

Naziemny skaning laserowy jako narzędzie do określenia aktywności osuwiska

Terrestrial laser scanning as a tool to determine the activity of landslides

STRESZCZENIE

Dynamiczny rozwój w ostatnich latach nowoczesnych metod pomiarowych, m.in. naziemnego skaningu laserowego (ang. Terrestrial Laser Scanning), pozwala na pozyskanie ogromnej ilości danych przestrzennych w bardzo krótkim czasie. Powstała w wyniku skanowania „chmura punktów” (ang. point cloud) po późniejszym opracowaniu może być przetworzona w model powierzchni terenu. W niniejszym opracowaniu podjęto próbę zastosowania naziemnego skanera laserowego w badaniach aktywności osuwisk. Wykonano 4 serie pomiarowe, które posłużyły do określenia wpływu opadów na dynamikę ruchu materiału na jezorze osuwiskowym.

ABSTRACT

The dynamic development of modern methods of measurement in recent years, among others Terrestrial Laser Scanning, allow to obtain large amounts of data in a very short space of time. „Point cloud” came into being as a result of scan, after the subsequent study in the software, can be converted into land surface model. In this study, an attempt was made to present the practical application of terrestrial laser scanner in the study of activity landslides. Measurements made between rainfalls (in May and August) were used to determine the impact of floods on the dynamics of the tongue of the landslide.

Słowa kluczowe: osuwiska, erozja potoków, katastrofalne opady, naziemny skaner laserowy, Beskid Niski
Key words: landslides, stream erosion, catastrophic rainfall, terrestrial laser scanner, Beskid Niski

WSTĘP

Ruchy masowe, a szczególnie osuwiska, powszechnie występują w obrębie Polskich Karpat. Inwentaryzacja tych form, prowadzona w ramach programu SOPO (System osłony przeciwośuwiskowej) wskazuje, że może ich być nawet 50 000, co daje średnio 3 osuwiska na 1 km² (Wójcik 2010). Teren ten (z wyłączeniem Beskidu Niskiego i Bieszczad) charakteryzuje się dużą gęstością zaludnienia, co z tak dużą liczbą osuwisk generuje istotne straty gospodarcze wywołane uaktywnianiem się starych i powstawaniem nowych form (Bajgier-Kowalska 2010; Cebulski 2012; Długosz, Gębica 2008; Poprawa, Rączkowski 2003). W celu zmniejszenia strat wywołanych tym destrukcyjnym procesem czynione są starania nad kompleksowym zbadaniem mechanizmu oraz wpływu poszczególnych czynników (budowa geologiczna, nachylenie, miąższość pokrywy zwietrzelinowej, erozja potoków) na osuwanie się

stoków (Długosz 2011; Świątek i in. 2014). Dynamiczny rozwój nowoczesnych metod pomiarowych w ostatniej dekadzie pozwolił na określenie z bardzo dużą dokładnością przemieszczeń materiału w obrębie stoków (Wojciechowski i in. 2012; Travelletti i in. 2014). Jednym z narzędzi stosowanym w monitorowaniu aktywności stoków jest naziemny skaner laserowy (ang. Terrestrial Laser Scanner), który dzięki dużej precyzji i dokładności pozwala na zaobserwowanie nawet najmniejszych przemieszczeń w obrębie monitorowanej powierzchni (Dunning i in. 2010; Gance i in. 2014; Stumpf i in. 2014; Sui i in. 2009). Przydatność tej techniki w monitorowaniu procesów geomorfologicznych dowiodły liczne badania, przede wszystkim określające strukturę zboczy skalnych poddawanych odpadaniu i osuwaniu (Abellan i in. 2009; Sturzenegger, Stad 2009; Kasperski i in. 2010) lub do określania wielkości osunięć ziemi (Teza i in. 2007; Prokop, Panholzer 2009; Aryal i in. 2012). Istnieją różne techniki analizy zmian w obrębie monitorowanego terenu. Celem artykułu jest analiza zmian aktywności osuwiska z użyciem skaningu laserowego na przykładzie osuwiska „Bodaki”. Badanie wykonano w 2014 roku. Dokonano również oceny metody, która wykorzystuje naziemny skaningu laserowy do oceny zmian morfologicznych w obrębie osuwiska wskazując na jej zalety i wady.

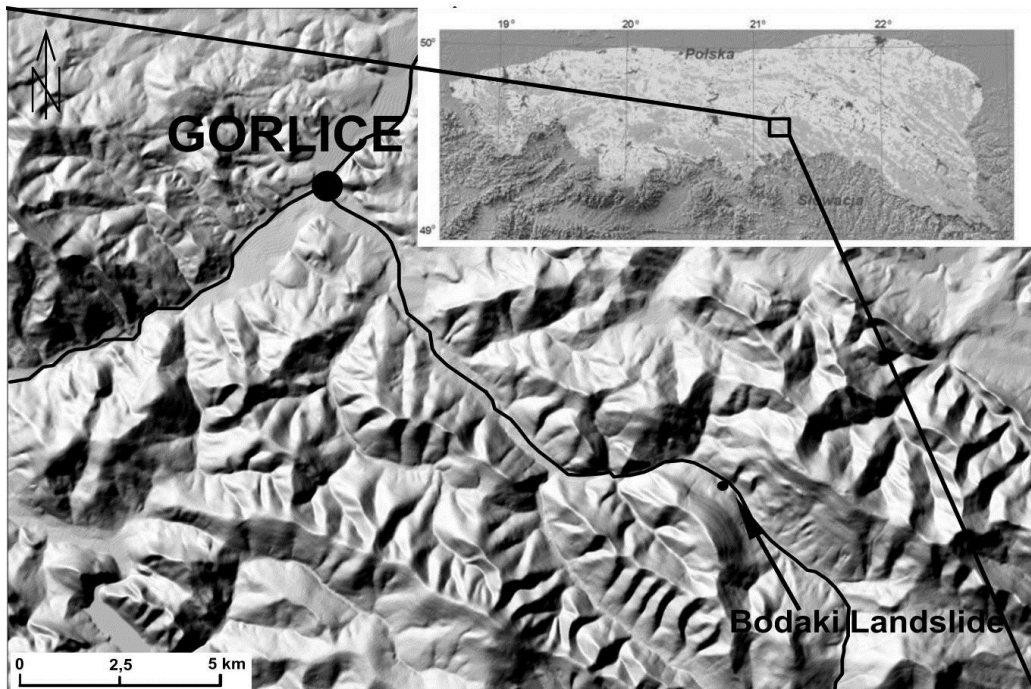
METODY

Działanie skanera laserowego często nazywany także LiDAR-em (ang. Light Detection And Ranging) polega na pomiarze odległości urządzenia od badanego obiektu. Realizowane jest to przez pomiar czasu jaki upływa od momentu wysłania wiązki lasera do jego powrotu do urządzenia, po uprzednim odbiciu od powierzchni. Znana prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej oraz zmierzony czas, w jakim wiązka dotarła do celu pozwala na obliczenie odległości obiektu od urządzenia. Skaner rejestruje także, pod jakim kątem wysyłana jest wiązka lasera. Uzyskane elementy (odległość oraz kąt odchylenia każdego impulsu) pozwala na wyznaczenie współrzędnych przestrzennych XYZ powstałych punktów (tzw. chmury punktów) w układzie lokalnym skanera. (Wężyk 2006). Skaner Riegl VZ 4000, którym wykonywane były pomiary generuje 220 000 punktów/sekundę, a dzięki połączeniu go z GPS RTK Trimble R4, każdy z nich ma określone współrzędne geograficzne (Fot. 1). W artykule wykorzystano metodę analizy par punktów z kolejnych „chmur punktów” (Oppikofer i in. 2009) w celu obliczenia wektora przemieszczeń wybranych, charakterystycznych elementów (np. pień drzewa, głąz) w obrębie aktywnej części osuwiska. Technika ta jest stosunkowo prosta w zastosowaniu, natomiast posiada także istotne ograniczenie. Obszary pozbawione tzw. „elementów charakterystycznych” nie mogą być monitorowane, a także ich zbyt duża ilość może powodować utrudnienia w rozpoznaniu właściwych elementów, które powinny być porównywane.



Fot.1 . Skaner Riegl VZ 4000 na tle osuwiska Bodaki. (źródło: fot. J. Cebulski, 2014

Photo.1. Scanner Riegl VZ 4000 on a background of Bodaki landslide. (source: photo by J. Cebulski, 2014)



Ryc.1. Lokalizacja osuwiska Bodaki. (źródło: opracowanie własne)

Fig.1. Location of Bodaki landslide. (source: own elaboration)

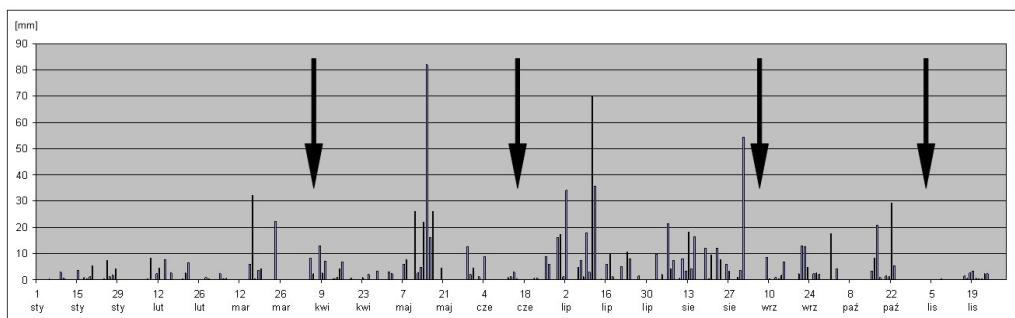
CECHY FIZYCZNE OSUWISKA BODAKI

Analizowane osuwisko położone jest na wschodnim zboczu Ostrej Góry (759 m n.p.m.) w zachodniej części Beskidu Niskiego (Ryc. 1). W obrębie północnej części płaszczowiny magurskiej, zwanej strefą Siar, w tej części zbudowaną z piaskowców z Wątkowej, warstw inoceramowych oraz łupków pstrych (Koszarski 1974). Urozmaicona budowa geologiczna jest główną przyczyną znacznych deniwelacji terenu, średnie nachylenie wschodniego zbocza Ostrej Góry wynosi 12°, a miejscami, szczególnie w partiach szczytowych osiąga 30°.

Jesienią 2013 roku dolna część osuwiska o powierzchni 3240 m² uległa odmłodzeniu (Fot. 1). Uaktywniona część osunęła się do koryta potoku Bartnianka, jezorem tamując przepływ, a tym samym doprowadzając do powstania niewielkiego jeziora zaporowego. Uaktywniona część osuwiska ma długość 83 m, a jego średnie nachylenie wynosi 17°.

OPADY ATMOSFERYCZNE W 2014 ROKU

W roku 2014 suma opadów atmosferycznych w Beskidach była większa od średniej z wielolecia. W okresie 01.01. – 30.11.2014 na stacji Bartne, oddalonej o 3 km od osuwiska Bodaki zanotowano opady w wysokości 1070,9 mm. Okres ten charakteryzował się wystąpieniem dwóch, okresów o dużej sumie opadów atmosferycznych, pierwszy w dniach 07 – 17.05. w czasie których suma opadów wynosiła 193,7 mm. Kolejny w dniach 09 – 13.07, w którym zanotowano opad w wysokości 139,6 mm. Natomiast w miesiącach sierpniu i wrześniu nie odnotowano opadów ekstremalnych, które mogłyby uaktywnić osuwisko.



Ryc.2. Opady atmosferyczne dla stacji Bartne w okresie 01. 01 – 30. 2014.; strzałka wskazuje datę wykonania skanu. (źródło: opracowanie własne)

Fig.2. Precipitation of Bartne station in period 01. 01 – 30. 2014.; arrow indicates the date of execution of the scan. (source: own elaboration)

MODEL 3D JAKO NOŚNIK INFORMACJI O OSUWISKU

W roku 2014, uaktywnioną część osuwiska Bodaki skanowano 4 krotnie. Pomiary wykonano w miesiącach: kwiecień, czerwiec, wrzesień, listopad (Tab. 1). Za pomiar bazowy przyjęto „chmurę punktów” powstałą z 4 stanowisk w miesiącu kwietniu. Dodatkowo wykonane zostały fotografie, co pozwoliło w późniejszej obróbce na przypisanie konkretnym punktom pobranego z fotografii koloru (Fot. 2). „Chmura punktów” uzyskana ze skanowania charakteryzuje się zmienną ilością punktów na

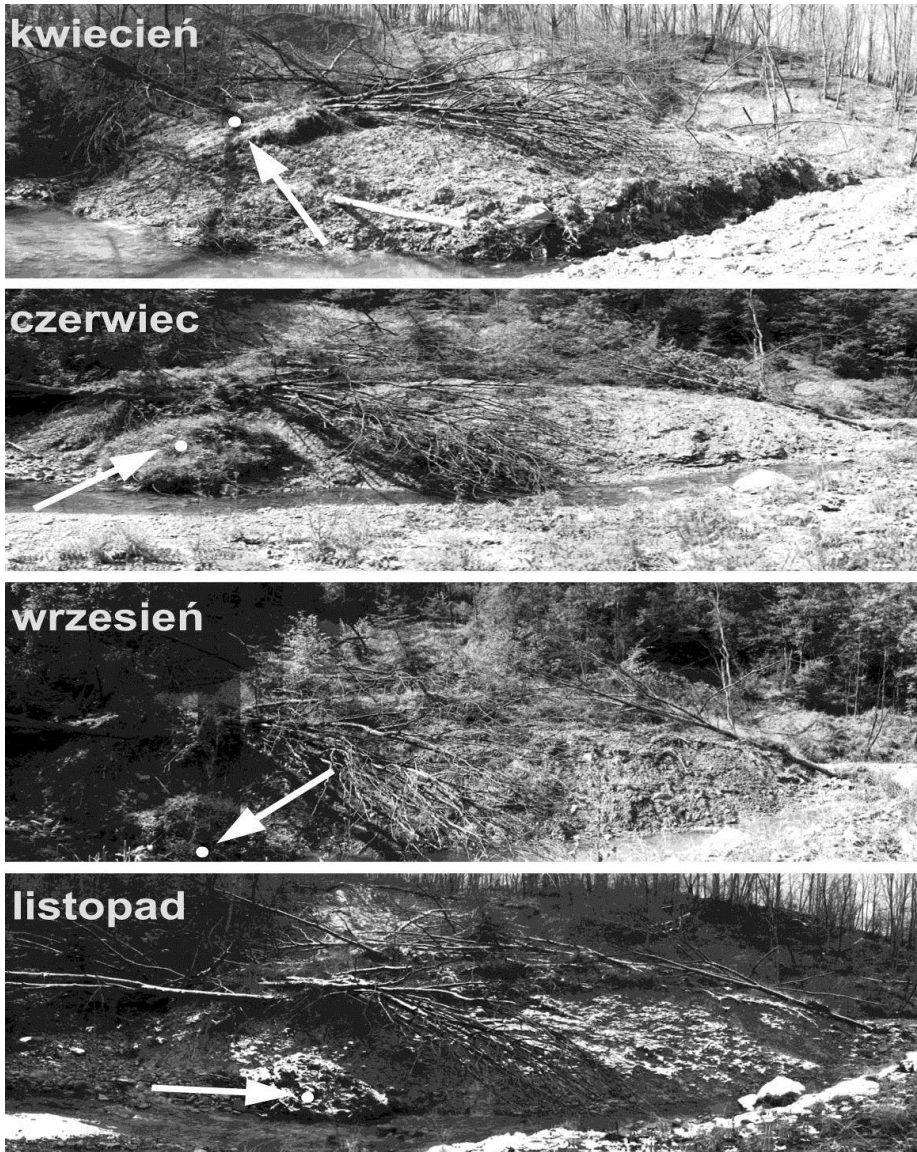
metr kwadratowy. Powierzchnie położone najbliżej skanera, a także te o największym nachyleniu posiadają największą gęstość punktów. W obrębie analizowanego osuwiska dużą gęstością punktów wyróżniają się 2 obszary, pierwszy, skarpa główna, posiadająca ok. 1050 punktów/m², drugi - czoło jezora osuwiskowego o średniej gęstości 10 000 punktów/m². Pomimo podobnego nachylenia powierzchni skarpy głównej i czoła jezora, ilość punktów na m² różni się drastycznie. Głównym powodem jest odległość wybranych powierzchni od pozycji skanera. Pierwsza znajduje się w odległości ok. 110 m, druga 30 m od skanera. Oddalenie powierzchni od skanera o 80 m doprowadziło do prawie 10-krotnego zmniejszenia gęstości. Środkowa część osuwiska, o najmniejszym nachyleniu, częściowo także płaska charakteryzuje się najmniejszym zagęszczeniem, często obejmującą jedynie kilka punktów na m². Duża gęstość „chmury punktów” w obrębie skarpy głównej i czoła jezora pozwala na obserwowanie mikroprocesów zachodzących w ich obrębie. Natomiast obszary o mniejszej gęstości (w tym przypadku centralna część osuwiska) nadają się jedynie do ogólnego prognozowania kierunku przemieszczania się materiału i ich wielkości. Pomimo przestrzennego zróżnicowania „chmury punktów”, uzyskany w postprocesingu model 3D osuwiska charakteryzuje się dokładnością nie osiągalną przy pomocy tradycyjnych metod.



Fot.2. „Chmura punktów”. (źródło: fot. J. Cebulski, 2014)

Photo.2. „Point Cloud”. (source: photo by J. Cebulski, 2014)

Duża dokładność powstałych w wyniku skanowania chmury punktów pozwala na określenie dokładnych współrzędnych wybranych, charakterystycznych elementów (np. pień drzewa, głaz) w obrębie osuwiska. Porównanie położenia takiego punktu, a także odległości od skanera, pomiędzy wybranymi seriami pomiarowymi, pozwala na



Fot. 3. Zestawienie zdjęć osuwiska z poszczególnych pomiarów. (źródło: fot. J. Cebulski, 2014)
 Photo 3. Comperation landslide photo of the individual measurements. (source: photo by J. Cebulski, 2014)

Tab.1. Zestawienie współrzędnych wybranego punktu z poszczególnych pomiarów (źródło: opracowanie własne)

Tab.1. Comperation of coordinates of the point of the individual measurements. (source: own elaboration)

Pomiar	ϕ	λ	Zmiana wysokości [m]	Odległość od skanera [m]
Kwiecień 2014	N49° 34' 52.3416"	E21° 18' 24.7428"	0	18,6
Czerwiec 2014	N49° 34' 52.4208"	E21° 18' 25.1172"	-2,7	13,7
Wrzesień 2014	N49° 34' 52.4532"	E21° 18' 25.1640"	-3,33	12,9
Listopad 2014	N49° 34' 52.4522"	E21° 18' 25.1635"	-3,46	12,7

określenie wielkości przesunięcia się punktu w czasie. Wytypowany punkt na osuwisku „Bodaki” to część pnia drzewa położona w odległości ok. 19 m od skanera (Fot. 3). W okresie prowadzenia pomiarów (kwiecień – listopad 2014) wybrany punkt został przesunięty o 5,9 m. W okresie między serią kwietniową, a czerwcową na terenie Polskich Karpat zanotowano wysokie sumy opadów (Ryc. 2). Konsekwencją było uaktywnienie się jęzora osuwiska w wyniku uplastycznienia tej części osuwiska, a także erozji przez potok Bartniankę. W tym okresie wyznaczony punkt osunął się w kierunku potoku o 4,9 m (Tab. 1). Kolejne wezbrania (lipcowe i sierpniowe) doprowadziły do nieznacznego przesunięcia się punktu. W tym czasie, pomimo iż skumulowany opad dla tego okresu był większy niż w miesiącu maju, wyznaczony punkt zmienił swoją pozycję o 0,8 m. Miał na to wpływ rozkład czasowy opadów, które w maju były skumulowane w krótkim okresie. Zmiana położenia wytypowanego punktu była bardzo niewielka w okresie między skanowaniem wrześniowym i listopadowym, w tym czasie punkt zmienił swoją pozycję o jedynie 0,2 m. Podobna zależność jest widoczna jeśli chodzi o zmianę wysokości wybranego punktu. Zmiany jego wysokości ściśle korelują się z opadami. Największe zaszyły w czasie wezbrania majowego, a prawie niezauważalne w okresie od września do listopada (Tab. 1).

OCENA METODY

Badania naukowe, dotyczące ruchów masowych, w tym także osuwisk, prowadzone przez wiodące ośrodki naukowe na świecie, obecnie skupiają się na ilościowym (numerycznym) przedstawianiu przebiegu procesów. Odchodzi się od metod tradycyjnych, opisowych na korzyść metod statystycznych. W tym kontekście zaprezentowana metoda wpisuje się w obecnie panujący „trend”. Głównymi atutami prezentowanej metody są: bardzo duża dokładność (przy połączeniu z precyzyjnym GPS osiągająca dokładność ok 2 cm) oraz szybkość pozyskania dużej ilości danych przestrzennych, nawet do kilkuset milionów punktów. Pomimo wielu zalet tej metody są także wady. Obszary pozbawione elementów charakterystycznych (pnie drzew, głazy), a także te posiadające zbyt dużą ich ilość nie nadają się do monitorowania aktywności osuwiska tą metodą.

PODSUMOWANIE

W pracy przedstawiono jedną z metod określania aktywności osuwiska przy pomocy „chmury punktów” powstałej ze skanowania naziemnym skanerem laserowym. Zaprezentowane wyniki potwierdzają przydatność tej metody nie tylko w celu monitorowania aktywności osuwisk, ale także innych procesów m. in.: erozji gleby, sufozji, erozji i akumulacji wywołanych przez rzeki. W obrębie wybranych fragmentów osuwisk, powierzchni o dużym nachyleniu (skarpa główna, czoło osuwiska) możliwe jest tworzenie bardzo dokładnych modeli terenu, które mogą być podstawą do dalszych analiz. Istnieje jednak potrzeba prowadzenia dalszych pomiarów tą metodą w celu określenia stopnia dokładności w zależności od nachylenia terenu, ilości warstwy wegetacji, lub jej braku.

LITERATURA

- Abellán A., Jaboyedoff M., Oppikoffer T., Vilaplana J.M. (2009). *Detection of millimetric deformation using a terrestrial laser scanner: experiment and application to a rockfall event*. Natural Hazards and Earth System Science. (9). 365-372.
- Aryal A., Brooks A.B., Reid M.E., Bawden G.W., Pawlak G. (2012). *Displacement fields from point cloud data: application of particle imaging velocimetry to landslide geodesy*. Journal of Geophysical Research. 117.
- Bajgier-Kowalska M. (2010). *Procesy osuwiskowe w gminie Lanckorona na Pogórzu Wielickim jako efekt rozlewnych opadów w maju 2010 roku*. Problemy zagospodarowania ziem górskich. (58). 27-40.
- Cebulski J. (2012). *Ekonomiczne konsekwencje ruchów masowych w Szczepanowicach (Pogórze Rożnowskie) na przykładzie osuwiska Tubendza*. Prace Studenckiego Koła Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. (1). 17-25.
- Długosz M., Gębica P. (2008). *Geomorfologiczne skutki oraz rola lokalnych ulew i powodzi w kształtowaniu rzeźby progu Pogórza Karpackiego (na przykładzie ulewy z czerwca 2006 r. w rejonie Sędziszowa Młp.)*. Landform Analysis. (8). 13-20.
- Długosz M. (2011). *Podatność stoków na osuwanie w polskich Karpatach fliszowych*. Prace Geograficzne IGIPZ PAN. 230.
- Dunning S., Rosser N., Massey C. (2010). *The integration of terrestrial laser scanning and numerical modelling in landslide investigations*. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology. 43 (2). 233-247.
- Gance J., Malet J.P., Dewez T., Travelletti J. (2014). *Target Detection and Tracking of moving objects for characterizing landslide displacements from time-lapse terrestrial optical images*. Engineering Geology. (172). 26-40.
- Kasperski J., Delacourt C., Allemand P., Potherat P., Jaund M., Varrel E. (2010). *Application of a terrestrial laser scanner (TLS) to the study of the Séchilienne Landslide (Isère, France)*. Remote Sensing. 2 (12). 2785-2802.
- Koszarski L. (1976). *Rozwój najmłodszych osadów wschodniej części płaszczowiny magurskiej*. Sprawozdania z posiedzeń komisji Nauk PAN w Krakowie. 20.
- Oppikoffer T., Jaboyedoff M., Blikra L., Derron H., Metzger M.H.R. (2009). *Characterization and monitoring of the Aknes rockslide using terrestrial laser scanning*. Natural Hazards and Earth System Science. (9). 1003-1019.
- Poprawa D., Rączkowski W. (2003). *Osuwiska Karpat*. Przegląd Geologiczny. 51 (8). 685-692.
- Prokop A., Panholzer H. (2009). *Assessing the capability of terrestrial laser scanning for monitoring slow-moving landslides*. Natural Hazards and Earth System Science. (9). 1921-1928.
- Sui L., Li J., Wang X., Zhao X. (2009). *Monitoring landslides dynamics using multitemporal terrestrial laser scanning data*. Second International Conference on Earth Observation for Global Changes.
- Stumpf A., Malet J.P., Allemand P., Ulrich P. (2014). *Surface reconstruction and landslide displacement measurements with Pléiades satellite images*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 95.

- Sturzenegger M., Stad D. (2009). *Quantifying discontinuity orientation and persistence on high mountain rock slopes and large landslides using terrestrial remote sensing techniques*. Natural Hazards and Earth System Science. 9.
- Świątek A., Indelak K., Mikołajczyk D. (2014). *Wykorzystanie Indeksowej Metody Statystycznej w wyznaczaniu obszarów zagrożonych ruchami masowymi*. Prace Studenckiego Koła Geografów Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. (3). 110-125.
- Teza G., Galgaro A., Zaltron N., Genevois R. (2007). *Terrestrial laser scanner to detect landslide displacement fields: a new approach*. Journal of Geophysical Research. 28.
- Travelletti J., Malet J.P., Delacourt C. (2014). *Image-based correlation of Laser Scanning point cloud time series for landslide monitoring*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. (32). 1-18.
- Wężyk P. (2006). *Wprowadzenie do technologii skaningu laserowego w leśnictwie*. Roczniki Geomoatyki. 4 (4). 119-132.
- Wojciechowski T., Borkowski A., Perski Z., Wojcik A., (2012). *Dane lotniczego skaningu laserowego w badaniu osuwisk - przykład osuwiska w Zbyszycach (Karpaty zewnętrzne)*. Przegląd Geologiczny. 60 (2). 95-102.
- Wójcik A. (2010). *Osuwiska w Małopolsce i ich katastrofalne skutki w 2010 r.* [w:] Konferencja „Klęski żywiołowe – powódź i osuwiska w Małopolsce”. Kraków.