

В. Середович, І. Камнев

**АНАЛІЗ ТРИВИМІРНОЇ ВЕКТОРНОЇ МОДЕЛІ ФАСАДУ,  
СТВОРЕНОЇ ЗА ФОТОГРАММЕТРИЧНИМИ ДАННИМИ**

*У представленій роботі наведено результати аналізу точності тривимірної векторної моделі фасаду будівлі, отриманої за матеріалами фотограмметричного знімання. Проведений аналіз базувався на аналітичному порівнянні тривимірних векторних моделей фасаду будівлі, створених за матеріалами фотограмметричного знімання цифровою неметричною камерою та наземного лазерного сканування. Фотограмметричну модель фасаду створено в автоматичному режимі. Для виконання аналізу тривимірна модель, створена за даними наземного лазерного сканування, була прийнята за вихідну, тобто таку, для якої похибками координат точок можна знехтувати. Під час дослідження фотограмметричну модель накладено на вихідну модель, після чого було виміряне відхилення між характерними точками на фасаді будівлі. Виконано оцінювання точності фотограмметричної моделі, створеної цифровою неметричною камерою. Проведений аналіз дав змогу встановити також місця і характерні ділянки фасаду, які моделюються найгірше на фотограмметричній моделі під час використання автоматичного методу створення тривимірної моделі. Виявлені недоліки фотограмметричної моделі викликані переважно значними кутами нахилу фотознімків і виникненням внаслідок цього «мертвих зон». Для подолання цієї проблеми рекомендується доповнювати матеріали наземного фотограмметричного знімання матеріалами фотознімання з безпілотних літальних апаратів.*

**Ключові слова:** наземне лазерне сканування, наземна фотограмметрія, оцінка точності, неметричні цифрові камери, тривимірна модель.

Надійшла до редакції

13.02.2018

UDC 517

**K. Vach, PhD,***EuroGV s.r.o. – geodetic and photogrammetric surveys***APPLICATION OF 3D TECHNOLOGY FOR MODELLING  
OF ARCHITECTURAL MONUMENTS IN THE CZECH REPUBLIC**

*The paper is devoted to consideration the questions of 3D technology application for modelling of architectural monuments in the Czech Republic. 3D in case of conservation of historical and cultural monuments means the processing of measured data with the required contents in the local system of coordinates and in a chosen scale. According the results obtained it is necessary to determine the requirements for measuring accuracy. The main goal of our research is early detection of errors in 3D images of actual building behavior and their exception, as well as introduction of new*

*technologies into existing processes and implementation of new technologies into GIS. The methodology for documenting the actual object behavior in 3D is defined and outlined in the paper. As an example of a system for documentation and monitoring of cultural heritage objects, the paper considers a database created in the Czech Republic.*

**Key words:** *accuracy, details in documenting the architectural monuments, methodology, actual object behavior in 3D, photogrammetric survey.*

**INTRODUCTION.** Beginning from our activity in 1992 and till nowadays we are engaged in the development of technologies for documenting the actual behavior of buildings using geodetic and photogrammetric techniques both indoors and outdoors. The main goal of our research is early detection of errors in 3D images of actual building behavior and their exception, as well as introduction of new technologies into existing processes and implementation of new technologies into gis. This will allow those who use buildings to provide their integrity.

Based on our long-term experience we have revealed that 3D images of building surfaces obtained as a result of photogrammetric measurements make easier to control the indoor-and-outdoor geodetic measurements, to increase the accuracy, and to allow efficient computer drawing of facades, horizontal and vertical sections through buildings, and 3D objects drawing [2; 3]. All measurements are performed at a scale of 1: 100-1: 50.

When measuring complex interiors, such as churches, a spatial photogrammetric base, that is a 3D digital model created by photogrammetric data, was the best for accurate documenting the actual behaviour of buildings, including details, at scales 1: 5, 1: 10.

3D survey point coordinates in a single unified object coordinate system measured photogrammetrically are used for precise evaluation and outlining composite details of construction, interiors, integration of correlation photogrammetric systems (Semi-Global Matching) or laser scanning data. The importance of using these technologies is most clearly illustrated by examples of complex attics, rafters, arches, historic walls and bridges, etc.

**The requirements of the departments for conservation of historical and cultural heritage.** The main and legal requirement of these departments is the availability of documented data that correspond to the reality. What concerns ‘accuracy’ they mean a description, reliability and detailed digital documentation. Based on the required image details, subsequent requests are made for the measuring accuracy. As there are no standards for the accuracy, they are not mentioned in laws, and even in regulations. Such situation causes major obstacles to use the corporate technologies.

**Why our monument conservation documentation are needed for professionals (architects and restorers)?**

- To provide initial data for building inventory and management;
- To provides a basis for design works and subsequent executive reconstruction of objects;
- For restoration works (building behaviour before and after reconstruction);

- To determine the precise areas of facades, interiors laying according to plaster types and complete inventory of facades and interiors, including details of windows, the throne, painting, statues, arches, etc. at scale 1: 10;
- To offer the color changes of facades and interiors;
- For urban purposes: documentating street blocks, urban complexes (agglomeration) using geodetic observations and laser scanning data, terrestrial and UAV imagery data, aerial and panoramic aerial photographs, as well as for combining measuring data with cadastral and historical maps, drawing the design changes in 3D or phototgraphs;
- For a wide variety of computer presentations and visualizations;
- Special problem solving related to the reconstruction of historic structure sizes and forms or their details and historical objects according to existing photographs or restoration works;
- 3D virtual reality.

#### **What information products are required for architects, restorers, and designers?**

- Digital and paper drawings (horisontal plans, sections, and facade drawings) supplemented with photo catalogs on the actual behaviour of buildings and photogrammetric data (photographic plans, airphoto mosaics, orthophoto plans, and orthophoto maps);
- 3D DEM, planimetry related to the cadastre;
- 3D models based on surveys or created using point clouds or combined 3D models;
- Simple digital panoramic aerial photographs or 3D panoramic models;
- Information databases of measured objects and their integration into information systems.

When we talk about using 3D for the conservation of historical and cultural monuments, we mean *measured data processing with the required content in a local coordinate system, in a chosen scale, on the basis of which it is necessary to define requirements for the measuring accuracy*. The final measurements are refered to the required or reference coordinate system S-JTSK, Bpv, or WGS 84.

#### **CONSERVATION OF HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE**

The concept “conservation of monuments” and the whole process of its organization are regulated in the “National Historical and Cultural Heritage Conservation Act”.

The following government agencies are responsible for the national conservation of historical and cultural heritage (monuments):

- Ministry of Culture of the Czech Republic.
- 13 provincial authorities.
- 205 municipalities with broader powers.
- National Heritage Institute (Národní Památkový Ústav - NPÚ):
- NPÚ is a professional research organization (NPÚ) for the national conservation of historical and cultural heritage, which exists throughout the Czech Republic.

➤ NPÚ is responsible for maintaining the central register of cultural heritage sites that considered as the ancient monuments of the Czech Republic (hereinafter referred to as the “Central Register”).

The cultural monuments, national cultural heritage, repository of culture, sites of culture, protective zones of immovable national cultural heritage, immovable national cultural sites are registered in the Central Register. When the data are entered into the central register, the NPU passes this information to the relevant cadastral agency and they are fixed in the Cadastral Register according to cadastral law.

Here is on Fig. 1 a link to the Central Registry’s web-site: <http://monumnet.npu.cz/monumnet.php> [1].

The screenshot shows the MonumNet website interface. At the top, there is a navigation bar with the MonumNet logo, the text 'Světové dědictví, NKP, chráněná území', and search options 'Zpět Hledání' and 'Intranet (PIN): OK'. Below this, there are links for 'pro tisk: stránka celý výběr' and 'do Excelu: stránka celý výběr'. The main content area is titled 'Pražský kraj, Pražský hrad' and contains a table with the following data:

Č.rejst.	Kód	Typ chráněného území	Okres	Název	Od roku	Id
101	NP	Národní kulturní památky	Praha hl.m.	Pražský hrad	1962	84031

Below the table, there is a detailed view for the selected monument. It includes fields for 'Typ: NP : Národní kulturní památky', 'Název: Pražský hrad', 'Okres: Praha hl.m.', 'Od roku: 1962', and 'Do roku:'. The 'Charakteristika' section contains a detailed description in Czech. Below this is the 'Rozhodnutí' section with a table:

Id.č.	Název rozhodnutí	Rok	Obsah
1962701	Usnesení vlády ČSR č. 251/62 ze dne 30.3.1962	1962	
1999147	Nařízení vlády č. 147/1999 Sb. ze dne 16. června 1999 o prohlášení a zrušení prohlášení některých kulturních památek za národní kulturní památky	1999	text

At the bottom, there is a 'Památky' section with a table listing individual monuments:

Číslo rejstříku	Název okresu	Sídlní útvar	Část obce	čp.	Památky	Ulice,nám./umístění	Č.or.	HZ	R.F	IdReg
11719 / 1-922	Praha hl.m.	Praha	Hradčany	čp.1	Pražský hrad	Praha 1				151651

Fig. 1. Main menu of Central Registry web page

Obligations imposed on building owners and some new changes in the cadastre after implementing the "New Civil Code" dated 01/01/2014 are as follows:

Property owners should hold the documentation on the true object state (actual behaviour of buildings) in the form of complete drawing documentation of buildings or a simplified documentation in the form of a building certificate. This is necessary in the case of the acceptance of the building or a part of it. The information on buildings is included into the Cadastre Register according to the information from the Address Register (RÚIAN), which is managed by the municipality’s construction agencies. Principal registers are in the administration of the Czech Republic and they are legally protected by the Act on the principal registries of the country.

### DOCUMENTING METHODOLOGY FOR THE ACTUAL BEHAVIOUR OF OBJECTS IN 3D.

Based on the above mentioned, a general methodology for documenting the actual behaviour of objects in 3D was compiled.

First of all, the requirements demanded by restorers and architects for the image scale as well as the smallest detail size that needed to be displayed in 3D are defined.

Thereafter, the requirements for the control point accuracy are determined for a given scale and only then a geodetic network can be planned in accordance with these requirements for accuracy, and technologies for measurements or for detailed surveying can be chosen.

A work execution sequence:

a) Creation of a geodetic network

b) Basic geodetic surveys:

- Poligonometry
- Intersections and resections
- Drawing vertical lines, elevation plan
- Technical levelling
- Referencing the local geodetic network to the geodetic control network (GPS measurements)

c) Detailed survey (surveying of bearing supports, supporting structures, door and window apertures, staircases, roof framings, lift shafts and paving lights, roofs, facades):

- Polar method is used for determination of 3D survey point coordinates,
- Building measures (linear),
- Observations at the control geodetic points for the purposes of photogrammetry and laser scanning,
- Photogrammetric survey (terrestrial from tower cranes, unmanned aerial systems (UAV)) to get aerial photographs used further for measurements,
- Laser scanning (laser scanners, hand scanners, airborne laser scanning) and use of laser scanning data to get point clouds and images,
- The use of special devices (for example, 3D drawing digital pencils, plaster forms, etc.).

d) Geodetic and photogrammetric calculations:

- Calculation of the preliminary coordinates of geodetic control network points,
- Adjustment of geodetic networks,
- Calculation of geodetic control point coordinates and coordinates of detailed survey points:

➤ photogrammetric orientation and detailed survey

- Correlation photogrammetry (Semi-Global Matching) for automatic detection of identical points between air photo pairs or an imagery block based on the image correlation, photogrammetric orientation and the creation of point clouds. Orientation of individual scans, input of a point cloud from laser scanning into a coordinate system.

e) Design of digital drawings (horizontal plans, sectional drawings, and facade drawings) for image scales 1: 5,000-1: 500, 1: 200, 1: 100, 1: 50, 1: 20, 1:10, 1: 5

f) 3D model creation:

- 3D linear graphics, surface plotting using the systems that allow drawing on existing plans and sections in 3D,
- Modelling of 3D DEM,

- Processing of point clouds: editing (clearing), joining, face recognition, replacing a point cloud by 3D planes or 3D objects (a cube, a rectangular parallelepiped, a ball) or objects from the digital database directories, etc.,
  - Texture input - unvarnished or in accordance with the client requirements.
- g) Graphical and computer presentation of results
- i) Design of information databases for measured objects
- j) Data input into GIS
- l) Representation of the results of the actual object state in 3D:
- 3D object viewing , 3D animations,
  - Virtual reality - the advertising industry - motion pictures in 3D, in historic buildings and historical territories, computer games,
  - Virtual viewing of historical objects in 3D,
  - Evacuation plans and crisis and emergency management,
  - Technological solutions and production management - industrial, energy, chemical systems, etc.

**CONCLUSIONS.** First of all, the 3D technology for modelling of architectural monuments in the Czech Republic was considered. At the next step the concept of early detection of errors in 3D images of actual building behavior and their exception, as well as introduction of new technologies into existing processes and implementation of new technologies into GIS were presented. The methodology for documenting the actual object behavior in 3D was defined and outlined. As an example of a system for documentation and monitoring of cultural heritage objects the database created in the Czech republic was presented.

#### REFERENCES

1. . Národní památkový ústav. Památkový katalog. Retrieved from <http://monumnet.npu.cz/monumnet.php>.
2. Shults R., Krelshtein P., Kravchenko J., Rogoza, O., Kyselov O. (2017). Low-Cost Photogrammetry for Culture Heritage, 10th International Conference “Environmental Engineering”, Lithuania. <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.237>
3. Shults, R. (2017). New Opportunities of Low-Cost Photogrammetry for Culture Heritage Preservation, ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-5-W1, 481-486.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Národní památkový ústav*. Památkový katalog [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://monumnet.npu.cz/monumnet.php>.
2. *Shults R.* Low-Cost Photogrammetry for Culture Heritage / R. Shults, P. Krelshtein, J. Kravchenko, O. Rogoza, O. Kyselov // 10th International Conference “Environmental Engineering”, Lithuania. <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.237>.
3. *Shults R.* New Opportunities of Low-Cost Photogrammetry for Culture Heritage Preservation / R. Shults // ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-5-W1, 2017. – pp. 481-486.

К. Вах

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ В ЧЕШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

*Статья посвящена рассмотрению вопросов применения 3D-технологий для моделирования архитектурных памятников в Чешской Республике. В нашем случае 3D сохранение памятников истории и культуры означает обработку измеренных данных необходимого содержания в локальной системе координат и в выбранном масштабе. По полученным результатам необходимо определить требования к точности измерений. Основной целью нашего исследования является раннее выявление ошибок в 3D-изображениях фактического поведения здания и их исключение, а также внедрение новых технологий в существующие процессы и внедрение новых технологий в ГИС. В статье изложена методика документирования фактического поведения объекта в 3D. В качестве примера системы документирования и мониторинга объектов культурного наследия в статье рассматривается база данных, созданная в Чешской Республике.*

**Ключевые слова:** *точность, детализация документирования архитектурных памятников, методология, поведение реальных объектов в 3D, фотограмметрическая съёмка.*

К. Вах

## ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПАМ'ЯТНИКІВ АРХІТЕКТУРИ В ЧЕСЬКІЙ РЕСПУБЛІЦІ

*Стаття присвячена розгляду питань застосування 3D технологій для моделювання архітектурних пам'яток в Чеській Республіці. У розглянутому випадку застосування технології 3D моделювання для збереження пам'яток історії та культури означає оброблення даних вимірювань необхідного змісту в локальній системі координат і в обраному масштабі. За отриманими результатами в роботі визначено необхідні вимоги до якості вимірювань. Основною метою наведеного дослідження є розроблення методики та переліку вимог для раннього виявлення помилок на 3D-моделях для фіксації фактичного стану пам'яток архітектури, а також впровадження нових технологій в існуючі процеси моніторингу пам'яток архітектури та впровадження нових технологій в ГИС. У статті викладена методика документування фактичного стану пам'яток архітектури у форматі 3D. Розглянуто основні етапи, які включають: створення геодезичної мережі, детальне геодезичне знімання, фотограмметричне знімання, створення 3D-моделі, проектування бази даних та застосування технологій віртуальної реальності. Як приклад системи документування і моніторингу об'єктів культурної спадщини в статті*

розглядається база даних, створена в Чеській Республіці на основі геодезичних і фотограмметричних технологій.

**Ключові слова:** точність, деталізація документування архітектурних пам'яток, методологія, поведінка реальних об'єктів в 3D, фотограмметричне знімання.

Надійшла до редакції

19.02.2018

УДК 528.48

**Ю.В. Горковчук**, канд.техн.наук, доцент,  
**Д.В. Горковчук**, аспірант,  
кафедра геоінформатики і фотограмметрії,  
**Н.В. Куліченко**, аспірант кафедри інженерної геодезії,  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## ДОСЛІДЖЕННЯ КРЕНУ СПОРУДИ БАШТОВОГО ТИПУ МЕТОДОМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

Наведено результати дослідження методу наземного лазерного сканування у вирішенні практичного завдання зі спостереження за креном споруди баштового типу. Як об'єкт дослідження обрано декоративний металевий шпиль висотою близько 50 метрів. Необхідність визначення крену споруди була пов'язана із початком реконструкції, під час якої зафіксовано значні відхилення конструкції від її фактичного положення за матеріалами виконавчого знімання на момент спорудження. За результатами лазерного сканування цієї конструкції побудовано тривимірну модель, яка була порівняна із проектною моделлю. За результатами порівняння визначено крен споруди, а також горизонтальні переміщення у різних перерізах. Виконано попередній розрахунок точності та встановлено, що метод наземного лазерного сканування дозволяє визначати крени споруд баштового типу з необхідною точністю. Окрім крену та переміщень, за тривимірною моделлю визначено кручення споруди. Результати дослідження підтвердили доцільність використання методу наземного лазерного сканування для спостережень за кренами споруд баштового типу.

**Ключові слова:** крен, наземне лазерне сканування, кручення, тривимірна модель, горизонтальне переміщення.

**Вступ.** Визначення кренів інженерних споруд баштового типу є типовим завданням інженерної геодезії. До споруд такого типу належать опори ЛЕП, радіо- і телевежі, димові труби, декоративні башти та ін. До теперішнього часу розроблено цілу низку методів, що дають змогу надійно визначати напрямок та величину крену баштових споруд. Серед найбільш поширених методів відмітимо