

Tomasz Waligórski

Pomiary w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie z wykorzystaniem skanowania laserowego 3D

Survey in the Bear Cave in Kletno with the use of the 3D laser scanner

1. Wstęp

Przez dwadzieścia pięć lat, od momentu otwarcia Jaskini Niedźwiedziej dla ruchu turystycznego, ok. 1,5 miliona osób przemierzyło jej wąskie korytarze, zwiedzając sale i podziwiając złożoną rzeźbę. Aby przygotować jaskinię na kolejne setki lat wizyt zwiedzających należy określić sposób pozwalający zachować ją w jak najlepszym stanie, jednocześnie umożliwiając ludziom podziwianie jej przepięknych wnętrz.

W dzisiejszych czasach nowoczesne laserowe techniki pomiarowe pozwalają na stworzenie trójwymiarowych modeli wnętrza jaskini, które określają jej reakcję na ludzką działalność. Umożliwią one kontrolę uformowania złożonej rzeźby jaskiń, a także określenie działania czynników klimatycznych. Stworzenie cyfrowego modelu pozwala na zaprojektowanie i wykonanie chodników, schodów i tras koniecznych przy udostępnieniu danej jaskini do zwiedzania. W takim modelu można mierzyć, oznakowywać, określać wszystkie wymiary stalaktytów i stalagmitów jak i innych form występujących w danej jaskini.

Skanowanie laserowe 3D oraz uzyskane w efekcie cyfrowe modele są odpowiedzią na pytanie jak najlepiej użytkować, chronić a także monitorować. Niniejsze opracowanie przedstawia kolejne etapy prac pomiarowych a także skanowania laserowego wykonanych w Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie.

1. Introduction

For about twenty five years since the moment when the Bear Cave was opened for tourists about 1.5 million people have visited its narrow corridors and rooms, admiring the Cave's elaborate shape. In order to prepare the Cave for next hundreds of years of visits there should be defined the best possible way to preserve it and at the same time to allow the visitors to admire its beautiful interiors.

At present the modern laser measurement techniques enable the creating of three-dimensional models of the Cave interiors which also demonstrate its reaction to human activity. Furthermore, they help to control the formation of the elaborate cave shape as well as measure the effect of the climatic factors. The development of a digital model enables the designing and constructing walking passages, steps and trails needed for the tourists visiting a given cave. In this model one can measure, mark and determine all dimensions of stalactites and stalagmites as well as other formations which appear in a given cave.

3D laser scanning and the resulting digital models are the response to the question of what is the best way of using, preserving and monitoring the caves. This paper presents the successive steps of the surveying as well as laser scanning conducted in the Bear Cave in Kletno.

2. Dotychczasowe prace geodezyjne oraz przegląd metod stosowanych przy tworzeniu modelu Jaskini Niedźwiedziej

W czerwcu 1983 roku pierwsi turyści zwiedzili korytarze Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie. Poprzedziły to wieloletnie prace odkrywcze i przygotowawcze, które zapoczątkowane zostały przypadkowym odkryciem jaskini przez Romana Kińczyka podczas kolejnego dnia eksploatacji kamieniołomu Kletno III [1]. To wydarzenie pociągnęło za sobą szereg badań oraz wypraw w głąb jaskini, w których swój udział mieli także geodeci.

Pierwszym efektem prac geodezyjnych w jaskini było założenie przestrzennego ciągu poligonalnego, który został pomierzony w latach 1975–1979 w ramach obozów naukowych przez studentów Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Podczas tych prac wykonano również mapy sytuacyjno-wysokościowe wnętrza jaskini, co pozwoliło na określenie położenia korytarzy, komór oraz rzeźby poszczególnych sal. Kolejnym etapem pomiarów było rejestrowanie pionowych zmian górotworu jaskini zarówno na zewnątrz, jak i w jej wnętrzu. Pomiary te wykonano w oparciu o sieć reperów niwelacji precyzyjnej założoną w lutym 1984 roku [2].

Kolejne prace geodezyjne wykonywane w Jaskini Niedźwiedziej miały na celu przedstawienie jej wnętrza przy pomocy modelu przestrzennego. Pierwszy z nich został wykonany przez Joannę Bac oraz Mirosława Kaczałkę w 1979 [3]. Model ten powstał na podstawie przekrojów pionowych jaskini płaszczyznami świetlnymi, które sfotografowano po uprzednim wyznaczeniu ich laserem.

Na podstawie tych przekrojów, w 2001 roku, Tomasz Baran w wyniku digitalizacji stworzył cyfrowy model przedstawiający wnętrza Jaskini Niedźwiedziej w postaci tuneli i korytarzy z ich wklęsłościami i wypukłościami [4]. Następną próbę stworzenia modelu podjął Maciej Puchała, który w swojej pracy magisterskiej do wykonania modelu wykorzystał pomiar tachymetryczny. Pomierzył on siatkę punktów rozmieszczonych w poziomych pasach od 5 do 40 cm w zależności od rzeźby Jaskini Niedźwiedziej [5].

Kolejny model przedstawiający fragment Sali Pałacowej w Jaskini Niedźwiedziej powstał przy użyciu metod fotogrametrycznych. Wykonał go Grzegorz Sztonyk, który w 2005 roku sfotografował wnętrza jaskini, a następnie pomierzył geodezyjnie zamarkowane wcześniej fotopunkty. Pozwoliło to na wpasowanie i orientację wykonanych zdjęć, a także dowiązanie do istniejącej osnowy i wyskalowanie powstałego modelu. Niestety zbyt złożona budowa rzeźby wnętrza Jaskini Niedźwie-

2. The surveys conducted so far and the review of the methods used in the development of the Bear Cave model

The first tourists visited the corridors of the Bear Cave in Kletno in June 1983. It was preceded by many years of exploration and preparation which started when the Cave was accidentally discovered by Roman Kińczyk during the regular exploration of Kletno III Quarry [1]. This event triggered a number of surveys and exploratory missions into the depth of the Cave in which geodesists also participated.

The first effect of the geodetic works in the Cave was the assumption of the spatial polygonal traverse which was measured in the years 1975–1979 during the scientific field research by the students of the Agricultural University of Wrocław. During those works the planimetric and contour maps of the Cave interiors were also developed, which enabled the locating of the corridors, chambers and the determining of the shape of individual rooms. Another stage of the measurements was the registration of vertical changes in the rock body of the Cave both outside and inside. The measurements were conducted on the basis of the network of the precise leveling benchmarks developed in February 1984 [2].

The objective of the next geodetic works conducted in the Bear Cave was to present its interior with the use of a 3D model. The first of them was made by Joanna Bac and Mirosław Kaczałek in 1979 [3]. Their model was developed on the basis of the vertical cross sections of the Cave along the light planes which had been photographed after marking with the laser.

In 2001, Tomasz Baran, on the basis of these cross sections digitalization developed a digital model presenting the interiors of the Bear Cave in the form of tunnels and corridors with its visible concavities and convexities [4]. The next attempt was made by Maciej Puchała who, in his master's thesis, used the tachymetric measurements in order to develop the model. He measured the network of points distributed in horizontal 5 to 40 cm wide bands, depending on the shape of the Bear Cave [5].

The next model presenting a fragment of the Palace Room in the Bear Cave was developed with the use of photogrammetric methods. It was developed by Grzegorz Sztonyk, who in 2005 photographed the interiors of the Cave and then geodetically measured the control points marked earlier. This enabled him to locate and orient the pictures, as well as attach them to the existing network and scale the developed model. Unfortunately because of the highly complex structure of the interiors of

dziej oraz liczne inne czynniki utrudniły opracowanie i utworzenie kompletnego modelu fragmentu Sali Pałacowej [6].

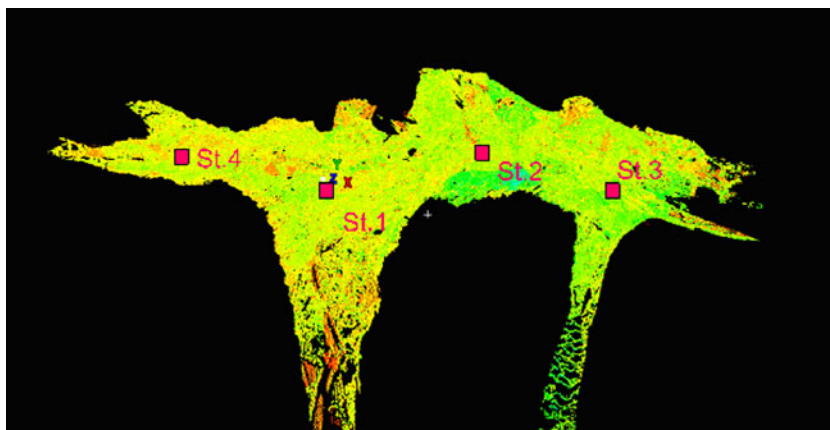
3. Skaner laserowy w Jaskini Niedźwiedziej

W lipcu 2008 roku, w ramach pracy magisterskiej, autor wykonał kolejne pomiary wewnątrz Jaskini Niedźwiedziej [7]. Dzięki uprzejmości dr inż. Jaceka Kościuka z Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D, który udostępnił skaner laserowy Leica HDS 3000, w ciągu 24 godzin zebrano informacje z 4 stanowisk pomiarowych, na którą składa się ponad 76 milionów punktów określonych poprzez współrzędne (X, Y, Z) a także wartość RGB pobraną przez kamerę wbudowaną wewnątrz skanera.

the Bear Cave and other numerous factors it was difficult to prepare and develop a complete model of the fragment of the Palace Room [6].

3. The laser scanning in the Bear Cave

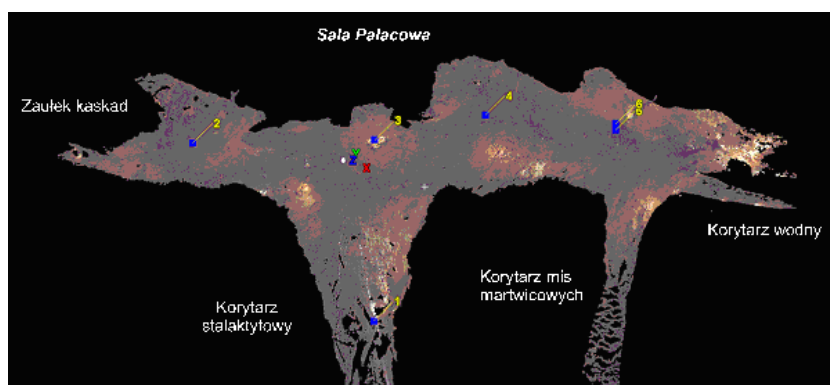
In July 2008, as part of my master's thesis, I conducted the next measurements of the interiors of the Bear Cave [7]. Thanks to the courtesy of Jacek Kościuk, Eng.D. from the 3D Scanning and Modeling Laboratory, who made the Leica HDS 3000 laser scanner available, it was possible within 24 hours lasting session, to collect information from four scan stations including over 76 million points with known X, Y, Z coordinates as well as their RGB value which has been acquired the internal camera of the scanner.



Rys. 1. Rozmieszczenie stanowisk skanera i chmura punktów
Fig. 1. Scan stations positions and 3D point cloud

Pomiar mający na celu zeskanowanie wnętrza Sali Pałacowej rozpoczął się od rozstawienia tarcz HDS, które w dalszym procesie opracowania pozwoliły na połączenie chmur punktów uzyskanych z poszczególnych stanowisk. Sześć tarcz celowniczych zostało rozstawionych na całej powierzchni Sali Pałacowej, a następnie określono ich położenie.

The survey whose purpose was to scan the interior of the Palace Room began by positioning the HDS targets which in further processing enabled the connection of the point clouds acquired from subsequent scan stations. Six targets were positioned on the whole surface of the Palace Room and then their locations were determined.



Rys. 2. Rozmieszczenie tarcz celowniczych HDS i chmura punktów
Fig. 2. Targets positions and 3D point cloud

Początkowo zaplanowano, iż układ współrzędnych całego projektu będzie zgodny z ciągiem poligonowym założonym w latach 1975-1979. W ten sposób tworzony model zostałby wpasowany w lokalny układ jaskini. Niestety w związku z niedawnymi pracami wykonanymi w Jaskini Niedźwiedziej (udostępnienie jej osobom niepełnosprawnym, poruszającym się na wózkach inwalidzkich), zostały zniszczone punkty wyżej wspomnianego ciągu. Nie pozwoliło to na wyznaczenie pozycji tarcz we wspomnianym układzie. Ze względu na powyższe utrudnienie, wyznaczenie pozycji tarcz zostało wykonane w lokalnym układzie współrzędnych. Obliczone współrzędne zostały zestawione w tabeli 1.

It was originally planned that the coordinates system of this project will be related to the spatial polygonal traverse which was measured in the years 1975–1979. This way the model being developed would fit the local coordinates system of the Cave. Unfortunately, as a result of recent works conducted in the Bear Cave (making it accessible for the disabled persons in wheelchairs), the mentioned earlier reference points in the passage were destroyed and consequently it was impossible to calculate the positions of the targets in the system of Cave coordinates. Due to that difficulty, the positions of the targets were calculated in the local coordinate system. Table 1 shows the calculated results.

Tab. 1. Zestawienie współrzędnych tarcz celowniczych HDS
List of coordinate targets HDS

Numer tarczy HDS HDS target number	X	Y	H
1	1013.87	1000.00	100.000
2	994.51	1011.11	100.918
3	997.62	995.91	100.058
4	997.52	986.16	99.712
5	1001.12	975.64	98.717
6	1001.12	975.63	100.168

Określenie pozycji dokładnej tarcz HDS pozwoliło na połączenie w procesie rejestracji chmur punktów zarejestrowanych poszczególnych stanowiskach do wspólnego układu współrzędnych. W wykonanym połączeniu chmur punktów, przedstawiających wnętrza Sali Pałacowej, wartości błędów wpasowania tarcz pomiędzy kolejnymi stanowiskami nie przekraczały 2 mm, co świadczy o bardzo dużej dokładności wykonanych pomiarów. Rysunek 3 przedstawia szczegółowe zestawienie błędów na poszczególnych tarczach.

Known coordinates of HDS targets enabled the so called registration process – connecting all point clouds acquired from several scan stations into common coordinates system. The registered point cloud, representing the interiors of the Palace Room, show values of the target registration errors and vector errors between the individual stations as not exceeding 2 mm, which testifies to a very high accuracy the survey. Figure 3 shows a detailed list of errors in specific targets.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
TargetID: 3	stanowisko 1 (...)	stanowisko 2 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, 0.001) m
TargetID: 4	stanowisko 1 (...)	stanowisko 2 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, 0.000, 0.000) m
TargetID: 6	stanowisko 1 (...)	stanowisko 2 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 5	stanowisko 1 (...)	stanowisko 2 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 3	stanowisko 1 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, 0.001) m
TargetID: 4	stanowisko 1 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 6	stanowisko 1 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m	(-0.002, 0.000, -0.001) m
TargetID: 5	stanowisko 1 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, 0.000) m
TargetID: 3	stanowisko 1 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, -0.001, 0.000) m
TargetID: 6	stanowisko 1 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 5	stanowisko 1 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 2	stanowisko 1 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.001, 0.001, -0.001) m
TargetID: 5	stanowisko 2 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, 0.000) m
TargetID: 6	stanowisko 2 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m	(-0.001, 0.000, -0.001) m
TargetID: 4	stanowisko 2 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.001, 0.000, 0.000) m
TargetID: 3	stanowisko 2 (...)	stanowisko 3 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 5	stanowisko 2 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 6	stanowisko 2 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(0.000, 0.000, 0.000) m
TargetID: 3	stanowisko 2 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, -0.001, 0.000) m
TargetID: 6	stanowisko 3 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.002 m	(0.002, 0.001, 0.001) m
TargetID: 3	stanowisko 3 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, -0.001, -0.001) m
TargetID: 5	stanowisko 3 (...)	stanowisko 4 (...)	Coincident: Vertex-Vertex	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, 0.000, 0.000) m

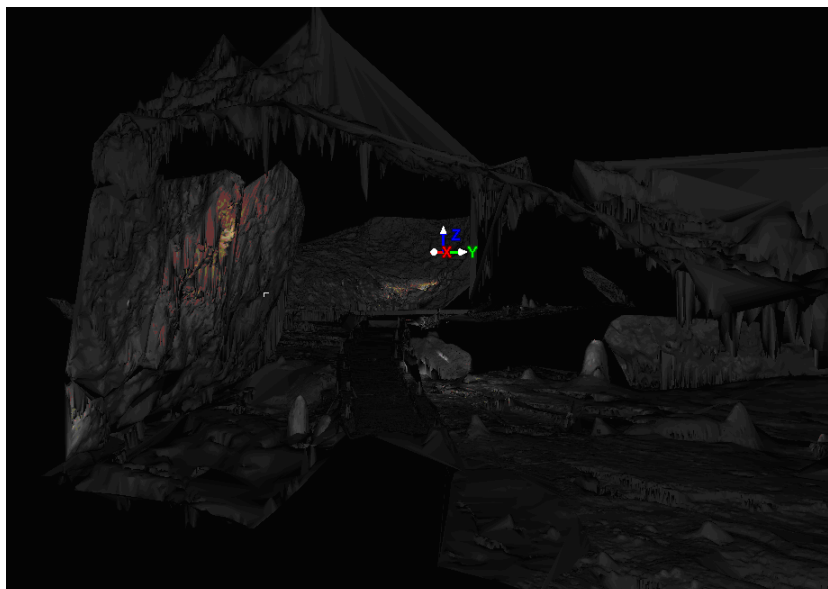
Rys. 3. Zestawienie wartości błędów wpasowania tarcz HDS
Fig. 3. List of HDS target registration errors and vector errors

Przy pomiarze Jaskini Niedźwiedziej najczęściej zastosowano gęstość skanowania 3 mm w pionie i 5 mm w poziomie. Dobór gęstości skanowania był uzależniony przede wszystkim od struktury i budowy danego fragmentu Sali Pałacowej. W miejscach, gdzie budowa ściany była bardzo skomplikowana, stosowano maksymalną rozdzielczość (1,2 x 1,2 mm), co pozwala na bardziej wierną reprezentację danego fragmentu. W przypadku skanowania płaskich obszarów, których struktura była mniej złożona, zastosowano rozdzielczości na poziomie 5 mm w pionie i poziomie.

Wykonane skanowanie pozwoliło autorowi na stworzenie fragmentu modelu przestrzennego wnętrza Jaskini Niedźwiedziej, a także dają możliwość dalszych prac – generowania przekrojów poprzecznych i podłużnych, powlekania chmury punktów zdjęciami z zewnętrznego aparatu cyfrowego itp.

When surveying the Bear Cave the most often used scanning density was that of 3 mm vertically and 5 mm horizontally. The choice of scanning density was determined mainly by the texture and structure of the specific fragment of the Palace Room. In places where the structure of the walls was very complicated the maximum density was applied (1.2 x 1.2 mm), which provides a more precise representation of the given fragment. In the case of scanning more flat surfaces, whose structure was less complex, the density of 5 mm vertically and horizontally was applied.

The conducted scanning survey enabled author to develop a fragment of the 3D model of the Bear Cave interiors. They also enable further works – the development of the cross and longitudinal sections, covering the point cloud with pictures from external camera, etc.



Rys. 4. Przestrzenny model fragmentu Jaskini Niedźwiedziej
Fig. 4. 3D model of Bear Cave fragment

4. Kontynuacja prac w roku 2009

Dotychczasowe rezultaty pomiarów z wykorzystaniem skanera laserowego wykonane w Jaskini Niedźwiedziej wpłynęły na decyzję o kolejnych pracach mających na celu zobrazowanie dalszej części Jaskini Niedźwiedziej i połączenie ich z istniejącymi już danymi. Prace te uzyskały także życzliwe poparcie Dyrekcji Jaskini Niedźwiedziej.

Dzięki współpracy pomiędzy Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D przy Instytucie Historii Architektury Sztuki i Techniki na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej, Instytutem Geodezji i Geoinformatyki na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, a także Leica

4. Continuation of the project in 2009

The results of the measurements achieved so far with the use of laser scanning in the Bear Cave influenced the decision to continue the works in order to document further sections of the Bear Cave and to connect them with the already existing data. The works have been also appreciated and supported by the Management of the Bear Cave.

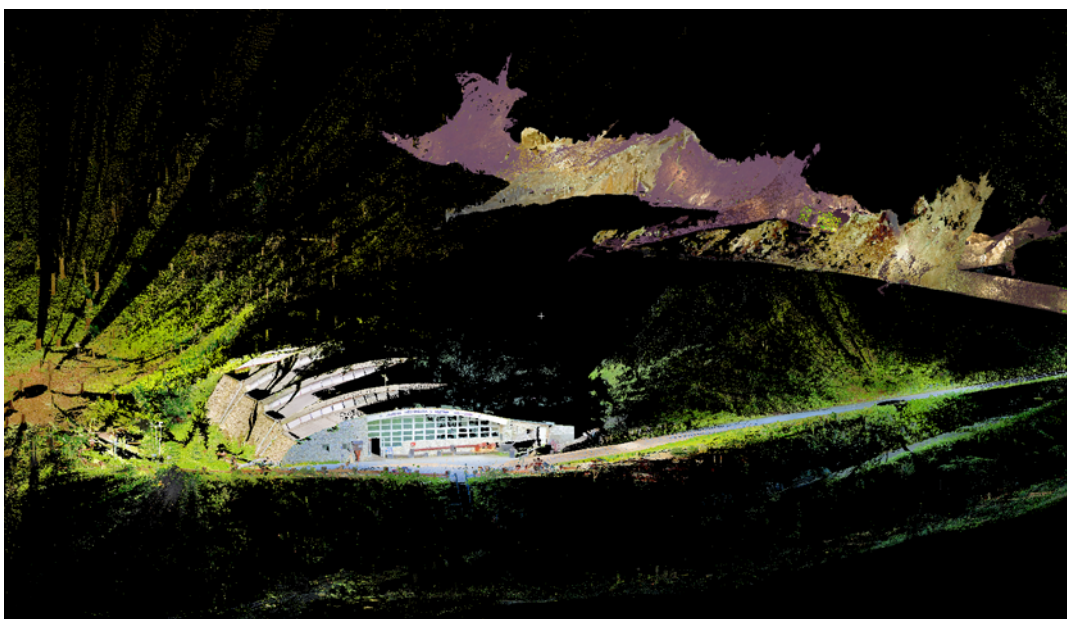
Due to the cooperation between the 3D Scanning and Modeling Laboratory at the Institute of History of Architecture, Art and Technology of the Faculty of Architecture at Wrocław University of Technology, as well as the Institute of Geodesy and Geoinformatics at the Faculty of Environmental Engineering and Geodesy at Wrocław University of Environmental and

Geosystems Polska, która uczestniczyła w pomiarach z drugi skanerem laserowym, w pierwszych dniach lipca 2009 roku udało się pomierzyć kolejne fragmenty korytarzy jaskini.

W ciągu 24 godzin z 17 stanowisk zeskanowano elewację zewnętrzną pawilonu wejściowego na tle zbocza góry Stromej, wyjście z jaskini wraz z otaczającym go terenem, sztolnię wyjściową, a także Korytarz Wodny prowadzący do Sali Pałacowej. Dodatkowa wizyta w początkach sierpnia 2009 pozwoliła uzupełnić te dane o dokumentację zbocza góry Stromej. W ten sposób wykonany w 2008 roku pomiar został wzbogacony o duży obszar otaczającego terenu oraz następne fragmenty wnętrza jaskini, co pozwala na przedstawienie jej usytuowania przestrzennego.

Life Sciences and also Leica Geosystems Poland which joined project with another laser scanner, it was possible in the first days of July 2009 to scan next fragments of the Cave corridors.

During scanning session lasting 24 hours, the external facade of the entrance hall together with slopes of Stroma Mountain, the Cave entrance with its surrounding area, as well as the exit tunnel and the Water Corridor leading to the Palace Room were scanned from 17 scanning stations. During the additional visit at the beginning of August 2009 these data were completed with survey of Stroma Mountain slopes. This way the measurement conducted in 2008 was supplemented with a large part of surrounding area and further sections of the Cave, which enables the presentation of its spatial orientation.



Rys. 5. Fragment Jaskini Niedźwiedziej wraz z pawilonem wejściowym – chmura punktów
Fig. 5. Fragment of Bear Cave together with entrance hall – 3D point cloud

5. Wstępne opracowanie wyników

Jednym z wyników skanowania Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie, jest powstający przestrzenny model przedstawiający jej wnętrza. Pierwsze fragmenty tego modelu przedstawia rysunek 6, na którym można zaobserwować bardzo wiernie odwzorowaną strukturę ścian Sali Pałacowej.

Na podstawie powstałego przestrzennego modelu stworzono linie przekrojowe poziome i pionowe. Na rysunku 7 przedstawione zostały przekroje w dwóch płaszczyznach wygenerowane w odstępach 20 cm.

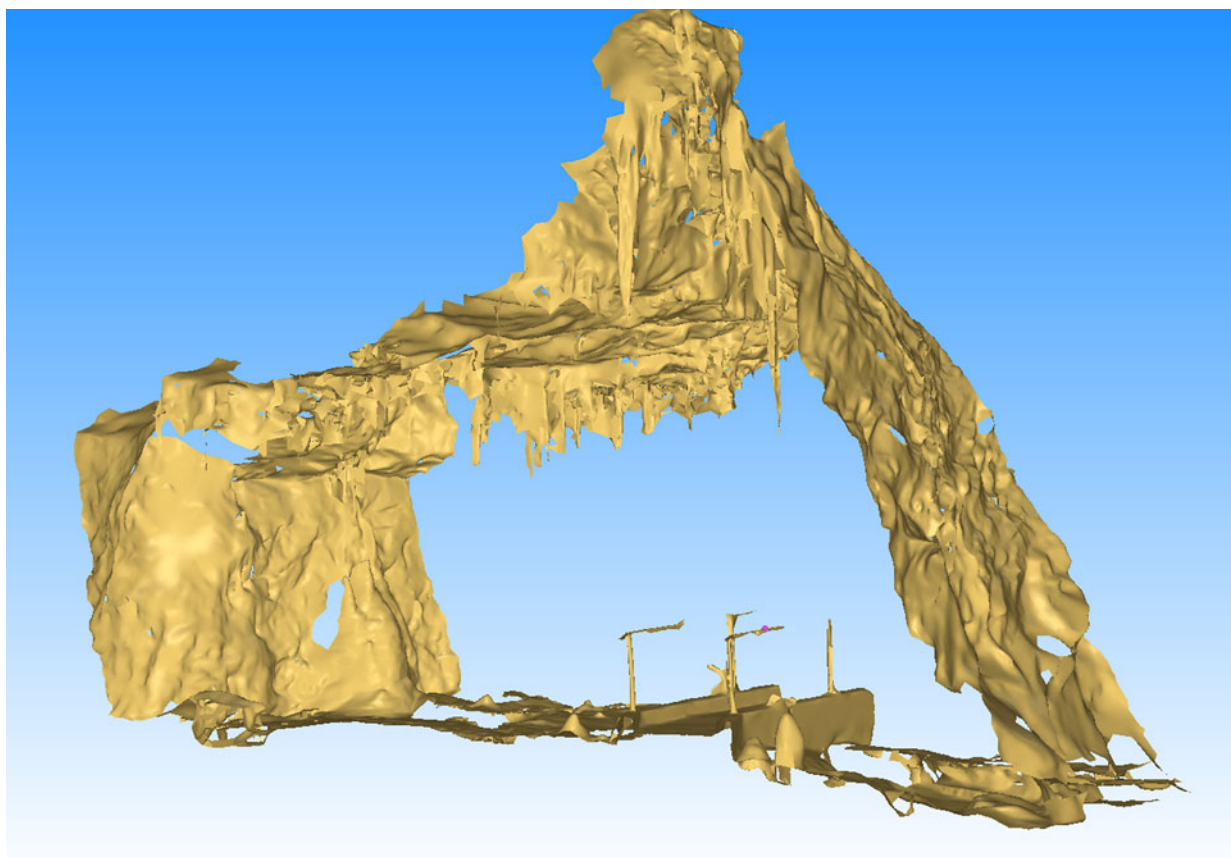
Ponieważ cały system korytarzy Jaskini Niedźwiedziej liczy ponad 3,5 km, w tym znaczna część dostępna dla skanera, to w kolejnych sezonach planowana jest kontynuacja prac mających na celu rejestrację całości wnętrza jaskini, a także otaczającego ją terenu.

5. Preliminary evaluation of the results

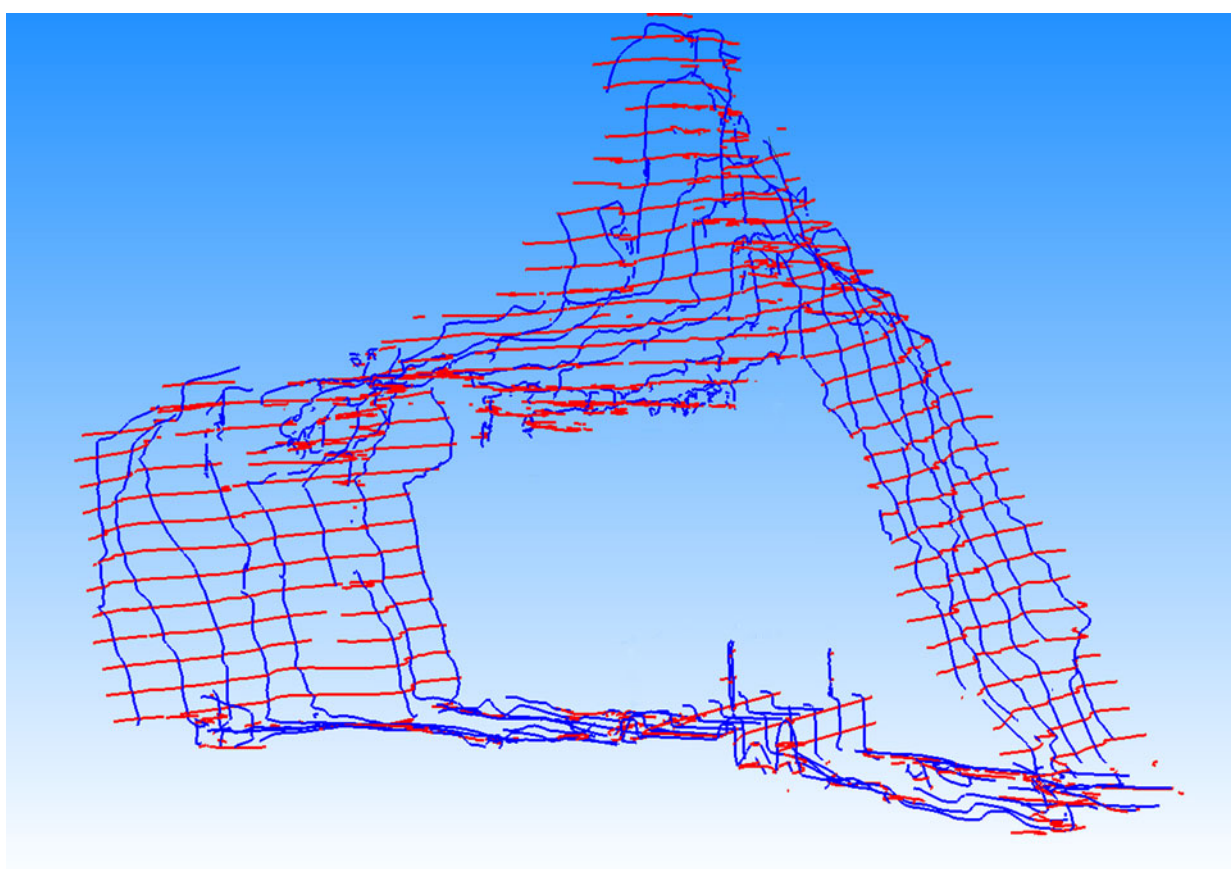
One of the results of the scanning of the Bear Cave in Kletno is the 3D model of its interiors. The first fragments of this model are presented in figure 6 where one can see a very precise representation of the texture of the Palace Room walls.

The spatial model which was developed was the basis of the horizontal and vertical cross section lines. Figure 7 shows the cross sections in two planes generated every 20 cm.

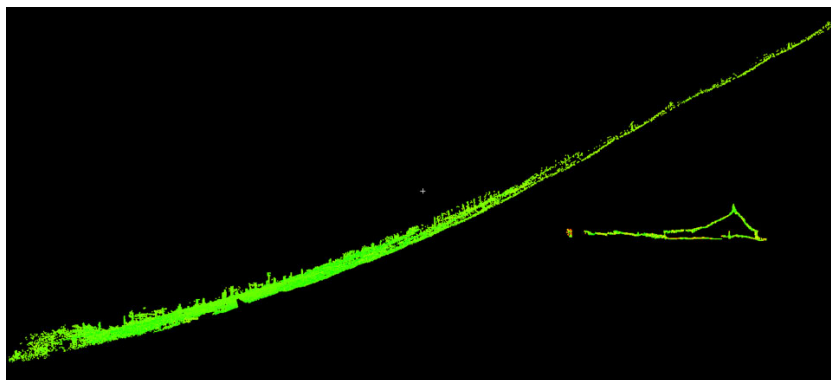
Due to the fact that the whole system of corridors in the Bear Cave, whose huge part is accessible for the scanner, is over 3.5 km long the continuation of the works aimed at recording the whole interior of the Cave as well as its surrounding area is planned in the next seasons.



Rys. 6. Fragment modelu siatkowego przedstawiający wnętrza Jaskini Niedźwiedziej
Fig. 6. Fragment of the Bear Cave interior meshed model



Rys. 7. Linie przekrojowe w płaszczyźnie pionowej i poziomej
Fig. 7. Vertical and horizontal section lines



Rys. 8. Przekrój przez Jaskinię Niedźwiedzią i zbocza góry Stromej
 Fig. 8. The cross section of the Bear Cave and the slopes of Stroma Mountain

Literatura • References

- [1] Ciężkowski Wojciech, *Jaskinia Niedźwiedzia w Kletnie. 40 lat eksploracji, badań, ochrony i turystyki*, Wrocław-Kletno 2006.
- [2] *Badanie przemieszczeń masywu Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie*, Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu.
- [3] Bac-Bronowicz Joanna, Kaczałek Mirosław, *Fotogrametryczne określenie kształtu jaskiń na przykładzie Jaskini Niedźwiedziej w Kletnie*, praca magisterska, Wrocław 1979.
- [4] Baran Tomasz, *Cyfrowy Przestrzenny Model Jaskini*, praca magisterska, Wrocław 2001.
- [5] Puchała Maciej, *Budowa cyfrowego modelu jaskini na podstawie pomiarów geodezyjnych*, praca magisterska, Wrocław 2003.
- [6] Sztonyk Grzegorz, *Budowa cyfrowego modelu jaskini na podstawie pomiarów fotogrametrycznych*, praca magisterska, Wrocław 2005.

*Laboratorium Skanowania i Modelowania 3D, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska

Laboratorium zorganizowane zostało przy Instytucie Historii Architektury, Sztuki i Techniki na Wydziale Architektury w ramach działania SPO WKP 1/1.4.2/2/2005/87/168/464

*Laboratory of 3D Scanning and Modeling, Wrocław University of Technology, Wrocław, Poland

The Laboratory was organized at the Institute of History of Architecture, Arts and Technology at Faculty of Architecture (project SPO WKP 1/1.4.2/2/2005/87/168/464)

Streszczenie

Jaskinia Niedźwiedzia, odkryta w 1966 roku, jest najdłuższą i jedną z najpiękniejszych jaskiń w Sudetach. Przez ponad 40 lat eksploracji i badań nie została ona w całości poznana. Niniejsza praca przedstawia opis pomiarów geodezyjnych i innych prac wykonanych w Jaskini Niedźwiedziej. Pomiarów rozpoczęto w 1975 roku poprzez założenie przestrzennego ciągu poligonowego a następnie sieci reperów niwelacji. Kolejnym krokiem była próba zbudowania trójwymiarowych modeli Jaskini Niedźwiedziej z wykorzystaniem różnych metod geodezyjnych (również opisanych w niniejszym artykule). Wykorzystanie skanera laserowego 3D, którego pierwszy raz użyto w lipcu 2008 roku, umożliwiło zbudowanie modelu 3D fragmentu Sali Pałacowej w Jaskini Niedźwiedziej. Prace kontynuowano w roku 2009 w innych częściach jaskini, dzięki czemu model ten został ulepszony. Zebrane dane są cały czas analizowane, a w przyszłości planowane są dalsze pomiary Jaskini Niedźwiedziej (z wykorzystaniem skanera laserowego 3D).

Abstract

The Bear Cave, discovered in 1966, is the longest and one of the most beautiful caves in the Sudety Mountains. For over 40 years of exploration and measurements its whole structure has not been entirely exposed. This paper presents the description of the geodetic measurements and other works conducted in the Bear Cave. The measurements started in 1975 by the creation of polygonal traverses in corridors and leveling. Next step included the attempts at creating three-dimensional models of the Bear Cave using different geodetic methods (described in the article too.) The 3D laser scanner was used for the first time in July 2008 and it enabled the creation of a 3D model of Palace Room's fragment in the Bear Cave. The works continued in 2009 in other parts of the Cave. In this way the 3D model was improved. The collected data are still being processed and in the future the measurements (3D scanning) of the Bear Cave are also planned.