



## Wykorzystanie fotogrametrii bliskiego zasięgu w badaniach tempa erozji wybrzeży klifowych Zbiornika Jeziorsko (k. Sieradza)

Piotr Majecki<sup>1</sup>



**Close-range photogrammetry application in research of erosion rate of the shore cliffs of Jeziorsko Reservoir (near Sieradz).** Prz. Geol., 62: 744–747.

*Abstract.* The shore zone of Jeziorsko Reservoir, located in central Poland, is subject to intense erosional processes, mainly abrasion, which lead to significant morphology transformation of the shore and, in some cases, to the formation of cliffs. The use of close-range photogrammetry allows evaluating the erosion rate and the identification of the area of these changes. Currently, the morphometric data on all cliffs located on the east shore of Jeziorsko Reservoir are obtained with the close-range photogrammetry technique. The presented surveys are the first stage of long-term monitoring of the east shore of Jeziorsko Reservoir. The morphometric data of the shore will be collected over the next several years. It will enable to determine the rate and direction of abrasion processes. Combined with textural analysis of sediments, it will also allow defining the influence of geological structures on the cliff development.

**Keywords:** close-range photogrammetry, shore cliffs, central Poland, Jeziorsko Reservoir, abrasion processes

Centralna Polska, pomimo relatywnie żywej i różnorodnej rzeźby i występujących tu licznie form geomorfologicznych pochodzenia holoceniowego, nie była dotąd terenem badań współczesnych procesów geomorfologicznych. Szczególnie odczuwalny jest brak pomiarów określających dynamikę procesów kształtujących powierzchnię w ujęciu ilościowym. Jedynymi opracowaniami poruszającymi tę tematykę są badania obszarów o znacznej antropopresji, gdzie działalność człowieka w dużym stopniu przyczynia się do wystąpienia różnych zjawisk i ma wpływ na ich przebieg. Taki stan rzeczy należy łączyć z faktem, że duża dynamika procesów ułatwia przeprowadzenie badań, a niejednokrotnie umożliwia ich wykonanie w kilkuletniej perspektywie badawczej. Przykładem obszaru, gdzie kilkakrotnie badano dynamikę procesów holoceniowych, jest rejon wschodniego wybrzeża Zbiornika Jeziorsko k. Sieradza.

Zbiornik Jeziorsko jest drugim pod względem powierzchni i czwartym pod względem pojemności sztucznym zbiornikiem w Polsce. Jego budowę rozpoczęto w 1976 r., a zakończono w 1986 r., natomiast pełne napełnienie osiągnięto w 1992 r. W wyniku piętrzenia powstał zbiornik o południkowym przebiegu i znacznie wydłużonym kształcie – o maksymalnej długości około 16 km i średniej szerokości 2,5 km. Akwen leży na środkowym odcinku biegu rzeki Warty, pomiędzy miastem Warta a miejscowością Skęczniew (ryc. 1), gdzie znajduje się zapora ziemna o długości 2730 m i maksymalnej wysokości 20 m. Tutaj też zlokalizowana jest elektrownia wodna o mocy 4,8 MW, produkująca rocznie średnio 21 GWh energii elektrycznej (Orłowski, 1999). Omawiany teren jest zlokalizowany w Kotlinie Sieradzkiej, a otaczają go Wysoczyzna Łaska od wschodu i Wysoczyzna Turecka od zachodu (Kondracki, 2009).

Obszar ten ze względu na liczne, łatwo dostępne odsłonięcia utworów czwartorzędowych stał się swoistym poligonem badawczym dla wielu naukowców, lecz jedynie około 20% prac dotyczyło procesów brzegowych, a 65% miało charakter paleogeograficzny (Frydrych, 2013). Przeprowadzone dotąd badania (Banach & Grobelska, 2003; Kaczmarek, 2010), ze względu na wykorzystanie w nich archiwalnych zdjęć lotniczych, które nie gwarantowały dużej dokładności, nie dały pełnej odpowiedzi na pytanie o tempo współczesnych procesów geomorfologicznych kształtujących ten obszar. Dlatego uzasadniona jest potrzeba kontynuowania tych badań z użyciem możliwie najdokładniejszych metod badawczych.

Celem prowadzonych badań jest charakterystyka zmian zachodzących w strefie brzegowej zbiornika, określenie ich tempa, dynamiki i kierunku po 22 latach od utworzenia zbiornika. Pierwotnie bardzo intensywne procesy, obecnie nie przekształcają już tak dynamicznie brzegów, należy więc odpowiedzieć na pytanie o stadium ukształtowania w jakim znajdują się strefy brzegowe. Wyznaczenie obszarów o ustabilizowanym brzegu i tych wciąż ulegających przekształceniom umożliwi prognozowanie dalszych zmian morfologii strefy brzegowej.

### CECHY GEOMORFOLOGICZNE

Wspomniane spiętrzenie lustra wody i związane z nim podniesienie bazy erozyjnej sprawiło trwałe zastąpienie procesów erozji rzecznej przez procesy brzegowe, w tym głównie przez procesy abrazyjne. Przeważającym typem brzegów jest typ abrazyjny, za taki zostało uznane ponad 38% linii brzegowej zbiornika. Dominuje on na wschodnim, dowiezonym brzegu, zajmując ponad połowę jego długości (Banach & Grobelska, 2003). Procesy abrazyjne

<sup>1</sup> Katedra Geomorfologii i Paleogeografii, Wydział Nauk Geograficznych, Uniwersytet Łódzki, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź; piotr\_m@onet.eu.

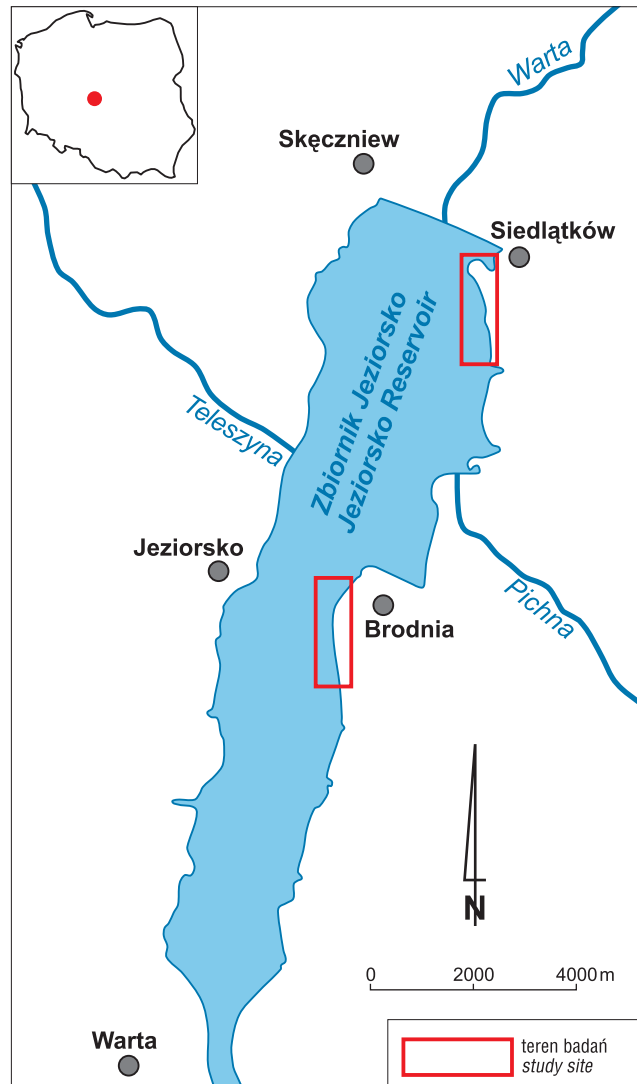
powodują na znacznej długości cofanie się brzegów zbiornika, a w niektórych miejscach nawet wytworzenie klifów. Najokazalsze przykłady klifów znajdują się w okolicach wsi Siedlątków, gdzie osiągają one około 800 m długości i ponad 10 m wysokości (ryc. 2). Nieco mniejsze występują we wsi Brodnia, w której znajdują się trzy kilkusetmetrowe odcinki klifów, osiągające ponad 7 m wysokości (Kaczmarek, 2010). Klify nie zajmują całej długości wybrzeża, lecz porożcinane są licznymi suchymi dolinami, łączącymi powierzchnię otaczającej wysoczyzny z dnem doliny (Klatkova & Załoba, 1992).

Znacznym przekształceniom strefy brzegowej sprzyja także jej zróżnicowana budowa litologiczna. Wybrzeże zbudowane jest głównie z gliny zwałowej zlodowacenia warty, spośród której wyróżniono sinostalową glinę dolną i brunatno-wiśniową glinę górną, oraz z warciańskich utworów fluwioglacjalnych o bardzo zróżnicowanej frakcji. Osady te są dodatkowo silnie zaburzone glaciektonicznie. Miejscami porożcinane są przez osady rzeczne vistulianu (Klatkova & Załoba, 1990; Klatkova & Załoba, 1992). Tak złożona budowa geologiczna powoduje dużą zmienność w przebiegu erozji wybrzeża klifowego. Na odcinkach zbudowanych z gliny zwałowej dominują obrywy (ryc. 3 – patrz str. 775), natomiast w części zbudowanej z osadów piaszczysto-żwirowych częściej występują osypiska (Czarnecki & Goździk, 2007).

#### ZASTOSOWANIE FOTOGRAMETRII

Fotogrametrię definiuje się jako dział nauki i praktyki zajmujący się określaniem położenia, wymiarów i kształtu obiektów przestrzennych na podstawie ich obrazów fotograficznych (Kurczyński & Preuss, 2003). Fotogrametria jako nauka jest znana od niespełna dwóch wieków i jest szeroko stosowana przy tworzeniu map topograficznych, jak i przy wielu innych zastosowaniach. Do niedawna technika fotogrametryczna wymagała zastosowania wysokiej klasy specjalistycznego sprzętu niedostępnego szerokiej rzeszy badaczy, dopiero wynalezienie cyfrowych aparatów fotograficznych, rozwój komputerów osobistych i wprowadzenie prostego w obsłudze oprogramowania komputerowego doprowadziły do dużego wzrostu liczby zastosowań tej technologii. Dzięki znacznemu obniżeniu kosztów sprzętu, przyspieszeniu opracowywania danych i możliwości rezygnacji z niektórych obowiązujących w tradycyjnej fotogrametrii zasad, technika ta stała się osiągalna nie tylko dla wysokiej klasy specjalistów, ale też dla badaczy innych dziedzin. To spowodowało, że obecnie wielu specjalistów, m.in. z archeologii, paleontologii, hydrologii, geomorfologii czy biologii, może pogłębiać swe badania dzięki uzyskiwaniu trójwymiarowych modeli na skutek zastosowania nowoczesnej techniki fotogrametrycznej.

Pomimo faktu, że termin fotogrametria jest używany głównie w kontekście zdjęć lotniczych, możliwe jest użycie techniki fotogrametrycznej wszędzie tam, gdzie można zrobić fotografię. W przypadku zdjęć obiektów oddalonych maksymalnie o 300 m mówimy o fotogrametrii bliskiego zasięgu. Takie nietopograficzne opracowania służą zwykle do zbudowania trójwymiarowych modeli obiektów, chmur punktów czy cyfrowych modeli terenu. Pozymskane w ten sposób dane charakteryzują się bardzo dużą rozdzielczością, dokładnością dorównującą metodom



Ryc. 1. Lokalizacja obszaru badań  
Fig. 1. Location of the study area

pomiaru bezpośredniego i ceną, niemożliwą do osiągnięcia przy zastosowaniu innej technologii. Do pozostałych zalet takiej metody pomiarowej należy zaliczyć: brak konieczności bezpośredniego kontaktu z badanym obiektem, dużą szybkość pozyskiwania danych, przeniesienie pomiaru i opracowywania danych do warunków kameralnych, brak etapów subiektywnej interpretacji czy generalizacji (Kurczyński & Preuss, 2003).

Wymienione powyżej cechy zakwalifikowały technikę fotogrametrii bliskiego zasięgu jako metodę kompleksowej inwentaryzacji morfometrycznej klifów położonych na wschodnim wybrzeżu zbiornika Jeziorsko. Zastosowanie tej techniki umożliwiło zbadanie zarówno położenia, jak i kształtu i wymiarów tych form. Badaniu poddano łącznie 3500 m brzegu położonego w okolicach miejscowości Siedlątków i Brodnia, z czego ostatecznie zinwentaryzowano 1300 m wybrzeża klifowego. Pozostała część wybrzeża klifowego jest niedostępna lub porośnięta uniemożliwiająca pomiar roślinnością. Uzyskano chmurę punktów składającą się z 60 mln punktów posiadających określone współrzędne xyz. Dane te umożliwiają stworzenie zarówno numerycznych modeli terenu, jak i ortofotomap czy trójwymiarowych modeli tych form.



**Ryc. 2.** Wybrzeże klifowe w Siedlątkowie  
**Fig. 2.** The shore cliff at Siedlątków



**Ryc. 4.** Jednoczesne wykonywanie zdjęć i pomiarów GPS z użyciem statywu  
**Fig. 4.** Simultaneous capturing of images and GPS measurements using a monopod

Chmury punktów charakteryzują się gęstością na poziomie 1500 punktów na metr kwadratowy, co oznacza rozmieszczenie punktów co 26 mm. Średni błąd położenia punktów wynosi 15 mm, przy czym najniższa wartość to 5 mm, a najwyższa to 37 mm błędów położenia.

W toku badań użyto ponad 500 zdjęć wykonanych jednocześnie z pomiarem stanowiska za pomocą odbiornika GPS RTK. W celu maksymalnego zwiększenia dokładności pomiaru wykonano statyw umożliwiające jednoczesne wykonywanie zdjęć i pomiarów położenia stanowiska (ryc. 4). Antena odbiornika GPS została umiejscowiona dokładnie nad ogniskiem obiektywu. Wykorzystano aparat cyfrowy o rozdzielczości 10 MPx i stałogniskowy obiektyw 50 mm, gwarantujący stosunkowo niewielkie zniekształcenia optyczne. Integracja aparatu fotograficznego i odbiornika GPS umożliwiła poza zwiększeniem dokładności pomiaru także znaczne przyspieszenie prowadzonych pomiarów poprzez możliwość rezygnacji z tradycyjnie rozmieszczanych na powierzchni mierzonego terenu punktów kontrolnych. To rozwiązanie spowodowało brak konieczności korzystania z osnowy niezbędnej przy pomiarach tachimetrycznych. Wszystkie wymienione powyżej rozwiązania spowodowały możliwość wykonania pełnej inwentaryzacji około 200 m wybrzeża w ciągu godziny.

Przedstawione pomiary wykonano na przełomie lat 2013 i 2014. Są one częścią szerszych badań Zbiornika Jeziersko prowadzonych na potrzeby pracy doktorskiej autora. Badania mają na celu określenie wpływu budowy zapory na morfologię otaczającego obszaru, a także charakterystykę procesów zachodzących obecnie w obrębie Zbiornika Jeziersko. W ciągu następnych 4 lat planowane

jest pozyskanie danych morfometrycznych tego samego odcinka wybrzeża, co pozwoli na ustalenie dynamiki tempa i kierunku przekształceń, jakim jest poddawane. Analiza kształtu, położenia i wymiarów badanych form i ich zmiany w czasie pozwoli na określenie czynników mających wpływ na rozwój klifów, natomiast w połączeniu z badaniami teksturalnymi osadów tworzących te formy, możliwe będzie określenie wpływu budowy geologicznej na przebieg erozji. Pozwoli to na przeprowadzenie prognozy tempa cofania się brzegów zbiornika Jeziorsko.

#### LITERATURA

BANACH M. & GROBELSKA H. 2003 – Stan dynamiki brzegów zbiornika Jeziorsko. Słupskie Prace Geograficzne, Pomorska Akademia Pedagogiczna, Słupsk: 91–106.

CZARNECKI L. & GOŹDZIK J. 2008 – Landslides in Łódź Region. [W:] Jokiel P. (red.) Extreme phenomena and exceptional events in Central Poland. Acta Universitatis Lodzianis, Folia Geographica Physica, 8: 165–183.

FRYDRYCH M. 2013 – Wybrzeże klifowe zbiornika Jeziorsko i jego znaczenie w badaniach geomorfologicznych i paleogeograficznych. Acta Universitatis Lodzianis, Folia Geographica Physica, 12: 117–125.

KACZMAREK H. 2010 – Analiza zdjęć lotniczych oraz wyników pomiarów geodezyjnych w badaniach dynamiki strefy brzegowej sztucznych zbiorników wodnych – zbiornik Jeziorsko, rzeka Warta. Landform Analysis, 13: 19–26.

KLATKOWA H. & ZAŁOBA M. 1990 – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski 1 : 50 000. Ark. Warta. Warszawa.

KLATKOWA H. & ZAŁOBA M. 1992 – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1 : 50 000. Ark. Warta. Warszawa.

KONDRACKI J. 2009 – Geografia regionalna Polski. PWN. Warszawa.

KURCZYŃSKI Z. & PREUSS R. 2003 – Podstawy fotogrametrii. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

ORŁOWSKI W. 1999 – Techniczna charakterystyka zbiornika retencyjnego Jeziorsko na Warcie. [W:] Eksploatacja i oddziaływanie dużych zbiorników nizinnych na przykładzie zbiornika Jeziorsko (konferencja naukowo-techniczna), Uniejów: 7–17.

Praca wpłynęła do redakcji 13.05.2014 r.

Akceptowano do druku 9.07.2014 r.

**Wykorzystanie fotogrametrii bliskiego zasięgu w badaniach tempa erozji  
wybrzeży klifowych Zbiornika Jeziorsko (k. Sieradza) (patrz str. 744)  
Close-range photogrammetry application in research of erosion rate  
of the shore cliffs of Jeziorsko Reservoir (near Sieradz) (see p. 744)**



**Ryc. 3.** Fragment klifu w okolicy wsi Siedlątków w północnej części Zbiornika Jeziorsko. U podnóża wyraźnie widoczna niszka abrazyjna wykształcona w glinach zlodowacenia warty. W tle elementy zapory wodnej. Fot. P. Majecki  
**Fig. 3.** Cliff fragment near the village of Siedlątków in the northern part of the Jeziorsko Reservoir. At its base, wave-cut notch formed in wartanian tills is clearly visible. In the background elements of the dam. Photo by P. Majecki