

Wykorzystanie lotniczego skaningu laserowego do inwentaryzacji i monitoringu osuwiska w rejonie Łańcicy (gmina Lanckorona), Pogórze Wielickie, Karpaty zewnętrzne

Marek Graniczny¹, Mirosław Kamiński¹, Anna Piątkowska¹, Maria Surała¹



M. Graniczny



M. Kamiński



A. Piątkowska



M. Surała

The use of airborne laser scanning for inventory and monitoring of landslides in the Łańcica area (Lanckorona Commune), Wielickie Foothills, Outer Carpathians. Prz. Geol., 60: 89–94.

Abstract. In recent years a regular activity has been taken for the registration and monitoring of areas at risk of mass movements and landslides throughout Poland. Extensive inventory work in the sites predisposed to occurrence of landslides, initiated a search in order to improve traditional methods of mapping landslides. The traditional method relies

mainly on the analysis of topographic maps, geological and geomorphological mapping in the field. For areas of extreme danger the newer mainly non-invasive methods were tried to be used such as a satellite or aerial photos. In this article have been also tested one of the more modern methods of three-dimensional imaging earth – Airborne Laser Scanning. This method is applicable to the selected landslide in the region of Łańcica (Municipality Lanckorona). A major advantage of the method is the ability to filter out vegetation and other objects on the ground, which results in precise terrain model. Multiple imaging using laser scanning method, allows to obtain a precise differential model, thus in effect information on landslide activity.

Keywords: Landslides, airborne laser scanning, Wielickie Foothill

Wiosna i lato 2010 r. były okresem wyjątkowego nasilenia się procesów naturalnych o charakterze katastrofalnym w Polsce. W wyniku obfitych opadów deszczu podniósł się poziom wody w potokach górskich Karpat i w konsekwencji na rzece Wiśle. Wezbrane wody zalały przedmieścia Krakowa, przerwały wał powodziowy w Nowej Hucie oraz zalały niżej położone tereny na obszarze Śląska. Fala powodziowa dotarła następnie do Sandomierza i przesuwała się dalej na północ, aż po Warszawę. Tak jak po katastrofalnej powodzi w 1997 r., w następstwie intensywnych opadów powodujących wezbrania powodziowe na szeroką skalę uaktywniły się osuwiska, przede wszystkim na terenie Karpat.

W 2010 r. w Małopolsce zarejestrowano ponad 1300 osuwisk. Wystąpiły one głównie w gminie Lanckorona (powiat wadowicki), powiecie limanowskim (gminie Laskowa i gminie Limanowa – głównie w Kłodne) oraz w powiecie nowosądeckim. Uszkodzonych i zagrożonych uszkodzeniem zostało ponad 1000 domów, co spowodowało konieczność przesiedlenia mieszkańców. Władze lokalne całego województwa często nie kryły przerażenia rozmiarami przemieszczeń mas ziemi, zwłaszcza, że ziemia nasiąknięta wodą wysycha bardzo długo i stanowi nadal zagrożenie (Forowicz, 2010).

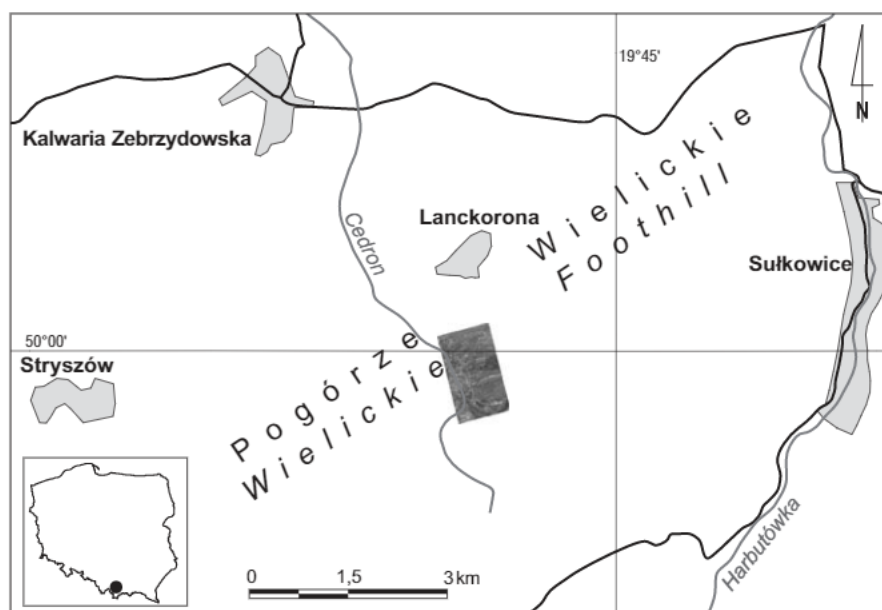
Szczególnie katastrofalny charakter miały procesy osuwiskowe w okolicach Lanckorony. Po długotrwałych i obfitych deszczach, 21 maja nastąpiło grawitacyjne prze-

mieszczenie podłoża we wsiach: Łańcica, Podchybie, Izdebnik i Skawinki. W tej ostatniej pojawiło się nowe osuwisko – usytuowane po przeciwnej (niż Łańcica) stronie zbocza doliny potoku Cedron. W sumie w okolicy Lanckorony ruchy masowe zniszczyły kilkadziesiąt budynków. Wiele domów zostało uszkodzonych tak, że nie nadawały się do zamieszkania, a kilka uległo całkowitej dewastacji. Destrukcyjny charakter procesów osuwiskowych zniszczył nie tylko domy, ale również drogi.

Ważniejsze prace interwencyjne przy osuwiskach zlecane są przez Ministerstwo Środowiska, finansowane ze środków wypłacanych przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska, a realizowane i koordynowane przez Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy w ramach projektu SOPO (System Osłony Przeciwoświsiskowej).

Tradycyjna metoda inwentaryzacji osuwisk polega głównie na analizie szczegółowych map topograficznych oraz kartowaniu geologicznym i geomorfologicznym w terenie (Grabowski i in., 2008). Jest ona czasochłonna i uciążliwa (wiele osuwisk na obszarach górskich jest trudno dostępnych), wymagająca doskonałej kondycji oraz często prowadzona jest w trudnych warunkach pogodowych. Precyzja kartowania terenowego osuwisk jest w dużej mierze uzależniona od doświadczenia terenowego kartującego geologa. Jednocześnie rzeźba terenu na mapach topograficznych w skali 1 : 10 000 jest mocno zgeneralizowana i

¹Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; marek.graniczny@pgi.gov.pl, miroslaw.kaminski@pgi.gov.pl, anna.piatkowska@pgi.gov.pl, maria.surala@pgi.gov.pl.



Ryc. 1. Lokalizacja terenu badań
Fig. 1. Location of study area

dlatego analiza przebiegu poziomicy jest często w niewielkim stopniu przydatna do interpretacji geologicznej i geomorfologicznej. Zazwyczaj, przy kartowaniu osuwisk bardzo przydatną metodą jest interpretacja stereoskopowych zdjęć lotniczych. Jednak i w tym przypadku wykorzystanie tej metody na obszarze Karpat jest ograniczone z uwagi na zwartą pokrywę leśną.

W tym aspekcie nowe możliwości w zakresie inwentaryzacji i monitoringu osuwisk stwarza lotniczy skaning laserowy (ALS – *Airborne Laser Scanning*). Ideą działania skaningu laserowego jest pomiar czasu pomiędzy emisją a odbiorem impulsu laserowego, pozwalający na wyznaczenie odległości od sensora, umieszczonego na pokładzie samolotu, do punktów powierzchni topograficznej. Istotną zaletą metody jest możliwość eliminacji pokrycia roślinnego terenu, często skutecznie maskującego elementy rzeźby. Metoda ta została z dobrym skutkiem zastosowana na osuwiskach w rejonie Łańnicy (ryc. 1).

ZARYS METODYKI

Obecne systemy skanujące oprócz pierwszego i ostatniego odbicia mają możliwość rejestracji wielu odbić impulsu laserowego. Wynikiem skanowania jest zbiór współrzędnych przestrzennych, potocznie nazywany „chmurą punktów” (*points cloud*). Współrzędne X,Y,Z punktów wyznaczane są dzięki integracji systemów pozycjonowania – GPS i nawigacyjnego – INS. Dane te są następnie poddane procesowi filtracji, w wyniku którego można wydobyc różnego rodzaju obiekty 3D. Podstawowymi produktami, które można otrzymać w wyniku skanowania laserowego są: Numeryczny Model Pokrycia Terenu (*Digital Surface Model*) oraz Numeryczny Model Terenu (*Digital Terrain Model*) (Kurczyński, 2006). Pierwszy z nich przedstawia przestrzenne odwzorowanie powierzchni terenu wraz ze wszystkimi obiektami znajdującymi się na niej, w tym pokrywą roślinną (np. lasy), na drugim widzimy za to samą powierzchnię bez wegetacji czy budynków (ryc. 2a,b) W oczywisty sposób jest to bardzo przydatne dla

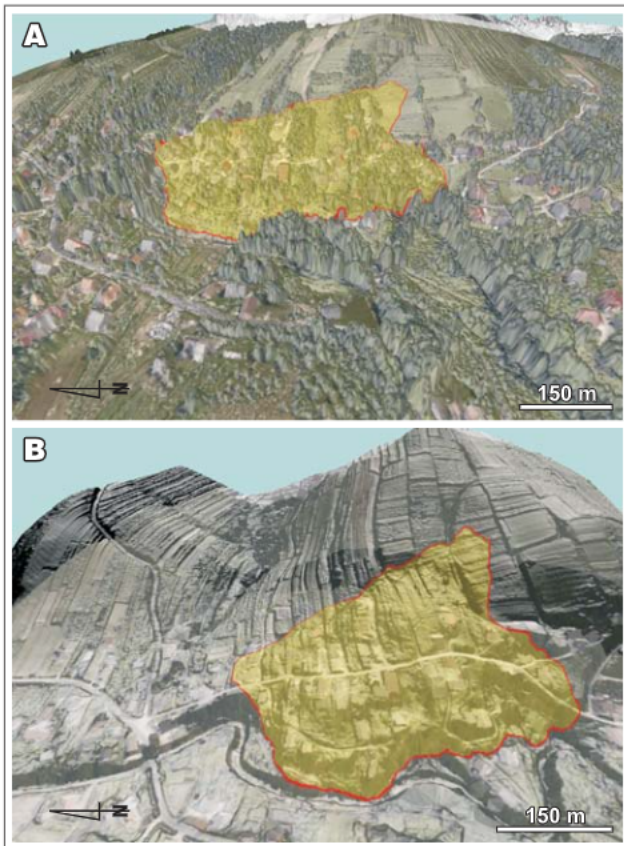
geologów, którzy mogą analizować szczegółowo elementy rzeźby terenu, w tym formy osuwiskowe. Powtórny skaning laserowy, wykonany w trakcie kolejnych nalołów na tym samym obszarze, ukazuje dynamikę zmian rzeźby (ruchy pionowe i poziome), a tym samym stanowi doskonały instrument do monitoringu powierzchniowego osuwisk na znacznych obszarach. Powyższa metoda została przetestowana na osuwiskach w rejonie Łańnicy, naloły i przetwarzanie danych laserowych wykonała firma MGGP Aero Sp.z.o.o. Jej wyniki przedstawiono w niniejszym artykule.

Lotniczy skaning laserowy jest znany od ponad 10 lat (Wężyk i in., 2008). Próby wykorzystania techniki pomiaru odległości z lecącego samolotu przy użyciu lasera rozpoczęły się już w latach sześćdziesiątych

dwudziestego wieku. Jednakże dopiero opracowanie mechanizmu skanującego we wczesnych latach dziewięćdziesiątych spowodowało gwałtowny rozwój tej technologii, jak również zwiększyło zainteresowanie potencjalnych użytkowników (Petrie & Toth, 2009 a,b). Obecnie wyniki pomiaru ALS znajdują coraz szersze zastosowania w opracowaniach fotogrametrycznych dla potrzeb geodezji, kartografii, ochrony środowiska, archeologii, geologii oraz wielu innych dziedzin.

Ze względu na duże podobieństwo technologii pomiaru skanerem laserowym do radaru (przy czym laser wykorzystuje falę w zakresie optycznym, natomiast radar w mikrofalowym), skaner laserowy nazywany jest również radarem laserowym lub LIDAREm (*Light Detection and Ranging*) (Kurczyński, 2006). Ideą skaningu laserowego jest pomiar odległości od lasera umieszczonego na pokładzie samolotu do punktów na powierzchni terenu. Jeżeli punkty są mierzone z dużą częstotliwością, w stosunkowo niewielkiej odległości od siebie (rzędu metra), to efektem pomiaru będzie quasi-ciągła, trójwymiarowa reprezentacja powierzchni terenu. Promień światła z dalmierza laserowego, umieszczonego na pokładzie samolotu dzięki zwierciadłu obrotowemu lub układowi światłowodów, pada na teren, mierząc punkty w płaszczyźnie poprzecznej do kierunku lotu. Ruch samolotu zapewnia pomiar kolejnych profili. W ten sposób mierzony jest pas terenu o szerokości kilkuset metrów.

Impuls wiązki laserowej padający na powierzchnię terenu może odbić się więcej niż jeden raz. Na przykład na obszarze zadrzewionym część wiązki światła laserowego odbija się od koron drzew, podczas gdy reszta przechodzi w głąb i odbija się od powierzchni terenu. Pomiędzy pierwszym a ostatnim odbiciem (np. koroną drzewa a terenem) następują odbicia pośrednie (od niższych gałęzi, od krzewów). Najnowsze systemy umożliwiają rejestrację pierwszego i ostatniego odbicia, jak również kilku odbić pośrednich. Wskazuje to na ogromną przewagę skaningu laserowego nad zdjęciami fotogrametrycznymi, gdyż dzięki rejestracji zarówno punktów w koronach drzew, jak i punktów leżących na powierzchni terenu, możliwe jest



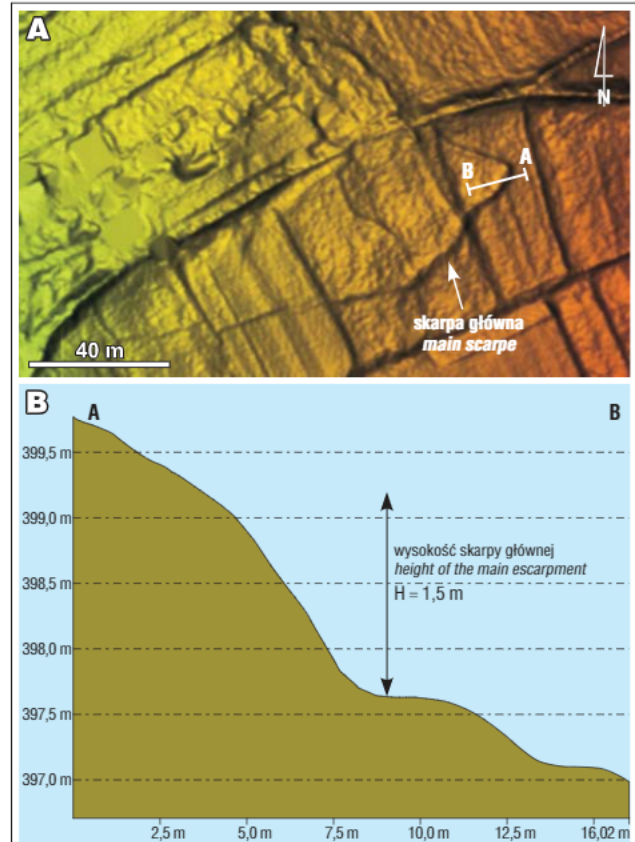
Ryc. 2. A – Numeryczny Model Pokrycia Terenu, z infrastrukturą, pokrywą roślinną i z interpretacją zarysu osuwiska w Łańcicy – obszar zabarwiony na żółto z czerwoną obwiednią. **B** – Numeryczny Model Terenu, bez infrastruktury, bez pokrywy roślinnej i interpretacją zarysu osuwiska w Łańcicy – obszar zabarwiony na żółto z czerwoną obwiednią

Fig. 2. A – Digital Surface Model infrastructure, vegetation cover and the interpretation of the outline of landslides in Łańcica – area colored in yellow with a red envelope. **B** – Digital Terrain Model, without infrastructure, without vegetation cover and interpretation of the outline of landslides in Łańcica – area colored in yellow with a red envelope

generowanie numerycznego modelu terenu na terenach leśnych, jak również prowadzenie takich analiz jak obliczanie biomasy, wysokości drzewostanu czy monitoring stopnia ugięcia kabli energetycznych (Petrie & Toth, 2009b).

Częściowe przenikanie wiązki przez warstwę roślinności do powierzchni terenu stanowi o niezaprzeczalnej przewadze technologii ALS nad tradycyjnymi zdjęciami lotniczymi. Ponadto system ten jest systemem aktywnym, dzięki czemu jest on niezależny od warunków oświetleniowych. Ponieważ nalot odbywa się na wysokości poniżej warstwy chmur, technika ta jest prawie niezależna od warunków pogodowych. Warunki ograniczające penetrację przez promień światła lasera to głównie silny deszcz lub gęsta mgła. W warunkach klimatycznych Polski oznacza to, że prawie połowa dni w roku umożliwia korzystny nalot (jest to bardzo duża przewaga w stosunku do zdjęć lotniczych).

Wśród tych istotnych zalet technologii skaningu laserowego należy również wymienić kilka jej ograniczeń. Wiązka nie odbija się od powierzchni wody, co znacznie utrudnia interpretację linii brzegowej. Na etapie obróbki danych pojawiają się również trudności w określaniu linii



Ryc. 3. A – Model cyfrowy terenu (LIDAR). **B** – Przekrój morfologiczny przez skarpe główną osuwiska
Fig. 3. A – Digital elevation model (LIDAR). **B** – Morphological section by main escarpment of landslide

szkieletowych i linii nieciągłości terenu. Ponieważ jest to stosunkowo nowa technika pozyskiwania informacji, wytyczne techniczne i praktyczne standardy jej wykorzystania są cały czas na etapie opracowania (Kurczyński, 2006).

CHARAKTERYSTYKA I PARAMETRY DANYCH LASEROWYCH OSUWISKA W ŁAŃCICY

Zastosowana technika lotniczego skaningu laserowego dla terenu osuwiska w rejonie Łańcicy obejmowała wykonanie Numerycznego Modelu Terenu (NMT), Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (NMPT) na bazie chmury punktów. Wykonana została również ortofotomapa przy użyciu kamery cyfrowej digi CAM. Parametry rozdzielczości wykonanego zdjęcia określa wielkość piksela terenowego, która wynosi 15 centymetrów, przy pokryciu podłużnym terenu około 60%, a poprzecznym około 30%. Format zapisu zobrazowania lotniczego to Geo Tiff, w układzie współrzędnych PUWG 1992. Zdjęcie cyfrowe jest kompozycją barwną (RGB).

Lotniczy skaningu laserowy, którego bezpośrednim wynikiem było uzyskanie chmury punktów, został zarejestrowany skanerem punktów full-waveform LMS-Q680i. Gęstość próbkowania opcjonalnie wynosiła 4 pkt./m², a dokładność pomiaru wysokości $\pm 0,15$ m. Format zapisu trójwymiarowej chmury punktów danych ALS został przetworzony do postaci plików w coraz bardziej uznanym w świecie formacie binarnym LAS (przyjętym przez ASPRS – Ameri-

can Society for Photogrammetry and Remote Sensing, w najnowszej wersji 1.3). Format ten obsługiwany jest przez wiele programów i przechowuje on wszystkie informacje przypisane do punktu z chmury ALS oraz dodatkowo parametry transformacji kartograficznych czy informacje na temat danych typu *full waveform*. Format danych LAS zapewnia także przechowywanie informacji o przynależności punktu do odpowiedniej klasy zdefiniowanej przez ASPRS.

Przy opracowaniu NMT, NMPT przyjęta została wielkość piksela 0,5m w formacie zapisu IMG, o dokładności parametru wysokościowego $Z \text{ mh} \leq 0,30 \text{ m}$, w układzie współrzędnych P UWG 1992.

POŁOŻENIE I BUDOWA GEOLOGICZNA REJONU ŁAŚNICY

Obszar badań geograficznie należy do Pogórza Wielickiego Zewnętrznych Karpat Zachodnich w Karpatach i jest położony w rejonie miejscowości Lanckorona (ryc.1). Stoki Pogórza Wielickiego pokryte są utworami czwartorzędowymi. W rejonie Łańnicy wykształcone są w postaci miększych glin i utworów lessopodobnych (utwory stokowe) (Książkiewicz, 1974b).

Podłoże utworów czwartorzędowych stanowią tu dwa kompleksy litologiczne płaszczowiny śląskiej utworzone ze skał fliszowych. Jest to flisz trzeciorzędowy, paleogeński, datowany na podstawie otwornic na oligocen (Książkiewicz, 1974b).

Pierwszy kompleks litologiczny zaliczany jest do warstw krośnieńskich nierozdzielnych. Wykształcony jest głównie w postaci piaskowców i łupków.

Piaskowce są muskowitowe, wapieniste, miąższość ich ławic wynosi średnio 0,5m, lokalnie zaś są one cienkoławicowe, płytowe i skorupowe. W dolnej części warstw krośnieńskich występują gruboławicowe piaskowce o miąższości 2–4 metrów. Piaskowce są twarde z małym udziałem muskowitu, niekiedy przechodzą w zlepieńce. Ku górze zwiększa się ilość łupków, a miąższość ławic piaskowców maleje. Piaskowce są przeławiczone łupkami ciemnymi, wapienistymi, które dalej ku górze profilu przechodzą w grubołuźliwe margliste łupki o jasnych barwach (Książkiewicz, 1974b).

Drugi kompleks stanowią łupki menilitowe. Są to ciemne łupki wapieniste, które w górnych partiach profilu litostratygraficznego zastępowane są grubołuźliwymi łupkami marglistymi o jasnych barwach.

Pod względem tektonicznym obszar ten jest silnie złuskowany i pocięty licznymi uskokami zrzutowo-przesuwczymi. Jest to spowodowane sąsiedztwem granicy nasunięcia płaszczowiny magurskiej na płaszczowinę śląską.

CHARAKTERYSTYKA OSUWISKA

Osuwisko w Łańnicy po raz pierwszy zostało opisane w literaturze przez T. Ziętarę (1969). Uaktywniło się ono 25 lipca 1960 r. Zniszczeniu uległo wówczas 15 zabudowań wiejskich, a 9 zostało uszkodzonych. Fakt ten został odnotowany na mapie osuwisk powiatu wadowickiego w katalogu osuwisk sporządzonym przez Państwowy Instytut Geologiczny (Chowaniec i in., 1975).

Ponowne, katastrofalne w skutkach grawitacyjne przemieszczenie podłoża nastąpiło 19 maja 2010 r. Wówczas uszkodzeniu uległo 26 zabudowań mieszkalnych i 25 budynków gospodarczych. Znacznie zniszczona została również cała infrastruktura wsi Łańnica, budynki mieszkalne, gospodarcze, drogi gminne i dojazdowe, linie energetyczne, telefoniczne, wodociągi oraz kanalizacja przydomowa. Ponadto osuwisko spowodowało zniszczenia w sadach, łąkach i polach uprawnych.

Osuwisko należy do osuwisk złożonych sensu (Grabowski i in., 2008) (cylindryczno-płaski kształt powierzchni poślizgu).

Bezpośrednią przyczyną powstania i uaktywnienia się osuwiska były obfite opady deszczu, które spowodowały infiltrację wody opadowej w głąb skał fliszowych o konsekwentnym (w stosunku do kierunku nachylenia zbocza) nachyleniu warstw. Pomierzone w terenie wartości biegow i upadów warstw wynoszą od $212/10^\circ$ do $210/15^\circ$.

Powierzchnia osuwiska wynosi ponad 6 ha, zaś jego długość osiąga 405 metrów. Maksymalna wysokość skarpy głównej jest stosunkowo niewielka – wynosi 1,5 metra i nachylona jest pod kątem 45° (ryc. 3). Miąższość maksymalna płata osuwiskowego jest szacowana na ponad 10 metrów. Materiał koluwalny (Grabowski i in., 2008) zbudowany jest z glin i ilów z rumoszem skalnym oraz pakietów fliszowych. W obrębie koluwium zanotowano przejawy wysięków, wycieków, źródeł wód gruntowych oraz obszary młak (Wójcik i in., 2010).

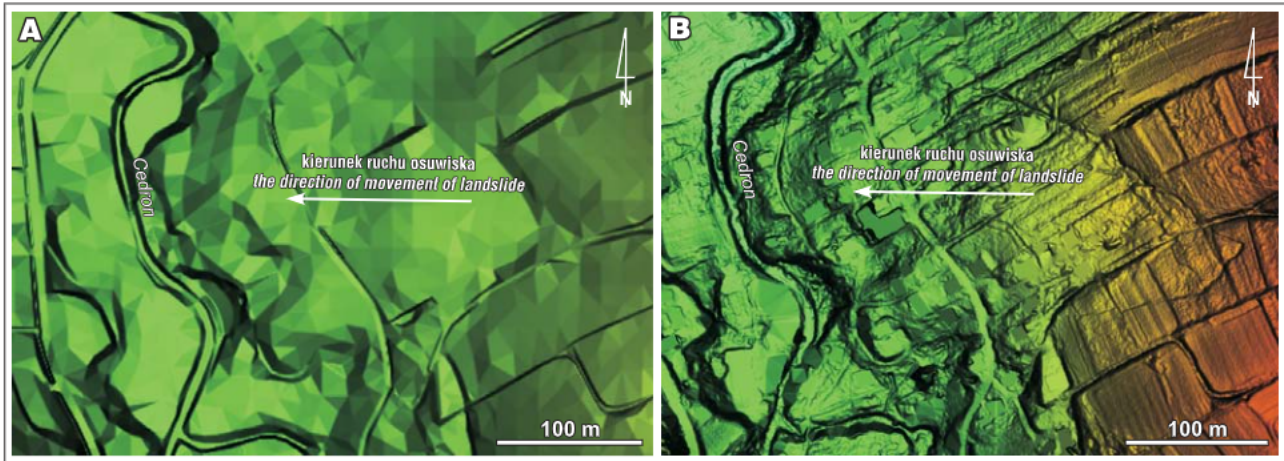
Ponadto osuwisko może spowodować tamowanie wody w korycie potoku Cedron i stać się przyczyną powstania jeziora zaporowego. Stabilizacja osuwiska jest bardzo kosztowna i mało prawdopodobna, dlatego władze lokalne po zaczerpnięciu opinii geologów oraz nadzoru budowlanego zdecydowały się na częściowe wysiedlenie z budynków mieszkalnych.

WYNIKI I DYSKUSJA

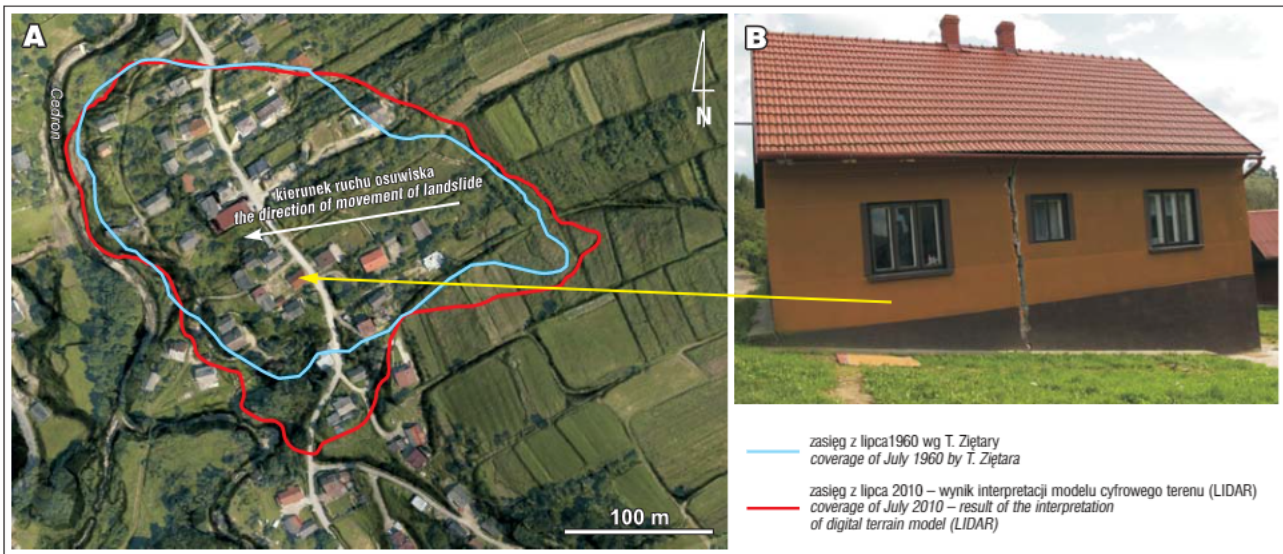
Do oceny dokładności modelu cyfrowego terenu otrzymanego metodą lotniczego skaningu laserowego LIDAR (Light Detection and Ranging) posłużono się ogólnie dostępnym fotogrametrycznym modelem cyfrowym terenu LPIS (Land Parcel Information System) i porównano go z modelem LIDAR (Ryc.4). Model LPIS powstał w ramach prac nad projektem identyfikacji działek rolnych i został wygenerowany ze zdjęć lotniczych w skali 1: 13 000.

Analizując rzeźbę terenu okolic Łańnicy na modelu LPIS, łatwo zauważyć dużą generalizację morfologii, czy wyeliminowanie z informacji geomorfologicznej całych fragmentów terenu. Jest tu widoczny jedynie ogólny zarys zasięgu osuwiska, który nie jest zbyt czytelny. Na podstawie interpretacji tego modelu można jedynie schematycznie odtworzyć zasięg osuwiska. Duży subiektywizm takiej interpretacji wyklucza użycie tego modelu cyfrowego terenu do dalszych analiz przestrzennych.

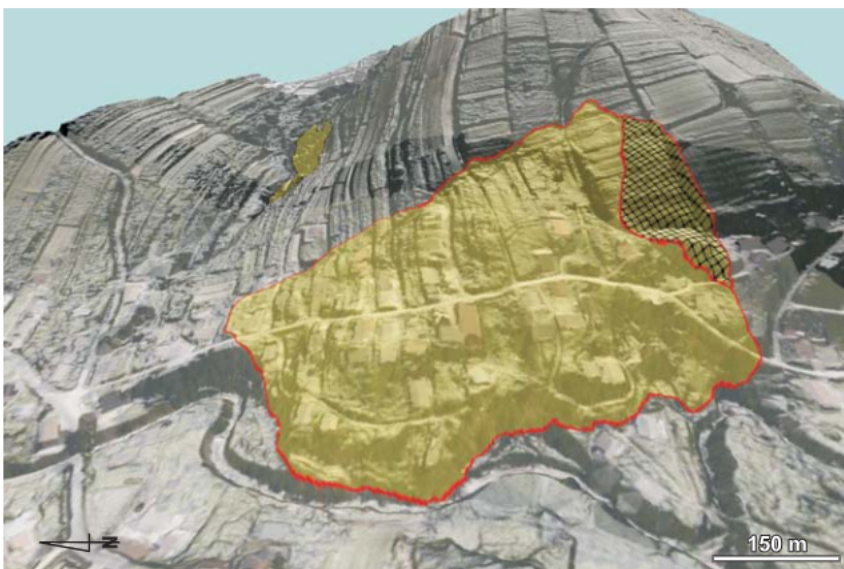
Do dalszych analiz porównawczych zdecydowano się wykorzystać zasięg osuwiska opracowany przez T. Ziętarę (1969). Rysunek archiwalny osuwiska został zeskanowany i zrektyfikowany w układzie geodezyjnym P UWG 1992. Po wektoryzacji obszaru osuwiska w programie ArcGis 9.3 dane zostały porównane z modelem LIDAR.



Ryc. 4. Porównanie rzeźby terenu zaprezentowanej na dwóch modelach cyfrowych terenu otrzymanych metodą: **A** – fotogrametryczną ze zdjęć lotniczych w skali 1 : 13 000 (LPIS); **B** – lotniczego skaningu laserowego (LIDAR) z widocznym zarysem osuwiska
Fig. 4. Comparing the land relief presented on two digital elevation models received with method: **A** – photogrametric from aerial of photography in scale 1 : 13 00 (LPIS); **B** – airborne laser scanning (LIDAR) with avisible outline of landslides



Ryc. 5. **A** – Porównanie zasięgu osuwiska w Łańcicy na tle ortofotomapy; **B** – Przykład uszkodzonego budynku mieszkalnego w Łańcicy
Fig. 5. **A** – Comparing coverage of landslide in Łańcica on the background orthophoto; **B** – An example of the destroyed building in Łańcica



Ryc. 6. Zasięg aktywności osuwiska przedstawiony z wykorzystaniem dokładnej rekonstrukcji rzeźby terenu w rejonie Łańcicy z użyciem metody laserowej, uzupełniony badaniami w terenie. Na ilustracji szrafurą zaznaczono efekt kartowania geomorfologicznego w terenie, zasugerowany ze zdjęcia LIDAR. Na żółto przedstawiona powierzchnia osuwiska
Fig. 6. Range of landslide activity presented using the exact reconstruction of the terrain in the area Łańcicy using laser methods, completed with study in the field. In figure marked effect of geomorphological mapping in the field suggested interpretation of LIDAR images. Surface of landslides shown in yellow

Kolejnym etapem było przetwarzanie danych wysokościowych otrzymanych w wyniku lotniczego skaningu laserowego. Dane zostały zaimportowane do programu ArcGis 9.3 i przetwarzane w module Spatial Analyst. Wygenerowano mapę nachyleń terenu, mapę izolinową i mapy cieniowane (oświetlane z różnych kierunków). Efektem tych prac było zinterpretowanie granicy zasięgu badanego osuwiska w Łańcicy.

Następnie na wcześniej przygotowaną ortofotomapę, z ulepszoną czytelnością przez cieniowanie z modelu cyfrowego terenu LIDAR, naniesiono oba zasięgi osuwiska (ryc. 5).

Z analizy przestrzennej i danych archiwalnych wynika, że osuwisko przez 50 lat powiększyło powierzchnię oraz zmieniło zasadniczo kształt oraz zasięg płata osuwiskowego. Było ono badane przez T. Ziętara (1969), który zaliczył je do tzw. „zgrzybiałych od urodzenia” i scharakteryzował je jako lekko falistą powierzchnię z brakiem wyraźnej skarpy głównej. Takie osuwiska sprawiają wrażenie jakby powstały bardzo dawno (Ziëta, 1969).

We wrześniu 2010 r. przeprowadzono terenowe badania geomorfologiczne osuwiska. Do dokładnego skartowania jego granicy użyto odbiornika GPS Trimble Geo-Explorer. Po uwzględnieniu wyników wizji lokalnej, zwerifikowano wyniki interpretacji modelu cyfrowego terenu LIDAR. Zdjęcie LIDAR wykonano wiosną 2010 r. Granice zasięgu prawdopodobnej aktywności osuwiska zostały zwiększone, po uwzględnieniu ważnego czynnika, jakim jest budowa geologiczna (z konsekwentnym ułożeniem warstw) oraz sezonowych, nagłych zmian warunków hydrogeologicznych. Należy również wspomnieć, że w przypadku tego osuwiska wizja terenowa powierzchni morfologicznej uwzględniła czynnik związany z działalnością rolniczą człowieka. Działalność powoduje zniszczenie i zatarcie powstających w sposób ciągły elementów rzeźby osuwiskowej.

Zasięg aktywności osuwiska przedstawiony w niniejszym artykule, z wykorzystaniem dokładnej rekonstrukcji rzeźby terenu w rejonie Łańcicy z użyciem metody laserowej, pozwala na dokładniejszą weryfikację zasięgu form morfologicznych związanych z osuwiskiem, również w terenie słabo dostępnym (ryc. 6).

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Obrazowanie metodą lotniczego skaningu laserowego LIDAR dostarcza dokładnych informacji o charakterze rzeźby terenu, wskazując na obecność przemieszczeń mas skalnych z dokładnością do około kilkudziesięciu centymetrów. Informacje te powinny być wykorzystane do:

- identyfikacji granicy aktywnej powierzchni osuwiska, dostarczając wiarygodnych informacji o zmianach geomorfologicznych na terenie przyległym, co gwarantuje wysoka dokładność parametru wysokości $Z_{mh} \leq 0,30$ m;
- uzyskania precyzyjnej informacji o zmianie zasięgu powierzchni aktywności osuwiska, w przypadku możliwości pozyskania różnicowej informacji co najmniej z dwóch nalotów.

Biorąc pod uwagę powyższe informacje, lotnicze skanowanie laserowe powierzchni osuwisk jest niezwykle przydatną metodą zarówno do uszczegółowienia kartowania osuwisk (na terenach trudno dostępnych), jak również do powierzchniowego monitoringu ruchów masowych.

Autorzy dziękują głównemu koordynatorowi projektu SOPO, Dariuszowi Grabowskiemu, za sfinansowanie wydruku kolorowych ilustracji w artykule.

LITERATURA

- CHOWANIEC J., KOLASA K., KOZIARA Z., NAWROCKA D. & POPRAWA D. 1975 – Katalog osuwisk, powiat Wadowice. Mapa zbiorcza w skali 1 : 100 000. CAG OK. PIG-PIB w Krakowie.
- FOROWICZ K. 2010 – Osuwiska – żywioł którego nie zatrzyma. Środowisko, 15–16: 423–424. Dziennikarska Agencja Wydawnicza (www.ekoportal.gov.pl).
- GRABOWSKI D., MARCINIEC P., TERESA MROZEK T., NESCIERUK P., RĄCZKOWSKI W., WÓJCIK A. & ZIMNAL Z. 2008 – Instrukcja opracowania Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10 000. Ministerstwo Środowiska.
- KSIĄŻKIEWICZ M. 1974a – Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski ark. Sucha Beskidzka.
- KSIĄŻKIEWICZ M. 1974b – Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski ark. Sucha Beskidzka CAG PIG PIB.
- KURCZYŃSKI Z. 2006 – Lotnicze i satelitarne obrazowanie Ziemi.
- PETRIE G. & TOTH C.K. 2009a – Introduction to Laser Ranging, Profiling, and Scanning. [In:] Shan J., Toth C.K. (ed.) 2009 – Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing.
- PETRIE G. & TOTH C.K. 2009b – Airborne and Spaceborne Laser Profilers and Scanners. [In:] Shan J., Toth C.K. (ed.) 2009 – Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing.
- WĘŻYK P., BOROWIEC N., SZOMBARA S. & WAŃCZYK R. 2008 – Generowanie numerycznych modeli powierzchni oraz terenu w Tatrach na podstawie chmury punktów z lotniczego skaningu laserowego (ALS). [W:] Geoinformacja obrazowa w świetle aktualnych potrzeb. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, 18: 651–661.
- WÓJCIK A., NESCIERUK P. & RĄCZKOWSKI W. 2010 – Karta rejestracyjna osuwiska w Łańcicy. Arch. Gminy Lanckorona.
- ZIĘTARA T. 1968 – Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby Beskidów. Prac. Geogr. IGPAN, 60: 1–116.
- ZIĘTARA T. 1969 – W sprawie klasyfikacji osuwisk w Beskidach zachodnich. Studia Geomorphologica-Balkanica, III: 111–131.
- ZIĘTARA T. 2002 – Rola gwałtownych ulew i powodzi w modelowaniu rzeźby terenu oraz niszczeniu infrastruktury osadniczej w górnej części dorzecza Łososiny. [W:] Z. Górka, A. Jelonek (red.) – Geograficzne uwarunkowania rozwoju Małopolski, Kraków, s. 37–54.

Praca wpłynęła do redakcji 21.02.2011 r.

Po recenzji akceptowano do druku 3.10.2011 r.

