

Marek ZYGMUNT¹
Józef SANECKI²
Andrzej KLEWSKI³

OKREŚLANIE PRZYCZYN POWSTAWANIA OSUWISK W POLSKICH KARPATACH FLISZOWYCH W OPARCIU O OBRAZY LOTNICZE Z BSL

W artykule przedstawiono problematykę pomiarów geodezyjnych na terenach osuwiskowych w polskich Karpatach fliszowych. Wykorzystano metody fotogrametrii bliskiego zasięgu do cyfrowego obrazowania oraz określania wymiarów obszaru osuwiskowego za pomocą Bezzałogowych Systemów Latających (BSL). Badania wykonano na osuwisku położonym w miejscowości Węgierka, w gminie Roźwienica, w powiecie jarosławskim oraz na osuwisku położonym w miejscowości Rogi-Folwark w powiecie krośnieńskim. Wyznaczono środki rzutów poszczególnych zdjęć oraz elementy kątovej i wewnętrznej orientacji kamery. Umożliwiło to utworzenie modelu wysokościowego (TIN) osuwiska. Finalnym efektem było otrzymanie Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (NMPT) osuwiska z miejscowości Węgierka i ortofotomapy. Numeryczny Model Pokrycia Terenu osuwiska z oczkiem siatki 0,10 m pozwolił precyzyjnie określić położenie i wymiary budynków na obszarze osuwiska z miejscowości Węgierka. Nalot z kamerą wychyloną o 80° na osuwisku w miejscowości Rogi-Folwark ukazał ponadto miejsca o niskiej wartości kohezji i kąta tarcia wewnętrznego gruntu. Te obszary są najbardziej narażone na powstawanie w przyszłości dalszych ruchów masowych, powstawanie pęknięć i przesunięcia mas ziemnych. Obliczono dla nich Wskaźnik Bezpieczeństwa FS. Pozwolił on ustalić, w której części osuwiska prawdopodobieństwo wystąpienia kolejnych ruchów masowych ziemi w przyszłości jest większe. Współczynnik bezpieczeństwa oszacowany dla obszarów o niskiej wartości spójności gruntów wyniósł 2,52, a o niskiej wartości kąta tarcia wewnętrznego 6,83. Najbardziej niebezpieczne są strome skarpy dodatkowo podcinane przez potoki – dolna aktywna część osuwiska o współczynniku 2,52. Bezpieczniejsze są środkowe części stoku, które są łagodnie nachylone – górna część osuwiska, Współczynnik bezpieczeństwa tej części wynosi 6,83.

Słowa kluczowe: aerotriangulacja, NMPT, budowa geologiczna, kąt tarcia wewnętrznego, kohezja, TIN

¹ Autor do korespondencji / corresponding author: Marek Zygmunt, Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny, Instytut Geoinformatyki, ul. Żołnierska 46, 71-250 Szczecin; tel. 506 567 596; marek.zygmunt@op.pl

² Józef Sanecki, Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny, Instytut Geoinformatyki, ul. Żołnierska 46, 71-250 Szczecin

³ Andrzej Klewski, Akademia Morska w Szczecinie

1. Wprowadzenie

W Polskich Karpatach osuwiska są zjawiskiem powszechnie znanym, gdyż duża liczba z nich powstała podczas ustępowania zlodowacenia południowopolskiego ok. 440 tys. lat temu. Duża część osuwisk powstała w lejach źródłowych potoków [1]. Jednak w obecnych czasach dopiero po okresach gwałtownych powodzi, jakie miały miejsce w latach 1997-2016 dochodziło do ponownego uaktywnienia się znacznej części, z powstałych pod koniec plejstocenu osuwisk. Odpowiedzią na masowe zniszczenia infrastruktury, jakie uaktywnienie tych osuwisk wywołało był Projekt System Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO). Okres jego trwania, to lata 2006 – 2023. Podczas trwania tego Projektu do roku 2016 wyznaczono granice i stopień aktywności większości osuwisk karpaccich [2]. Do wyznaczania granic obszarów osuwiskowych użyty został GPS marki Garmin 2000. Pozwolił on określić przebieg skarpy głównej i skarpy bocznych z dokładnością do 5 m. Obszary większości osuwisk z wyjątkiem tych, które wywołały ogromne zniszczenia [3] nie były później monitorowane a charakter ich powierzchni nie był w żaden sposób obrazowany. W czerwcu i we wrześniu 2016 roku wykonano naloty fotogrametryczne nad obszarami dwóch, wytypowanych wcześniej osuwisk przy użyciu Bezzałogowego Systemu Latającego Phantom 3 firmy DJI. Poniżej przedstawiono geograficzno-geologiczną charakterystykę obszarów badań oraz wyniki obserwacji z nalogów.

1.1. Obszary badań

Obszary badawcze stanowiły dwa, w odmienny sposób wykształcone osuwiska. Pierwsze z nich, które położone jest na wschodnim stoku wzniesienia w obrębie Pogórza Dynowskiego jest duże (20 ha) osuwisko strukturalne [4] obejmujące swym zasięgiem większą część zbocza. Dolna część osuwiska jest aktywna, co uwidacznia się w pęknięciu drogi gminnej, przesunięciu kręgów w studni oraz spękań występujących na ścianach budynków. Słupy elektryczne jednej z trakcji zostały przesunięte. Drugie osuwisko położone na terenie Wzgórz Targowisk w obrębie Pogórza Jasielskiego. Osuwisko zajmuje dolną część zbocza i prawobrzeżną skarpe potoku uchodzącego do rzeki Lubatówka. Jego powierzchnia została oszacowana na 1,19 ha [5]. W lipcu 2010 roku po gwałtownych opadach doszło do uaktywnienia jego środkowej i dolnej części. Zwały ziemne zagroziły jednemu z budynków mieszkalnych położonym w obrębie uaktywnionej, środkowej części osuwiska. Również aktywna, dolna część osuwiska spowodowała uszkodzenia lokalnej drogi asfaltowej. Wykonana została Ekspertyza Geotechniczna [6].

1.2. Budowa geologiczna badanych osuwisk

Teren osuwiska z miejscowości Węgierka położony jest w obrębie płaszczowiny skolskiej Karpat zewnętrznych, którą reprezentują utwory kredy górnej i paleocenu – warstwy inoceramowe, eocenu - warstwy hieroglifyowe, oligocenu – warstwy menilitowe i miocenu – warstwy krośnieńskie. Utwory skalne wykształ-

cone są w facji piaskowcowo-łupkowej [8]. Warstwy inoceramowe i hieroglifowe budują tzw. fałdy brzeżne. Dokonano charakterystyki podłoża gruntowego do głębokości 4,5 m p.p.t. Obliczono parametry charakterystyczne gruntów.

Obszar drugiego osuwiska położony jest w obrębie jednostki śląskiej Karpat Zewnętrznych [9]. Budują go warstwy przejściowe i warstwy menilitowe. Utwory skalne wykształcone są w facji piaskowcowo-łupkowej [10]. Warstwy przejściowe i menilitowe stanowią południowe skrzydło antykliny Bóbrki. Nachylenie zbocza jest zmienne i mieści się w zakresach: 21%, 40% i 13% licząc od potoku. Nadkład budują grunty zróżnicowane: deluwia zboczowe w postaci glin pylastych i glin pylastych zwięzłych, ilów z grudkami łupka, pyłów piaszczystych, piasków pylastych oraz aluwia potokowe w postaci żwiru zaglinionego z rumoszem piaskowca. Miąższość pokrywy osadowo-zwietrzelinowej wynosi od 2,0-4,5 m.

2. Opis procedury badawczej

2.1. Metoda wykonania nalotów fotogrametrycznych

Numeryczny Model Pokrycia Terenu (NMPT) oraz ortofotomapę cyfrową wykonano na podstawie nalotu fotogrametrycznego z kamerą ustawioną horyzontalnie [11] nad obszarem osuwiska w miejscowości Węgierka. Do tego celu wykorzystano Bezzałogowy System Latający (BSL) Phantom 3 Professional firmy DJI. Średnia wysokość względna nalotu wynosiła 70 m, co w połączeniu z parametrami stałogniskowej kamery (3,61 mm) oraz fizyczną wielkością piksela w matrycy (1,56 μm) pozwoliło w efekcie uzyskać rozdzielczość terenową (średnią) 0,027 m. Nalot wykonano w słoneczny dzień przy słabym wietrze (porzywy poniżej 5 m/s). Pokrycie podłużne i poprzeczne zdjęć wyniosło około 80%, a kamera znajdowała się w nadirze (zdjęcia prawie pionowe). W ten sposób wykonano 262 zdjęcia i poddano je dalszym przetworzeniom. Jeśli chodzi o badanie wpływu nachylenia stoku na powstawanie ruchów masowych lepszy okazuje się nalot fotogrametryczny z kamerą wychyloną pod kątem 80°. Nad osuwiskiem w miejscowości Rogi-Folwark, wykonano taki właśnie nalot. Średnia wysokość względna (ponad terenem) z jakiej zostały wykonane zdjęcia wynosiła 89 m. Pokrycie podłużne i poprzeczne zdjęć wyniosło około 90%. W ten sposób wykonano 385 zdjęć i poddano je dalszym przetworzeniom [7].

2.2. Metoda przetwarzania zdjęć

Proces opracowania NMPT oraz ortofotomapy wykonany został w oprogramowaniu Agisoft PhotoScan. Na opracowanie to złożyły się następujące etapy:

1. Wczytanie zdjęć i utworzenie projektu;
2. Aerotriangulacja przestrzenna;
3. Wygenerowanie i klasyfikacja gęstej chmury punktów;
4. Utworzenie modelu TIN (Triangular Irregular Network);
5. Teksturowanie modelu TIN;
6. Utworzenie modelu kafelowego (tiled model);

7. Wygenerowanie NMPT;
8. Ortorektifikacja zdjęć;
9. Eksport NMPT oraz ortofotomapy cyfrowej;
10. Wygenerowanie raportu.

3. Metodyka i wyniki badań

Po wczytaniu zdjęć, założono projekt i ustawiono układ odniesienia EPSG 2179 (Układ współrzędnych PUWG 2000 strefa 8). Następnie w procesie Align Photos wykonano autokorelację obrazów (matching) oraz aerotriangulację przestrzenną. W trakcie tego procesu wyznaczone zostały, poprawione i wyrównane środki rzutów poszczególnych zdjęć, elementy kątowej orientacji kamery oraz elementy orientacji wewnętrznej kamery. W ten sposób wykonano aerotriangulację przestrzenną, gdzie analityczne związki pomiędzy elementami orientacji zewnętrznej oraz wyznaczanymi współrzędnymi terenowymi dla każdego z punktów, można opisać zgodnie z zależnością [12, 14]:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + \lambda \begin{pmatrix} 100 \\ 0 \cos \omega \sin \omega \\ 0 - \sin \omega \cos \omega \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \varphi & 0 - \sin \varphi \\ 0 & 10 \\ -\sin \varphi & 0 \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \kappa - \sin \kappa 0 \\ \sin \kappa \cos \kappa 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (1)$$

gdzie:

ω – obrót wokół osi x,

φ – obrót wokół osi y,

κ – obrót wokół osi z,

X, Y, Z – współrzędne w układzie wtórnym (terenowe),

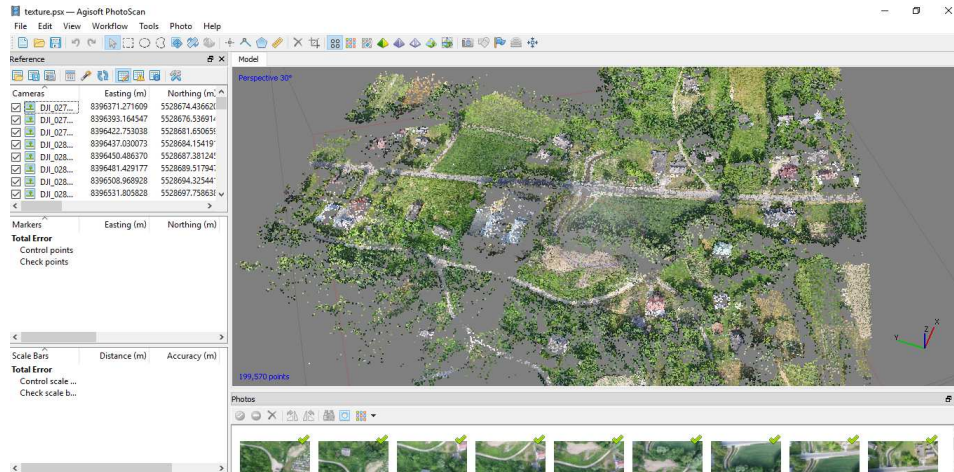
x, y, z – współrzędne w układzie pierwotnym (sensora),

X, Y, Z – wektor translacji (przesunięcia układów),

0 0 0

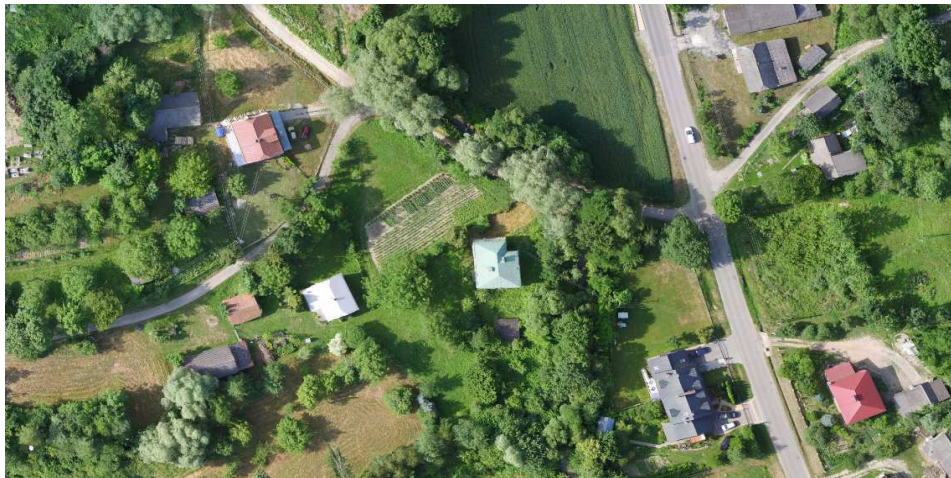
λ – współczynnik zmiany skali (w przekształceniu izometrycznym).

W wyniku aerotriangulacji możliwe było utworzenie gęstej chmury punktów, jej klasyfikacja, a także utworzenie modelu TIN i jego wytekstutowanie (rys. 1.). Następnie utworzono model kafelkowy gęstej chmury punktów i przystąpiono do generowania opracowań końcowych. Najpierw utworzono NMPT z oczkiem siatki 0,10 m a następnie wykonano ortorektifikację zdjęć. NMPT wyeksportowano do formatu XYZ a ortofotomapę cyfrową do formatu GeoTiff (rys. 2.). Końcowym etapem prac było wygenerowanie raportu. W trakcie przetworzeń osiągnięto średni błąd położenia punktu X, Y na ortofotomapie – na poziomie 40 pikseli, co w efekcie dało dokładność bezwzględną lokalizacji punktów na poziomie około 1,1 m. Dla wysokości (NMPT), współrzędna Z – uzyskano odpowiednio: 165 pikseli oraz, 1,5 m dokładności bezwzględnej. Jednocześnie dokładność względna wyniosła w granicach 3 pikseli (0,08 m) dla współrzędnych X, Y oraz 5 pikseli (0,11 m) dla współrzędnej Z (wysokości –



Rys. 1. Aerotriangulacja przestrzenna z autokorelacją obrazów (widoczne dopasowane punkty na zdjęciach)

Fig. 1. Aerial triangulation with autocorrelation of images (matched points on the images). Source: Own study



Rys. 2. Ortofotomapa cyfrowa osuwiska z Węgierki (fragment). Wielkość piksela (GSD – Ground Sampling Distance) – 0,027 m

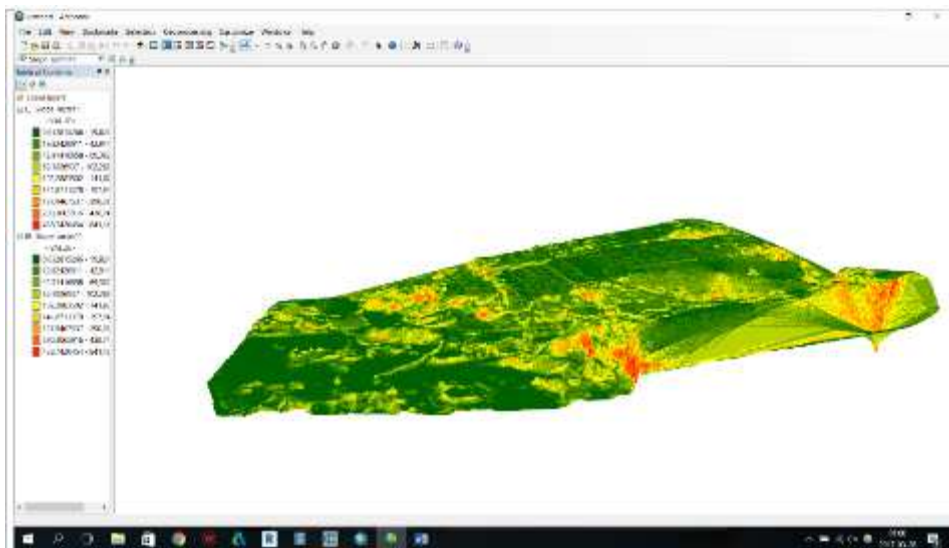
Fig. 2. Digital orthophotomap of landslide. Pixel size (GSD – Ground Sampling Distance) – 0.027 m. Source: Own study

NMPT). Ortofotomapa cyfrowa ukazuje bardzo dokładne położenie elementów przestrzennych w dolnej części osuwiska z miejscowości Węgierka. Numeryczny Model Pokrycia Terenu (NMPT) pozwala zaobserwować dodatkowo wymiar wysokościowy – np. wysokość pojedynczego budynku. Umożliwia to oszaco-

wanie masy budynku, co w połączeniu z danymi dotyczącymi budowy geologicznej może stanowić podstawę do zbadania wpływu masy zabudowy na powstawanie ruchów osuwiskowych [15].

Proces opracowania Numerycznego Modelu Terenu NMT osuwiska z miejscowości Rogi-Folwark wykonany został również w oprogramowaniu Agisoft PhotoScan. Przed wygenerowaniem NMT utworzono Model Wysokościowy (TIN), który dodatkowo ukazywał nachylenie terenu osuwiska (rys. 3).

Spadki terenu odczytane z Rys.3 zestawiono z parametrami geotechnicznymi (kąt tarcia wewnętrznego, kohezja) pyłów piaszczystych otrzymanych przez [16].



Rys. 3. Model wysokościowy (TIN) osuwiska z miejscowości Rogi-Folwark ukazujący spadki terenu utworzony w programie AgiSoft Photoscan

Fig. 3. Digital Terrain Model (TIN) created in AgiSoft Photoscan Software. Source: Own study

4. Analiza wyników

By sprawdzić, na których obszarach występuje większe prawdopodobieństwo wystąpienia kolejnych ruchów osuwiskowych został oszacowany tzw. Współczynnik (Wskaźnik) Bezpieczeństwa [13].

$$FS = c_T + c_S + \cos^2 \alpha [\rho_S g (D - D_W) + (\rho_S g - \rho_W g) D_W] \tan \phi / D \rho_S g \sin \alpha \cos \alpha \quad (2)$$

gdzie:

c_T – pierwotna kohezja,

c_S – kohezja gleby,

α – kąt nachylenia stoku,

D – pionowa głębokość gruntu,

D_w – pionowa wysokość poziomu wód gruntowych w warstwie gleby,

g – przyspieszenie ziemskie,

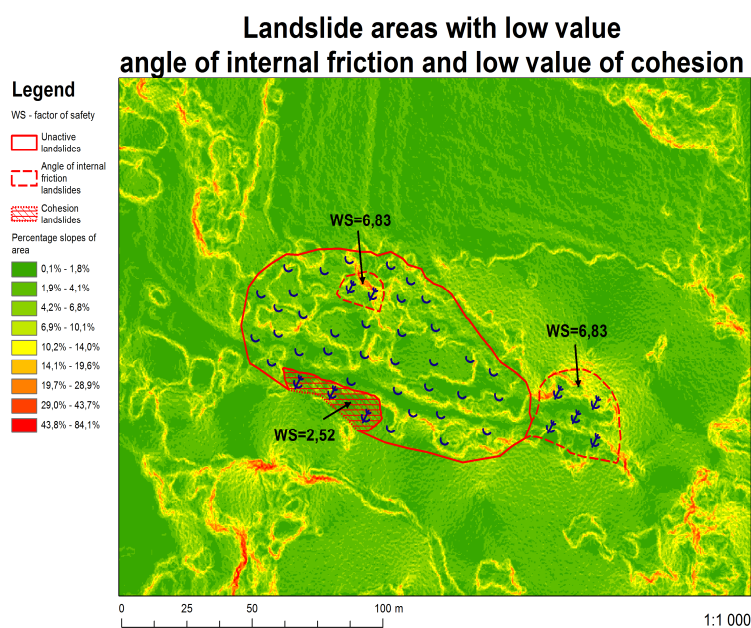
ρ_s – gęstość mokrej gleby,

ρ_w – gęstość wody,

ϕ – efektywny kąt tarcia wewnętrznej gleby,

r – stosunek gęstości wody do gęstości gleby.

Do obliczenia wyżej wymienionych wartości przyjęto wartości poszczególnych zmiennych wg. [17]. Dla osuwiska powstałego w łagodnej części stoku, do zainicjowania, którego przyczyniła się niska wartość kąta tarcia wewnętrznej ϕ wartość współczynnika bezpieczeństwa wyniosła – 6,83. Natomiast dla osuwiska powstałego w stromej części stoku $>40^\circ$, do zainicjowania, którego przyczyniła się niska wartość kohezji, wartość współczynnika bezpieczeństwa to 2,52. Nim wartość Wskaźnika Bezpieczeństwa jest niższa, tym prawdopodobieństwo powstania osuwiska jest większe. Obszary o łagodnym nachyleniu stoku są znacznie bardziej stabilne w porównaniu z terenami o stromym nachyleniu. Najbardziej niebezpieczne są strome skarpy dodatkowo podcinane przez potoki – dolna aktywna część osuwiska o współczynniku 2,52. Bezpieczniejsze są środkowe części stoku, które są łagodnie nachylone – górna część osuwiska, której współczynnik wynosi 6,83 (rys. 4.).



Rys. 4. Obszary w obrębie osuwiska z niską wartością kąta tarcia wewnętrznej i niską kohezją

Fig. 4. Landslide areas with low value angle of internal friction and low value of cohesion.

Source: Own study

Połączenie mapy spadków w powiązaniu z kohezją i kątem tarcia wewnętrznego pozwala na wyznaczenie współczynnika bezpieczeństwa obszaru (Rys. 4). Umożliwiła to zaklasyfikowanie opisanych we wprowadzeniu, dwóch aktywnych obszarów osuwiska do odpowiedniej kategorii. Dokonano również przyporządkowania obszaru, który wcześniej nie był opisywany. Stanowi go najbardziej wschodnia część osuwiska. Widoczne są również skarpy stanowiące granice obszaru osuwiskowego i przesunięte pakiety skalne.

5. Wnioski

Na podstawie badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Numeryczny Model Pokrycia Terenu (NMPT) osuwiska z Węgierki z oczkiem siatki 0,10 m pozwolił precyzyjnie określić położenie i wymiary budynku, co umożliwiło szczegółowe zobrazowanie relacji przestrzennych między obiektami znajdującymi się na osuwisku.
2. Ortofotomapa cyfrowa osuwiska z Węgierki o rozdzielczości terenowej 0,027 m utworzona w wyniku ortorektifikacji zdjęć wykonanych za pomocą BSL umożliwia szczegółowe zaobserwowanie położenia obiektów w obrębie osuwiska i relacji przestrzennych występujących między nimi.
3. W celu osiągnięcia wysokich dokładności, przy obrazowaniu kamerą niemetryczną, należy wykonać aerotriangulację z parametrami dodatkowymi (samokalibracja) do czego niezbędna jest dokładnie wyznaczona osnowa fotogrametryczna.
4. Wysoka dokładność względna i bezwzględna położenia punktów pozwala na szerokie wykorzystywanie metod fotogrametrii bliskiego zasięgu ze szczególnym uwzględnieniem Bezzałogowych Systemów Latających (BSL) do dokumentowania szkód powstałych w obrębie obszarów osuwiskowych.
5. W celu osiągnięcia wysokich dokładności obrazowania obszarów osuwiskowych wychylono kamerę niemetryczną o 80° oraz wykonano dwa wzajemnie prostopadłe naloty z pokryciem podłużnym i poprzecznym 90%.
6. Umożliwiło to lepszy wgląd teren i pozwoliło na podniesienie dokładności wysokościowej. Po wygenerowaniu Numerycznego Modelu Terenu (NMT) błąd pionowy względny wyniósł $m_h \leq 0,14$ m.
7. Precyzyjnie określono kąty nachylenia stoku w obrębie osuwiska z miejscowości Rogi-Folwark, a następnie znaleziono korelację pomiędzy kątem nachylenia stoku, a kątem tarcia wewnętrznego i spójnością (kohezją) gruntów.
8. Wytypowano miejsca w obrębie osuwiska w miejscowości Rogi-Folwark, którym najszybciej zagrożą kolejne ruchy masowe w wyniku niskiej wartości kąta tarcia wewnętrznego lub niskiej wartości spójności gruntów.
9. Współczynnik bezpieczeństwa oszacowany dla obszarów o niskiej wartości spójności gruntów wyniósł 2,52, a o niskiej wartości kąta tarcia wewnętrznego 6,83.

10. Najbardziej niebezpieczne są strome skarpy dodatkowo podcinane przez potoki – dolna aktywna część osuwiska o współczynniku 2,52. Bezpieczniejsze są środkowe części stoku, które są łagodnie nachylone – górna część osuwiska, której współczynnik wynosi 6,83.
11. Opracowania fotogrametryczne z pokryciem poprzecznym i podłużnym zdjęć rzędu 80% na terenach osuwiskowych mogą być dobrym materiałem pomiarowym i informacyjnym w procesie realizacji kolejnych etapów państwowego projektu System Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO).
12. Dane te mogą stanowić ważne uzupełnienie metod badawczych stosowanych w Interferometrii Satelitarnej PSI.
13. Zaprojektowany i wykorzystany w trakcie nalotów nad osuwiskiem system pomiarowy sprawdził się.

Literatura

- [1] Bajgier-Kowalska M. (2004-2005). Rola gospodarczej działalności człowieka w powstawaniu i odmładzaniu osuwisk w Karpatach fliszowych. Kraków. Folia Geographica Series Geographica-Physica, vol. XXXV-XXXVI, s. 11-30.
- [2] Grabowski D., Marciniec P., Mrozek T., Nescieruk P., Rączkowski W., Wójcik A., Zimnal Z. (2008). Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1:10000. Warszawa. CAG Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy.
- [3] Szafarczyk A. (2011). Geodezyjne metody monitoringu osuwisk. Kraków. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, nr 2/2011, s. 293-300.
- [4] Kurkowski S., Zygmunt M. (2012). Objasnienia do Mapy Osuwisk i Terenów Zagrożonych Ruchami Masowymi w skali 1:10000 dla gminy Roźwienica. Warszawa. CAG Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy.
- [5] Popielski W., Zygmunt M. (2014). Objasnienia do Mapy Osuwisk i Terenów Zagrożonych Ruchami Masowymi w skali 1:10000 dla gminy Miejsce Piastowe. Warszawa. CAG Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy.
- [6] Piskadło R. (2010). Ekspertyza Geotechniczna dla ustalenia geotechnicznych warunków posadowienia drogi gminnej i budynku mieszkalnego nr 151 po naruszeniu stateczności zbocza osuwiskami w miejscowości Rogi, gmina – Miejsce Piastowe. Zespół Usług Geologiczno-Technicznych „HGS-EKO”. Krosno, ul. Czajkowskiego 55.
- [7] Greive A. i in. (2013): Aspects of DEM generation from UAS imagery. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, UAV-g2013, 4-6 September 2013, Rostock, Germany.
- [8] Gucik S., Kucharska M., Piotrowska K. (2003). Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000 ark. Rokietnica (1007) wraz z objaśnieniami. Warszawa. CAG Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy.
- [9] Oszczytko N., Ślącza A., Żytko K. (2008). Regionalizacja tektoniczna Polski. Karpaty zewnętrzne i zapadlisko przedkarpackie. Przegląd Geologiczny, 10: 927-935.
- [10] Frysztak-Wołkowska A., Zubrzycki A. (1991). Objasnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50000 ark. Rymanów (1040). Warszawa. CAG Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy.

- [11] Hałaburda R., Borczyk K., Zygmunt M., Stępień G., (2017). Analiza tworzenia Numerycznego Modelu Terenu metodami fotogrametrycznymi z kamerą ustawioną pod kątem 90° i 80° , Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich. Artykuł w przygotowaniu do redakcji.
- [12] Kurczyński Z. (2014). Fotogrametria. Warszawa. Wydawnictwo PWN.
- [13] Skempton A.W., Delory, F.A.: Stability of Natural Slopes in London clay. Proc. 4th Int. Conf. Soil Mech 1957. 2. p. 378-389.
- [14] Stępień G., Sanecki J., Klewski A., Beczkowski K. (2016). Wyznaczanie granic użytków rolnych wykorzystaniem bezzałogowych systemów latających. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, ISSN 1732-5587, Nr III/2-2016 str. 1011-1024, Polska Akademia Nauk, Kraków.
- [15] Zygmunt M., Stępień G., Sanecki J., Klewski A. (2017). Określanie wpływu masy zabudowy na powstawanie osuwisk przy wykorzystaniu Bezzałogowych Systemów Latających. Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, artykuł w przygotowaniu do redakcji.
- [16] Zydroń T., Dąbrowska J. (2012). The influence of moisture content on shear strength of cohesive soils from the landslide area around Gorlice. AGH Journal of Mining and Geoengineering. Vol 36, No 2, 2012.
- [17] Polska Norma PN-81-B-03020. Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie. UKD 624.131.5:624.15. Grupa katalogowa 0702. <http://geoportal.pgi.gov.pl> - dostęp na dzień 20.07.2017 r.

DETERMINATION CAUSES OF LANDSLIDES CREATION IN POLISH FLYSCH CARPATHIANS USING (UAV) IMAGES DATA

S u m m a r y

The article presents the problem of surveying on landslide areas in Polish Flysch Carpathians. We used close photogrammetry methods to digital imaging and determining area landslide dimensions using Unmanned Aerial Systems (UAS). Research was done on landslide located in Węgierka village, in Roźwienica commune, in Jarosław district and on landslide located in Rogi-Folwark village in Krosno district.

Described the method of processing images obtained measuring non-metric camera mounted on UAS. Designed projections centres of individual images and elements of angular orientation and interior camera. This enabled the creation and texturing of Triangular Irregular Network (TIN) models of landslides. The final result was to receive the Digital Surface Model (DSM) and orthophotomap landslide from Węgierka village. Digital Surface Model (DSM) landslide with eyelet mesh 0.10 m with big precision defined localisation and dimensions buildings on landslide from Węgierka village. Flight mission with inclined camera (80°) showed places with low cohesion and angle of internal friction value on landslide from Rogi-Folwark village. These places are the most exposed for further mass movements, fissure formation and ground displacements. For these areas Factor of Safety (FS) was calculated. It allowed to check in which area of landslide probability of new mass movements in the future is bigger.

Keywords: aerotriangulation, DSM, geological structure, angle of internal friction, cohesion, TIN

Przesłano do redakcji: 27.08.2017 r.

Przyjęto do druku: 29.12.2017 r.