



**CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE**

---

**Faculty of Transportation Sciences  
Department of Forensic Experts in Transportation**

**APLIKACE FOTOGRAMMETRIE  
VE ZNALECKÉ PRAXI**

**APPLICATION OF PHOTOGRAMMETRY  
IN FORENSIC SCIENCE**

Master Thesis

Study Programme: Technology and Technics of Transport and Communications  
Branch of study: Transportation Systems and Technology

Thesis advisor: Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.

**Bc. Zdeněk Svatý**

---

**Praha 2014**



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta dopravní  
d ě k a n**  
Konviktská 20, 110 00 Praha 1

**K622..... Ústav soudního znalectví v dopravě**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE** (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Zdeněk Svatý**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika**

Název tématu (česky): **Aplikace fotogrammetrie ve znalecké praxi**

Název tématu (anglicky): Application of Photogrammetry in Forensic Science

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Fotogrammetrické metody vhodné pro využití ve znalecké praxi
- Fotogrammetrické zpracování a vyhodnocení
- Fotogrammetrické vybavení a jeho kalibrace
- Srovnání fotogrammetrie s již využívanými zařízeními a metodami
- Praktické fotogrammetrické měření

- Rozsah grafických prací: Dle pokynů vedoucího práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: BRADÁČ, Albert, et al. Soudní inženýrství. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1997. 718 s. ISBN 80-7204-057-X.
- LUHMANN, T., et al. Close Range Photogrammetry : Principles, techniques and applications. Polsko : Whittles Publishing, 2006. 510 s. ISBN 0-470-10633-6.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Mičunek, Ph. D.**

Datum zadání diplomové práce: **4. června 2013**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **5. května 2014**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
- b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

*Šachl*

doc. Ing. Jindřich Šachl, CSc.  
vedoucí  
Ústavu soudního znalectví v dopravě



*Svítek*

prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

*Svatý*

Bc. Zdeněk Svátý  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 4. června 2013

## **Acknowledgement**

This research project would not have been possible without the support of many people. The author wishes to express his gratitude to his supervisor, Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D., who was abundantly helpful and offered invaluable assistance, support and guidance. Deepest gratitude is also due to all members of Department of Forensic Experts in Transportation, especially, Ing. Drahomír Schmidt Ph.D., and Ing. Alžběta Lenková without whose knowledge and assistance this thesis would not have been successful.

Special thanks also to all his graduate friends, especially Bc. Luboš Nouzovský and Bc. Miroslav Novotný, for sharing the literature and invaluable assistance. Not forgetting to his best friends who always been there.

This work was supported by the Grant Agency of the Czech Technical University in Prague, grant No. SGS13/157/OHK2/2T/16.

The author wishes to express his gratitude to his beloved families; for their understanding and support, through the duration of his studies.

## Declaration

Declaration in accordance with the Rector's order No. 6/2006:

I have no relevant reason against using this schoolwork in the sense of § 60 of Act No 121/2000 concerning the copyright.

Declarations in accordance with the guide line no. 1/2009 of the vice-rector for scientific and technological park and student matters:

I declare that I accomplished my final thesis by myself and I named all the sources I used in accordance with the guideline about the ethical rules during preparation of University final theses.

Prague ..... 4.5. 2014 .....

  
.....

Bc. Zdeněk Svátý

## Anotace diplomové práce

Autor:	Bc. Zdeněk Svatý
Název práce:	<b>Aplikace fotogrammetrie ve znalecké praxi</b>
Obor:	Dopravní systémy a technika
Druh práce:	Diplomová práce
Vedoucí práce:	Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.
Rozsah práce:	85 stran textu, 13 přílohy
Klíčová slova:	fotogrammetrie, blízká fotogrammetrie, Agisoft, Photomodeler

### Anotace:

Diplomová práce „**Aplikace fotogrammetrie ve znalecké praxi**“ popisuje možné využití blízké fotogrammetrie pro potřeby znalecké praxe a dává příklady několika aplikací. Představuje základní charakteristiky fotografického vybavení, hlavní postupy pro jeho úspěšné použití v rámci fotogrammetrického měření. Zároveň popisuje dva zástupce fotogrammetrických softwarů společně s kalibračními postupy a jejich možnými výstupy. Dále uvádí čtyři příklady praktického využití fotogrammetrie pro potřeby znalecké praxe. V praktické části bylo provedeno zaměření křižovatky za pomoci dvou fotogrammetrických softwarů a jejich výstupy byly porovnány s měřením získaných z totální stanice.

## Abstract of Master's thesis

Author: Bc. Zdeněk Svatý

Title: **Application of Photogrammetry in Forensic Science**

Study field: Transportation Systems and Technology

Document type: Master thesis

Thesis advisor: Ing. Tomáš Mičunek, Ph.D.

Range of work: 85 pages of text, 13 supplement

Keywords: photogrammetry, close-range photogrammetry, Agisoft, PhotoModeler

### Abstract:

The master thesis “**Application of Photogrammetry in Forensic Science**” aims to elaborate applications of the close-range photogrammetry in transportation forensic science and to give examples of such applications. The main characteristics of photographic equipment are described together with guidelines for its use for the photogrammetric measurements. Two types of photogrammetric software, calibration procedures and photogrammetric products are presented. In addition, four practical applications of the close-range photogrammetry in transportation forensics are given. In the second part is conducted a field experiment of photogrammetric measurement. An intersection is imagined by a non-metric digital camera and measured by two photogrammetric programs. Obtained results are compared and evaluated with measurements from a digital total station.

# TABLE OF CONTENT

1	Introduction .....	12
2	Photogrammetry .....	13
2.1	Photogrammetric principles.....	13
2.2	Interior orientation .....	14
2.3	Exterior orientation.....	15
2.4	Division of photogrammetry .....	15
2.5	Forensic science in transportation and photogrammetry .....	17
2.6	Comparison with other measurement systems.....	19
3	Photographic equipment and imaging .....	22
3.1	Camera .....	22
3.1.1	Imaging sensor .....	23
3.1.2	RAW format.....	24
3.2	Lenses.....	24
3.2.1	Lens aberrations.....	25
3.3	Photogrammetric imaging with non-metric digital camera.....	26
3.3.1	Equipment .....	26
3.3.2	Project planning .....	26
3.3.3	Camera setting .....	27
4	Photogrammetric software.....	29
4.1	PhotoModeler .....	29
4.1.1	Project and camera definition.....	30
4.1.2	Marking and referencing.....	30
4.1.3	Project processing .....	32
4.1.4	Project quality .....	32
4.2	Agisoft PhotoScan .....	33
4.2.1	Photo alignment.....	33
4.2.2	Building of the geometry.....	35
4.2.3	Texture mapping .....	35
5	Calibration.....	36
5.1	PhotoModeler calibration .....	36
5.1.1	Test-field calibration .....	37



5.1.2	Self-calibration .....	38
5.2	Agisoft Lens .....	38
6	Photogrammetric products .....	40
6.1	Accuracy .....	41
7	Applications of photogrammetry in forensic science .....	42
7.1	Single photograph analysis.....	42
7.2	Study case 1 – Broken rail .....	42
7.3	Multiple photographs analysis.....	45
7.4	Study case 2 – Skid mark .....	45
7.5	Study case 3 – Vehicle deformations .....	48
7.5.1	Used equipment and preparations .....	48
7.5.2	Processing.....	49
7.5.3	Model creation .....	50
7.6	Study case 4 – Pavement properties.....	51
7.6.1	Used equipment and methodology .....	51
7.6.2	Further research.....	52
8	Field experiment.....	53
8.1	The aim.....	53
8.2	Place and used equipment.....	53
8.2.1	Digital total station.....	54
8.2.2	Camera and Lens .....	55
8.2.3	Targets.....	56
8.3	Imaging.....	57
8.3.1	Calibration images.....	58
8.4	Total station .....	59
8.5	PhotoModeler Scanner .....	60
8.5.1	Image processing.....	60
8.5.2	Calibration .....	60
8.5.3	Project setting and image orientation .....	61
8.5.4	Definition of the coordinate system .....	64
8.5.5	Project quality .....	64
8.6	Agisoft PhotoScan .....	66
8.6.1	Image processing.....	66

8.6.2	Calibration .....	66
8.6.3	Alignment .....	67
8.6.4	Building of the geometry and texture mapping.....	69
8.6.5	Definition of the coordinate system .....	71
9	Comparison and verification .....	73
9.1	Models with arbitrary coordinate system.....	74
9.2	Models with defined coordinate system .....	75
9.2.1	PhotoModeler Scanner .....	75
9.2.2	Agisoft PhotoScan .....	76
9.3	Time demands.....	77
10	Conclusion.....	78
	References .....	80
	List of Figures.....	83
	List of Tables.....	84
	Appendices .....	85

## List of used abbreviations

CCD	Charge-Coupled Device
CMOS	Complimentary Metal-Oxide Semiconductor
DFET	Department of Forensic Experts in Transportation
DMVR	Dense Multi-View 3D Reconstruction algorithm
DSLR	Digital Single Lens Reflex camera
dxf	Drawing Exchange Format
EXIF	Exchangeable Image File Format
PCR	Police of the Czech Republic
RAD	Ringed Automatically Detected Coded targets
RAM	Random-access memory
RMS	Root Mean Square error
SfM	Structure from Motion technique
xml	Extensible Markup Language format
xmp	Extensible Metadata Platform format

# 1 Introduction

The photogrammetry is a highly developed measuring technology that is providing quantitative and qualitative information for a wide range of applications. It is already used in the forensic science for a long time, particularly in a transportation field. But recent development of digital technologies in last years, particularly of digital cameras and photogrammetric software, opened the door for new photogrammetry applications. Areas, where it was not possible before, can now benefit from using of this measurement method and the transportation field is not an exception. This thesis aims to illustrate application of the close-range photogrammetry in transportation forensic science and to give examples of such applications.

The author has already dealt with the photogrammetry in his Bachelor's thesis. Thus, this thesis does not further elaborate the development of photogrammetry or the theoretical principles of photogrammetry. These are mentioned only briefly and mainly in the beginning. Subsequent chapters describe the photogrammetric equipment which can be used for the measurements and the characteristics of non-metric digital imaging. Furthermore, two types of photogrammetric software are described together with calibration procedures and the photogrammetric products. In addition, several practical applications of the close-range photogrammetry in transportation forensics are presented.

The second part of the thesis consists of a field experiment of photogrammetric measurement. An intersection was imaged by non-metric digital camera and measured by two photogrammetric programs. The obtained results are compared and verified by measurements from a digital total station. The main assessed parameters are resulting accuracy, level of detail, processing time demands and the overall suitability for forensic needs.