



## **ANALIZA OBSERWACJI KĄTOWO- LINIOWYCH W ASPEKCIE WYZNACZANIA ODKSZTAŁCEŃ TERENU OSUWISKOWEGO**

***Paweł Pałka, Mikołaj Skulich***

*AGH Akademia Górniczo – Hutnicza w Krakowie*

## ***ANALYSIS OF ANGLE-LINEAR OBSERVATION IN ASPECT OF A LANDSLIDE TERRAIN DEFORMATION DETERMINATION***

### ***Streszczenie***

Celem niniejszej pracy było wyznaczenie poziomych odkształceń terenu na podstawie obserwacji kątowo-liniowych w specjalistycznej konstrukcji pomiarowej. Konstrukcja ta, w formie rozety obserwacyjnej, została założona na obszarze zagrożonym ruchami osuwiskowymi, na terenie gminy Milówka.

W pracy przedstawiono podstawowe informacje dotyczące wyznaczenia odkształceń liniowych oraz ruchów osuwiskowych. Zaprezentowano również sposób stabilizacji punktów pomiarowych oraz technologię pomiarową wykorzystaną w opisywanych badaniach. W kolejnych częściach zostały zestawione wyniki dla różnych wariantów wyrównania obserwacji. Na tej podstawie dokonano wyznaczenia odkształceń, które zostały przedstawione w formie tabelarycznej oraz graficznej. Została wykonana również analiza dokładności, która pozwoliła ocenić istotność otrzymanych wyników.

**Słowa kluczowe:** osuwisko, odkształcenia terenu, obserwacje kątowo-liniowe

### ***Summary***

*The aim of thesis was to determine horizontal ground deformation based on angular and linear measurements of a special surveying construction. This construction, a rectangular measurement rosette, has been fixed at the threatened of landslide movements area, at Milówka commune.*

*In the project there were presented basis information about determining linear deformations and landslide movements. There was also presented a method of fixing surveying points and a measurement technology used in described researches. In the next parts of work there were listed results of various variants of measurements adjustment. On this basis, there were determined deformations, which were shown in a tabular and graphical form. There were made an accuracy analysis, which helped in evaluation of received results.*

**Key words:** landslide, terrain deformation, angle-linear observation

## WPROWADZENIE

W roku 2010 na terenie gminy Milówka położonej w powiecie żywieckim, województwie Śląskim, na południu Polski, doszło do katastrofalnych w skutkach osunięć ziemi, które spowodowały wiele zniszczeń w gospodarstwach domowych oraz infrastrukturze drogowej. Po zaistniałej sytuacji rozpoczęto monitoring jednego ze zboczy, na którym ujawnił się proces osuwiskowy. W tym celu wykorzystano różnego rodzaju technologie pomiarowe, których zadaniem jest pomoc w określeniu kinematyki tego zjawiska dla badanego obszaru w kolejnych latach. W badaniach tych zastosowano: pomiary klasyczne, interferometryczne oraz technologie satelitarne. Obserwacje osuwiska wykonywane są przy pomocy interferometru IBIS-L z przeciwstoku, gdzie przygotowano specjalne do tego celu stanowisko stabilizowane betonową konstrukcją. Natomiast pomiarami satelitarnymi objęto punkty rozproszone, założone na terenie osuwiska. Prace badawcze przeprowadzane są przez pracowników Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska AGH.

W ramach obserwacji założono również konstrukcję do pomiarów kątowno-liniowych w kształcie prostokątnej rozety pomiarowej. Zagadnienie to zostało opisane w ramach publikacji Skulich, Szafarczyk [2012]. Zamieszczone w niniejszej pracy dane pomiarowe oraz wyniki pochodzą z okresowo przeprowadzanych pomiarów tej konstrukcji. W oparciu o nie wyznaczone zostały odkształcenia terenu na podstawie obserwacji kątowno-liniowych.

## ODKSZTAŁCENIA TERENU

Przemieszczające się masy ziemi mogą powodować występowanie wzajemnych zmian odległości punktów na powierzchni terenu. Zmiany te są odkształceniami, które można wyznaczyć na podstawie minimum dwu kolejnych, okresowych, geodezyjnych pomiarów wykonanych dla tych samych punktów. Wynika to z tego, że odkształceniem liniowym w punkcie w wybranym kierunku jest względny przyrost odcinka w tym punkcie na skutek występujących obciążeń. Miarą odkształcenia liniowego w sensie Cauchy'ego jest dla skończone-

go odcinka jego względna zmiana długości wyznaczana wzorem 1 [Pielok 2002]:

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} \quad (1)$$

gdzie:

$l_0$  – długość odcinka w stanie niezdeformowanym z pomiaru wyjściowego,  
 $l_i$  – długość odcinka po deformacji z  $i$ -tego pomiaru okresowego.

Dla terenów objętych wpływem eksploatacji górniczej w celu badania deformacji zakłada się specjalne linie obserwacyjne lub rozety pomiarowe. Występuje kilka rodzajów rozet: prostokątne, trójkątne oraz centralne. W celu przeprowadzenia badań odkształceń na terenie zagrożonym ruchami osuwiskowymi rozpoczęto monitoringu kinematyki tych zjawisk wykorzystując obserwacje w rozecie prostokątnej.

### **ZJAWISKA OSUWISKOWE**

Na badanym terenie, jak wcześniej wspomniano, odnotowano występowanie osuwisk. Istotą osuwiska są przemieszczenia mas skalnych w warunkach stałego kontaktu z podłożem, odbywające się wzdłuż wyraźnej powierzchni poślizgu, zwanej też powierzchnią ściecia. W obrębie osuwającego się pakietu skalnego lub zwietrzelinowego deformacje wewnętrzne są początkowo niewielkie i mają głównie charakter nieciągły, prowadząc do jego pęknięcia i rozrywania [Migoń 2009]. W trakcie przemieszczania pojawiają się coraz większe deformacje oraz wtórne powierzchnie ściecia. Miejsca występowania osuwisk to naturalne stoki, zbocza dolin i zbiorników wodnych, obszary źródłowe rzek, skarpy wykopów i nasypów oraz wyrobisk.

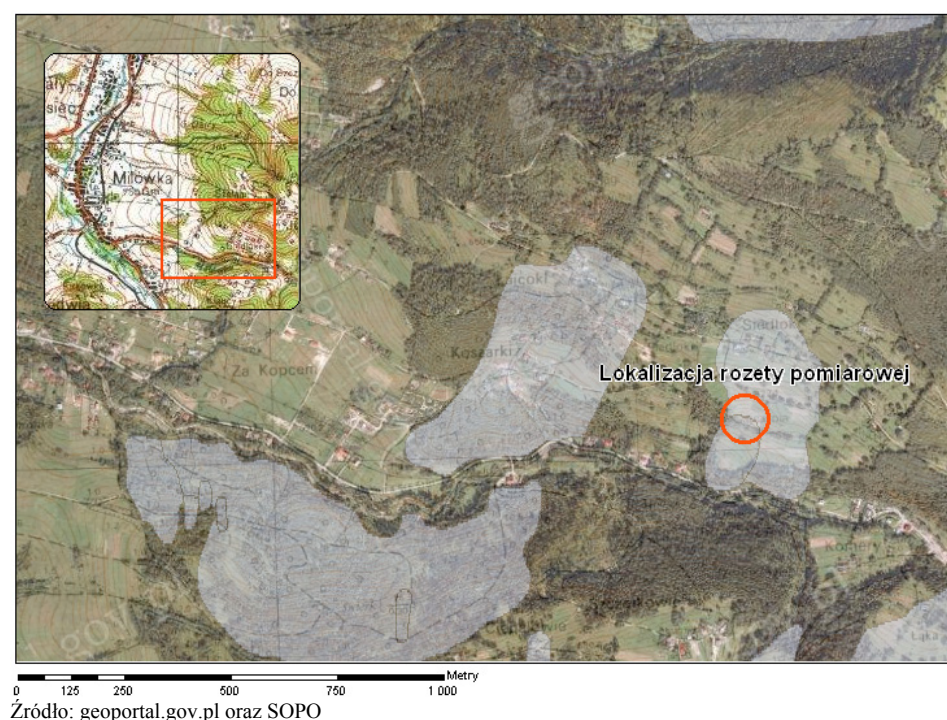
W Polsce działa System Osłony Przeciwsuwiskowej (SOPO), który jest projektem o znaczeniu ogólnopaństwowym. Jego głównym koordynatorem jest Państwowy Instytut Geologiczny. Jego podstawowym celem jest rozpoznanie oraz udokumentowanie w formie graficznej oraz opisowej wszystkich osuwisk oraz terenów potencjalnie zagrożonych ruchami masowymi.

### **LOKALIZACJA TERENU BADAWCZEGO**

Pomiary do niniejszego opracowania zostały wykonane w województwie śląskim, powiecie żywieckim, gminie Milówka, w pobliżu przysiółka Gajcarnia. Mapę lokalizacji osuwiska sporządzono w oprogramowaniu ArcGIS wykorzystując dwa serwisy świadczące usługi WMS (Web Map Service): geopor-

tal.gov.pl oraz SOPO, z których wykorzystano odpowiednie dane: rastry map topograficznych, ortofotomapę oraz zasięgi terenów zagrożonych osuwiskami (rysunek 1).

Teren ten jest w większości pokryty średniej wysokości wzgórzami, rozdzielany licznymi dolinami potoków. W okolicach miejsca przeprowadzania pomiarów występuje stroma skarpa oraz liczne zakrzaczenia. Punkty rozety pomiarowej zlokalizowano na terenie osuwiska zaewidencjonowanego w Systemie Osłony Przeciwosuwiskowej pod numerem 2417092-2235. Jest ono zaklasyfikowane jako skalno-zwietrzelinowe, obsekwentne.

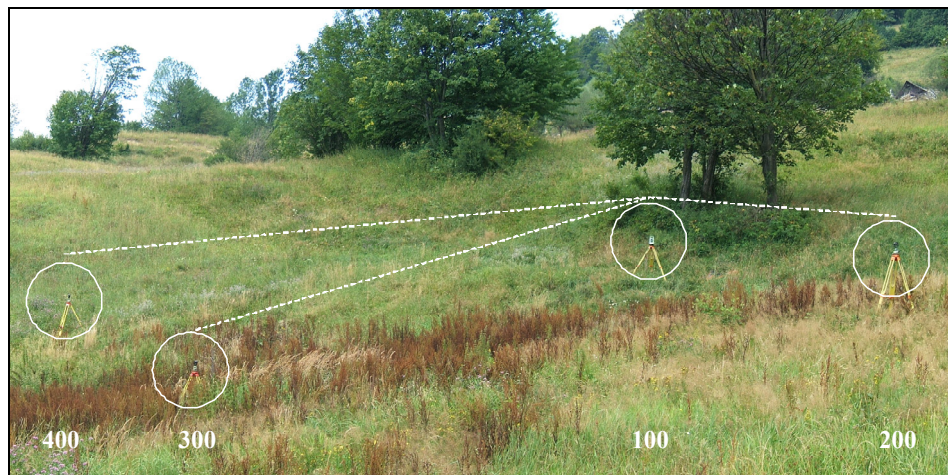


**Rysunek 1.** Mapa lokalizacji rozety pomiarowej z naniesionymi terenami zagrożonymi osuwiskami

**Figure 1.** The map of the location of the rosette with the landslide-threatened areas marked

### TECHNOLOGIA POMIAROWA

Na badanym terenie zostały założone cztery punkty (o numerach 100, 200, 300, 400) wykorzystane w pomiarach kątowno-liniowych mających na celu wyznaczenie odkształceń poziomych (rysunek 2). Tworzą one prostokątną rozetę pomiarową o bokach długości około 20 metrów.



**Rysunek 2.** Rozmieszczenie mierzonych punktów w terenie (fot. Paweł Pałka)  
**Figure 2.** The distribution of the points marked in the area

Punkty tworzące wymienioną konstrukcję zostały wcześniej zastabilizowane na głębokości 0,5 m. Wykonane są one ze stali oraz pokryte karbowaną osłoną z tworzywa sztucznego, dzięki czemu zapewniają stabilność usytuowania punktu w terenie.

Ze względu na specyfikę terenu, na którym przeprowadzano badania oraz samej technologii, która wymaga dużej dokładności pomiarów, należało użyć instrumentu, który sprosta tym wymaganiom. Dzięki przeprowadzonym testom porównawczym [Skulich , Szafarczyk 2012] wykazano, iż dla przyjętej konstrukcji i założonej dokładności optymalnym instrumentem pomiarowym jest tachimetr Leica TC 407. W związku z tym pomiarów dokonano przy pomocy właśnie tego tachimetru elektronicznego. Natomiast do sygnalizacji celów wykorzystano przyzmaty firmy Leica GPR1 centrowane na statywach (rysunek 3).

Z każdego punktu pomiarowego wykonywano pomiar wszystkich kątów poziomych zawartych między sąsiednimi kierunkami oraz odległości do wszystkich punktów (tam i z powrotem). Dzięki czemu uzyskano obserwacje nadliczbowe, które pozwoliły w dalszej kolejności na wyrównanie ściśle pozyskanych obserwacji. Pomiar na każdym stanowisku wykonywany był w dwóch seriach oraz w dwóch położeniach lunety. Przed każdą serią sprawdzane było poziomowanie oraz centrowanie instrumentu.

Zebrane dane pochodzą z czterech serii pomiarowych, dzięki czemu można porównać wyniki z określonych czasookresów. W trakcie okresu pomiarowego nie utrzymywano stałych interwałów czasowych pomiędzy seriami. Wynikało to z faktu, że po przeprowadzeniu pierwszych serii nie zaobserwowano

gwałtownie postępujących zmian w położeniu punktów, zatem zasadnym było zwiększenie przerw pomiędzy seriami.



**Rysunek 3.** Sprzęt pomiarowy (fot. Paweł Pałka)  
**Figure 3.** Surveying equipment

### OPRACOWANIE WYNIKÓW

Dane w trakcie pomiarów były gromadzone w pamięci instrumentu. Następnie po zakończeniu prac terenowych były zgrywane przy pomocy narzędzia Menedżer wymiany danych oprogramowania Leica Geo Office Tools. Dzięki tej operacji uzyskano dane w formacie IDEX, które podlegały kolejnej obróbce. Przed przystąpieniem do wyrównania ścisłego obliczono średnie kąty z poszczególnych serii. Natomiast dane dotyczące pomierzonych długości pobrano całkowicie z plików obserwacyjnych zestawiając końce odcinków, odległości skośne oraz kąty pionowe. A następnie zredukowano je ze względu na pochylenie osi celowej oraz uśredniono wielokrotne pomiary.

Dzięki tak przygotowanym danym możliwe było wyrównanie obserwacji w programie Geodezja. Obliczeń tych dokonano w dwóch wariantach: na podstawie samych obserwacji liniowych oraz na podstawie obserwacji kątowno-liniowych. Przy wyrównaniu założono układ lokalny. Punkt stały obrano jako punkt numer 100 o współrzędnych (0,0) oraz stały azymut dla boku 100-400.

Dla każdego wariantu wyrównania z każdej serii pomiarowej zestawiono wyrównane współrzędne punktów ( $X$ ,  $Y$ ) wraz z błędami położenia ( $m_X$ ,  $m_Y$ ,  $m_P$ ) oraz parametrami elips błędów: długa półoś ( $A$ ), krótka półoś ( $B$ ) oraz azymut dłuższej półosi ( $\gamma$ ). Przykładowe zestawienie wyników dla jednej serii pomiarowej przedstawiono w tabelach 1 i 2. Do każdej tabeli załączono wartość  $m_0$ , jaką uzyskano w wyniku wyrównania. Odzwierciedla ona zrównoważenie sieci i jest stosunkiem błędów otrzymanych w wyniku wyrównania do błędów przyjętych a priori.

**Tabela 1.** Wyrównanie liniowe danych pomiarowych z 29.09.2011r.**Table 1.** Linear equalization of the measurement data of 29/09/2011

Punkt	X [m]	Y [m]	$m_x$ [mm]	$m_y$ [mm]	$m_p$ [mm]	A [mm]	B [mm]	$\gamma$ [°]
100	0,0000	0,0000	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	0,2	0,2	200,00
200	20,0237	0,0000	$\pm 0,6$	$\pm 0,2$	$\pm 0,7$	0,6	0,2	0,00
300	14,0191	14,0377	$\pm 0,7$	$\pm 0,6$	$\pm 0,9$	0,7	0,6	179,44
400	-0,3074	20,0326	$\pm 1,0$	$\pm 0,6$	$\pm 1,2$	1,0	0,5	26,25
$m_0 = 0,310177$								

Źródło: opracowanie własne autorów

**Tabela 2.** Wyrównanie kątowno-liniowe danych pomiarowych z 29.09.2011r.**Table 2.** Angular-linear equalization of the measurement data of 29/09/2011

Punkt	X [m]	Y [m]	$m_x$ [mm]	$m_y$ [mm]	$m_p$ [mm]	A [mm]	B [mm]	$\gamma$ [°]
100	0,0000	0,0000	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	0,2	0,2	100,00
200	20,0234	0,0000	$\pm 0,4$	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$	0,4	0,2	200,00
300	14,0181	14,0386	$\pm 0,3$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	0,4	0,3	47,29
400	-0,3074	20,0326	$\pm 0,3$	$\pm 0,4$	$\pm 0,5$	0,4	0,3	26,25
$m_0 = 0,355876$								

Źródło: opracowanie własne autorów

Na podstawie analizy uzyskanych wyników stwierdzono iż w większości przypadków wartości błędów nie przekraczają pojedynczego milimetra, co świadczy o zastosowaniu optymalnej techniki pomiarowej. Dodatkowo występujące wartości parametru  $m_0$ , wynoszące poniżej jednośc, świadczą o uzyskaniu lepszej dokładności od zakładanej. Biorąc pod uwagę fakt, że błędy pomiaru odległości oraz kierunków były przyjmowane a priori ze specyfikacji instrumentu, można przypuszczać, że są one nieco przeszacowane względem uzyskiwanych dokładności dla tak krótkich odległości.

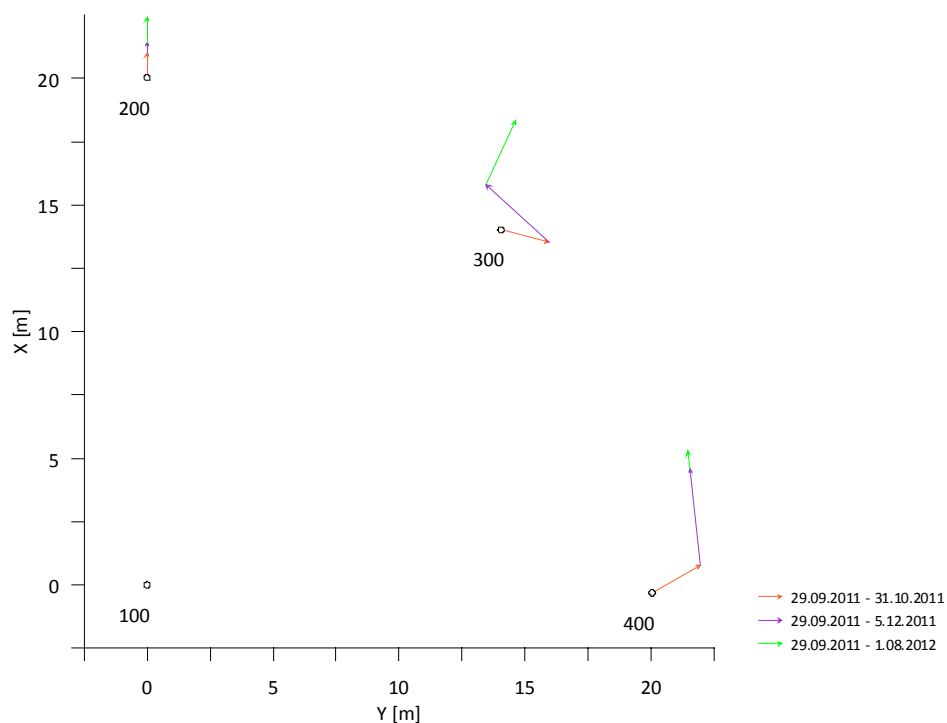
Na podstawie otrzymanych współrzędnych z przeprowadzonych wyrównań sporządzono wykresy przemieszczeń badanych punktów względem ich położenia po pierwszej serii traktując je jako wyjściowe (rysunek 4).

Dokonując analizy sporządzonych wykresów można zauważyć wyraźną tendencję polegającą na stopniowym przesuwaniu się punktów w kierunku wzdłuż badanego stoku. Brak jakichkolwiek przemieszczeń dla punktu 100 oraz stały azymut przemieszczeń w punkcie 200 spowodowany jest przyjęciem punktu 100 oraz azymutu 100-200 za bezbłędne w trakcie wyrównania obserwacji.

Po przeprowadzeniu obliczeń związanych z wyrównaniem sieci zostały wygenerowane odpowiednie zbiory w programie Geodezja. Dzięki tak przygotowanym danym, obliczono długości boków oraz wartości błędów na podstawie wyrównanych współrzędnych i krakowianu wariancyjno-kowariancyjnego (ta-

bela 3). Poniższe dane posłużyły do obliczeń mających na celu wyznaczenie liniowych odkształceń poziomych w trzech wariantach (z surowych (niewyrównanych) danych pomiarowych, wyrównania liniowego oraz wyrównania kąto-liniowego).

Wyznaczone odkształcenia liniowe (dla przypadku surowych danych) zestawiono w poniższej tabeli 4. Dla każdego zestawienia tabelarycznego sporządzono wykresy odkształceń poziomych w czasie, prezentujący kinematykę badanego zjawiska na przestrzeni trzech okresów.



Źródło: opracowanie własne autorów

**Rysunek 4.** Wykres przemieszczeń punktów na podstawie wyrównania liniowego (przemieszczenia w skali 1000:1)

**Figure 4.** The graph of the dislocations of the points based on linear equalization (dislocations in 1000:1 scale)



**Tabela 3.** Zestawienie długości boków wraz z ich błędami.  
**Table 3.** The lengths of the sides with the errors.

Odcinek		Data pomiaru							
		29.09.2011r.		31.10.2011r.		5.12.2011r.		1.08.2012r.	
początek	koniec	l [m]	m <sub>l</sub> [mm]	l [m]	m <sub>l</sub> [mm]	l [m]	m <sub>l</sub> [mm]	l [m]	m <sub>l</sub> [mm]
<b>I. Zestawienie długości – brak wyrównania</b>									
100	200	20,0236	± 2,0	20,0246	± 2,0	20,0249	± 2,0	20,0260	± 2,0
100	300	19,8394	± 2,0	19,8404	± 2,0	19,8403	± 2,0	19,8427	± 2,0
100	400	20,0348	± 2,0	20,0367	± 2,0	20,036	± 2,0	20,0361	± 2,0
<b>II. Zestawienie długości – wyrównanie liniowe</b>									
100	200	20,0237	± 0,6	20,0247	± 0,6	20,0251	± 0,6	20,0261	± 0,6
100	300	19,8392	± 0,6	19,8402	± 0,6	19,8401	± 0,6	19,8426	± 0,5
100	400	20,0349	± 0,6	20,0368	± 0,6	20,0364	± 0,6	20,0362	± 0,6
<b>III. Zestawienie długości – wyrównanie kątowno-liniowe</b>									
100	200	20,0234	± 0,3	20,0246	± 0,2	20,0243	± 1,6	20,0268	± 2,0
100	300	19,8392	± 0,3	19,8401	± 0,2	19,8403	± 1,5	19,8435	± 2,0
100	400	20,0343	± 0,3	20,0368	± 0,2	20,0367	± 1,6	20,0342	± 2,0

Źródło: opracowanie własne autorów

**Tabela 4.** Odształcenia wraz z błędami dla niewyrównanych obserwacji względem pierwszej serii

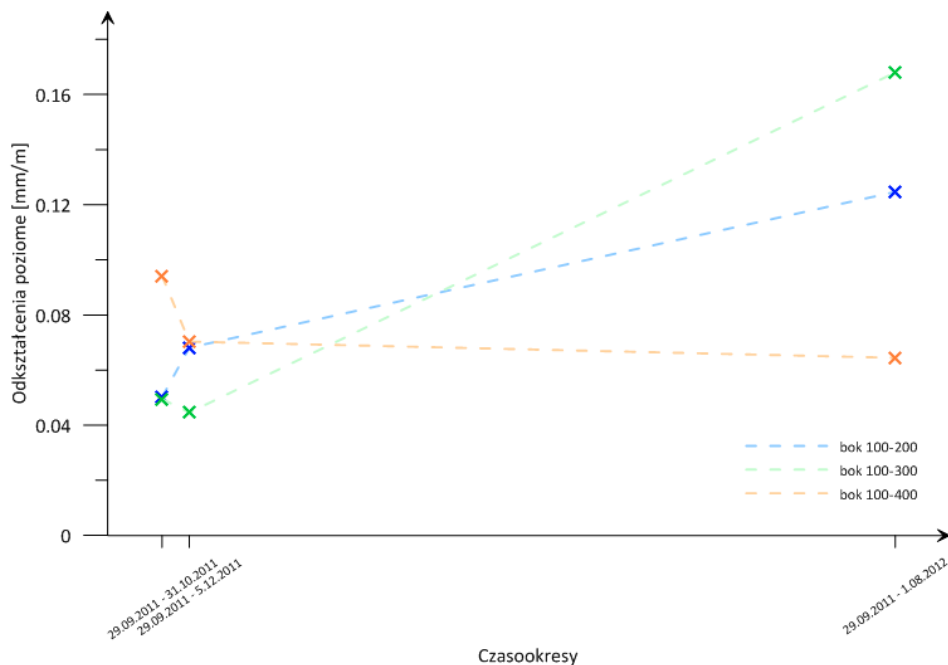
**Table 4.** Strains with the errors for non-equalized observations referring to the first series

Odcinek		Czasookresy					
		29.09.2011 - 31.10.2011		29.09.2011 - 5.12.2011		29.09.2011 - 1.08.2012	
początek	koniec	ε [mm/m]	m <sub>ε</sub> [mm/m]	ε [mm/m]	m <sub>ε</sub> [mm/m]	ε [mm/m]	m <sub>ε</sub> [mm/m]
100	200	0,050	± 0,144	0,068	± 0,144	0,125	± 0,144
100	300	0,049	± 0,145	0,045	± 0,145	0,168	± 0,146
100	400	0,094	± 0,144	0,070	± 0,144	0,064	± 0,144

Źródło: opracowanie własne autorów

Otrzymane dla tego wariantu obliczeń odształcenia nie przekraczają wartości 0,2 [mm/m], natomiast błąd wyznaczenia tej wartości nie przekracza ± 0,15 [mm/m], co można uznać za rozrzut statystyczny tych wartości. Jednak należy zwrócić uwagę, że dla boków 100-200 oraz 100-300 obserwuje się stałe narastanie sił rozciągających.

Na podstawie analizy uzyskanych wartości odształceń, ze wszystkich wariantów obliczeniowych, widać również wyraźne tendencje dla występowania na dwóch bokach odształceń rozciągających. Są to jednak wartości bardzo niewielkie ze względu na minimalny charakter postępującego zjawiska. W związku z tym, dla porównania, zamieszczono dane dla boków ułożonych w poprzek założonego kierunku teoretycznego przemieszczania mas (tabela 5).



Źródło: opracowanie własne autorów

**Rysunek 5.** Wykres wyznaczonych odkształceń na podstawie niewyrównanych obserwacji względem pierwszej serii  
**Figure 5.** The graph of the marked strains based on non-equalized observations referring to the first series

**Tabela 5.** Zestawienie długości boków ułożonych w poprzek wraz z ich błędami  
**Table 5.** The lengths of the sides situated transversely, with the errors

Odcinek		Data pomiaru							
		29.09.2011r.		31.10.2011r.		5.12.2011r.		1.08.2012r.	
początek	koniec	l [m]	m <sub>l</sub> [mm]	l [m]	m <sub>l</sub> [mm]	l [m]	m <sub>l</sub> [mm]	l [m]	m <sub>l</sub> [mm]
<b>Zestawienie długości – brak wyrównania</b>									
200	400	28,5426	± 2,0	28,5439	± 2,0	28,5411	± 2,0	28,5413	± 2,0
200	300	15,2677	± 2,0	15,2701	± 2,0	15,2670	± 2,0	15,2675	± 2,0
300	400	15,5299	± 2,0	15,5285	± 2,0	15,5278	± 2,0	15,5290	± 2,0

Źródło: opracowanie własne autorów

Na podstawie otrzymanych długości boków obliczono odkształcenia liniowe dla tych boków (tabela 6). Dla rozpatrywanego przypadku uwzględniono tylko wartości długości niepoddane wyrównaniu.

**Tabela 6.** Odształcenia wraz z błędami dla niewyrównanych obserwacji pomiędzy każdą z serii

**Table 6.** Strains with the errors for non-equalized observations between each series

Odcinek		Czasookresy					
		29.09.2011-31.10.2011		29.09.2011-5.12.2011		29.09.2011-1.08.2012	
początek	koniec	$\varepsilon$ [mm/m]	$m_e$ [mm/m]	$\varepsilon$ [mm/m]	$m_e$ [mm/m]	$\varepsilon$ [mm/m]	$m_e$ [mm/m]
200	400	0,045	$\pm 0,074$	-0,051	$\pm 0,074$	-0,046	$\pm 0,074$
200	300	0,156	$\pm 0,139$	-0,045	$\pm 0,139$	-0,014	$\pm 0,139$
300	400	-0,092	$\pm 0,137$	-0,133	$\pm 0,137$	-0,056	$\pm 0,137$

Zródło: opracowanie własne autorów

Powyższe dane nie pokazują już tak wyraźnie zachodzących odkształceń. Na analizowanych bokach mogą zachodzić siły ściskające, jednak są one bardzo bliskie zeru. Odpowiadałoby to rzeczywistej sytuacji w terenie, gdzie dla badanych boków nie powinny zachodzić zjawiska rozciągania. Może to świadczyć o uzyskaniu prawidłowych danych dla wszystkich boków badanej rozety.

## WNIOSKI

W wyniku przeprowadzonych obliczeń oraz analiz otrzymanych wyników można stwierdzić, że występujące na badanym terenie odkształcenia charakteryzują się niewielkimi wartościami. Maksymalna obliczona wartość wynosi 0,22 [mm/m] dla boku 100-300. Natomiast w wyniku przeprowadzonej analizy dokładności wartości odkształceń, można stwierdzić, że są one na granicy rozrzutu statystycznego, gdyż nie zawsze spełnione było kryterium dokładności. Kryterium to uwzględnia zasadę, że błąd średniej wartości mierzonej wielkości w określonym przedziale ufności powinien być mniejszy od średniej wartości mierzonej wielkości.

Jednak przeprowadzone dla trzech różnych wariantów obliczenia wykazały, że można zaobserwować pewne tendencje, świadczące o występowaniu odkształceń na badanych bokach. Dla obserwowanych boków: 100-200 oraz 100-300 wykazano działanie sił rozciągających. Na podstawie czterech serii pomiarowych zaobserwowano stopniowy wzrost wartości odkształceń. Wymienione boki występują wzdłuż kierunku nachylenia zbocza, a więc w miejscu teoretycznie najbardziej prawdopodobnego występowania ruchów osuwiskowych. Dla boków usytuowanych w poprzek badanego zbocza (200-400, 200-300, 300-400) nie zaobserwowano występowania jednoznacznych tendencji. Wartości odkształceń dla wymienionych boków w większości przypadków były ujemne. Jednak o mniejszych wartościach bezwzględnych w porównaniu z bokami 100-200 oraz 100-300.

## BIBLIOGRAFIA

- Ćwiąkała P., Skulich M., Szafarczyk A., *Repetitive Measurements of the Strain State in the Rock Mass Persistently Disturbed by the Mining Exploitation – Focus on the Triangular Rosette*. Geomatics and Environmental Engineering, Volume 4 No. 4, UWND AGH, Kraków 2010.
- Migoń P., *Geomorfologia*. PWN, Warszawa 2009.
- Pielok J., *Badania deformacji powierzchni terenu i górotworu wywołanych eksploatacją górnictwem*. AGH Kraków, Kraków 2002.
- Pielok J., *Wyznaczanie powierzchniowego tensora odkształceń na terenach górniczych w oparciu o pomiary geodezyjne*. UWND AGH, Kraków 2005.
- Skulich M., Szafarczyk A., *Optymalizacja metod pomiarowych w aspekcie projektowania pomiarów ekstremalnych odkształceń na terenach osuwiskowych*. Polska Akademia Nauk, Kraków 2012.
- Szafarczyk A., *Wyznaczanie odkształceń powierzchni terenu górniczego przy zastosowaniu rozet geodezyjnych*. Rozprawa doktorska, AGH, Kraków 2008.
- Leica, *Leica TPS400 Series Instrukcja obsługi*. Wersja 4.0, Polska, Switzerland 2005.

*\* Publikacja została sfinansowana w ramach Badań Statutowych Katedry Geomatyki nr 11.11.150.006.*

Inż. Paweł Pałka,  
palkapw@gmail.com

Dr inż. Mikołaj Skulich  
skulich@agh.edu.pl  
AGH Akademia Górniczo – Hutnicza im. St. Staszica  
Katedra Geomatyki  
Al. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków