

**ZASTOSOWANIE METOD FOTOGRAMETRYCZNYCH DO OCENY
DYNAMIKI RUCHÓW MASOWYCH-WYBRANE PRZYKŁADY
Z POLSKI**

**APPLICATION OF PHOTOGRAMMETRIC METHODS TO ASSESS THE
DYNAMICS OF MASS MOVEMENTS-SELECTED EXAMPLES FROM
POLAND**

Mirosław Kamiński

Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy

SŁOWA KLUCZOWE: osuwisko, zdjęcia lotnicze, modele cyfrowe terenu, lotniczy skaning laserowy, Pogórze Dynowskie, Jastrzębia Góra

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono wykorzystanie archiwalnych stereo par zdjęć lotniczych do oceny dynamiki aktywnego osuwiska „Śliwnica” położonego na Pogórzu Dynowskim. Zastosowano w wersji cyfrowej stereo pary zdjęć lotniczych z lat: 1965 i 2002. Na ich podstawie wygenerowano dwa fotogrametryczne wysokościowe modele cyfrowe terenu. Następnie w systemie GIS poprzez przestrzenne porównanie rzeźby terenu z wysokościowych modeli cyfrowych terenu generowano mapę różnicową przemieszczeń mas skalnych. Obrazuje ona dynamikę przestrzenną przemieszczeń mas skalnych w obrębie osuwiska. Ponadto wykonano przekroje geomorfologiczne przez poszczególne modele cyfrowe terenu, oceniając różnice w rzeźbie terenu. Na przykładzie klifu w Jastrzębiej Górze pokazano zastosowanie stereo par zdjęć lotniczych oraz modelu cyfrowego terenu LIDAR (Light Detection and Ranking) do określenia dynamiki strefy brzegowej klifu i identyfikacji osuwisk. Do tego celu wykorzystano stereo pary zdjęć lotniczych z 2004 roku oraz wysokościowy model cyfrowy terenu z 2011 roku, otrzymany metodą lotniczego skaningu laserowego. Na podstawie analizy rzeźby wysokościowego modelu terenu, stwierdzono trzy osuwiska oraz liczne obrywy i obsypywanie się utworów geologicznych z klifu. W badanym rejonie klifu określono wielkość przemieszczeń linii krawędzi klifu między rokiem 2004 a 2011. Stwierdzono także zagrożenia przez osuwiska lokalnej infrastruktury.

1. WSTĘP

Uaktywnienie i powstanie licznych osuwisk na obszarze Karpat jak i Polski poza karpackiej, nastąpiło w wyniku katastrofalnych opadów deszczu w lipcu 1997, wiosną 2000, w lipcu 2001, w lipcu i sierpniu w 2004 oraz w maju i czerwcu 2010. Spowodowało to liczne zagrożenia dla budynków mieszkalnych, częste uszkodzenia dróg, linii telefonicznych, energetycznych i kolejowych. Jednocześnie długoletnie wyniki badań dynamiki obszarów klifowych Bałtyku wskazują na intensywne procesy ich erozji i w efekcie cofanie się linii brzegowej. Dlatego zastosowanie metod fotogrametrycznych stało się niezwykle użyteczne w pozyskiwaniu danych na temat dynamiki osuwisk i klifów.

Rekonstrukcja fotogrametryczna rzeźby terenu na podstawie archiwalnych zdjęć lotniczych jest niezwykle użyteczną metodą w analizie geomorfologicznej osuwisk. Metoda ta dostarcza szybkiej, dokładnej i taniej informacji przestrzennej na temat dynamiki osuwisk oraz ich wielkości. Porównując w systemie GIS rzeźbę modeli cyfrowych terenu, wygenerowaną fotogrametrycznie ze stereopar zdjęć lotniczych pochodzących z różnych lat, uzyskuje się informację przestrzenną w postaci mapy gridowej. Mapa ta obrazuje wielkość przemieszczeń mas skalnych, jakie dokonały się w określonym czasie w obrębie osuwiska.

Dokładność modeli cyfrowych terenu, zależy od skali użytych do badań zdjęć lotniczych oraz ich czytelności. Rozdzielczość piksela terenowego może wynosić od kilkunastu centymetrów do 2 m. Jest to wystarczająca dokładność do prześledzenia dynamiki wielu osuwisk. Ponadto do niewątpliwych zalet tej metody należy dostęp do tanich, archiwalnych wysokorozdzielczych zdjęć lotniczych, które można zakupić w ośrodkach dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej oraz w ośrodkach geodezji i kartografii wojskowej.

Jednakże dla obszarów pokrytych gęstą roślinnością mają one ograniczone zastosowanie. Szczegóły geomorfologiczne rzeźby terenu są skutecznie maskowane przez bujną roślinność. Dla takich obszarów wykonuje się obecnie lotniczy skaning laserowy (Derron, Jaboyedoff, 2010) oraz naziemny skaning laserowy (Hsio i in. 2003). Obie metody są technologicznie bardziej zaawansowane i o wiele droższe. Efektem takiego laserowego skanowania jest dokładny wysokościowy model cyfrowy terenu LIDAR (Light Detection and Ranging).

Badaniem dynamiki osuwisk z wykorzystaniem technik fotogrametrycznych zajmowali się między innymi Ostaficzuk (1962, 1965), Schuster i Križek (1978), Subotowicz (1982, 1991, 2000), Greve (1996), Genelii i in. (2002), Mora i in. (2003), Kamiński (2005), Baldi i in. (2005), Kramarska i in. (2011), Wojciechowski i in. (2012), Graniczny i in. (2012).

2. OBSZAR BADAŃ

a) Osuwisko „Śliwnica”

Jest położone w okolicy miejscowości Dubiecko na Pogórzu Dynowskim. Jest to osuwisko rotacyjne, które całe uaktywniło się wiosną 2001, zagrażając lokalnym budynkom mieszkalnym, drodze i linii energetycznej. Według klasyfikacji Bobera 1984, należy do osuwisk złożonych. Powstało w wyniku wieloetapowego procesu osuwania się mas skalnych. W strefie osuwiskowej można wyróżnić kilka generacji osuwisk, łączących się ze sobą i schodzących do potoku. Obszar strefy osuwiskowej zajmuje powierzchnia 4,1 ha i ma długość 350 m. Strefa poślizgu oszacowana na podstawie wierceń sondami mechanicznymi (wh) oraz tomografii elektrooporowej, wynosi od 5 m w górnych partiach osuwiska do ponad 20 m w czole osuwiska. Ponadto osuwisko częściowo jest położone na granicy dużej jednostki hydrogeologicznej, której zasięg pokrywa się z występowaniem fliszowych kompleksów litologicznych piaskowcowo-lupkowych warstw krośnieńskich górnych. Przepływ wód podziemnych w osadach fliszowych odbywa się w strefie spękanej i zeszcelinowanej zgodnie z morfologią terenu, tzn. w kierunku dolin rzecznych. W obrębie osuwiska występują przejawy wód powierzchniowych w postaci wysięków

i podmokłości. Jest ono rozwinięte na dwóch kompleksach fliszowych (łupkach pstrych i warstwach krośnieńskich górnych) oraz utworach czwartorzędowych. Łupki pstrye są predysponowane do tworzenia w ich obrębie stref poślizgu ze względu na swoje właściwości fizyczne (łupliwość, plastyczność, nieprzepuszczalność).

Inicjacja ruchu nastąpiła na granicy łupków z piaskowcami, w obrębie warstw krośnieńskich. Czynnikiem powodującym osunięcia była erozja boczna potoku, nawalne opady deszczu oraz długie zalegiwanie mokrego śniegu na stoku w zimie 2001 roku, powodującego przeciążenie mas skalnych i zwierzelinowych wodą.

b) Klif w Jastrzębiej Górze

Klif w Jastrzębiej Górze jest zachodnim przedłużeniem klifu Przylądka Rozewie. Wysokość klifu dochodzi tu do ponad 30 metrów. Badany odcinek klifu jest częściowo obudowany zabudową masywną oraz opaskami gabionowymi (koszami z metalowej siatki wypełnionej kamieniami a w górnych partiach grubym żwirem).

W jego budowie geologicznej wyróżniono kilkumetrową (2-3 m) górną glinę zwałową brunatną stadiału pomorskiego, niżej interstadialne mulki oraz ły o miąższości 8 m, głębiej bruk morenowy, a najniżej około dwudziestometrowej miąższości kompleks tak zwanej dolnej gliny zwałowej szarej zlodowacenia bałtyckiego (Subotowicz, 1977).

Ponad kompleksem szarej gliny, wśród około dwumetrowej warstwy bruku i żwiru, na rzędnej około 20 metrów stwierdzono szereg wysięków wody gruntowej. Zjawisko to oraz występowanie iłó plastycznych są głównymi czynnikami, które decydują o rozwoju osuwisk w tym rejonie klifu.

Według danych historycznych brzeg klifu między Jastrzębią Górą a Rozewiem cofnął się w latach od 1875 do 1937 o 90 m, czyli 1,4 m/rok (Majewski i in., 1983). Według Subotowicza (1982, 1991, 2000) na odcinku 133,535 – 134,545 km średnia szybkość cofania się krawędzi klifu w latach 1971-1975 wyniosła 0,45 m/rok. W latach 1977-1990 tempo abrazji wynosiło 0,9 m/rok, zaś w latach 1992-1997 miało tempo 1,2 m/rok. Niszczenie infrastruktury na koronie klifu spowodowało podjęcie decyzji przez Urząd Morski w Gdyni decyzji o zabezpieczeniu brzegu. W latach 1994-1997 na odcinku około 1 km została zbudowana opaska składająca się z gabionów, zaś w 2000 roku wybudowano wysoką masywną konstrukcją chroniącą klif w rejonie ulicy Bałtyckiej.

Zabezpieczenie brzegu opaską gabionową oraz masywną zabudową nie zatrzymało aktywności ruchów masowych, które rozwinęły się ku zaskoczeniu w bezpośrednim sąsiedztwie masywnej zabudowy klifu, po jej wschodniej stronie (Kramarska i in. 2011).

3. ZASTOSOWANE METODY OPRACOWANIA

a) Osuwisko „Śliwnica”

Dla osuwiska „Śliwnica” wygenerowano ze stereopar zdjęć lotniczych z lat 2002 i 1965 dwa wysokościowe modele cyfrowe terenu, zapisane w formacie wektorowym DxF, które zostały zaimportowane do programu ArcGis i przekształcone w triangulacyjne modele cyfrowe terenu TIN. Aby poprawić dokładność opracowania fotogrametrycznego dokonano pomiaru współrzędnych fotopunktów (punktów charakterystycznych w terenie). Do wygenerowania wysokościowych modeli terenu wykorzystano po jednej stereoparze

zdjęć lotniczych dla każdego roku. Całość opracowania wykonano na stacji fotogrametrycznej Dephos.

Uzyskano następujące dokładności dla osuwiska „Śliwnica”:

- dla zdjęć z 1965 r w skali 1 : 17 000 średni błąd wpasowania zrekonstruowanych modeli fotogrametrycznych w osnowę wyniósł:
RMS x 0,453 m,
RMS y 0,381 m,
RMS z 0,348 m.
- Całkowity RMS 0,625 m.
- dla zdjęć z 2002 roku w skali 1 : 13 000 średni błąd wpasowania modelu wyniósł:
RMS x 0,341 m,
RMS y 0,354 m,
RMS z 0,040 m.
- Całkowity RMS 0,494 m.

W celu prześledzenia rozwoju osuwiska w czasie wykonano szkic fotointerpretacyjny. Do fotointerpretacji użyto pojedyncze stereo par zdjęć czarno białych z lat: 1965 w skali 1: 17 000, 1994 w skali 1: 21 000, 2002 w skali 1: 13 000. Zdjęcia zeskanowano z rozdzielczością 1200 dpi i zaimportowano do programu ER Mapper. Następnie skalibrowano w układzie geodezyjnym 1992 i poprawiono kontrasty zdjęć poprzez rozciągnięcie histogramów oraz zastosowanie filtrów górnoprzepustowych sharpen 11 ker.

b) Klif w Jastrzębiej Górze

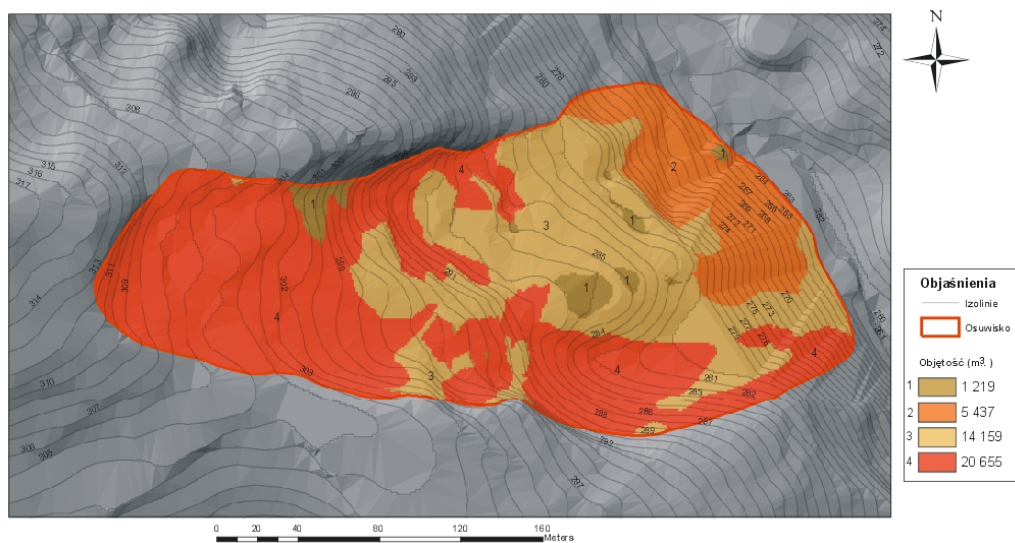
Zastosowana technika lotniczego skaningu laserowego dla rejonu Jastrzębiej Góry obejmowała wykonanie Numerycznego Modelu Terenu (NMT), Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (NMPT) na bazie chmury punktów. Format zapisu zobrazowania lotniczego to Geo Tiff, w układzie współrzędnych PUWG 1992. Lotniczy skaningu laserowy, którego bezpośrednim wynikiem było uzyskanie chmury punktów, został zarejestrowany skanerem punktów full-waveform LMS-Q680i. Gęstość punktów wynosiła 4 pkt./m², a dokładność pomiaru wysokości mh 0,15 m. Przy opracowaniu NMT, NMPT przyjęta została wielkość piksela 0,5m w formacie zapisu IMG, o dokładności parametru wysokościowego Z mh _ 0,30 m, w układzie współrzędnych PUWG 1992. Zarówno dane wysokościowe jak i stereo pary czarono-białych zdjęć lotniczych w skali 1: 21 000 wraz z projektem fotogrametrycznym zostały zakupione w Centralnym Ośrodku Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej. Projekt fotogrametryczny został zaimportowany do stacji fotogrametrycznej Dephos. Analiza przebiegu linii brzegowej klifu w Jastrzębiej Górze została wyznaczona poprzez stereo wektoryzację. Uzyskane dane wektorowe zapisano w formacie DxF i zaimportowano do programu ArcGis.

4. PREZENTACJA WYNIKÓW I ICH ANALIZA

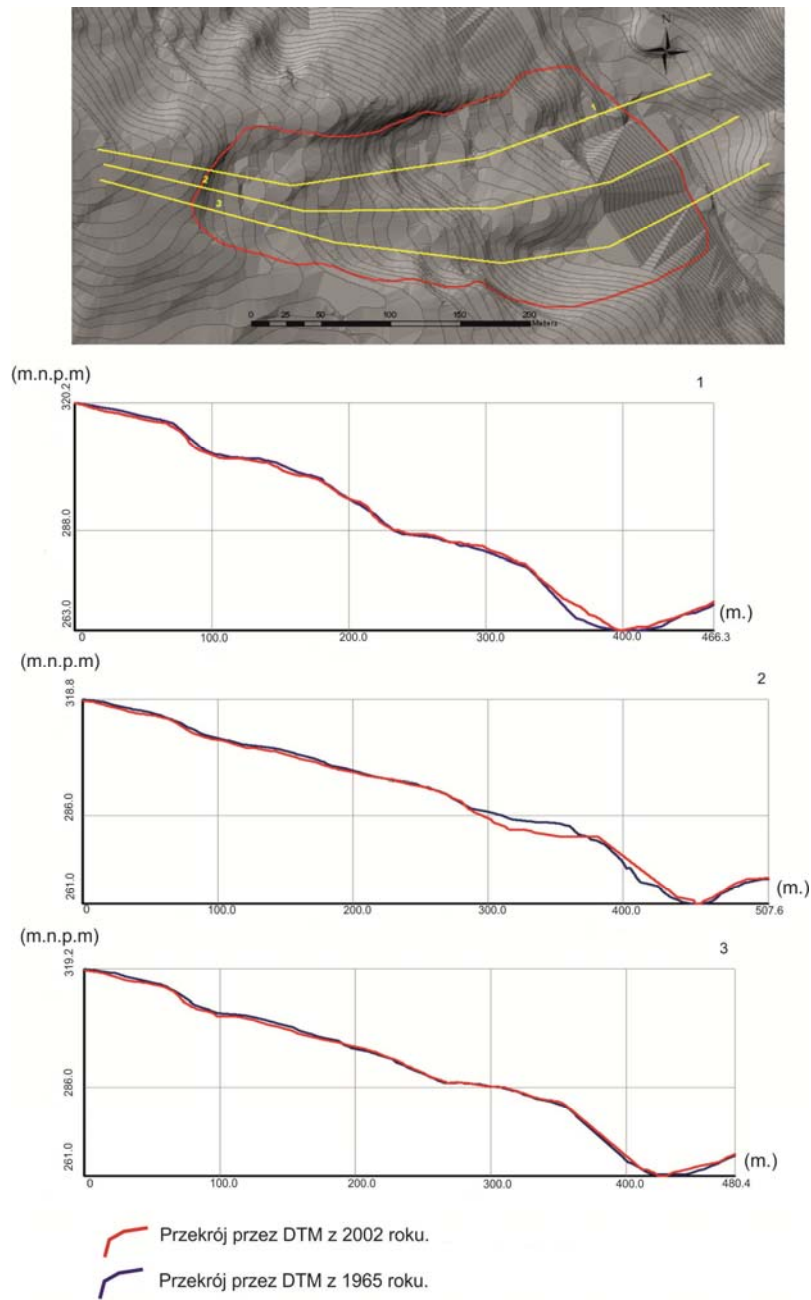
a) Osuwisko „Śliwnica”

Bazując na archiwalnych zdjęciach lotniczych pochodzących z trzech różnych okresów, opracowano szkic fotointerpretacyjny rozwoju osuwiska. Najwięcej szczegółów rzeźby powierzchni osuwiska można dostrzec na zdjęciu z 2002 r. Wynika to faktu, że

zdjęcie z tego okresu jest wykonane w większej skali niż zdjęcia z 1994 i 1965 r. Na zdjęciu z 1965 r skarpa główna osuwiska jest słabo widoczna. Osuwisko rozpoznajemy po nagłej zmianie fototonu. Na osuwisku jest prowadzona intensywna działalność rolnicza, która dodatkowo utrudnia dokładne prześledzenie przebiegu zasięgu osuwiska. W górnej części zdjęcia lotniczego z 1994 r widoczna jest wyraźna zmiana fotofonu, świadcząca o istnieniu w tej części skarpy. Zniszczenia gruntu jakie nastąpiły w tej części, utrudniły prace rolnicze (zmiany w użytkowaniu terenu w stosunku do zdjęcia z 1965 r). Na zdjęciu z 2002 r widać już wyraźnie dobrze wykształconą skarpe główną osuwiska. Stanowi ona duże zagrożenie dla lokalnej drogi oraz budynków mieszkalnych. Aby obliczyć ilość przemieszczonych mas skalnych i przedstawić ich przestrzenne rozmieszczenie w osuwisku użyto funkcji cut fill, która jest dostępna w ArcGis. Umożliwiła ona nałożenie na siebie obu modeli cyfrowych terenu w formacie TIN i wygenerowanie z nich mapy różnicowej przemieszczeń w postaci gridowej, obrazującej przemieszczenia przestrzenne mas skalnych w osuwisku (rys.1). Obliczono, że przez 37 lat objętość mas skalnych i zwietrzelinowych, które uległy przemieszczeniu w obrębie strefy osuwiskowej, wynosi ponad 26 000 m³, a objętość akumulacji materiału około 15 000 m³. Brakująca objętość 11 000 m³ przemieszczonych mas skalnych została odprowadzona erozyjnie w dnie doliny przez przepływający potok. W celu zbadania zmian w rzeźbie powierzchni osuwisk w czasie, przeprowadzono analizę dwóch wysokościowych fotogrametrycznych modeli cyfrowych terenu, które przekształcono do formatu TIN. Stały się one podstawą do wykonania trzech przekrojów geomorfologicznych (rys.2.). Z analizy przekrojów wynika, że część strefy osuwiskowej (północna), przez którą poprowadzono przekrój nr 1 wykazuje większą dynamikę zmian w rzeźbie, niż część osuwiska, przez którą biegnie przekrój nr 3.



Rys. 1. Mapa różnicowa przemieszczeń skalnych między rokiem 1965, a 2002



Rys. 2. Przekroje podłużne

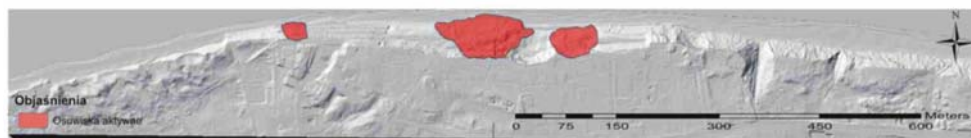
b) Klif Jastrzębski

Analizując numeryczny model pokrycie terenu (NMPT) klifu w rejonie Jastrzębiej Góry należy stwierdzić, że jest on silnie pokryty roślinnością oraz ma dobrze rozwiniętą infrastrukturę. Po odfiltrowaniu punktów wysokościowych z roślinnością i infrastrukturą, uzyskano numeryczny model terenu (NMT), który ukazał zróżnicowaną rzeźbę terenu Kępy Swarzewskiej.

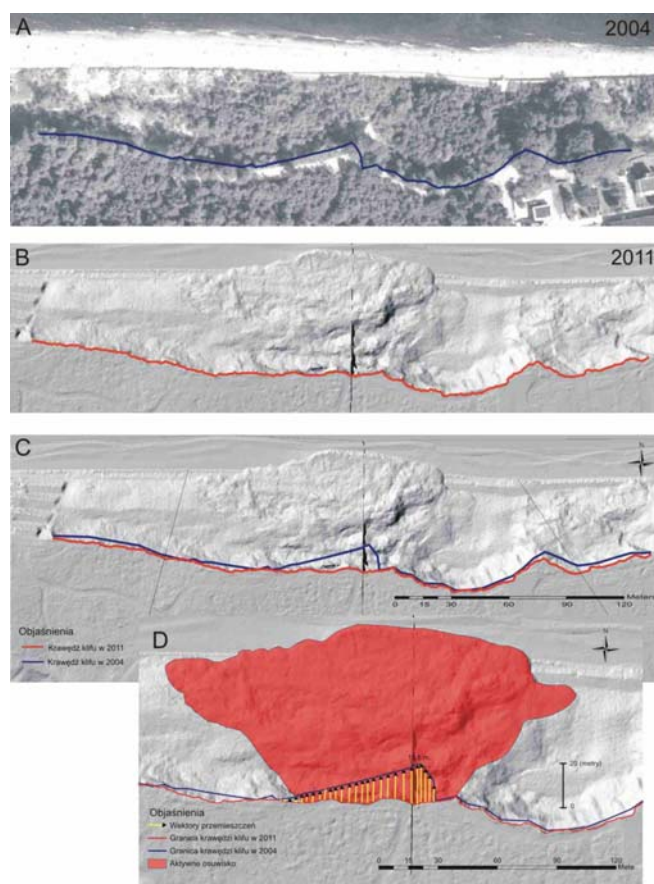
Na uzyskanym modelu cyfrowym terenu stwierdzono liczne przejawy ruchów masowych (osuwiska, osypiska i obrywy). W zachodniej części modelu możemy wyróżnić zabudowę masywną klifu, która zabezpiecza go w tym rejonie przed abrazją morską. Z pośród wszystkich ruchów masowych, osuwiska stanowią największe zagrożenie geodynamiczne dla lokalnej infrastruktury. W systemie GIS wygenerowano mapę nachyleń terenu oraz rysunek warstwiczny z cięciem co 1 metr w celu identyfikacji na modelu cyfrowym terenu aktywnych osuwisk. W ten sposób wyróżniono trzy aktywne osuwiska, których zasięgi zweryfikowano w trakcie badań terenowych (rys.3).

Pierwsze z nich rozwinięte w zachodniej części klifu w obrębie masywnej zabudowy ma powierzchnię 0,15 ha i skarpe główną o maksymalnej wysokości około 3 metrów. Strefa poślizgu występuje na głębokości około 4 metrów. Rozwinęła się ona na stropie ilów plastycznych (limnoglacialnych). W strefie zagrożenia znalazły się lokalne zabudowania (np. Ośrodek szkolno-wypoczynkowy „Bałtyk”). Drugie osuwisko o powierzchni ponad 1,2 ha i wysokości skarpy głównej ponad 10 metrów, jest bardzo aktywne, czego przejawem są liczne wysięgi wód podziemnych. Jest ono również monitorowane metodą naziemnego skaningu laserowego, którego wyniki wskazują, że erodowana krawędź klifu między lipcem 2010 roku a marcem 2011 cofnęła się około 10 metrów (Kramarska i in.2011). Trzecie osuwisko wykazuje najmniejszą dynamikę i zajmuje powierzchnię 0,47 ha. Wysokość skarpy głównej waha się w przedziale od 1 do 3 metrów. W zasięgu zagrożenia tego osuwiska znalazła się szkoła podstawowa.

W celu prześledzenia dynamiki przemieszczeń granicy krawędzi klifu wykonano analizę porównawczą. W tym celu posłużono się archiwalnymi zdjęciami lotniczymi z 2004 roku i modelem cyfrowym terenu LIDAR z 2011 roku. Wykonując stereo digitalizację 3D modelu ze zdjęć lotniczych 2004 roku, wyznaczono zasięg granicy klifu. Otrzymane dane zaimportowano do systemu GIS i przedstawiono na tle ortofotomapy (rys.4a). Linie krawędzi klifu na modelu cyfrowym terenu, pozyskanego z LIDAR w 2011 roku, wyznaczono w systemie GIS w formie wektora, wizualizowanego na tle modelu cieniowanego (rys.4b). Różnice w zasięgach obu wektorów zaprezentowano na tle modelu cieniowanego (rys.4c). Analiza wykazała, że największe przemieszczenia krawędzi klifu w rejonie największego osuwiska. Dla tego obszaru obliczono wektory przemieszczeń poziomych (rys.4d). Z ich analizy wynika, że klif w tym rejonie cofnął się między rokiem 2004 a 2011 o ponad 19 metrów.



Rys. 3. Mapa aktywnych osuwisk



Rys. 4. a) Ortofotomapa z zasięgiem krawędzią klifu z 2004 roku
b) Model cieniowany LIDAR i zasięg krawędzi klifu z 2011 roku
c) Porównanie zasięgów krawędzi klifu z 2004 i 2011 roku
d) Wektory przemieszczeń granicy krawędzi klifu między 2004 a 2011 rokiem

5. DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Dokładność danych warstwicznych pozyskanych z modeli wysokościowych terenu pozyskanych ze zdjęć lotniczych z reguły jest pomniejszona przez gęstą roślinność. W osuwisku Śliwnica, problemy te dotyczą czoła osuwiska, które jest pokryte gęstą roślinnością, co widać na zdjęciach lotniczych. W efekcie model rzeźby osuwiska jest w tym miejscu znacznie mniej precyzyjny. Dodatkowo na zdjęciach z 1965 r. występują obszary słabo czytelne i trudne do interpretacji (słaba jakość zdjęć), co mocno zaburza efekt stereoskopowy i stwarza możliwość poprowadzenia warstwic na niewłaściwej wysokości. Ponadto, mimo że do orientacji obu modeli czasowych użyto tych samych fotopunktów, to w wyniku wyrównania rozkład odchyłek na fotopunktach był różny, co wpłynęło również na dokładność opracowania. Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie nie dysponował metryką kalibracji kamery użytej w 1965 r., tak więc orientacja wewnętrzna zdjęcia była robiona na standardowy rozkład znaczków tłowych, co również wpłynęło na obniżenie dokładności. Orientacja wewnętrzna jest jednym z podstawowych i najważniejszych etapów wielu procesów fotogrametrycznych. Jest ona tak ważna, gdyż aby możliwe było dokonywanie na zdjęciach jakichkolwiek pomiarów, mających na celu określenie rzeczywistej wielkości i kształtu obiektów terenowych, konieczna jest znajomość elementów orientacji zdjęcia w celu prawidłowej rekonstrukcji wiązek promieni rzutujących. Pomimo tych niedogodności otrzymane fotogrametrycznie z archiwalnych zdjęć lotniczych modele cyfrowe terenu okazały się niezwykle użyteczne w określaniu zarówno wielkości, jak i zasięgu przemieszczeń w osuwisku Śliwnica.

Zastosowane do badań zdjęcia lotnicze oraz wygenerowane na ich podstawie fotogrametryczne modele terenu posiadają niewątpliwe zalety w analizie zasięgu i charakteru przemieszczeń osuwisk (stref osuwiskowych). Jednakże należy zwrócić uwagę na fakt, że metody te bez uwzględnienia istotnych poprawek mogą zawierać wiele błędów, rzutujących w efekcie na poprawność otrzymanych wyników. Ponadto tradycyjna metoda fotointerpretacji stereopar zdjęć lotniczych okazała się przydatna do prześledzenia dynamiki rozwoju osuwiska oraz określenia zasięgu koluwium. Na zdjęciach widoczny był wyraźny kształt skarpy osuwiskowej (najlepiej na zdjęciu lotniczym z 2002 r) oraz plamista tekstura o zróżnicowanym fototonie osuwiska. Czas powstania osuwiska trudno ustalić (najprawdopodobniej późny holocen). Natomiast na podstawie analizy archiwalnych zdjęć lotniczych oraz wywiadu środowiskowego można stwierdzić, że osuwisko uległo odnowieniu w tzw. latach mokrych: 1980, 1985, 2001, 2004 i ostatnio w maju 2010 r.

Informacje geomorfologiczne o osuwisku Śliwnica uzyskano bezpośrednio z fotogrametrycznego modelu cyfrowego terenu zapisanego w formacie TIN, analizując w 2D jego pochodne, takie jak: mapy izoliniowe, mapy nachyleń terenu oraz mapy cieniowane podświetlane z różnych kierunków. W ten sposób wyinterpretowano kierunki strukturalne podłoża fliszowego oraz zasięg granicy koluwium osuwiskowego, obszary spłaszczeń wewnątrz osuwiskowych, granice skarp wtórnych oraz czoło osuwiska. Dodatkowo przeanalizowano przewyższone widoki 3D osuwiska, stosując technikę podświetlania modeli cyfrowych terenu z różnych kierunków. Analiza ta pozwoliła doprecyzować wcześniejsze obserwacje terenowe oraz wyznaczyć dokładnie granicę skarpy głównej. Dodatkowo obliczono objętości mas skalnych przemieszczonych

w obrębie koluwium między rokiem 1965 a 2002. Porównanie rzeźby osuwisk na przekrojach geomorfologicznych, wykazało dużą dynamiki przemieszczeń w obrębie osuwiska, jako dokonała się przez 37 lat.

Stereo pary zdjęć lotniczych z 2004 roku okazały się również użyteczne do wyznaczenia zasięgu krawędzi klifu w Jastrzębiej Górze. Efekt stereoskopowy zaburzała bujna vegetacja, ale pomimo tych niedoskonałości udało się wyznaczyć zasięg krawędzi klifu. Zdjęcia były analizowane przy różnych powiększeniach w celu popełnienia jak najmniejszego błędu. Stwierdzono, że między rokiem 2004 a 2011 brzeg klifu w rejonie Jastrzębiej Góry przesunął się maksymalnie ponad 19 metrów. Jednocześnie analiza modelu wysokościowego terenu otrzymanego z lotniczego skaningu laserowego wykazała uaktywnienie się trzech osuwisk, które zagrażają okolicznej infrastrukturze. Model cyfrowy otrzymany z lotniczego skaningu laserowego pozwala wyznaczyć precyzyjnie zasięg osuwiska, skarpe główną i skarpy wtórne oraz dostarcza wiele danych o morfometrii osuwiska. Dużą zaletą tej metody jest możliwość filtracji danych wysokościowych i eliminację vegetacji. Umiejętna interpretacja rzeźby terenu może wydajnie przyspieszyć prace terenowe a co za tym idzie obniżyć koszty badań.

Podsumowując należy stwierdzić, że fotointerpretacja archiwalnych zdjęć lotniczych w połączeniu z analizą GIS wysokorozdzielczych fotogrametrycznych wysokościowych modeli terenu oraz analizą wysokościowego numerycznego modelu terenu otrzymanego metodą lotniczego skaningu laserowego powinna należeć do standardowej metodyki określania dynamiki osuwisk oraz zasięgów klifów.

6. LITERATURA

- Baldi P., Fabris M., Marasella A., Monticelli R., 2005 - Monitoring the morphological evolution of the Sciara del Fuoco during the 2002 - 2003 Strombolieruption using multi-temporal photogrammetry. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 59: 199 - 211.
- Graniczny M., Kamiński M., Piątkowska A., Surała M., 2012 – Wykorzystanie lotniczego skaningu laserowego do inwentaryzacji i monitoringu osuwiska w rejonie Łańcicy (gmina Lanckorona), Pogórze Wielickie, Karpaty zewnętrzne. *Przegląd Geologiczny*, vol. 60, nr. 2
- Derron M.H., Jaboyedoff M., 2010 - LIDAR and DEM technique for landslides monitoring and characterization. *Nat. Hazard Earth Syst. Sci.*, 10: 1877-1879.
- Genelli G., Giusti E., Piffaferri G., 2002-Photogrammetric technique for the investigation of the Corniglio landslide. *Applied Geomorphology*, Theory and practice. John Wiley & Sons.
- Greve C., 1996 - Digital Photogrammetry an addendum to the manual of Photogrammetry. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Bethesda, Maryland.
- Hsio K.H., Yu M.F., Steng Y.H., 2003a - Change Detection of Landslide Terrains Rusing Grodnu-based LIDAR data: *Proc. of the Society of Chinese Association of Geographic Information*.
- Kamiński M., 2005 – Analiza numeryczno-geologiczna osuwisk na Pogórze Dynowskim. *Rozprawa doktorska*. Arch. PIG.
- Kramarska R., Frydel J., Jegliński W., 2011 – Zastosowanie metody naziemnego skaningu laserowego do oceny geodynamiki wybrzeża na przykładzie klifu Jastrzębiej Góry. *Biulet. Państ. Inst. Geol.* 446:101-108.

- Majewski A., Dziadziuszko Z., Wisniewska A., 1983- *Monografia powodzi sztormowych 1951-1975*. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Mora P., Baldi P., Casula G., Fabris M., Ghirotti M., Mazzioni E., Pesci A., 2003 - Global Positioning Systems and digital photogrammetry for monitoring of mass movements: application to the Ca' di Malta landslide (northern Apennines, Italy). *Eng. Geo.* 68:103 - 121.
- Ostaficzuk S., 1962 - Wykorzystanie efektu przestrzennego do rejestracji przypowierzchniowych ruchów masowych i innych. *Prze. Geol.* 10, 6: 123 -129.
- Ostaficzuk S. 1965 - Fotogrametryczne metody badania osuwisk. 32 Konf. Nauk-Tech. Stow. Geodetów Polskich NOT, Katowice.
- Schuster R.L., Križeka R.J., (1978) - *Landslides (Analysis and Control)*. Special Reports 176, Transport Research Board. National Research Council, National Academy of Sciences, Washington, DC.
- Subotowicz W., 1982 – *Litodynamika brzegów klifowych wybrzeża Polski*. Ossolineum PAN, Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk.
- Subotowicz W., 1991 – Ochrona brzegu klifowego na odcinku Jastrzębia Góra – Rozewie. *Inżynier. Mors. Geotechn.*, 4: 143-145.
- Subotowicz W., 2000 – Badania geodynamiczne klifów w Polsce i problem zabezpieczania brzegu klifowego w Jastrzębiej Górze. *Inżynier. Mors. Geotechn.*, 5:252-257.
- Wojciechowski T., Borkowski A., Perski Z., Wójcicka A., 2012 – Dane lotniczego skaningu laserowego w badaniu osuwisk-przykład osuwiska w Zbyszycach (Karpaty zewnętrzne). *Przepl. Geolog.*, vol. 60, nr.2.

APPLICATION OF PHOTOGRAMMETRIC METHODS TO ASSESS THE DYNAMICS OF MASS MOVEMENTS-SELECTED EXAMPLES FROM POLAND

KEY WORDS: airborne laser scanning, aerial photography, digital elevation model, landslide, Dynów Foothill, Jastrzębia Góra

Summary

This paper presents the use of archival stereo pairs of aerial photographs from years 1965 and 2002 to assess the dynamics of an active landslide "Śliwnica" located on the Dynów foothills. Two photogrammetric digital terrain elevation models were generated. Then, by comparing the spatial relief digital terrain elevation models, the map of differential displacements of rock masses was generated with GIS system. It reflects the dynamics of the spatial displacement of rock masses within the landslide. In addition, cross-sections were performed by different geomorphological digital terrain models to assess the differences in terrain. For example, a cliff in Jastrzębia Góra shows the application of stereo pairs of aerial photographs and digital terrain model LIDAR (Light Detection and Radar) to determine the dynamics of coastal cliffs and identification of landslides. Stereoscopic effect disturbed by the vegetation lush, but in spite of these shortcomings managed to reach the edge of the cliff set was possible to determine. Images were analyzed at different magnifications in order to commit the slightest error. It was found that between 2004 and 2011 the edge of a cliff in the area Jastrzębia Góra moved up to over 19 meters. At the same time the analysis of the digital terrain model derived from airborne laser scanning showed activation of the three landslides that threaten the surrounding infrastructure. Digital model derived from airborne laser scanning can determine the precise extent of landslides, slope and slope primary and secondary data provides many landslides morphometry. The advantage of this method is the ability to filter data and therefore to eliminate the

vegetation. Skilful interpretation of the terrain can efficiently speed up field work and thus reduce the cost of research.

Dane autora:

Dr Mirosław Kamiński
e-mail: miroslaw.kaminski@pgi.gov.pl
telefon: 22 45-92-479
fax: 22 459 20 01