

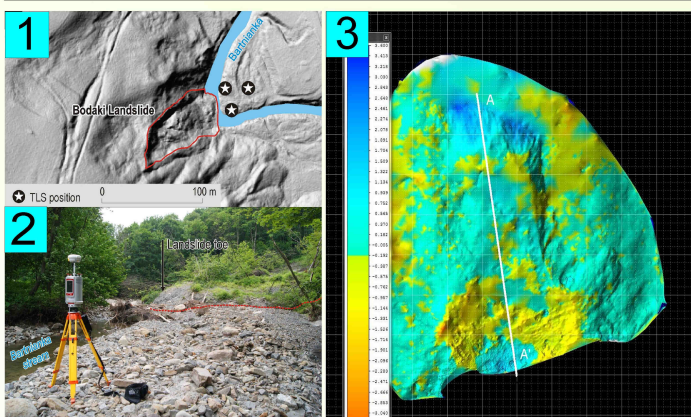
Aktywność osuwiska Bodaki (Beskid Niski) w świetle pomiarów naziemnym skanerem laserowym

Jarosław Cebulski,
Zakład Badań Geośrodowiska, IGiPZ PAN
cebulski@zg.pan.krakow.pl

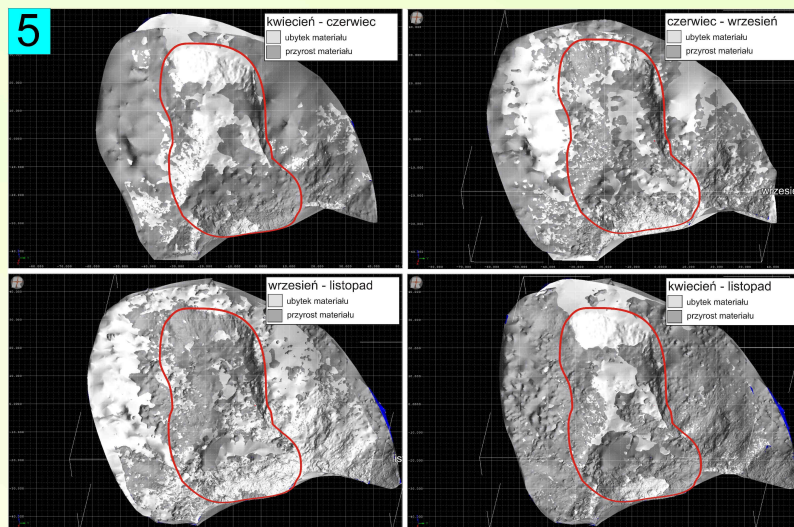
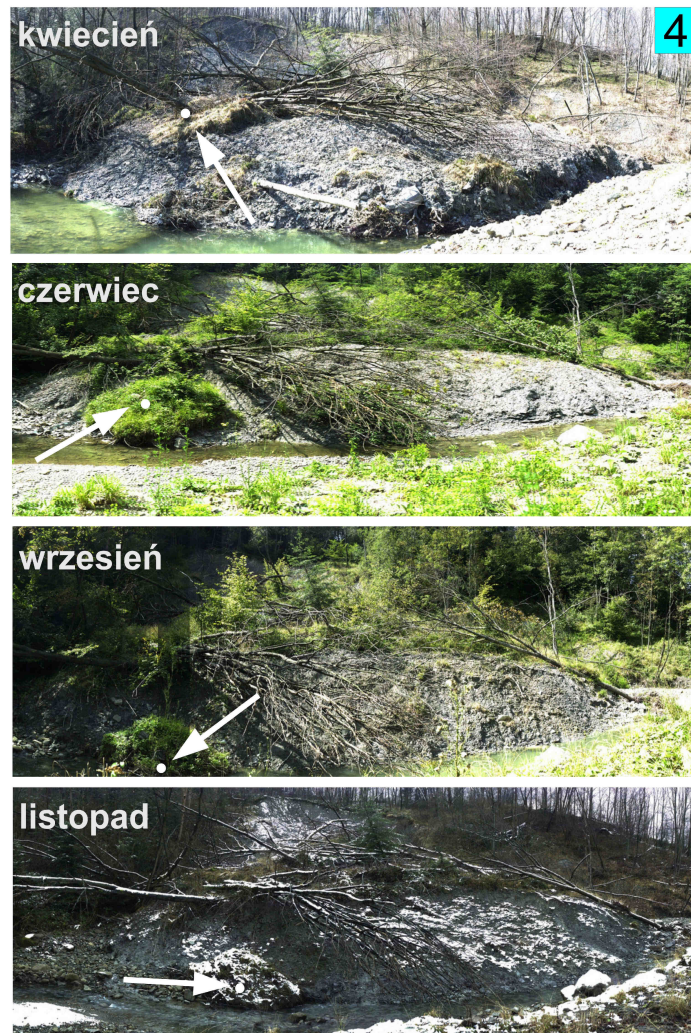
Wprowadzenie:

Beskid Niski jest jednym z obszarów w polskich Karpatach w największym stopniu modelowanych przez ruchy masowe (Starkel 1972). Odsetek powierzchni osuwiskowych dochodzi tutaj do ponad 10% powierzchni stoków (Wałach–Wróńska 2004). Osuwisko Bodaki położone jest na wschodnim stoku Ostrej Góry (759 m n.p.m.), w miejscowości Bodaki. Osuwisko znajduje się w obrębie północnej części płaszczowiny magurskiej, zwanej strefą Siar. Obszar ten jest zbudowany z piaskowców z Wątkowej, warstw inoceramowych oraz łupków pstrych (Koszarski 1976, Kopciowski i in. 1997). Jest to osuwisko obsekwentne, powstałe w wyniku erozji bocznej potoku Bartnianka [1].

Pomiary powierzchni osuwiska z zastosowaniem naziemnego skanera laserowego TLS obejmowały jedynie jego część uaktywnioną jesienią 2013 roku, o powierzchni 3240 m² [2]. Wskutek uaktywnienia osuwiska jego jezór wkroczył do koryta potoku Bartnianka. Spowodowało to zatamowanie przepływu wody i doprowadziło do powstania niewielkiego jeziora zaporowego. Uaktywniona część osuwiska ma długość 83 m, szerokość ok. 35 m, a jej średnie nachylenie wynosi 17°.



Pomiary przy użyciu TLS wykonano 4-krotnie (kwiecień, czerwiec, wrzesień, listopad 2014) [4]. Uzyskane wyniki w postaci „chmur punktów” (ang. point cloud) pozwalają obserwować nawet najmniejsze przemieszczenia w obrębie monitorowanej powierzchni (Travelletti i in. 2014, Stumpf i in. 2014). Odbywa się to przez analizę różnic w modelach terenu uzyskanych w różnych okresach. Przydatność tej techniki w monitorowaniu ruchów masowych dowiodły liczne badania, przede wszystkim określające strukturę stoków skalnych poddawanych odpadaniu i osuwaniu (Abellan 2006, Kasperski i in. 2010) lub do określania wielkości osunięć ziemi (Aryal i in. 2012).



Wyniki:

Zastosowana metoda naziemnego skaningu laserowego (TLS) w obrębie osuwiska Bodaki obejmowała wykonanie czterech cyfrowych modeli wysokościowych (DEM). Każdorazowo, wykonane pomiary były wzajemnie dopasowane przy pomocy narzędzia Multi Station Adjustment, umożliwiając pracę bez konieczności umieszczania punktów referencyjnych na badanych obiektach. Po przeprowadzeniu procesu filtracji roślinności, chmury punktów przekształcano w numeryczne modele terenu (NMT).

Nalożenie cyfrowych modeli wysokościowych z kwietnia i listopada [3], w oprogramowaniu Riscan Pro, pozwoliło na ilościowo określenie różnic pomiędzy tymi modelami. Wykonana w oprogramowaniu analiza porównawcza modeli terenu wykazała znaczący ubytek materiału w obrębie osuwiska wynoszący ponad 2028 m³ (tab. 1). Największa ilość materiału została usunięta ze skarpy głównej (ok. 1200 m³) i środkowej części czoła jezora osuwiskowego (ok. 700 m³). Zarejestrowano także obszary, w których w tym okresie wystąpiła akumulacja materiału w stosunku do stanu z kwietnia. Przybyło ok. 73 m³, między innymi w obszarze jezora osuwiskowego i poniżej skarpy głównej.

W celu określenia wielkości przemieszczeń wybrany został charakterystyczny punkt na osuwisku Bodaki (ryc. 6), który w czasie pomiaru kwietniowego znajdował się w odległości 18,6 m od pozycji skanera (tab. 2). W okresie prowadzenia pomiarów (kwiecień – listopad 2014) wybrany punkt został przesunięty o 5,9 m, z czego największe przemieszczenie odnotowano w okresie kwiecień – czerwiec (4,9 m) (tab. 2).

Tab. 1

	Zmiany objętości materiału:		Cała różnica między poszczególnymi modelami	Bilans
	+	-		
kwiecień/czerwiec	67,8	1972,2	2040	1904,4
czerwiec/wrzesień	19,5	115,8	135,8	96,3
wrzesień/listopad	31,2	53,4	84,6	22,2
kwiecień/listopad	73,1	2028,1	2101,3	1955

Tab. 2

	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

Wnioski:

Pomiary aktywności osuwiska przy użyciu naziemnego skanera laserowego pozwoliły na:

1. Określenie z bardzo dużą dokładnością, objętości materiału wyniesionego z osuwiska przez potok oraz ziemności natężenia tego procesu.
 2. Wyznaczenie obszarów w największym stopniu przekształconych oraz określenie wielkości i tempa przemieszczeń wybranych punktów w obrębie osuwiska.
 3. Oszacowanie skali błędów zaprezentowanej metody oraz czynników odpowiedzialnych za jej wielkość.
- Wielkość błędów wynosząca 3 cm sprawia, że metodę TLS można uznać za najbardziej precyzyjną w badaniach zmian zachodzących w obrębie powierzchni terenu.

Literatura:

1. Abellan A., 2006. Application of a long-range Terrestrial Laser Scanner to a detailed rockfall study at Vall de Núria (Eastern Pyrenees, Spain). Engineering Geology 88(3-4): 136-148.
2. Aryal A., Brooks B.A., Reid M.E., 2012. Landslide sub-surface characteristics inferred from Terrestrial Laser Scanning surface displacement fields. American Geophysical Union, Fall Meeting 2012. 1s.
3. Kasperski J., Delacort C., Allemand P., Potherat P., Jaund M., Varrel E., 2010. Application of a terrestrial laser scanner (TLS) to the study of the Sècheilienne Landslide (Isère, France) Remote Sensing 2(12): 2785-2802.
4. Kopciowski R., Zimnal Z., Jankowski L., 1997. Objasnienia do Szybowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000, ark. Osiek. Centralne Archiwum Geologiczne Państwowego Instytutu Geologicznego. Warszawa
5. Koszarski L., 1976. Rozwój najmłodszych osadów wschodniej części płaszczowiny magurskiej. Sprawozdania z posiedzeń Komisji Nauk PAN w Krakowie 20: 174-175.
6. Starkel L., 1972. Charakterystyka rzeźby polskich Karpat i jej znaczenie dla gospodarki ludzkiej. Problemy Zagospodarowania Ziemi górskich. 10: 75-150.
7. Stumpf P.A., Malet J.P., Allemand P., Ulrich P., 2014. Surface reconstruction and landslide displacement measurements with Pleiades satellite images. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 95: 1-12.
8. 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: 267-287.
9. Travelletti J., Malet J.P., Delacort C., 2014. Image-based correlation of Laser Scanning point cloud time series for landslide monitoring. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 32.
10. Wałach – Wróńska D., 2004. Wpływ procesów osuwiskowych na działalność człowieka oraz szatę roślinną Magurskiego Parku Narodowego. Folia Geographica, Series Geographica-Physica 35-36: 31-52.