



# Możliwości wykorzystania naziemnego skaningu laserowego w monitorowaniu deformacji w zakładach górniczych

## Possibilities of Terrestrial Laser Scanning Method in Monitoring of Shape Deformation in Mining Plants

Eudovít KOVANIČ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Ing., Ph.D.; Institute of Geodesy, Cartography and GIS, BERG Faculty, Technical University of Košice, Letná 9, 042 00 Košice, Slovak Republic; e-mail: ludo.kovanic@tuke.sk, tel.: (+421) 55 602 3101

### Streszczenie

Organizacja prowadząca działalność górniczą wysunęła prośbę o przeprowadzenie geodezyjnego monitoringu podziemnych obszarów wydobywania w różnych zakresach celem określenia bezpieczeństwa kontynuowania wydobywania surowców. W referacie zaprezentowano możliwości naziemnego skaningu laserowego w przypadku określenia przemieszczeń i deformacji sztucznie wytworzonych obiektów jak również naturalnie lub górniczo wytworzonych kamiennych masywów. Celem jest określenie stopnia wiarygodności interpretacji zmiany w ich kształcie w odniesieniu do dokładności pomiarów i odległości urządzenia od obserwowanego obiektu. Niniejszy referat zawiera oceny pomiarów trzech obiektów o różnych charakterystykach – od laboratoryjnej po górniczą. Otrzymane wyniki przedstawiają średnie empiryczne błędy zastosowanej metody i przetwarzania danych wraz z szacunkiem minimalnie wykrywalnych zmian obiektów w przypadku wybranej metody wydobywania.

Słowa kluczowe: naziemny skaningu laserowy, model TIN, monitorowanie kamiennego masywu

### Wprowadzenie

W przypadku górnictwa odkrywkowego i podziemnego kopalnie często wysuwają prośbę o samorzutne odnowienie obiektów powstałych w wyniku takiej działalności. Obiekty zainteresowania często nie są dostępne z punktu widzenia dostępu i bezpieczeństwa. Z wyjątkiem metody fotogrametrycznej, ten fakt jest decydujący przy wyborze metody pomiarowej umożliwiającej pomiar bezdotykowy tj. pomiar, w przypadku którego nie ma potrzeby założenia sygnalizacji badanych punktów przy pomocy przyзм refleksyjnych lub innych. Oprócz pomiaru kątów poziomych i pionowych, ważne jest oszacowanie odległości (długości) od punktu początkowego do punktu pomiarowego. Dawniej, aby oznaczyć krótkie odległości używano dwuobrazowych mierników odległości zwanych dalmierzami. Pomiar odległości bez użycia znacznika był możliwy do 60 m z dokładności 0,05m. Ważnymi czynnikami są odpowiednio oświetlenie mierzonego obiektu oraz obec-

### Summary

The organization conducting the mining activity placed the request to carry out the geodetic monitoring of the excavated underground areas of the various scope with the objective to assume the safety of the continuing operation of the raw materials extraction. The possibilities of the terrestrial laser scanning method exploitation when determining the displacement and deformation of artificially created objects and either naturally or by mining created rock massifs, are presented in this paper. The objective is to determine the reliability degree of the interpretation of the change in their shape with regard to the measurement accuracy and distance of the instrument from the observed object. This paper contains assessment of the measurements of three objects of different characteristics – from laboratory one to the actual mining objects. Obtained results represent the empirical mean errors of the applied measuring method and processing the data with the estimate of the minimum detectable changes of the object in case of the selected method exploitation.

Keywords: terrestrial laser scanning, TIN model, monitoring of the rock massif

### Introduction

In case of the open-cast mining and underground mining of the raw materials they often place the request to determine the spontaneous refashioning of the objects produced as a result of such mining activity. The objects of interest are often not accessible from the point of the access and safety. Except of the case of the photogrammetric method, this fact is decisive in the selection of the measuring methods enabling the contactless measurement i.e. measurement when there is no need to assume the signalisation of the measured points using the reflective prism or other aids. Besides the measurement of the horizontal and vertical angles, essential is the estimation of the distance (length) from the position up to the determining point. Historically, to determine the short distances they used the two-image distance meters with the base in the instrument, so called telemeters. The measurement of the distance without the use of the marker, was possible up to the distance of 60m, with the accuracy of 0,05m. The

ności jego identyfikowalnych elementów jak krawędzie i tym podobne.

Postęp w technologii pomiarowej, który nastąpił pod koniec ubiegłego stulecia wprowadził uniwersalne stacje pomiarowe (universal measuring stations – UMS) od różnego rodzaju producentów z laserowym miernikiem odległości; pozwoliło to na pomiar odległości bez użycia pryzm aż do 50 m, ostatnio nawet do 1000 m i więcej. Wykorzystując UMS, aby oszacować kształt, mierzy się elementy w celu określenia punktów współrzędnych X, Y, Z na powierzchni obiektu w połączeniu z punktami rozproszonymi w wybranej i regularnej siatce. Dokładność oszacowania pozycji i wysokości z wykorzystaniem UMS wynosi ok. 5–10 mm. Zastosowanie wiązki lasera widzialnego jest korzystna szczególnie w przypadku przestrzeni podziemnych i umożliwia to jednocześnie pomiar bez potrzeby celowania w mierzone punkty przy użyciu lornetki. Ostatnio UMS jest metodą szeroko stosowaną, uzupełnioną napędami do poziomego a nawet pionowego ruchu lornetki. Funkcja ta umożliwia, po regulacji wymaganych parametrów, pomiar i przechowywanie danych bez konieczności interwencji geodety.

Nowoczesną tendencją w zbieraniu danych jest metoda naziemnego skaningu laserowego (TLS – Terrestrial Laser Scanning). Bazując na zasadzie metody przestrzennej, podobnie w przypadku UMS, wynikiem pomiaru jest wykaz współrzędnych punktów. Główną cechą tych urządzeń jest szybkość pomiaru (do 5000 punktów na sekundę), umożliwiając osiągnięcie punktu pomiarowego o dużej gęstości siatki mierzonych punktów i opisanie badanego obiektu za pomocą większej ilości detali (Gašinec et al., 2011, Gašinec et al., 2012).

Modelowanie obiektów przestrzennych czy też obliczenie zmian ich właściwości kształtu (zmiana objętości) jest często stosowana w praktyce z założeniem, że proces ma być tak szybki jak to tylko możliwe. W tym samym czasie osiągnięte powinny być żądania charakterystyki dokładności. Na dokładność otrzymanego modelu wpływa nie tylko metoda zbierania danych, ale również to, jak wybrana metoda modelowania i obliczeń jest w stanie zbliżyć się do nieregularnego obiektu (powierzchni) i podejść najbliżej jak to możliwe do jego faktycznego kształtu biorąc pod uwagę optymalną ilość zużytej energii i środków. Ponieważ obecnie kwestią decyzyjną są pieniądze, ważna jest wiedza dotycząca charakterystyki i zastosowania poszczególnych metod geodezyjnych (Blišťan, 2012, Blišťan, 2012).

W referacie przedstawiono wyniki pomiarów doświadczalnych trzech obiektów. Celem jest natych-

important factors are the need of the appropriate illumination of the measured object and also the existence of its identifiable elements as edges and so on.

The progress in the measuring technology by the end of the past century introduced the universal measuring stations (UMS) from various manufacturers furnished with the laser distance meter; these enabled the distances measuring without use of prism up to the length of about 50m, recently even up to 1000m and even more. Exploiting UMS, to estimate their shape, measured are the elements for the spatial coordinates X, Y, Z determination of the characteristic points at the object surface in the combination with the points distributed within the selected and approximately regular raster. The accuracy of the position and the height determination exploiting UMS is about 5–10 mm. The application of the visible laser ray is advantageous particularly in the underground space and this enables the measurement without the need of targeting the measured points using the binocular. Recently, UMS are broadly applied, completed with the drives for the horizontal and even vertical movement of the binocular. This feature enables, after adjusting the requested parameters, the measurement and storing the data without the intervention of the surveyor.

The modern tendency in collecting the data is the method of the terrestrial laser scanning (TLS). Based on the principle of the spatial polar method, similarly as is the case of UMS, the result from the measurement is the list of coordinates of the points. The main feature of these instruments is the speed of the measurement (up to 50000 points per second), enabling to target the object with the high density of the measured points raster and to characterise the measured object in more details (Gašinec et al., 2011, Gašinec et al., 2012).

Modelling of the spatial objects or the calculation of the change of their properties of shape (change in volume) is frequently carried out in the practice with the objective to assume the process to be as fast as possible. At the same time achieved should be the requests characteristics of the accuracy. The accuracy of the resultant model is eventually affected not only by the method of the data collecting but also by the fact, how is the selected modelling and calculating method able to approximate the irregular body (surface) and to come as near as possible to its actual shape, of course under the assumption of the optimum spent energy and means. Right with regard to the finances, which are at the present time often decisive, it is of importance to know properly the characteristics and applicability of the individual geodetic methods (Blišťan, 2012, Blišťan, 2012).

Paper presents the results from the experimental measurement of three objects. The objective is the

miastowe porównanie powstałych modeli pod względem ich powierzchni z dwóch niezależnie przeprowadzonych pomiarów i stwierdzenie poziomu niepewności dla celów praktycznych podczas interpretacji deformacji obiektu zależącej od jego kształtu i odległości od urządzenia pomiarowego. Interesujące fragmenty w odniesieniu do ich rozmiaru zostały wybrane ze wszystkich obiektów w celu przeprowadzenia trzech eksperymentów:

- Obiekt 1: Monolityczna konstrukcja domu mieszkalnego wykonanego z betonu zbrojonego;
- Obiekt 2: Ściana górnicza kopalni odkrywkowej;
- Obiekt 3: Przestrzeń podziemna.

### Metoda pomiarowa, urządzenie, przetworzenie i prezentacja pomiarów

Metodologia pomiarów, przetworzenie i prezentacja wyników była podobna w przypadku trzech wybranych obiektów. Do zbierania danych stosowana była metoda naziemnego skaningu laserowego (TLS) przy użyciu urządzenia Leica Scan Station C10 (Erdélyi, et al., 2011, Erdélyi, et al., 2012). Wybrane parametry urządzenia przedstawiono w Tab. 1.

Eksperyment składał się z natychmiastowego i powtarzanego sekwencyjnie skaningu poszczególnych obiektów i oznaczenia różnic w powierzchniach utworzonych w siatce trójkątnej. Różnice te określono z odcinków przeprowadzonych prostopadle do kie-

comparison of the resultant models of their surfaces from two independent measurements carried out immediately and consecutively and to determine the level of uncertainty for the practical purposes when interpreting the object deformation as depending on its shape and distance from the instrument position. The fragments of interest with regard to their size were selected from all objects for the purpose of three experiments:

- Object 1: Monolithic construction of the dwelling house made of reinforced concrete;
- Object 2: Mining wall of the open cast mine;
- Object 3: Underground space.

### Measuring method, Instrument, processing and presentation of measurements

Methodology of measurement, processing and presentation of the results was similar for all three selected objects. To collect the spatial data applied was the method of the terrestrial laser scanning (TLS) with the instrument Leica ScanStation C10 (Erdélyi, et al., 2011, Erdélyi, et al., 2012). Selected parameters of the instrument are provided in Table 1.

Experiment consisted in the immediately and in sequence repeated scanning of the individual objects and determination of the differences in surfaces formed of the triangulated network – mesh. These differences were determined from the sections carried out perpen-

Tabela 1  
Wybrane parametry urządzenia Leica ScanStation C10  
(Leica ScanStation C10 - karta techniczna)

Table 1  
Selected parameters of the instrument Leica ScanStation C10  
(Leica ScanStation C10 – technical data sheet)

Parametr urządzenia Type of instrument	Impuls skanera laserowego z wbudowaną kamerą Pulse laser scanner with the integrated camera
Dokładność pojedynczego pomiaru (na odległość do 50 m) Accuracy of single measurement (for the distance up to 50 m)	Pozycja punktu: 6 mm Position of point: 6 mm Zmierzona długość: 4 mm Measured length: 4 mm Poziomy i pionowy kąt: 12'' Horizontal and vertical angle: 12''
Dokładność modelowanej powierzchni Accuracy of the modelled surface	2 mm dla stałych powierzchni 2 mm for the regular surfaces
Dostęp Access	300 mm dla powierzchni z 90% refleksyjnością 300 mm for surface with 90% reflexivity 134 m dla powierzchni z 18% refleksyjnością 134 m for surface with 18% reflexivity
Szybkość pomiaru Speed of measurement	Do 50 000 punktów/sekundę Up to 50,000 points/second
Dwie osie kompensatora Two axis compensator	Zakres +/- 5°, dokładność 1,5'' Scope +/- 5°, accuracy 1.5''
Pole widzenia Field of view	W poziomie 360°, w pionie 270° Horizontally 360°, vertically 270°

runku dominującego płaszczyzny przechodzącej przez obiekt. Początkowym założeniem było, że obiekt nie zmienił się podczas okresu czasu pomiędzy pomiarami; w związku z tym jego model powinien być identyczny w przypadku obu pomiarów. Zaobserwowane różnice są wskaźnikami niepewności uwzględnionego błędu powstałego podczas przeprowadzania pomiaru (głównie dokładności urządzenia) jak również błędu wynikającego ze sposobu przetworzenia i modelowania powierzchni obiektów. Celem eksperymentu jest oszacowanie wartości różnic pomiędzy powierzchniami i ocena dokładności metody pomiarowej dla warunków praktycznych zakładów górniczych biorąc pod uwagę ich specyficzne cechy jak oświetlenie, refleksyjność materiału badanego obiektu oraz odległość obiektu od pozycji, w której znajduje się przyrząd pomiarowy. Wyniki oceny różnic dwóch modeli dla każdego obiektu są pokazane numerycznie w tabelach i na wykresach. Stwierdzone są minimalne i maksymalne różnice dwóch powierzchni w milimetrach i empiryczne błędy średnie (wybrane).

**Empiryczny błąd standardowy  $m$**  jest wielkością koncentracji błędów wokół wartości średniej. Obliczono go zgodnie z formułą:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - x_i)^2}{n-1}} \quad (1)$$

gdzie:

- $\bar{X}$  – średnia arytmetyczna z różnic powierzchni w odcinku,
- $x_i$  – indywidualne różnice powierzchni,
- $n$  – ilość wartości,

Biorąc pod uwagę współczynnik pewności  $t_\alpha = 2$  odpowiadające 95% prawdopodobieństwa właściwej interpretacji deformacji obiektu, minimalna wartość deformacji wyrażona jest jako podwójny błąd średni pomiaru.

Badanie poprawek pomiarów skrajnych przeprowadzono w celu identyfikacji błędów grubych w zestawie wartości. Wartość korekcji średniej obliczono ze wzoru:

$$m_v = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n}} \quad (2)$$

gdzie:

- $v_i$  – różnice korekcji w odniesieniu do średniej arytmetycznej,
- $n$  – ilość wartości.

dicularly to the prevailing direction of the plane led through the object. The starting presumption was that the object did not changed during the period between the measurements; therefore its model should be identical in both measurements. Observed differences are the indicators of the uncertainty of the included error arisen in course of measurements (especially the accuracy of the instrument) and also the error following out from the way of processing and modelling the surface of the objects. The objective of the experiment is to quantify the values of the differences among the surfaces and to assess the accuracy of the measuring method as whole for the practical conditions of the mining plants taking into the consideration their specific features as illumination, reflexivity of the material of the measured object and the distance of the object from the instrument position. The results from assessment of the differences of two models for each object are presented numerically in tables and graphs. Stated are always minimum and maximum differences of two surfaces in millimeters and empirical (selected) mean errors.

**The empirical mean error  $m$**  is the magnitude of the concentration of errors around the mean zero value. It was determined according to the formula:

where:

- $\bar{X}$  – arithmetical average from the differences of the surfaces in the section,
- $x_i$  – individual differences of the surfaces,
- $n$  – number of values.

When considering the coefficient of confidence  $t_\alpha = 2$  corresponding to 95% probability of the correct interpretation of the object deformation, the minimum amount of the deformation is expressed as the double of the mean errors of the measurement.

**Testing of the corrections of the outlying measurements** is carried out with the objective to identify the gross errors in the set of values. The value of the mean correction is calculated from the formula:

where:

- $v_i$  – differences of the corrections regarding to the arithmetic average,
- $n$  – number of values.

Aby przeprowadzić testy, zastosowano kryterium basujące na podziale funkcji selektywnej

$$W_{(n)} = \frac{\bar{X} - x_{(n)}}{m_v} = \frac{v_{(n)}}{m_v}, \quad \text{lub} \quad \text{or} \quad W_{(1)} = \frac{\bar{X} - x_{(1)}}{m_v} = \frac{v_{(1)}}{m_v}, \quad P(|W| > W_\alpha) = \alpha \quad (3)$$

gdzie:

$v_{(n)}$  i  $v_{(1)}$  – są korekcjami granicznymi,  
 $m_v$  – oszacowanie średniej korekcji,  
 $x_{(n)}$  i  $x_{(1)}$  – to najniższe i najwyższe zmierzone wartości.

Wartość absolutna korekty limitu powinna przekraczać wartość  $W_{(\alpha)}$ , oceniany jest efekt wzrostu błędy i taki pomiar jest wykluczony z zestawu danych. Badanie jest powtarzane dla innej korekcji granicznej (Bitterer, 2006).

**Obiekt nr 1 – fragment konstrukcji monolitycznej domu mieszkalnego wykonanego z betonu zbrojonego**

Podczas realizacji budowy domu mieszkalnego gdy powstawała dokumentacja rzeczywistej realizacji budynku, wykorzystano również metodę TLS. Obiekt ten został wybrany ze względu na oczekiwane najmniejsze różnice w powstałym modelu i został on uznany za interesujący przypadek dla laboratorium. Dla celów eksperymentu wybrano część jego szkieletu o rozmiarach ok. 1 m × 0,5 m zbudowanego z płaszczyzny ścian ustawionych pod odpowiednim kątem tworząc tym samym otwartą przestrzeń dla szybu windy (Rys. 1.). Pomiar przeprowadzono od dolnej części szybu, natomiast gęstość mierzonych punktów była rozproszona w sekwencji



Rys. 1  
 Obiekt nr 1 – fragment monolitycznej konstrukcji wykonanej z betonu zbrojonego

To carry out the tests, applied is the criterion based on the division of the selective function

where:

$v_{(n)}$  and  $v_{(1)}$  – limit corrections,  
 $m_v$  – estimate of the mean correction,  
 $x_{(n)}$  and  $x_{(1)}$  – the lowest and highest measured values.

Should the absolute value of the limit correction exceed the value of  $W_{(\alpha)}$ , judged is the effect of the gross error and such measurement is excluded from the set. Testing is repeated for another limit correction (Bitterer, 2006).

**Object No. 1 – fragment of the monolithic construction of the dwelling house made of reinforced concrete**

When realising the construction of the dwelling house, when drawing the documentation of the actual realisation of the building object, exploited was also TLS method. This object was selected for expected were the least differences in the resultant models and it was considered to be the laboratory case. For the purpose of this experiment, selected was the part of its skeleton with the dimensions approximately 1 m × 0,5 m, formed by the approximately plane walls arranged under the right angle, creating the entry opening of the elevator shaft (Fig. 1). Measurement was carried out from the shaft bottom with the density of the measured points distributed in sequence of 1 cm horizontally and vertically

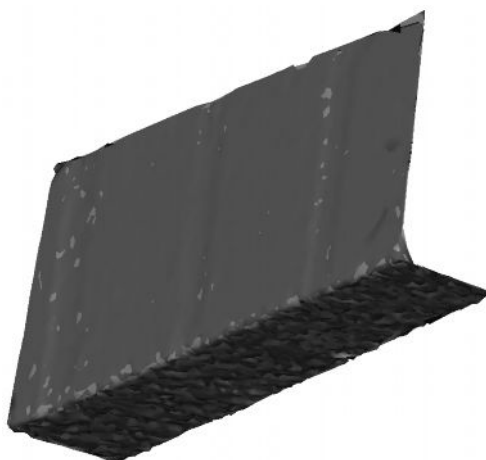


Fig. 1  
 Object No.1 – fragment of the monolithic construction made of reinforced concrete

1 cm poziomo i pionowo w odległości 20 m. Oba pomiary przeprowadzono w ramach tego samego systemu koordynacyjnego (S-JTK i Bpv) o jednym stanowisku urządzenia pomiarowego.

Poszczególne modele sieci TIN wykonano z zestawu zmierzonych punktów i stosując analizę trzech sekcji oznaczono różnice między nimi. Wyniki przedstawione są w Tab. 2. i Wykresie 1.

### Obiekt nr 2 – fragment ściany górniczej w kopalni odkrywkowej

Obiekt ten wybrano w celu przybliżenia do warunków rzeczywistych związanych głównie ze składem materiałowym mierzonego obiektu i większą odległością od urządzenia pomiarowego od obiektu. W celu porównania wybrano bardziej wystającą chropowatą część ściany w sekcji poziomej o wymiarach

from the distance of 20 m. Both measurements were carried out within the same coordinate system of the setting out network of the construction (S-JTSK and Bpv) with one position of the instrument.

The individual network models TIN were constructed from the set of the measured points and applying the analysis of three sections determined were the differences among them. The results are shown in Table 2 and Graph 1.

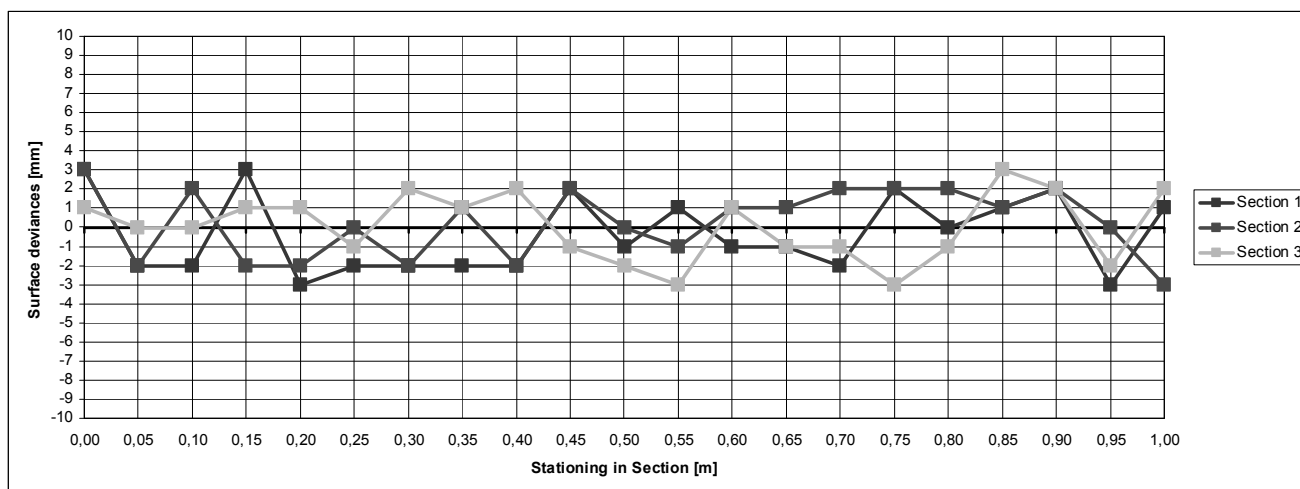
### Object No. 2 – fragment of the mining wall of the open cast mine

This object was selected for the approximation to the real conditions related especially to the material composition of the measured object and higher distance of the instrument position from the object. For the purpose of the comparison selected was the more prominently rugged part of the wall in the horizontal section with the

Tabela 2  
Obiekt nr 1 – Różnice powierzchni w sekcjach i błędów średnich

Table 2  
Object No. 1 – Differences of the surfaces in sections and mean errors

Numer sekcji Section number	Minimalna wartość dewiacji powierzchni Minimum value of surfaces deviance [mm]	Maksymalna wartość dewiacji powierzchni Maximum value of surfaces deviance [mm]	Średni błąd empiryczny Empirical mean error [mm]	Przeciętny średni błąd empiryczny Average empirical mean error [mm]
Sekcja 1 Section 1	-3	+3	1,99	1,85
Sekcja 2 Section 2	-3	+3	1,81	
Sekcja 3 Section 3	-3	+3	1,75	



Wykres 1  
Obiekt nr 1 – Graficzne porównanie różnic powierzchni w sekcjach

Graph 1  
Object No.1 – Graphical comparison of the differences of the surfaces in sections

7 m × 12 m (szerokość × wysokość) (Rys. 2). Oczekiwane były możliwości wykrycia bardziej znaczących różnic między powierzchniami bezpośrednio w miejscu ich największego wygięcia. Przeprowadzono pomiar o gęstości punktów rozproszonych poziomo i pionowo w sekwencji 1 cm i odległości 35 m. Oba pomiary były przeprowadzone z tą samą współrzędną i systemem poziomującym S-JTSK i Bpv z jednej pozycji urządzenia pomiarowego o nowym kierunku.

Przetworzenie wyników pomiaru i ich prezentacja była podobna jak w przypadku obiektu nr 1. Wyniki pokazano w Tab.3. i Wykresie 2.

### **Obiekt nr 3 – fragmenty odkrytych podziemnych przestrzeni**

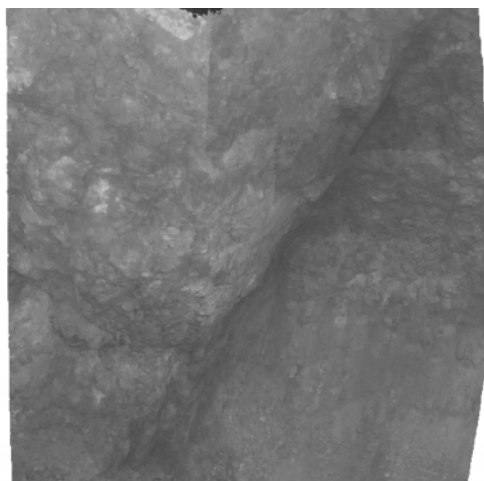
Pomiar przestrzeni wyrobiska w całości został przeprowadzony w warunkach jakie rzeczywiście występują w górnictwie. Spośród nich wybrano trzy fragmenty różnej wielkości i w różnych odległościach. Celem było zweryfikowanie możliwości

dimensions of about 7m x 12m (width x height) (Fig. 2). Expected were the possibilities of the detection of more significant differences among the surfaces right in the location of its biggest incurvation. Measurement was carried out with the density of the measured points distributed in sequence of 1 cm horizontally and vertically from the distance of 35 m. Both measurements were conducted in the same coordinate and levelling system S-JTSK and Bpv with the single position of the instrument with new orientation.

Processing of the results from measurement and their presentation was similar as in case of the object No.1. Results are shown in Table 3 and Graph 2.

### **Object No. 3 – fragments of excavated underground spaces**

The metering of the excavated underground space as whole was carried out under the real mining conditions. Among them selected were three fragments of various size and within the different distances from the position. The objective was to verify the possibility of the moni-



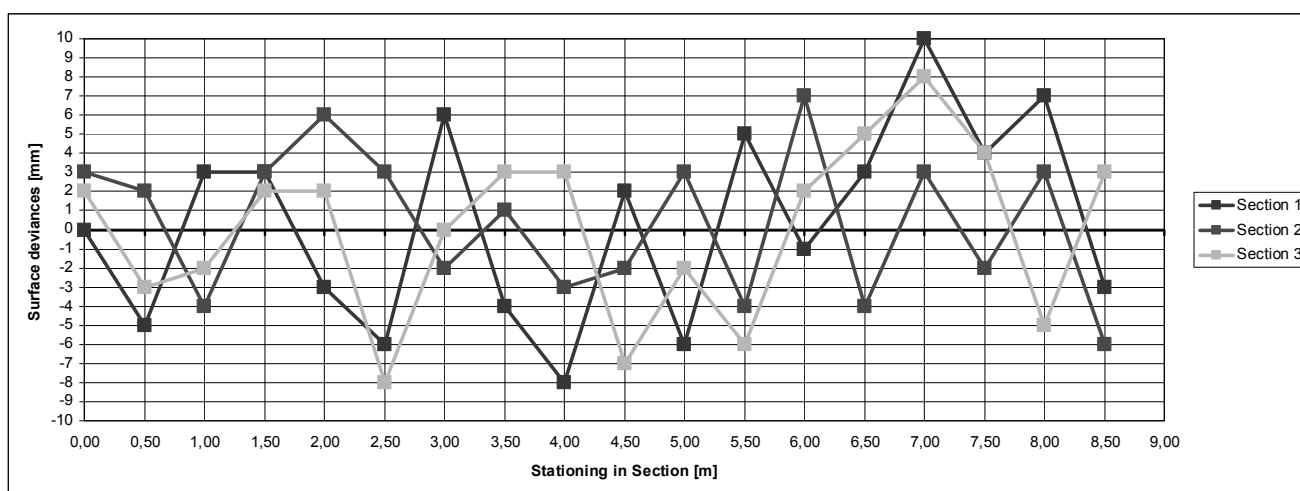
Rys. 2  
Obiekt nr 2 – fragment ściany górniczej kopalni odkrywkowej

Fig. 2  
Object No. 2 – fragment of the mining wall of the open cast mine

Tabela 3  
 Obiekt nr 2 – Różnice powierzchni w sekcjach  
 i błędów średnich

Table 3  
 Object No. 2 – Differences of the surfaces  
 in sections and mean errors

Numer sekcji Section number	Minimalna wartość dewiacji powierzchni Minimum value of surfaces deviance [mm]	Maksymalna wartość dewiacji powierzchni Maximum value of surfaces deviance [mm]	Średni błąd empiryczny Empirical mean error [mm]	Przeciętny średni błąd empiryczny Average empirical mean error [mm]
Sekcja 1 Section 1	-8	+10	5,15	4,47
Sekcja 2 Section 2	-6	+7	3,81	
Sekcja 3 Section 3	-8	+8	4,47	



Wykres 2  
 Obiekt nr 2 – Graficzne porównanie różnic powierzchni  
 w sekcjach

Graph 2  
 Object No. 2 – Graphical comparison of the differences  
 of the surfaces in sections

monitorowania deformacji obiektu głównie w odniesieniu do dużych odległości obserwowanych obiektów od urządzenia pomiarowego. Powtórzony pomiar przeprowadzono dla gęstości punktów rozproszonych poziomo i pionowo w sekwencji 2 cm i odległości od 130 m do 200 m. Dla punktów zmierzonych w odległości 200 m ich wspólna odległość wyniosła ok. 5 cm.

Przetworzenie danych z pomiarów i ich prezentacja były podobne jak w przypadku poprzednich obiektów. Wyniki przedstawiono w tabelach 4 do 6 i Wykresach 3 do 5.

### Omówienie otrzymanych wyników

Celem badań była eksperymentalna weryfikacja możliwości zastosowania naziemnego skaningu laserowego do obserwowania stabilności naturalnie i sztucznie powstałych formacji skalnych. Nacisk

toring of the object deformation especially with regard to the large distances of the observed fragments from the instrument position. Repeated measurement was conducted with the density of the measured points distributed in sequence of 2cm horizontally and vertically at 100m and from the distance of from 130m to 200m. For the points measured from the distance of 200m, their mutual distance was about 5cm.

Processing of the results from measurement and their presentation was similar as in case of previous objects. Results are shown in Tables 4 to 6 and Graphs 3 to 5.

### Evaluation of the obtained results

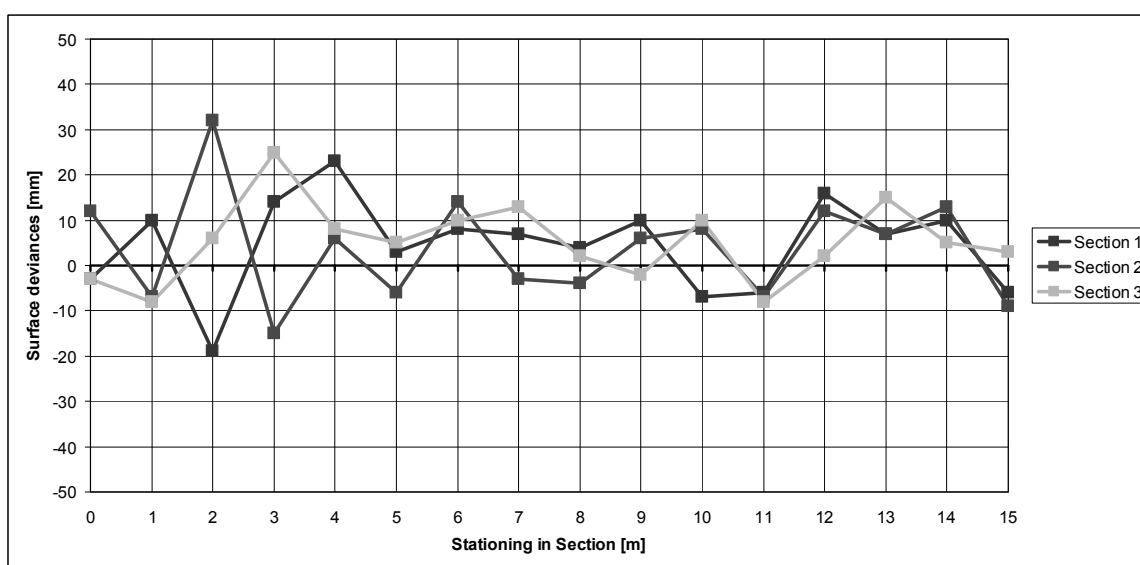
The objective of the research was the experimental verification of the suitability of the terrestrial laser scanning method for observing the stability of the natural and artificially formed rock formations.



Tabela 4  
 Obiekt nr 3 fragment 1 w odległości 130 m od pozycji –  
 graficzne porównanie różnic powierzchniowych  
 w sekcjach i błędów średnich

Table 4  
 Object No. 3 fragment 1 within the distance of 130 m  
 from position – graphical comparison of the surface  
 differences in sections and mean errors

Numer sekcji Section number	Minimalna wartość dewiacji powierzchni Minimum value of surfaces deviance [mm]	Maksymalna wartość dewiacji powierzchni Maximum value of surfaces deviance [mm]	Średni błąd empiryczny Empirical mean error [mm]	Przeciętny średni błąd empiryczny Average empirical mean error [mm]
Sekcja 1 Section 1	-19	+23	10,47	10,29
Sekcja 2 Section 2	-15	+32	11,86	
Sekcja 3 Section 3	-8	+25	8,55	



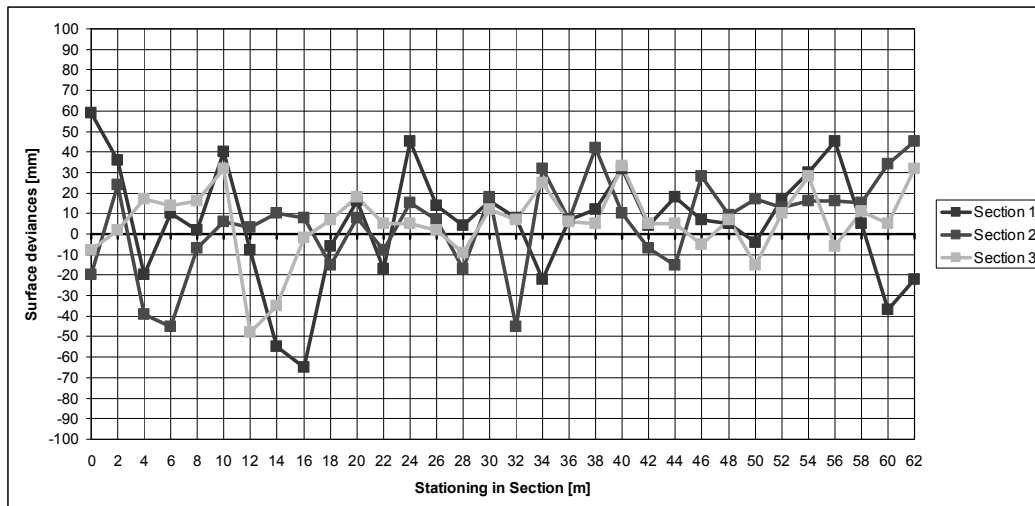
Wykres 3  
 Obiekt nr 3 fragment 1 w odległości 130 m od pozycji –  
 graficzne porównanie różnic powierzchniowych  
 w sekcjach i błędów średnich

Graph 3  
 Object No. 3 fragment 1 within the distance of 130 m  
 from position – graphical comparison of the surface  
 differences in sections and mean errors

Tabela 5  
 Obiekt nr 3 fragment 2 w odległości 170 m od pozycji –  
 graficzne porównanie różnic powierzchniowych  
 w sekcjach i błędów średnich

Table 5  
 Object No. 3 fragment 2 within the distance of 170 m  
 from position – graphical comparison of the surface  
 differences in sections and mean errors

Numer sekcji Section number	Minimalna wartość dewiacji powierzchni Minimum value of surfaces deviance [mm]	Maksymalna wartość dewiacji powierzchni Maximum value of surfaces deviance [mm]	Średni błąd empiryczny Empirical mean error [mm]	Przeciętny średni błąd empiryczny Average empirical mean error [mm]
Sekcja 1 Section 1	-65	+59	27,58	22,44
Sekcja 2 Section 2	-45	+45	22,47	
Sekcja 3 Section 3	-48	+33	17,28	



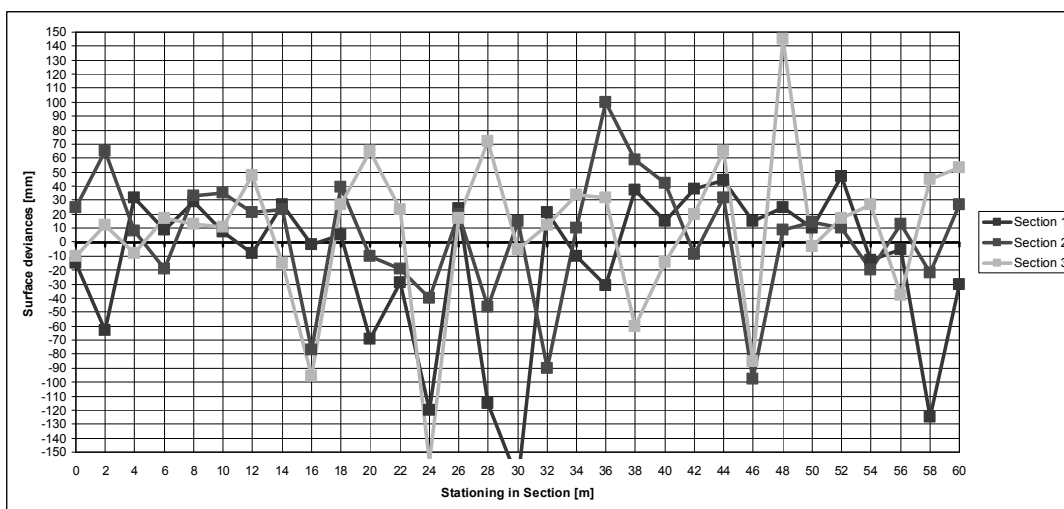
Wykres 4  
 Obiekt nr 3 fragment 2 w odległości 170 m od pozycji –  
 graficzne porównanie różnic powierzchniowych  
 w sekcjach i błędów średnich

Graph 4  
 Object No. 3 fragment 2 within the distance of 170 m  
 from position – graphical comparison of the surface  
 differences in sections and mean errors

Tabela 6  
 Obiekt nr 3 fragment 3 w odległości 200 m od pozycji –  
 graficzne porównanie różnic powierzchniowych  
 w sekcjach i błędów średnich

Table 6  
 Object No. 3 fragment 3 within the distance of 200 m  
 from position – graphical comparison of the surface  
 differences in sections and mean errors

Numer sekcji Section number	Minimalna wartość dewiacji powierzchni Minimum value of surfaces deviance [mm]	Maksymalna wartość dewiacji powierzchni Maximum value of surfaces deviance [mm]	Średni błąd empiryczny Empirical mean error [mm]	Przeciętny średni błąd empiryczny Average empirical mean error [mm]
Sekcja 1 Section 1	-170	+47	54,89	51,24
Sekcja 2 Section 2	-98	+100	43,36	
Sekcja 3 Section 3	-157	+145	55,47	



Wykres 5  
 Obiekt nr 3 fragment 3 w odległości 200 m od pozycji –  
 graficzne porównanie różnic powierzchniowych  
 w sekcjach i błędów średnich

Graph 5  
 Object No. 3 fragment 3 within the distance of 200 m  
 from position – graphical comparison of the surface  
 differences in sections and mean errors

został położony głównie na efekt odległości mierzonego obiektu od urządzenia pomiarowego w odniesieniu do aktualnych warunków i wymagań praktycznych. Dokładność metody pomiarowej i wyniki przedstawione są za pomocą empirycznych błędów standardowych otrzymanych z różnic między modelowanymi powierzchniami poszczególnych obiektów. Odnosząc się do eksperymentu laboratoryjnego, którego wyniki przedstawiono w Tab. 2. i Wykresie 1, najniższa wartość błędu standardowego wyniosła  $m = 1,8$  mm jak oczekiwano w związku z płaską charakterystyką obiektu. W przypadku eksperymentu praktycznego przeprowadzonego na ścianie górniczej kopalni odkrywkowej o porowatym kształcie, wyniki przedstawione w Tab. 3. i Wykresie 2, otrzymano błąd standardowy o wartości  $m = 4,35$  mm. Stosując metodę w warunkach rzeczywistych zakładu górniczego, średnie błędy standardowe oszacowano bazując na pomiarach trzech różnych fragmentów obiektu dla różnych odległości od urządzenia pomiarowego. Wyniki otrzymane w tym eksperymencie przedstawiono w Tab. 4 do Tab. 6 i Wykresach od 3 do 5. Wartości błędu standardowego wynikające z pomiarów powyżej wynosiły  $m = 9,97$  mm dla obiektu oddalonego o 130 m,  $m = 22,09$  mm dla obiektu oddalonego o 170 m oraz  $m = 50,41$  mm dla obiektu oddalonego o 200 m od urządzenia pomiarowego.

Wiarygodność interpretacji wyników może być również oceniona z punktu widzenia normy technicznej STN 730405 – Pomiary przesunięć i deformacji budynków, której sformułowanie może być racjonalnie stosowane w przypadku problemów opisanych w tym referacie, w sensie dokładności metody pomiarowej i oczekiwanych przesunięć i deformacji obiektów.

Bazując na wzorze:

$$m = \frac{1}{5} s \quad (4)$$

gdzie:

- $m$  – główny błąd pomiaru przesunięć i deformacji,
- $s$  – oczekiwana wielkość przesunięć i deformacji

według którego określona jest dokładność pomiaru, gdy znany jest parametr  $m$ , możliwe jest określenie przesunięcia i deformacji  $s$ . Kiedy wartości są podstawione do równania otrzymany jest indeks najniższego poziomu deformacji kształtu dla którego metoda jest odpowiednia w sensie normy i punktu widzenia żądanej dokładności. Dla wymienionych indywidualnych eksperymentów wartość deformacji przedstawiona jest w Tab.7.

Podczas testów wartości różnic między po-

Stress was placed especially upon the effect of the distance of the measured object from the instrument position with regard to the actual conditions and requirement of the practice. The accuracy of the measuring method and results processing as whole is expressed by average empirical mean errors derived from the differences of the modelled surfaces of the individual objects. According to the laboratory experiment, results of which are provided in Table 2 and Graph 1, the lowest value of the mean error was  $m = 1,8$  mm, as expected with regard to the flat pattern of the object. In case of the practical experiment, conducted on the object of the wall of the opencast mine with the rugged shape, results provided in Table 3 and Graph 2, give the average value of the mean error  $m = 4,35$  mm. Applying the method under the real conditions of the mining plant, the average mean errors were determined based on the measurements for three fragments of the object model for the different distances of the object from the instrument position. Results obtained from this experiment are shown in Tables 4 to 6 and Graphs 3 to 5. The values of the average mean errors following from the above were  $m = 9,97$  mm for the object distant 130 m from the position,  $m = 22,09$  mm for the object distant 170 m from the position and  $m = 50,41$  mm for the object distant 200 m from the position.

The reliability of the interpretation of the measurement results may be judged also from the point of the technical standard STN 730405 – Measurement of the shifts and deformations of the building objects, the wording of which may be reasonably applied also to the problems described in this paper, within the sense of the measuring methods accuracy and expected size of shifts and deformation of the objects.

Based on the formula:

where:

- $m$  – principal mean error of the shifts and deformations measurement,
- $s$  – expected size of shifts and deformations

subject to which determined is the requested accuracy of the measurement and when known is the parameter  $m$ , it is possible retroactively determine the size of the shift and deformations  $s$ . When values are substituted to the formula, obtained is the index of the lowest level of the deformations of the object shape, for which is the method suitable in sense of the standard and from point of the requested accuracy. For the mentioned individual experiments this value of the deformations is given in Table 7.

Tabela 7  
Minimalne wartości od obiektów deformacji, dla których metoda pomiaru jest odpowiednią z punktu jego dokładności

Table 7  
Minimum values from objects deformations, for which is measuring method suitable from point of its accuracy

Numer obiektu Object number	Przeciętny średni błąd empiryczny Average empirical mean error [mm]	Minimalna wartość deformacji obiektu Minimum value of the object deformation [mm]
Obiekt 1 – konstrukcja z żelbetu Object 1 – construction made reinforced concrete	1,85	9,25
Obiekt 2 – ściana górnicza kopalni odkrywkowej Object 2 – mining wall of the open cast mine	4,47	22,35
Obiekt 3.1 – przestrzeń podziemna, odległość 130 m Object 3.1 – underground space, distance 130 m	10,29	51,45
Obiekt 3.2 – przestrzeń podziemna, odległość 170 m Object 3.2 – underground space, distance 170 m	22,44	112,20
Obiekt 3.3 – przestrzeń podziemna, odległość 200 m Object 3.3 – underground space, distance 200 m	51,24	256,20

wierzchniami w odniesieniu do testów statystycznych otrzymano różnice  $W_{(n)} < W_{(\alpha)}$ . Dlatego też nie było konieczności wykluczenia ich z zestawu danych, który to fakt potwierdza wysoką wiarygodność interpretacji deformacji tych obiektów na poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  w odniesieniu do prawdopodobieństwa  $P = 95\%$ .

## Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników, wyżej opisana metoda pomiaru i przetworzenia wyników może być uznana w danych warunkach praktycznych za najbardziej stosowną w odniesieniu do zagęszczenia zmierzonych punktów i powstałego w ten sposób ścisłego modelu powierzchni. Ten fakt jest jednocześnie największą zaletą jak również inne zalety, które powinny być wspomniane, a w szczególności szybkość pomiaru i zgodność z wynikami uzyskanymi przez konwencjonalne metody geodezyjne. Wadą metody jest raczej ograniczony zasięg pomiaru. Wynosi on do 300 m w idealnych warunkach w przypadku badanego obiektu, ale w praktyce wartość ta jest niższa.

Celem doświadczenia było zweryfikowanie metody TLS i dalszego przetwarzania otrzymanych danych w celu praktycznego zastosowania jej w realnych warunkach – głównie w obszarach niedostępnych – gdzie metoda dowodzi, bazując na otrzymanych wynikach, że jest idealną do otrzymania danych przestrzennych. Otrzymane wartości błędów standardowych w przypadku górnictwa są zadowalające dla danego celu – tj. założenie krytycznych wartości odkształceń obiektu.

During the tests of the remote values of the differences of the surfaces according to the tested statistics, were all determined differences  $W_{(n)} < W_{(\alpha)}$ . Therefore it was not necessary to exclude from the set any value, which fact confirms the high reliability of the interpretation of the deformations of these objects at the confidence level of  $\alpha = 0,05$ , corresponding to the probability  $P = 95\%$ .

## Conclusions

Based on the obtained results, the above described method of the measurement and processing the results may be considered under the given practical conditions as the most suitable with regard to the abundance of the measured points and resulting high strictness of the modelled surfaces. This fact is at the same time its highest advantage, as other advantages mentioned should be in particular the speed of measurement and also considerable compatibility with the results obtained by the conventional geodetic methods. Its disadvantage is rather limited coverage of the measurement. This is up to 300 m under the ideal conditions of the reflexivity of the measured object, however practically it is lower.

The aim of the experiments was to verify TLS method and the subsequent processing of the measured data for the practical application in the real – especially in inaccessible areas – where it proves, based on the achieved results, to be an ideal method of obtaining the needed spatial data. Achieved mean empirical errors in case of the mining premises are satisfactory for the given purpose – i.e. assumed critical values of the object deformations.

## Podziękowania

Referat ten powstał dzięki wsparciu finansowemu agencji VEGA w ramach grantu nr 1/0887/11.

## Acknowledgement

This paper was produced under the financial support of the of the grant agency VEGA in frame of the work on the grant task No. 1/0887/11.

## Literatura – References

- 1 Bitterer L. (2006): *Vyrovňavací počet. 1 vydanie.*, Žilina : Žilinská univerzita v Žiline., 59 pp. ISBN 80-8070-517-8.
- 2 Blišťan P. (2012): *Modelovanie a výpočet objemu nepravidelných telies - princípy.* In: *Egrse. - 2012 Vol. 19, no. 2 (2012), p. 13-25.* - ISSN 1803-1447
- 3 Blišťan P. (2012): *Interpolačné metódy pre modelovanie a vizualizáciu priestorových javov v prostredí GIS.* In: *Fyzikálne faktory prostredia. Roč. 2, mimoriadne č. (2012), s. 99-105.* - ISSN 1338-3922
- 4 Erdélyi J., Lipták I. (2011): *Monitoring mostného objektu technológiou TLS.* In: *47. Geodetické informační dny : Sborník přednášek. Brno, ČR, 8.-9.11.2011. – Brno, Český svaz geodetů a kartografů, 2011.* - ISBN 978-80-02-02350-0. - p. 58-63
- 5 Erdélyi J., Lipták I., Kyrinovič P., Kopáček A. (2012): *Určovanie posunov a pretvoreni železobetónových konštrukcií pomocou TLS.* In: *Geodézia, kartografia a geografické informačné systémy 2012: VII. vedecko-odborná medzinárodná konferencia, Tatranská Lomnica, SR, 24.-25.10.2012.* - Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2012. – ISBN 978-80-553-1173-9.
- 6 Gašinec J., Gašincová S. (2012): *Modelovanie deformácií rovinných plôch.* In *Geodézia, kartografia a geografické informačné systémy. Tatranská Lomnica 24. – 25. 10. 2012, Košice, TU, FBERG, ÚGKaGIS, 2012.* ISBN 978-80-553-1173-9.
- 7 Gašinec J., Gašincová S., Černota P., Staňková H. (2012): *Zastosowanie naziemnego skaningu laserowego do monitorowania logu gruntowego w Dobszyńskiej Jaskini Lodowej,* In: *Inżynieria Mineralna. Vol. 13, no. 2 (30) (2012), p. 31-42.* ISSN 1640-4920
- 8 Gašinec J., Gašincová S., Gergeľová M. (2012): *Tvorba priestorového modelu Dobšinskej ľadovej jaskyne a jeho pripojenie na JTSK03,* In: *Geodetický a kartografický obzor, Vol. 58, no. 9 (2012), p. 21-223.* ISSN 0016-7096.
- 9 Gašinec J., Gašincová S., Černota P., Staňková H.: *Možnosti použitia terestrického laserového skenovania pri dokumentovaní ľadovej výplne Dobšinskej ľadovej jaskyne a riešenie súvisiacich problémov v programovacom jazyku Python.* In *SDMG 2011: sborník referátů 18. konference: Praha, 5.-7. října 2011. Ostrava : VŠB-TU, 2011 p. 51-59.* - ISBN 978-80-248-2489-5
- 10 STN 73 0405– *Meranie posunov a pretvoreni stavebných objektov.* 1993
- 11 *Leica ScanStation C10 – technický list.* Dostupné na internete:  
[http://www.geotech.sk/downloads/Laserove-skenery-HDS/Leica\\_ScanStation\\_C10\\_Brochure\\_sk.pdf](http://www.geotech.sk/downloads/Laserove-skenery-HDS/Leica_ScanStation_C10_Brochure_sk.pdf)

## MINERAL ENGINEERING 2013 CONFERENCE

consisting of

### XVIII INTERNATIONAL CONFERENCE OF MINERAL PROCESSING

and

### XLX SYMPOSIUM PHYSICOCHEMICAL PROBLEMS OF MINERAL PROCESSING

#### Topics of interest

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analytical techniques and applied mineralogy</li> <li>• Computer applications</li> <li>• Comminution, classification and sorting</li> <li>• Froth flotation</li> <li>• Solid-liquid separation</li> <li>• Gravity concentration</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Magnetic and electric separation</li> <li>• Hydro and biohydrometallurgy</li> <li>• Extractive metallurgy</li> <li>• Recycling and mineral wastes</li> <li>• Environmental aspects of mineral processing</li> <li>• and other mineral processing related subjects.</li> </ul> |
|---|--|

#### ORGANIZERS

- Wrocław University of Technology, Institute of Mining Engineering, Laboratory of Mineral Processing
- AGH University of Science and Technology, Department of Environmental Engineering and Mineral Processing
- Silesian University of Technology, Department of Mineral Processing and Waste Utilization
- Polish Academy of Science, Committee of Mining, Section of Mineral Raw Materials Utilization

#### SCIENTIFIC COMMITTEE

- Dr Janusz Laskowski, Honorary Chairman, UBC, Vancouver, Canada
- Dr Wiesław Blaschke, Polish Acad. Sci., Krakow
- Dr Marian Brozek, AGH Univ. Sci. Tech., Krakow
- Dr Stanisław Chibowski, M. Curie University, Lublin
- Dr Tomasz Chmielewski, Wrocław Univ. Tech., Wrocław
- Dr Stanisław Cierpisz, Silesian Univ. Tech., Gliwice
- Dr Beata Cwalina, Silesian Univ. Tech., Katowice
- Dr Jan Drzymala, Wrocław Univ. Tech., Wrocław
- Dr Janusz Girczys, Częstochowa Univ. Tech., Częstochowa
- Dr Andrzej Heim, Łódź Univ. Tech., Łódź
- Dr Jan Hupka, Gdańsk Univ. Tech., Gdańsk
- Dr Teofil Jesionowski, Poznań Univ. Tech., Poznań
- Dr Andrzej Konieczny, KGHM Polska Miedz S.A., Lubin
- Dr Przemysław B. Kowalczyk, Wrocław Univ. Tech., Wrocław
- Dr Aleksander Lutynski, Silesian Univ. Tech., Gliwice
- Dr Andrzej Luszczkiewicz, Wrocław Univ. Tech., Wrocław
- Dr Kazimierz Małysa, Polish Acad. Sci., Krakow
- Dr Jolanta Marciniak-Kowalska, AGH Univ. Sci. Tech., Krakow
- Dr Maciej Mazurkiewicz, AGH Univ. Sci. Tech., Krakow
- Dr Paweł Nowak, Polish Acad. Sci., Krakow
- Dr Jerzy Sablik, Central Mining Institute, Katowice
- Dr Zygmunt Sadowski, Wrocław Univ. Tech., Wrocław
- Dr Stanisława Sanak-Rydlowska, AGH Univ. Sci. Tech., Krakow
- Dr Kazimierz Sztaba, AGH Univ. Sci. Tech., Kra-kow
- Dr Barbara Tora, AGH Univ. Sci. Tech., Krakow
- Dr Kazimierz Trybalski, AGH Univ. Sci. Tech., Krakow
- Dr Tadeusz Tumidajski, AGH Univ. Sci. Tech., Krakow

#### ORGANIZING COMMITTEE

##### Chairman

Dr Andrzej Luszczkiewicz  
Dr Jan Drzymala, Co-Chairman

##### Conference Secretary

Dr Alicja Bakalarz  
Dr Przemysław B. Kowalczyk

Official conference languages are English and Polish

#### INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

Dr Ashraf Amer, Alexandria University, Egypt  
Dr Corby Anderson, Colorado School of Mines, USA  
Dr Olof Forsen, Aalto University, Finland  
Dr Hylke J Glass, Camborne School of Mines, Un-iv. Exeter, UK  
Dr Jan Miller, University of Utah, USA  
Dr Pradip, Tata R&D Design Centre, India  
Dr Oktay Sahbaz, Dumlupınar Univ., Turkey

#### REGISTRATION

Please fill the registration form and send to:  
mec2013@pwr.wroc.pl

##### Full participation, 450 EURO

includes attendance at the 4-day technical sessions, accommodation (4 days hotel and meals), tea/coffee, gala dinner, industrial tour, 49(2) and 50(1) journals' volumes

##### Students, Accompanying person, 250 EURO

includes, accommodation (4 days hotel and meals), tea/coffee, gala dinner, industrial tour

##### Printing fee, 100 EURO

is collected when paper is printed without participation in the conference

The fees should be paid before 15 of August 2013, to the account:

**Bank: Bank Zachodni WBK, II/O Wrocław, Poland**  
**Account No. PL 37 1090 2402 0000 0006 1000 0434**

**SWIFT code: WBKPPLPP**

**Account name: Politechnika Wroclawska**

**Please add the foot-note: 486936/I-11**  
**and name of participant**