

PAWEŁ DUMA
Paweld.stachu@gmail.com

KAROL GAJOS
Karollorak6565@02.pl

MARCIN GIL
marcin92gil@gmail.com, marcin92wawoz@tlen.pl

BARTOSZ GODZISZ
Bartek.godzisz1990@gmail.com

DIANA KALETA
Dianakaleta@vp.pl

Kielce University of Technology

KAROL KRAWCZYK
Krawczyk_karol@op.pl

MARCIN SALAMON
Marcin.salamon92@gmail.com

KRYSTIAN SIWIEC
Ksiwiec25@gmail.com, krystek199207255@wp.pl

JACEK SZEWCZYK
Jszewczy@gmail.com, jszewczyk@tu.kielce.pl

JÓZEF WOŚ
Wos.jozef@gmail.com

Kielce University of Technology

STUDY OF THE CONDITION OF THE SELECTED LANDSLIDES IN THE AREA OF KADZIELNIA

Abstract

The Kadzielnia nature reserve located in Kielce is a remnant of the long-term exploitation of limestone. The slopes of a former quarry are unstable; landslide processes occur there, posing a threat to humans and disturbing the landscape. This condition requires observation of the changes in order to take preventive measures. The article presents the preliminary results of such observations, performed for four selected landslides in Kadzielnia. While measuring, modern geodetic techniques were applied, including satellite technology, scanning tacheometry and laser scanning. Obtained results indicate slight displacements of the monitored walls over several months. Observations which were made are initiating study on the behavior of the landslides in the area of Kadzielnia, aimed at early detection of threats and enabling taking safety procedures.

Keywords: landslide movements, laser scanning, determination of displacements

1. Introduction

Kadzielnia is a strict inanimate nature reserve, created within the administrative boundaries of Kielce on January 26, 1962, by the Order of the Minister of Forestry and Wood Industry. The present complex is a remnant of the exploitation of Devonian limestone which lasted from the seventeenth century. The operation was completed in 1962, but work on the liquidation of the quarry lasted until the 1970s. As a result of intensive excavation of the original hill only its eastern slope remained, remnants of the south-western slope with adjacent mound (now named Wzgórze Harcerskie, Scouts Hill) and Skalka Geologów (Geologists Rock), separated by a deep excavation.

Despite the lapse of several decades, post-exploitation condition still poses certain risk for both the landscape of the reserve, as well as for the people staying in it. The slopes of the quarry which were exploited are far from stability. Therefore, there is a

possibility of activation of landslide processes, often violent. The landslide activity is demonstrated by the accumulation of masses of soil and debris at the foot of the excavation walls. Therefore, there is a need for monitoring the changes occurring on the slopes in order to determine the risks associated with the activation of the landslide process. Among the most common observation methods of landslides are the surveying methods.

Until recently, no systematic measurements of the condition of the landslides have been carried out in Kadzielnia. In 2014, in cooperation between the Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering at the Kielce University of Technology and Kielce Geopark, the first observations of selected landslides were made in Kadzielnia. Members of the Geomatica Student Academic Circle and postgraduates at the geodesy and cartography engineering studies attended the initiated work [1-4], in parallel with other measurements for the

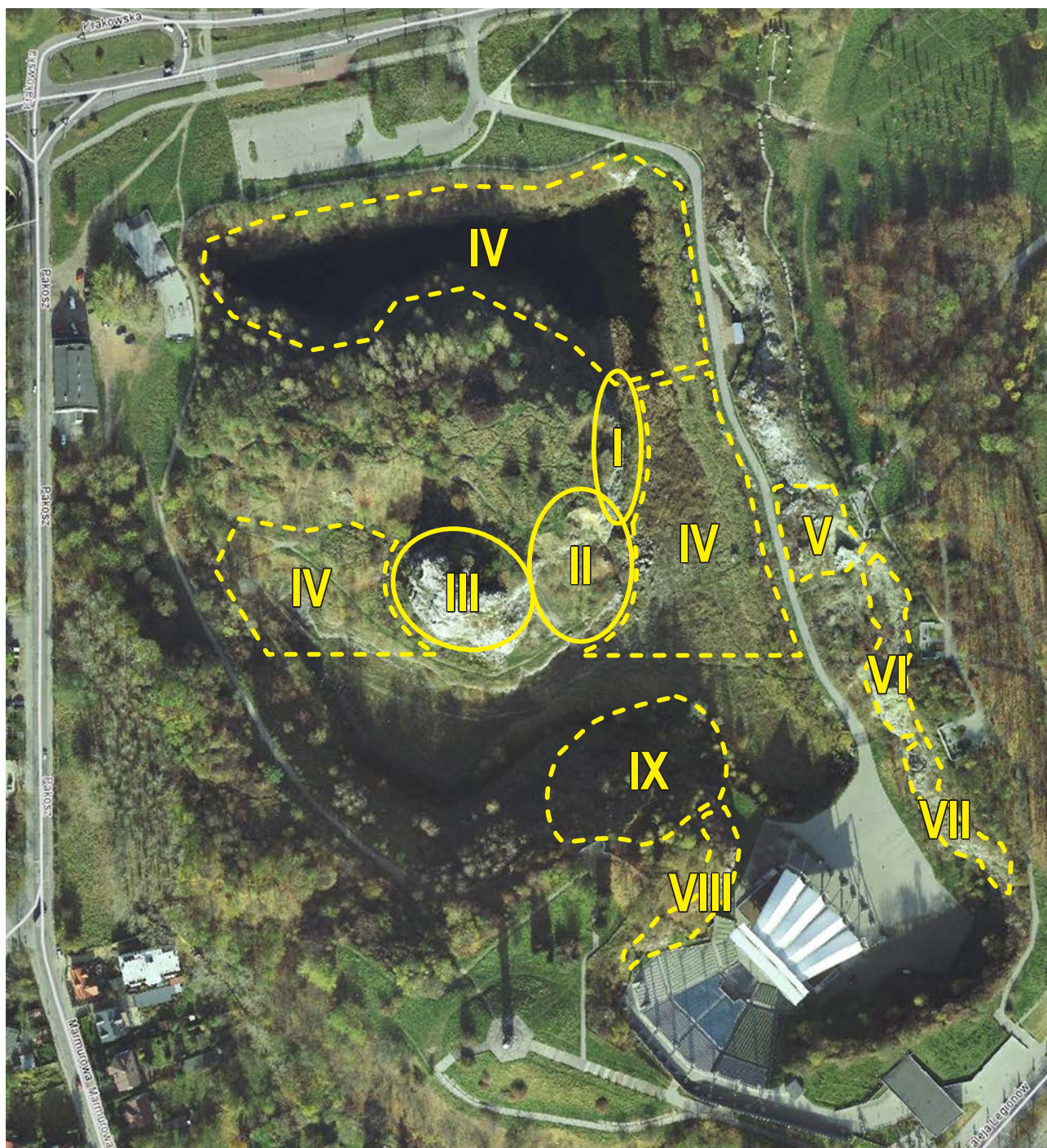


Fig. 1. Surveyed areas in Kadzielnia – north part (source: Geopark materials)

inventory of Kadzielnia area [5], [6], within the statutory research. Two cycles of observation performed by them enabled identifying the areas causing potential danger of the development of landslide processes. This article is a summary of the results of these studies. It should be noted that observation control network which was established and the methodology of observation will greatly facilitate further study on the condition of the Kadzielnia landslides.

Measurements included the following landslides, marked with yellow Roman numerals in Figure 1:

- the eastern wall of Skałka Geologów (Fig. 1, area I),
- the southern wall of Skałka Geologów (Fig. 1, area II),
- the south-western wall of Skałka Geologów (Fig. 1, area III),
- the eastern wall of the former quarry (Fig. 1, areas V and VI).

2. Characteristics of the Kadzielnia landslides

In accordance with the classification of the landslides [7-9], the landslides studied by the authors, located in the Kadzielnia nature reserve, are insequent landslides, formed when a landslide occurs across the structural surface. The surface of the cut partly belongs to the weathering area and partly runs along the surface of the cracks. Colluvium consists of a detrital and block material (comminuted ground, rock waste, rock boulders). Due to the almost vertical wall of the scarp, mass movement in the area of Kadzielnia can also be classified as tearing off. Figure 2 shows the surface of the cut, along which the material has slid. Figure 3 shows a fragment of the monitored area and the torn off material collected at the base of the scarp. In Figure 3 the cracks in the rocks can be clearly seen, along which in the future the cut surface may occur.



Fig. 2. Surface of the cut [2]



Fig. 3. Slid material at the base of the scarp [2]

In the light of the data presented above, the studied object can be classified as translational landslide.

3. The choice of observation method of landslides

For the assessment of landslide movements, their size, direction and speed, quantitative information resulting from cyclic measurement is essential. Its purpose is to determine the extent of the landslide, speed and direction of its movement. Geodetic monitoring methods are put into two main groups: surface – related to surface movements of the landslide and subsurface [10-11]. The detailed division is shown in Figure 4.

The main issue is choosing measurement techniques appropriate to the desired monitoring results, determining the expected monitoring accuracy and observation frequency of the object.

To study the landslides in Kadzielnia the following methods were selected (the main factor determining the choice of these methods was the availability of measuring equipment):

- Satellite techniques – static measurement (to determine the coordinates of the measuring control network);
- Laser scanning of a landslide area using total station;
- Laser scanning of a landslide area using a laser scanner.

4. Performed measurements

Primary series of the tacheometry scanning was performed in May-June 2014, and the secondary was performed in October-November of the same year. Laser scanning was performed in September; it served as a comparison of results of both methods. The time between the first and the next measurement is favorable for the results. Within a few months between measurement cycles atmospheric temperature was high, which caused intense heating up of the rocks, as well as frequent and heavy rainfall. Such weather conditions increase their influence on physical weathering processes whose effects are leaching and washing away parts of the rock, chipping rocks and the like.

Measurement works related to the study of the landslides included the following:

- design of a network;
- stabilization of geodetic control points;
- performing linear-angular, and levelling measurements of the network points;
- measurement of the landslide area.

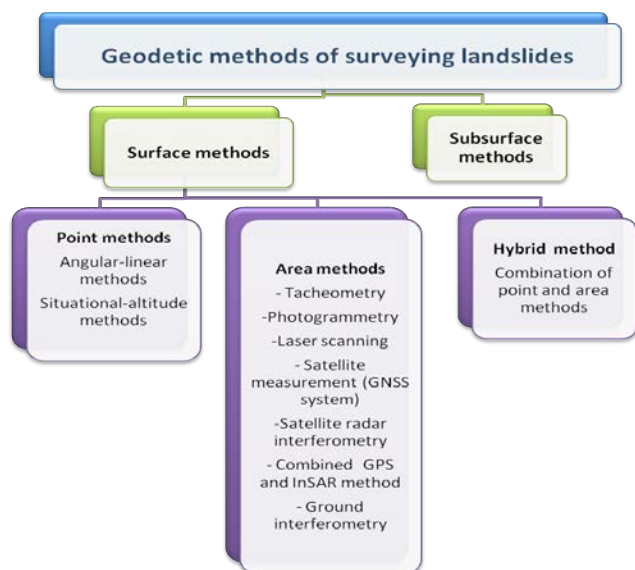


Fig. 4. Geodetic methods of surveying landslides (according to: [10], [11])

According to [7], monitoring should be carried out on the basis of control points permanently stabilized around the landslide. Optimally control points should be outside the influence of possible mass movements.

In the case of the Kadzielnia reserve four metal poles were fixed in the ground, playing the role of control points. Stabilization was performed using two 2-meter poles with a diameter of 20 cm with a thread (to enable installation of the mirror and setting the instrument without using a tripod, i.e. with forced centering), and two 1.5-meter pipes with a diameter of 8 cm which enable the installation of a mirror, but without the possibility of setting an instrument. The sketch of the control network is shown in Figure 5.

Measuring of the coordinates of the control took place a few weeks after stabilization of the points. The coordinates of control points were designated using static GNSS method. Sokkia antennas were used for measurement. With generated monitoring files in this format, the files were forwarded to POZGEO of ASG-EUPOS network; in the obtained reports coordinates of the control were established and errors of their designation were determined. Next, angular-linear and height measurement of control network including the height of the GRX1 Sokkia antenna, using the Topcon Quick Station 1 A was performed. Using the appliance was possible thanks to the purchase within the project „Retrofitting laboratories assisting the teaching process in the course of study at Environmental Engineering and Geodesy and Cartography Faculties at Kielce Univesity of Technology”, the project co-financed by the European Union under the European

Regional Development Fund Operational Programme Świętokrzyskie Voivodship for the years 2007-2013. Strict adjustment of the coordinates of control points was made in Winkalk software.

Measurement of the surface of the landslides was made in June 2014 with Topcon Quick Station 1 A, assuming the resolution of 35 x 35, which gives the size of about 50 cm x 50 cm in the area. Monitoring was performed using TopSURV software, available in the device. The second series of measurements was carried out in the same way in November 2014.

Measurement with laser scanner was made in September 2014 with Ilris 3D scanner. Thanks to courtesy of Czerski Trade Polska Sp. z o.o, which made available their scanner and expertise and technical assistance during laser scanning, it was possible to compare the results of two independent methods to study the mass movements of the slope [12].



Fig. 5. The map of Kadzielnia showing the distribution of stabilized measuring control points [1]

5. Developing the results of observation

Determination of the size of displacements in the area of the landslide took place by comparing with each other the two surfaces (from the primary and secondary measurement cycles) within the set profiles, using the method “shape to shape”. When interpreting the results, a permissible error of determining the position of the point (m_g) equal to 0.10 m, was applied as a value of displacement, significant from the point of view of the observation accuracy.

The results of monitoring were compiled using the profiles, the number of profiles for each landslide was 10 to 14 and the distances between adjacent profiles from

2 m to 4.5 m. The profiles were created in AutoCAD Civil. The models of the landslides were also created for primary and secondary measuring, which allowed further to demonstrate the differences between the models and determination of mass movement of the ground (Fig. 6 shows a sample model).

Based on the charts of profiles the areas where changes occurred on the surface of landslides were distinguished.

Comparison of the results of the primary scanning and secondary scanning according to one of the profiles is shown in Figure 8.

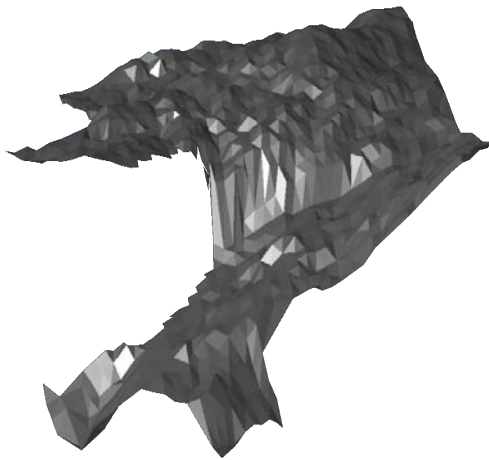


Fig. 6. The eastern wall of Skałka Geologów. The three-dimensional model of an object from the June scanning, made in AutoCAD Civil 3D [4]

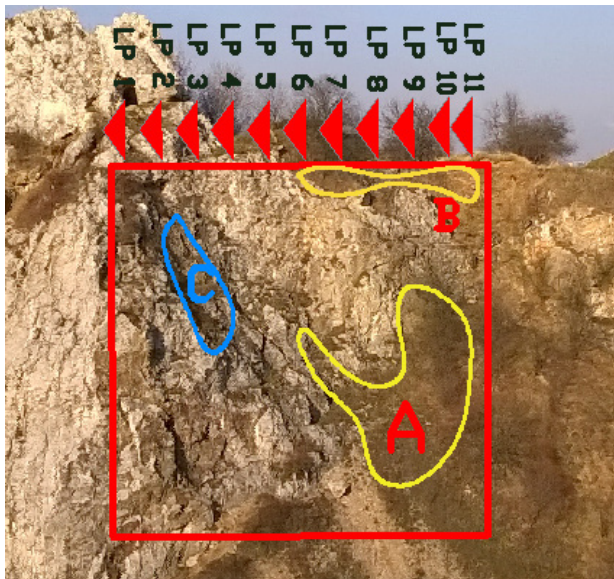


Fig. 7. Southern wall of Skałka Geologów: the areas where changes were reported. The largest displacement is about 20 cm (A and B). The area where movement of around 40 cm was observed is marked with the blue colour (C) [3]

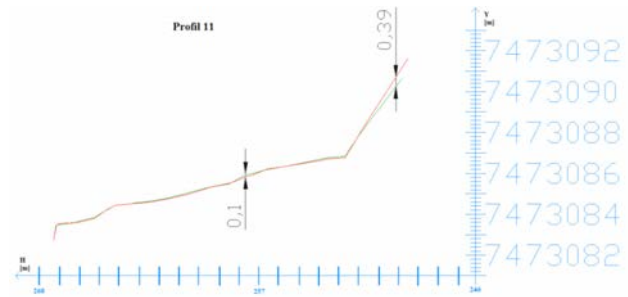


Fig. 8. Eastern landslide. Chart of the profile 11 [2]

6. Conclusions

1. Landslides in Kadzielnia which are remnants of a long-term exploitation of aggregate may pose a threat to people staying there, and may affect adversely the landscape qualities of the nature reserve.
2. Surface methods were used to carry out observations of the landslides. The measurements were performed using a Topcon QS1A total station. Reflectorless measurement was made directly to the surface of the studied area, and satisfactory results were obtained in terms of accuracy. Experimental observations were also conducted using a laser scanner, made available by Czernski Trade Polska Sp. z o.o. Scanning enables measurement with greater accuracy than conventional methods of measurement; moreover, it enables the measurement of the objects which are difficult to access.
3. Given the errors of geodetic control points and errors determining the position of the pickets, permissible error 0.10 m was established. Displacements of the landslides exceeding this value were considered significant in the case where they did not concern single points, but were associated with a group of several adjacent points.
4. The results of observation were compiled using the profiles, the number of profiles for respective landslides was 10-14, and the distance between adjacent profiles was between 2 and 4.5 m. Models of landslides were also created for primary and secondary measuring.
5. For individual landslides the following results were obtained:
 - a) In the area of the east landslide, as a result of interpretation of differences in the profiles using the “shape to shape” method no major deformations were observed. The biggest differences between the surfaces in the created profiles vary from 0.02 m to 0.76 m.
 - b) In the area of the south-west wall of Skałka Geologów the results of observations allow us

to conclude that the landslide is not moving. Recorded surface displacements only document the movement of the stones.

- c) The northern slope of Skałka Geologów is not, in the light of obtained measurement results and interpretation of generated cross sections, an active landslide. In some places, however, greater displacements were observed, due to the presence of loose rock fragments that were torn off. In this sense, the landslide represents certain threat to people remaining in its immediate vicinity.
- d) In the observed region of the eastern wall of Skałka Geologów in some places slight movement of rock masses was recorded. Values of displacements from the point of view of the slope stability are at a relatively safe level. However, the occurrence of landslide movement process cannot be ruled out completely, since it is possible to identify the places where the displacements exceed the permissible error.
6. The obtained results are preliminary; during a several-month period it is difficult to determine the actual size of the landslide process. It is, therefore, recommended to conduct further periodic observations of the landslides, using the existing methodology supplemented by greater use of laser scanning on the basis of established control points. This will enable early detection of threats and taking preventive measures (securing).

References

- [1] Duma P., Kaleta D., *Metody geodezyjne w zastosowaniu do obserwacji terenów osuwiskowych na obszarze Kadzielni w Kielcach*, Engineer's thesis (under supervision of J. Szewczyk), Kielce University of Technology, Kielce 2015.
- [2] Gil M., Gajos K., *Zastosowanie nowoczesnych metod geodezyjnych w obserwacji ruchów wybranego osuwiska na terenie Kadzielni w Kielcach*. Engineer's thesis (under supervision of J. Szewczyk), Kielce University of Technology, Kielce 2015.
- [3] Godzisz B., Woś J., *Pomiar ruchów mas ziemnych osuwiska na terenie Kadzielni w Kielcach za pomocą nowoczesnych technologii geodezyjnych*, Engineer's thesis (under supervision of J. Szewczyk), Kielce University of Technology, Kielce 2015.
- [4] Salamon M., Siwiec K., *Obserwacje ruchów wybranego osuwiska na terenie Kadzielni w Kielcach*. Engineer's thesis (under supervision of J. Szewczyk), Kielce University of Technology, Kielce 2015.
- [5] Klimczyk P. et al.: *Determining the shape and volume of the post-mining basin in Kadzielnia area, Kielce*. Structure and Environment, Kielce University of Technology (in print).
- [6] Kowalczyk L. et al.: *Study of the condition of the selected underground caves in Kadzielnia area, Kielce*. Structure and Environment, Kielce University of Technology (in print).
- [7] Grabowski D., Marciniak P., Mrozek T., Nescieruk P., Rączkowski W., Wójcik A., Zimnal Z.: *Instrukcja opracowania mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1 : 10000*, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2008.
- [8] Migoń P.: *Geomorfologia*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2009.
- [9] Mizerski W.: *Geologia dynamiczna*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [10] Szafarczyk A., *Geodezyjne metody monitoringu osuwisk.*, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich nr 2/2011, PAN Oddział w Krakowie 2011, s. 293-300.
- [11] Szewczyk J.: *Geodezyjne metody monitoringu osuwisk*, not published.
- [12] Maciaszek J., Cwiąkała P.: *Badanie możliwości zastosowania skanowania laserowego do monitoringu osuwisk zboczy wyrobisk odkrywkowych na przykładzie KWB „Belchatów”*, Warsztaty 2010 z cyklu: Zagrożenia naturalne w górnictwie s. 154-164, AGH Kraków 2010.

Acknowledgement

Research for the article was funded by statutory research of the Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering of Kielce University of Technology, No. 05.0.09.00/2.01.01.0022 MNSP.IKGO.15.006

Paweł Duma
Karol Gajos
Marcin Gil
Bartosz Godzisz
Diana Kaleta
Karol Krawczyk
Marcin Salamon
Krystian Siwiec
Jacek Szewczyk
Józef Woś

Badania stanu wybranych osuwisk na terenie Kadzielni

1. Wstęp

Kadzielnia to ścisły rezerwat przyrody nieożywionej, utworzony w granicach administracyjnych Kielc 26 stycznia 1962 roku na mocy Zarządzenia Ministra Leśnictwa i Przemysłu Drzewnego. Obecny kompleks jest pozostałością po eksploatacji wapieni dewońskich, trwającej od XVII wieku. Eksploatację zakończono w roku 1962, jednak prace nad likwidacją kamieniołomu trwały do lat siedemdziesiątych XX w. W wyniku intensywnego wydobywania z pierwotnego wzgórza pozostało tylko jego wschodnie zbocze, resztki zbocza południowo-zachodniego z przylegającą hałdą (zwaną obecnie Wzgórzem Harcerskim) oraz oddzielona głębokim wyrobiskiem Skałka Geologów.

Stan poeksploatacyjny, pomimo upływu kilkudziesięciu lat, stwarza nadal pewne zagrożenie, zarówno dla krajobrazu rezerwatu, jak i dla przebywających w nim ludzi. Zbocza kamieniołomu, podlegające eksploatacji, pozostają w stanie dalekim od stabilizacji. Istnieje więc możliwość aktywizacji procesów osuwiskowych, często gwałtownych. O aktywności osuwisk świadczy nagromadzenie mas ziemnych i odłamków skalnych u podnóża ścian wyrobiska. Zachodzi zatem potrzeba monitoringu zmian, zachodzących na zboczach, dla określenia ryzyka związanego z aktywizacją procesu osuwiskowego. Wśród sposobów obserwacji osuwisk najczęściej stosuje się metody geodezyjne.

Dotychczas nie prowadzono systematycznych pomiarów stanu osuwisk Kadzielni. W 2014 r. w ramach współpracy Wydziału Inżynierii Środowiska,

Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej oraz Geoparku Kielce, podjęto pierwsze obserwacje wybranych osuwisk Kadzielni. W zainicjowanych pracach wzięli udział członkowie Studenckiego Koła Naukowego Geomatica oraz dyplomanci studiów inżynierskich kierunku „geodezja i kartografia” [1-4]. Równocześnie prowadzono w ramach badań statutowych inne pomiary inwentaryzacyjne obszaru Kadzielni [5-6]. Wykonane dwa cykle obserwacji pozwoliły na wskazanie rejonów, potencjalnie zagrażających rozwojem procesów osuwiskowych. Przedstawiany artykuł stanowi podsumowanie wyników tych badań. Należy przy tym podkreślić, że założona trwała osnowa obserwacyjna oraz opracowana metodyka obserwacji znacznie ułatwią dalsze prace badawcze nad stanem osuwisk Kadzielni.

Pomiarami objęto następujące osuwiska, zaznaczone na rysunku 1., za pomocą żółtych liczb rzymskich:

- wschodnia ściana Skałki Geologów (rys. 1., rejon I),
- południowa ściana Skałki Geologów (rys. 1., rejon II),
- południowo-zachodnia ściana Skałki Geologów (rys. 1., rejon III),
- wschodnia ściana dawnego kamieniołomu (rys. 1., rejon V i VI).

2. Charakterystyka osuwisk Kadzielni

Zgodnie z klasyfikacją osuwisk [7-9] badane przez autorów osuwiska znajdujące się na terenie rezerwatu Kadzielnia należą do osuwisk insekwentnych. Powierzchnia ścięcia częściowo należy do obszaru zwietrzliny, a częściowo przebiega wzdłuż powierzchni spękań. Koluwium składa się z materiału detrytyczno-blokowego (rozdrobiony grunt, zwie-

trzelina, głązy skalne). Z uwagi na niemal pionową ścianę skarpy ruch masowy na obszarze Kadzielni może być również sklasyfikowany jako obrywanie. Rysunek 2 przedstawia powierzchnię ścięcia, po której osunął się materiał. Rysunek 3 ukazuje fragment monitorowanego obszaru oraz oderwany materiał zgromadzony u podnóża skarpy. Na rysunku 3 widać wyraźne spękania w skałach, wzdłuż których w przyszłości może przebiegać powierzchnia ścięcia.

W świetle zamieszczonych wyżej danych obiekt poddany badaniom można zaklasyfikować jako osuwisko ześlizgowe.

3. Wybór metody obserwacji osuwisk

Dla oceny ruchów osuwiskowych, ich wielkości, kierunku i szybkości istotne są informacje ilościowe będące wynikiem pomiarów cyklicznych. Celem ich jest określenie zasięgu osuwiska, szybkości oraz kierunku jego ruchu. Geodezyjne metody obserwacji dzielą się na dwie główne grupy: powierzchniowe - dotyczące ruchów powierzchni osuwiska oraz wgłębne [10-11]. Szczegółowy podział przedstawiono na rysunku 5.

Podstawową sprawą jest dobranie technik pomiarowych odpowiednich dla uzyskania oczekiwanego rezultatu obserwacji, określenie oczekiwanych dokładności oraz częstotliwości obserwacji obiektu.

Do przeprowadzenia badań osuwiska na Kadzielni wybrano następujące metody (przy czym głównym czynnikiem decydującym o wyborze tych metod była dostępność sprzętu pomiarowego):

- techniki satelitarne – pomiar statyczny (do wyznaczenia współrzędnych osnowy pomiarowej);
- skaning laserowy powierzchni osuwiska za pomocą tachimetru skanującego;
- skaning laserowy powierzchni osuwiska za pomocą skanera laserowego.

4. Przeprowadzone pomiary

Bazowy pomiar tachimetryczny został wykonany w maju-czerwcu 2014 roku, zaś kolejny – w październiku-listopadzie tego samego roku. Skaning laserowy wykonano we wrześniu; posłużył on jako porównanie wyników z obu metod pomiarowych. Czas pomiędzy pierwszym i kolejnym pomiarem jest sprzyjający dla rezultatu wyników. W ciągu kilku miesięcy dzielących cykle pomiarowe występowały wysokie temperatury powietrza atmosferycznego, co wpływało na intensywne nagrzewanie się skał, jak również częste oraz obfite opady deszczu. Takie warunki atmosferyczne zwiększają wpływ na procesy wietrzenia fi-

zycznego, którego efektami są wymywanie i wypłukiwanie części skalnych, łuszczenia się skał itp.

Prace pomiarowe związane z badaniem osuwisk obejmowały następujące czynności:

- zaprojektowanie sieci;
- stabilizacja punktów osnowy geodezyjnej;
- wykonanie pomiarów liniowo-kątowych i wysokościowych sieci;
- pomierzenie powierzchni osuwiska.

Zgodnie z [7] monitoring powinno prowadzić się na podstawie trwale zastabilizowanej wokół osuwiska siatki punktów pomiarowych. Optymalnie punkty osnowy powinny znajdować się poza wpływem ewentualnych ruchów masowych.

W przypadku rezerwatu Kadzielnia utrwalono w gruncie cztery słupy metalowe, spełniające rolę punktów osnowy. Stabilizację wykonano z użyciem dwóch słupów 2-metrowych o średnicy 20 cm z gwintem (co umożliwi zamontowanie lustra oraz ustawienie instrumentu bez konieczności stosowania statywu, tj. z wymuszonym centrowaniem), a także 2 rur 1,5-metrowych o średnicy 8 cm, które umożliwiają montaż lustra, jednak bez możliwości ustawienia instrumentu. Szkic osnowy przedstawia rysunek 5.

Pomiar współrzędnych osnowy odbył się kilka tygodni po stabilizacji punktów. Współrzędne punktów osnowy wyznaczono techniką GNSS metodą statyczną. Do pomiaru użyto anten Sokkia. Mając wygenerowane pliki obserwacyjne w tym formacie, wysłano pliki do serwisu POZGEO sieci ASG- EUPOS; w otrzymanych raportach uzyskano współrzędne punktów osnowy oraz błędy ich wyznaczenia. Następnie wykonano pomiar kątowo-liniowy i wysokościowy osnowy z uwzględnieniem wysokości anteny odbiornika Sokkia GRX1, za pomocą tachimetru Topcon Quick Station 1 A. Tachimetr użyty do pomiaru został zakupiony w ramach projektu „Doposażenie laboratoriów wspomagających proces dydaktyczny Kierunku Inżynierii Środowiska oraz Geodezji i Kartografii w Politechnice Świętokrzyskiej”, współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Świętokrzyskiego na lata 2007-2013. W programie Winkalk wykonano wyrównanie ściśle współrzędnych punktów osnowy pomiarowej.

Pomiar powierzchni osuwisk wykonano w czerwcu 2014 r. tachimetrem skanującym Topcon Quick Station 1 A, przyjmując rozdzielczość 35 x 35, co daje rozmiar około 50 x 50 cm w terenie. Obserwacje wykonywano

przy użyciu oprogramowania TopSURV, dostępnego w urzędzeniu. Drugi cykl pomiarów wykonano w listopadzie 2014 r. w identyczny sposób.

Pomiar skanerem laserowym został wykonany we wrześniu 2014 r. za pomocą skanera Iris 3D. Dzięki uprzejmości firmy Czerski Trade Polska Sp. z o.o., która udostępniła swój skaner oraz fachowej, merytorycznej pomocy podczas skanowania laserowego, możliwe było porównanie wyników z dwóch, niezależnych od siebie metod przy badaniu ruchów masowych zbocza [12].

5. Opracowanie wyników obserwacji

Określenie wielkości przemieszczeń na obszarze osuwiska odbyło się poprzez porównanie ze sobą dwóch powierzchni (pomierzonej w cyklu bazowym i ponownie w drugim cyklu pomiarowym) w obrębie wyznaczonych profili z zastosowaniem metody „kształt na kształt”. Przy interpretacji wyników przyjęto wartość błędu granicznego wyznaczenia położenia punktu (m_g) równą 0,10 m, jako wartość przemieszczenia, istotnego z punktu widzenia dokładności obserwacji.

Wyniki obserwacji opracowano metodą profili, przy czym liczba profili wynosiła dla poszczególnych osuwisk 10÷14, a odległości między sąsiednimi profilami od 2 m do 4,5 m. Profile wykonano w programie AutoCAD Civil. Stworzono również modele osuwisk dla pomiaru pierwotnego i wtórnego, co pozwoliło dodatkowo na wykazanie różnic między modelami i określenie miejsc ruchu mas ziemnych (przykład modelu ukazuje rysunek 6).

Na podstawie wykresów profili wyróżniono rejony występowania zmian na powierzchni osuwisk. Przykład takiego wyróżnienia ukazuje rysunek 7.

Przykład porównania rezultatów skanowania pierwotnego i powtórnego według jednego z profili przedstawia rysunek 8.

6. Wnioski

1. Osuwiska na terenie Kadzielni, będące pozostałością po wieloletniej eksploatacji kruszywa, mogą stanowić zagrożenie dla przebywających tam osób oraz wpływać niekorzystnie na krajobrazowe walory rezerwatu przyrody.
2. Dla wykonania obserwacji osuwisk zastosowano metody powierzchniowe. Pomiar przeprowadzono za pomocą tachimetru skanującego firmy Topcon QS1A. Wykonano pomiar bezlustrawy bezpośrednio do powierzchni badanego obszaru, uzyskując zadowalające pod względem dokładnościowym

rezultaty. Przeprowadzono również eksperymentalne obserwacje za pomocą skanera laserowego, użytego przez firmę Czerski Trade Polska Sp. z o.o. Skanując umożliwia pomiar z większą dokładnością niż w przypadku pomiaru przeprowadzonego metodami klasycznymi; dodatkowo pozwala na pomiar obiektów trudnodostępnych.

3. Biorąc pod uwagę błędy punktów osnowy geodezyjnej oraz błędy wyznaczenia położenia pikiet, założono błąd graniczny, wynoszący 0,10 m. Przemieszczenia osuwisk przekraczające tę wartość uznano jako istotne w przypadku, gdy nie dotyczyły pojedynczych punktów, lecz związane były z zespołem kilku-kilkunastu sąsiadujących punktów.
4. Wyniki obserwacji opracowano metodą profili, przy czym liczba profili wynosiła dla poszczególnych osuwisk 10-14, a odległości między sąsiednimi profilami od 2 m do 4,5 m. Stworzono również modele osuwisk dla pomiaru pierwotnego i wtórnego.
5. Dla oddzielnych osuwisk otrzymano następujące wyniki:
 - a) W rejonie osuwiska wschodniego w wyniku interpretacji różnic w profilach metodą „kształt na kształt” nie zaobserwowano większych deformacji. Największe różnice między powierzchniami w stworzonych profilach wahają się w przedziale od 0,02 m do 0,76 m.
 - b) W rejonie południowo-zachodniej ściany Skalki Geologów wyniki obserwacji pozwalają stwierdzić, że osuwisko nie przemieszcza się. Odnotowane przemieszczenia powierzchniowe dokumentują jedynie ruch kamieni.
 - c) Północne zbocze Skalki Geologów nie jest, w świetle uzyskanych wyników pomiarów i interpretacji wygenerowanych przekrojów, czynnym osuwiskiem. W niektórych miejscach zaobserwowano jednak większe przemieszczenia, spowodowane tym, że występowały tam luźne okruchy skalne, które uległy oberwaniu. W tym sensie osuwisko stanowi pewne zagrożenie dla osób przebywających w jego bezpośrednim sąsiedztwie.
 - d) W obserwowanym rejonie wschodniej ściany Skalki Geologów w niektórych miejscach zanotowano niewielkie przemieszczenia mas skalnych. Wartości przemieszczeń są z punktu widzenia zagrożenia stateczności skarpy na stosunkowo bezpiecznym poziomie. Nie można jednak całkowicie wykluczyć występowania procesu

ruchów osuwiskowych, gdyż istnieje możliwość wyodrębnienia miejsc, w których przemieszczenia przekraczają wartość błędu granicznego.

6. Uzyskane wyniki mają charakter wstępny; w okresie kilkumiesięcznym trudno jest określić faktyczne rozmiary procesu osuwiskowego. Zaleca się zatem prowadzenie dalszych cyklicznych obserwacji osuwisk z zastosowaniem dotychczasowej metodyki poszerzonej o szersze wykorzystanie skaningu laserowego w oparciu o założoną ośnowę geodezyjną. Pozwoli to na wczesne wykrywanie zagrożeń i podejmowanie zabiegów profilaktycznych (zabezpieczających).