystaniu naziemnego skaningu laserowego i od wielu lat jest ciągle monitorowany.

Klify nadmorskie występujące w Polsce zazwyczaj zbudowane są w większości z glin zwałowych, piasków, żwirów i ilów, charakteryzujących się różną odpornością na erozję i abrazję [12]. Biorąc pod uwagę budowę geologiczną klifów i ich odporność na czynniki erozyjne, w literaturze zazwyczaj wyróżnia się trzy ich geodynamiczne typy: osypiskowy, obrywowy i osypiskowo-zsuwowy. W budowie geologicznej monitorowanego klifu można zauważyć, że stosunek ilościowy poszczególnych frakcji jest zmienny. Początkowa część klifu o długości około 40 m zbudowana jest w większości z piasków i żwirów, w mniejszym stopniu z glin zwałowych (rys. 1a). Odcinek ten charakteryzuje się „łagodnym” zboczem o stosunkowo niewielkim nachyleniu uwarunkowanym mniejszą odpornością na erozję i abrazję. Druga część klifu, odporniejsza na czynniki niszczące, zbudowana jest w większości z glin zwałowych i ilów, stąd też charakteryzuje się bardziej zróżnicowaną powierzchnią o znacznym nachyleniu, z wyraźnymi niszami abrazyjnymi (rys. 1b).



Rys. 1. Fragment badanego klifu o typie osypiskowym (a) i obrywowym (b)

Z uwagi na różnorodną budowę geologiczną, monitorowany odcinek brzegu klifowego stanowi bardzo ciekawy obiekt badawczy. Do jego pomiarów wykorzystano technikę naziemnego skaningu laserowego. Ze względu na ograniczenia w dostępie do sprzętu, pomiary wykonano różnymi instrumentami skanującymi. Pierwszy pomiar wyjściowy stoku klifu zrobiono w 2006 roku przy wykorzystaniu tachimetru skanującego GPT-8203A SCAN firmy Topcon. W latach 2007, 2011 i 2015 obserwacje klifu wykonano zrobotyzowanym tachimetrem TPS1201 firmy Leica. Natomiast w 2008 roku do pomiaru wykorzystano naziemny skaner laserowy ScanStation 2 firmy Leica. Każdorazowo przed pomiarem na plaży wyznaczano położenie punktów osnowy pomiarowej w układzie 2000 przy wykorzystaniu techniki GPS RTK/RTN, które stanowiły układ odniesienia. Uzyskiwane dokładności położenia punktów odniesienia ($m_p < 0,010$ m i $m_H < 0,015$ m) były wystarczające do badania obiektów geotechnicznych, do których należą klify. Orientacja instrumentów

w przypadku obu typów tachimetrów była zawsze realizowana w klasyczny sposób jako stanowisko swobodne (wcięcie przestrzenne wstecz). Natomiast w przypadku pomiaru naziemnym skanerem laserowym z każdego stanowiska wykonywano dodatkowy pomiar tarczki celowniczej zlokalizowanej w punktach osnowy. Punkty te w postprocessingu zostały wykorzystane jako punkty łączne do przeprowadzenia georeferencji i połączenia poszczególnych skanów. Do tego celu wykorzystano program Cyclone 6, uzyskując dokładność spasowania skanów wyrażoną błędem średnim na każdym punkcie łącznym od 2 do 22 mm. Za każdym razem pomiar całego odcinka klifu był wykonywany z trzech stanowisk pomiarowych.

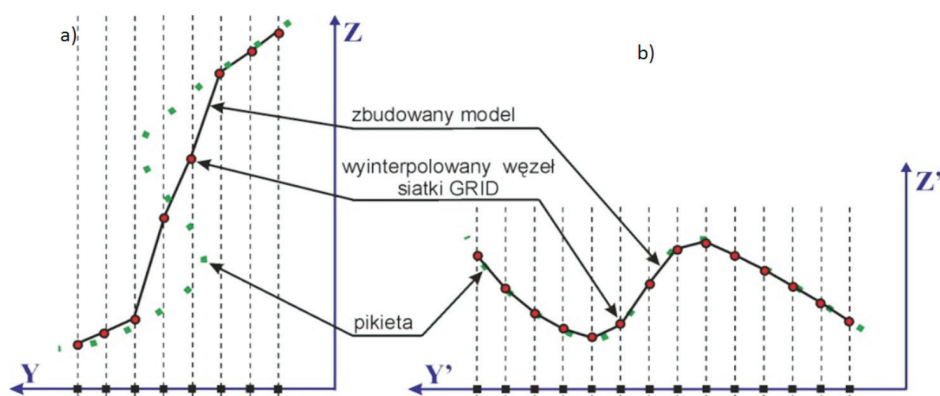
Dane pozyskane z pomiaru w 2006 roku zostały przyjęte jako referencyjne i do nich odnoszone były obserwacje z kolejnych lat. Na dokładność tych danych miał wpływ błąd położenia punktów osnowy pomiarowej oraz charakterystyka dokładności użytego instrumentu. Dokładność pomiaru kąta poziomego i pionowego tachimetru skanującego GPT-8203A SCAN wynosi $\pm 3''$, a dokładność pomiaru odległości $\pm 3 \text{ mm} + 2 \text{ mm/km}$ (od 25 do 120 m). Znaczący wpływ na dokładność wyznaczenia poszczególnych punktów ma również nieregularna i porowata struktura klifu. Ostatecznie można przyjąć, że współrzędne punktów zostały wyznaczone z precyzją wewnętrzną na poziomie około 3-4 cm. Należy zaznaczyć, że taka dokładność jest w zupełności wystarczająca, ponieważ zmiany brzegów klifowych wystarczy rozpatrywać w wielkościach decymetrowych. Dane pomiarowe pozyskane z pozostałych okresów pomiarowych charakteryzowały się podobną dokładnością.

3. Wstępne opracowanie danych

W wyniku pomiaru instrumentem skanującym każdorazowo pozyskiwano chmurę punktów, którą poddawano dalszemu opracowaniu. Proces zautomatyzowanego pomiaru takim instrumentem powoduje, że rejestracji podlegał nie tylko badany klif, lecz także szczegóły sytuacyjne jego pokrycia, tj. roślinność, drzewa, krzaki itp. Takie obserwacje należy wyeliminować ze zbioru danych przed ostatecznym opracowaniem. Jest to zadanie stosunkowo trudne i pracochłonne. Do tego celu w pewnym stopniu można wykorzystać algorytmy służące do identyfikacji i filtracji danych. Algorytmy takie są często zaimplementowane w programach przeznaczonych do pracy z chmurą punktów. Mimo to ostatecznie niezbędna jest ich wizualna i szczegółowa ocena oraz „manualne” opracowanie poprzez usuwanie danych nieistotnych. W celu określenia zmian, które ciągle zachodzą na klifach nadmorskich, należy przeprowadzać trójwymiarowe analizy danych pozyskanych z ich pomiaru. Dane te w postaci chmury punktów mogą posłużyć do przestrzennej prezentacji powierzchni klifu poprzez zbudowanie jego numerycznego modelu typu GRID. Na podstawie tak zbudowanych modeli klifu z poszczególnych okresów pomiarów

istnieje możliwość ich bezpośredniego porównania poprzez tworzenie powierzchni różnicowych, które pokazują ubytki lub przyrosty na danym klifie.

Brzegi klifowe charakteryzują się znacznymi wysokościami i dużą stromizną, często dochodzącą do pionu. Uwarunkowania te powodują obniżenie dokładności interpolacji rzędnej terenu w węzłach siatki GRID. Dlatego dane pomiarowe w postaci chmury punktów należy wyrazić w innym układzie współrzędnych, korzystniejszym niż układ współrzędnych osnowy. Aby przedstawić różnicę w sposobie interpolacji wysokości w węzłach siatki GRID, wyrażonej w układzie osnowy pomiarowej oraz w układzie obiektu, zaprezentowano dwa rzuty na płaszczyznę OYZ (rys. 2).



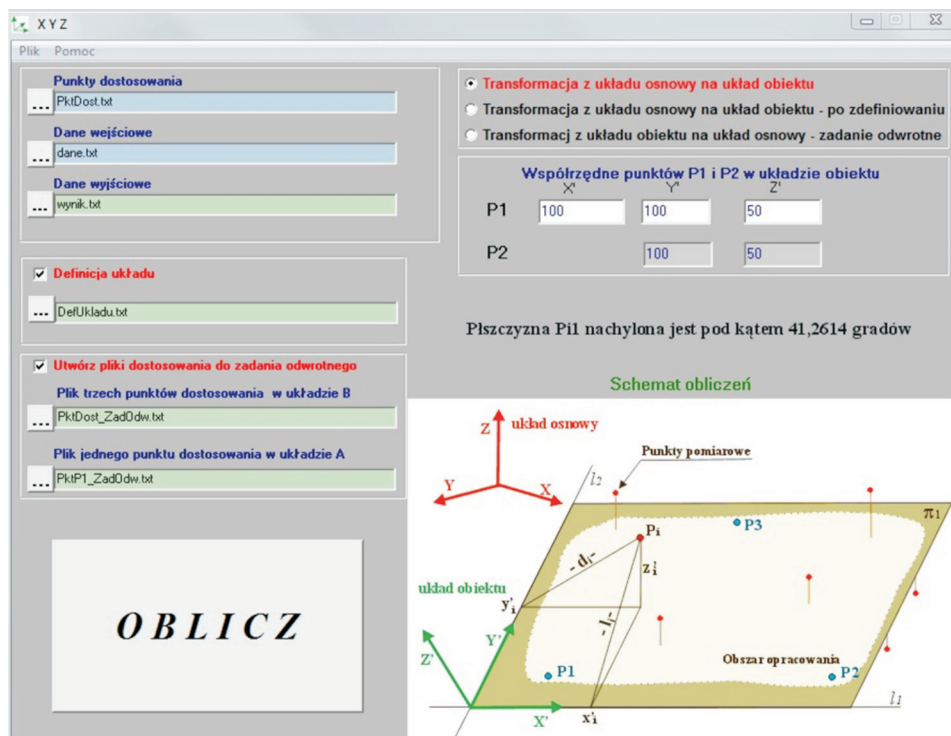
Rys. 2. Schemat interpolacji wielkości Z w węzłach siatki GRID (a — układu współrzędnych osnowy; b — układu współrzędnych obiektu), źródło: [11]

Analizując powyższy rysunek, można stwierdzić, że dla tego samego zbioru danych oraz dla tej samej rozdzielczości rastra dokładność interpolacji numerycznych modeli w obu układach współrzędnych jest odmienna. Numeryczny model siatki GRID w układzie współrzędnych osnowy pomiarowej jest zbyt uogólniony, a zróżnicowana powierzchnia klifu nie jest wiarygodnie odzwierciedlona. Natomiast w drugim przypadku uzyskujemy model bardziej zbliżony do rzeczywistości, co w znacznej mierze wpływa na poprawę dokładności numerycznego modelu klifu. Nowo zdefiniowany układ współrzędnych obiektu powinien być uzależniony od nachylenia stoku klifu. Można to uzyskać poprzez wpasowanie płaszczyzny o równaniu $Ax + By + Cz + D = 0$ w zbiór punktów, a następnie zdefiniowanie na niej osi OX' i OY' nowego układu współrzędnych obiektu. Do wpasowania tej płaszczyzny należy wykorzystać metodę najmniejszych kwadratów. Na rysunku 3 zaprezentowano wzajemną orientację obu układów współrzędnych. Na podstawie badań zawartych w pracy [11] udowodniono, że dokładność numerycznego modelu klifu zbudowanego w układzie współrzędnych obiektu jest około czterokrotnie wyższa w stosunku do numerycznego modelu klifu zbudowanego w układzie współrzędnych osnowy.



Rys. 3. Definiowanie układu współrzędnych obiektu

Wynikiem wstępnego opracowania danych był zbiór punktów pozbawionych obserwacji nieistotnych oraz wyrażonych w układzie współrzędnych obiektu. Transformację przestrzenną z układu współrzędnych osnowy pomiarowej do układu współrzędnych obiektu wykonano w specjalnie przygotowanym do tego celu programie napisanym w środowisku Delphi (rys. 4). Nachylenie płaszczyzny $OX'Y'$ układu współrzędnych obiektu do płaszczyzny OXY układu współrzędnych osnowy pomiarowej wyniosło 41,2614 gradów.



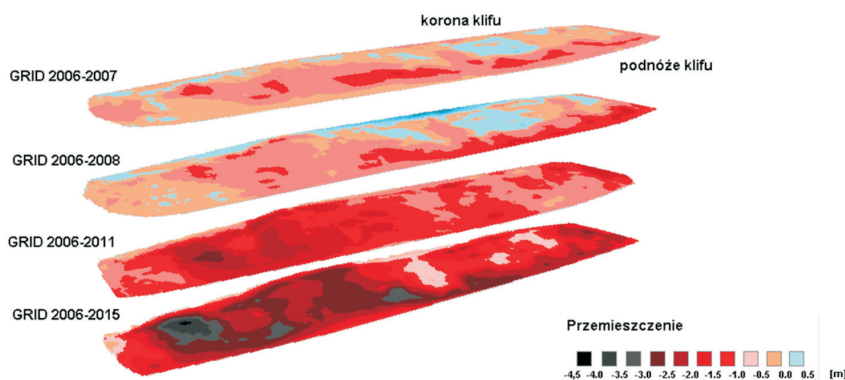
Rys. 4. Okno programu XYZ służące do transformacji chmury punktów

Program XYZ powstał, aby usprawnić proces opracowania danych, a w szczególności pozwolić na jego automatyzację. Program posiada możliwość zdefiniowania nowo wyznaczonego układu obiektu, aby w kolejnych latach istniała możliwość transformacji nowo pozyskanych danych do tego samego układu współrzędnych obiektu. Poza tym, dodatkowo wyposażony jest w moduł zadania odwrotnego, tj. transformacji z układu obiektu do układu osnowy.

4. Prezentacja i ocena danych pomiarowych

Z wcześniej przygotowanych danych zbudowano numeryczne modele klifu typu GRID algorytmem interpolacyjnym naturalnego sąsiedztwa, przy rozdzielczości siatki $0,2 \times 0,2$ m. Do tego celu wykorzystano program ArcGIS.

Korzystając z wyinterpolowanych powierzchni GRID z różnych okresów pomiarowych, dokonano ich bezpośredniego porównania, tworząc powierzchnie różnicowe. Pozwoliło to na wstępne scharakteryzowanie kierunku oraz dynamiki zmian zachodzących na monitorowanym klifie.

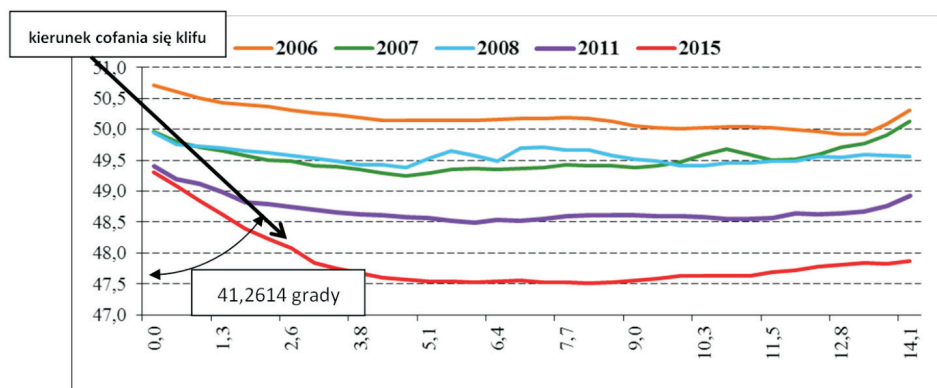


Rys. 5. Powierzchnie różnicowe monitorowanego klifu

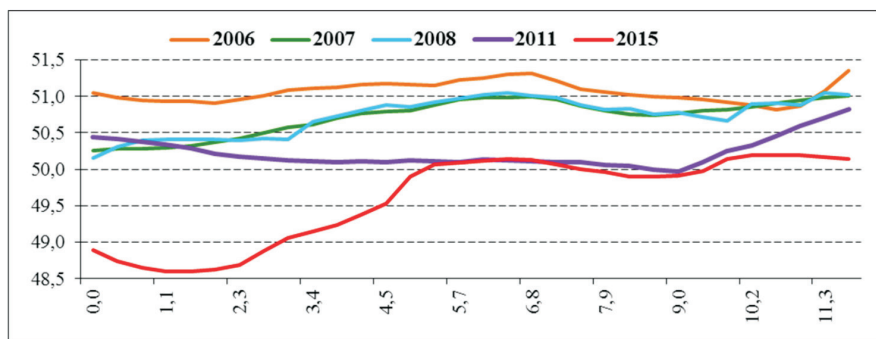
Na podstawie zaprezentowanych powierzchni różnicowych można zauważyć, że tempo zmian monitorowanego klifu jest zróżnicowane. W początkowej jego części występują znacznie większe ubytki niż w jego drugiej części. Różnorodność ta jest spowodowana wcześniej wspomnianą odmienną budową geologiczną obu odcinków klifu. Pomiedzy obserwacjami z lat 2006 i 2008 można zauważyć również przyrosty klifu w postaci koluwium do około 0,5 m. Powstawanie koluwium jest typowym zjawiskiem powodowanym przez abrazję morską. Fale, uderzając w stopę klifu, wymywają w niej niszę abrazyjną, która powiększa się, powodując utratę podparcia, a tym samym wpływa na stateczność klifu. Powstaje wówczas w zależności od budowy geologicznej — zsuw lub obryw fragmentu stoku. Materiał ten zalega u podnóża klifu zabezpieczając go, dopóki nie zostanie zabrany przez fale morskie.

Do przeprowadzenia szczegółowej analizy zmian monitorowanego brzegu klifowego wykonano 25 przekroi około co 3 metry w kierunku prostopadłym do linii brzegowej. Dla pierwszej części klifu przypadło 14 przekroi, a dla drugiej 11 przekroi. W miejscu każdego wykonanego przekroju można było ocenić tempo cofania się klifu pomiędzy poszczególnymi latami. Zdecydowano się poddać analizie podnóże, koronę i środkową część klifu ze stanu w latach 2006, 2011 i 2015. Następnie na podstawie pozyskanych danych określono średnie tempo cofania się pierwszej i drugiej części badanego odcinka brzegu klifowego (tab. 1). Należy zaznaczyć, że analizowane przekroje zostały wykonane w układzie współrzędnych obiektu i w celu właściwej ich interpretacji należało je obrócić o wcześniej wyznaczoną wartość kątową 41,2614 gradów.

Poniżej zaprezentowano przykładowe dwa profile, jeden wykonany w pierwszej części klifu (osypiskowy odcinek klifu — rys. 6), a kolejny w drugiej części klifu (obrywowy odcinek klifu — rys. 7).



Rys. 6. Profil poprzeczny wykonany na dwudziestym dziewiątym metrze klifu



Rys. 7. Profil poprzeczny wykonany na sześćdziesiątym drugim metrze klifu

Na podstawie przedstawionych profili można zauważyć różny charakter zmian zachodzących na obu fragmentach klifu. Z rysunku 6 widać, że wielkości ubytków na całym stoku klifu są zbliżone. Wynika to z osypiskowego typu tego miejsca klifu, na którym w wyniku abrazyj morskiej następuje podmywanie stoku i stopniowy zsuw materiału położonego wyżej. Inaczej jest na profilu przedstawionym na rysunku 7, gdzie można zaobserwować zarejestrowaną w 2015 roku powstałą niszę abrazyjną.

TABELA 1

Średnie tempo cofania się badanego klifu

Część klifu	Tempo cofania [m/rok]		
	lata 2006-2011	lata 2011-2015	lata 2006-2015
I część klifu			
Podnóże	0,61	0,37	0,50
Środek	0,51	0,33	0,43
Korona	0,40	0,38	0,39
Średnia	0,50	0,36	0,44
II część klifu			
Podnóże	0,22	0,56	0,37
Środek	0,32	0,12	0,23
Korona	0,28	0,12	0,21
Średnia	0,27	0,27	0,27

Na podstawie wyników zawartych w tabeli 1 można sformułować następujące wnioski:

- Średnia prędkość cofania się klifu w latach 2006-2015 w pierwszej jego części wynosi 0,44 m na rok w stosunku do drugiej jego części (0,27 m na rok), co stanowi prawie dwukrotną różnicę.
- Dla drugiej części klifu średnia prędkość jego cofania w poszczególnych przedziałach czasowych jest stała i wynosi 0,27 m na rok w stosunku do pierwszej części klifu, która jest bardziej zmienna.
- Średnia prędkość cofania się klifu w pierwszej jego części w latach 2006-2011 wynosi 0,5 m na rok, natomiast w kolejnych latach jest znacznie mniejsza i wynosi 0,36 m na rok.
- Można zauważyć, że w obu częściach klifu w latach 2006-2015 występują największe ubytki u podnóża klifu, a najmniejsze na koronie klifu. Taka tendencja doprowadza do zmiany stanu średniego nachylenia stoku klifu do bardziej pionowego.

5. Podsumowanie

Zaprezentowana metoda opracowania danych poprzez wyrażenia danych pomiarowych w układzie obiektu pozwala uzyskać znacznie wyższe dokładności numerycznego modelu klifu. Przygotowany program do transformacji danych znacznie usprawnia przebieg prac, przyczyniając się do ich automatyzacji. Wadą zaprezentowanego podejścia jest mniej intuicyjna interpretacja zbudowanych numerycznych modeli klifu w układzie obiektu oraz konieczność wykonania dodatkowych czynności w celu wyrażenia wykonanych profili w układzie współrzędnych osnowy. Zastosowana technika naziemnego skaningu laserowego sprawdza się w pomiarach brzegów klifowych. Poprzez użycie bezreflektorowej techniki pomiaru odległości istnieje możliwość obserwacji całej powierzchni klifu z bezpiecznej odległości, nie ingerując bezpośrednio w obserwowany obiekt.

Przykład badanego klifu pokazuje, jak bardzo odmiennie może zachowywać się 70-metrowy odcinek brzegu klifowego. Różnica w szybkości cofania między klifem złożonym z piasków i żwirów a tym zbudowanym z glin zwałowych wynosi około 0,2 m na rok. Jest to różnica znaczna, ponieważ stanowi około połowę średniej prędkości przemieszczania się klifu. Monitoring prowadzony na przestrzeni dziewięciu lat posiada już pewną wartość badawczą i daje możliwość przewidywania tempa przemieszczeń w kolejnych latach. Prowadzenie badań nad dynamiką zmian zachodzących na brzegach klifowych jest bardzo ważnym zagadnieniem, ponieważ umożliwia ocenę przeszłości klifu i dzięki temu planowania jego przyszłości, co pozwoli na zabezpieczenie przed postępującą erozją. Należy jednak pamiętać, że nasilenie się sztormów w jednym z okresów pomiarowych jest w stanie w sposób znaczny wpłynąć na wyniki pomiarów dla całego cyklu monitoringu.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2010 jako projekt badawczy nr N N526 154136 oraz z badań statutowych w latach 2011-2015 nr 5040126.

Artykuł wpłynął do redakcji 16.12.2015 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 12.05.2016 r.

LITERATURA

- [1] HOBBS P., GIBSON A., JONES L., POULTON C., JENKINS G., PEARSON S., FREEBOROUGH K., *Monitoring coastal change using terrestrial LiDAR*, [in:] Fleming Claire; Marsh Stuart, Giles Jeremy, (eds.) *Elevation models for geoscience*, Geological Society of London, 2010, pp. 117-127.
- [2] KRAMARSKA R., FRYDEL J., JEGLIŃSKI W., *Zastosowanie metody naziemnego skaningu laserowego do oceny geodynamiki wybrzeża na przykładzie klifu Jastrzębiej Góry*, Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego, 446, 2011, s. 101-108.
- [3] LAMBROU E., PANTAZIS G., *A new geodetic methodology for the accurate Documentation and Monitoring of inaccessible surfaces*, 3rd IAG / 12th FIG Symposium, Baden May 22-24, 2006.
- [4] MIELCZARSKI A., *Klif, plaża i przyszłość Jarosławca*, Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 6, 1997.

- [5] Murai S., Otani H., Ito T., *Digital photogrammetric system using total station with the scanning function*, Processing and Visualization using High-Resolution Imagery, Pitsanulok, Thailand, 2004.
- [6] Pennington C., Hobbs P., *Coastal Surveying Techniques*, GEOInformatics, no. 6, 2008.
- [7] Rotnicki K., Borzyszkowska W., *Przyspieszony wzrost poziomu morza i jego składowe na polskim wybrzeżu w latach 1951-1990*, Ewolucja geosystemów nadmorskich Południowego Bałtyku, Wyd. Naukowe Bogucki, Poznań, 1999.
- [8] Salik K., Sokołowski M., *Dynamika Klifu Jarosławieckiego w okresie 1960-1983*, Metody Geodezji, Fotogrametrii i Teledetekcji dla Inżynierii Środowiska i Budownictwa, XV Konferencja Katedr i Zakładów Geodezji na Wydziałach Niegodezyjnych, Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2000.
- [9] *Skanowanie laserowe Pobrzeża Morza Bałtyckiego w Obwodzie Kalingradzkim*, Sprawozdanie przedstawione na VII Konferencji ODGIK a Projekty Unijne, Elbląg, 20-21 kwietnia 2008.
- [10] Subotowicz W., *Litodynamika brzegów klifowych wybrzeża polskiego*, Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk, Wrocław, 1982.
- [11] Suchocki Cz., *Propozycja budowy numerycznego modelu klifu w układzie współrzędnych obiektu*, Prace Naukowe Instytutu Górnicwa Politechniki Wrocławskiej, nr 129, seria: Konferencje nr 54, Wrocław, 2009.
- [12] Szopowski Z., *Zarys historyczny zniszczeń polskich morskich brzegów klifowych*, Materiały do monografii polskiego brzegu bałtyckiego, z. 1, Wyd. Polska Akademia Nauk, Instytut Budownictwa Wodnego w Gdańsku, Gdańsk-Poznań, 1961.
- [13] Toś C., Wolski B., Zielina L., *Modeling of natural slopes and earthen constructions monitored by scanning technology*, Reports on Geodesy, no. 1, 82, Warszawa, 2007.
- [14] Werno M., Inerowicz M., Juskiewicz B., *Odbudowa odcinka klifu w Jastrzębiej Górze*, Konferencja naukowo-techniczna z okazji 50-lecia Instytutu Morskiego, Zakład Wydawnictw Naukowych Instytutu Morskiego, Gdańsk-Szczecin, 2000.
- [15] Winowski M., *Geomorfologiczne skutki tajania pokrywy śniegu na wybrzeżu klifowym wyspy Wolin*, Landform Analysis, vol. 9, 2008.
- [16] Young P., Olsen J., Driscoll N., Flick R.E., Gutierrez R., Guza R.T., Johnstone E., Kuseter F., *Comparison of Airborne and Terrestrial Lidar Estimates of Seacliff Erosion in Southern California*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 76, 4, 2010, pp. 421-427.

C. SUCHOCKI, M. DAMIĘCKA-SUCHOCKA,
A. JERZAKOWSKA, W. GAWRON

Evaluation of the dynamics of change of shore cliff located in the vicinity of Pleśna village in the period 2006-2015

Abstract. Climate changes on our planet contribute to the rise in the average level of the seas, oceans, and a greater number of storms. It causes an increasing process of the sea abrasion on the cliffs. The paper presents the research, which determines the rate of retreat of the cliff shore fragment located in the vicinity of Pleśna village. The cliff displacements, which are the effect of erosive factors, were analysed on the basis of observations made in the years 2006-2015.

Terrestrial laser scanning technology was applied to periodic measurements of the cliff.

In the studies, the methodology of cliff shores monitoring was used, which was the result of five-year research performed by the staff of the Department of Geodesy Technical University of Koszalin.

Keywords: abrasion, cliff, terrestrial laser scanner

DOI: 10.5604/12345865.1211143

