



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF FORENSIC ENGINEERING

### ODBOR ZNALECTVÍ VE STROJÍRENSTVÍ, ANALÝZA DOPRAVNÍCH NEHOD A OCEŇOVÁNÍ MOTOROVÝCH VOZIDEL

DEPARTMENT OF EXPERTISE IN MECHANICAL ENGINEERING, ANALYSIS OF TRAFFIC ACCIDENTS  
AND VEHICLE ASSESSMENT

## MOŽNOSTI VYTVOŘENÍ MRAČNA BODŮ A SÍŤOVÉHO MODELU MÍSTA DOPRAVNÍ NEHODY Z FOTOGRAFIÍ

POSSIBILITIES OF POINT CLOUD AND MESH MODEL CREATION OF ACCIDENT SITE USING  
PHOTOGRAPHS

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Tomáš Mojžýšek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Křížák

BRNO 2019



## Zadání diplomové práce

Student:	<b>Ing. Tomáš Mojžýšek</b>
Studijní program:	Soudní inženýrství
Studijní obor:	Expertní inženýrství v dopravě
Vedoucí práce:	<b>Ing. Michal Křížák</b>
Akademický rok:	2018/19
Ústav:	Odbor znaleství ve strojírenství, analýza dopravních nehod a oceňování motorových vozidel

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Možnosti vytvoření mračna bodů a síťového modelu místa dopravní nehody z fotografií**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

V úvodu práce se zaměřit na popis a porovnání dostupných softwarů pro vytvoření mračna bodů a z něj síťového modelu místa dopravní nehody s omezeným rozhledem z fotografií bez použití 3D skeneru. Následně zvolenými metodami vytvořit mračna bodů a síťové modely několika míst s omezeným rozhledem, včetně vzájemného porovnání softwarů. V závěru se zaměřit na možnost využití získaných modelů v soudně–inženýrské praxi při analýze silničních nehod, například použít v simulačních programech.

#### **Cíle diplomové práce:**

1. Rešerše a porovnání softwaru pro vytvoření mračna bodů a síťového modelu místa dopravní nehody s omezeným rozhledem z fotografií.
2. Návrh metod zpracování dat a využití jejich výstupů.
3. Vytvoření mračna bodů a síťového modelu několika míst s omezeným rozhledem více softwarů.
4. Možnosti využití získaných modelů v soudně–inženýrské praxi.

#### **Seznam doporučené literatury:**

- [1] BRADÁČ, Albert a kol. Soudní inženýrství. Brno : CERM Akademické nakladatelství, s.r.o.. 1999. 725 s. ISBN 80-7204-133-9 (dotisk)
- [2] JANÍČEK, Přemysl. Systémové pojetí vybraných oborů pro techniky: hledání souvislostí. 1. a 2. díl. Vyd. 1. Brno: CERM, 2007, 1380 s. ISBN 978-80-7204-554-9

[3] Vědecké databáze, internet

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Bc. Marek Semela, Ph.D.  
vedoucí odboru

---

doc. Ing. Aleš Vémola, Ph.D.  
ředitel

### **Abstrakt**

Předmětem této závěrečné práce je vytvoření mračna bodů a z něj pak vytvoření síťového modelu zvolených křižovatek a jejich aplikace v soudně-inženýrské praxi. V první části práce je popsána metodika sběru dat a postup tvorby mračna bodů a tvorby síťového modelu. Která je následně aplikována na konkrétní křižovatky. Na základě čehož dochází k porovnání modelů a zhodnocení programů pro tvorbu mračna bodů a síťových modelů. Vytvořené modely jsou pak dále užity v soudně-inženýrské praxi k řešení omezeného výhledu na daných křižovatkách.

### **Abstract**

The thesis focuses on creating point cloud and mesh model of chosen intersections and their applications in forensic-engineering praxis. In the first part we describe workflow for creating point cloud and mesh model of intersection by digital photogrammetry. In the second part we applied these at chosen intersections. Which leads us to comparation of three digital photogrammetric programs which we used to make point clouds and mesh models. At the end of thesis we use our mesh models in forensic-engineering praxis and we decide about barriers in sign conditions at intersections

### **Klíčová slova**

Mračno bodů, síťový model, digitální fotogrammetrie, rozhledové poměry, křižovatky

### **Keywords**

Point cloud, mesh model, digital photogrammetry, sign conditions, intersections



### ***Bibliografická citace***

MOJŽYŠEK, T. Možnosti vytvoření mračna bodů a síťového modelu místa dopravní nehody z fotografií. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2019. 91 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Michal Křížák.



### ***Prohlášení***

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Vysokém učení technickém v Brně Ústavu soudního inženýrství.

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval/a samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských prací.“

„Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů autorských (autorských zákonů).“

V Brně dne 23. 5. 2019

.....

Podpis diplomanta

### ***Poděkování***

Na tomto místě bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce Ing. Michalovi Křížákovi, za trpělivost a ochotu, studijnímu oddělení USI VUT za skvělé rady a pomoc, kdykoliv jen bylo třeba. Dále pak mým spolužákům ze studií, kteří semnou sdíleli své podklady ke studiu. Velké díky pak patří mému šéfovi a vedoucímu pracovního projektového týmu a v neposlední řadě i Ing. Lence Sýkorové za zapůjčení dronu. Obrovské poděkování patří mé rodině za skvělou podporu, neskutečnou trpělivost a zázemí, které mi v průběhu 20 let studií poskytovali. Na závěr bych rád poděkoval své přítelkyni za neutuchající podporu a motivaci při tvorbě této práce

# OBSAH

OBSAH.....	11
1 ÚVOD.....	14
2 REŠERŠE FOTOGRAMETRIE.....	15
2.1 Význam a využití fotogrammetrie.....	16
2.1.1 Pozemní fotogrammetrie.....	16
2.1.2 Letecká fotogrammetrie.....	17
2.1.3 Rozdělení fotogrammetrie.....	17
2.2 Základní pojmy a vztahy ve fotogrammetrii.....	19
2.2.1 Centrální projekce.....	19
2.2.2 Prvky vnitřní orientace.....	20
2.2.3 Prvky vnější orientace.....	20
2.3 Druhy používaných neměřických komor.....	21
2.3.1 Základní pojmy.....	21
2.3.2 Digitální zrcadlovky.....	23
2.3.3 Kompaktní fotoaparáty.....	24
2.3.4 Kompaktní fotoaparáty s proměnou ohniskovou vzdáleností.....	25
2.3.5 4K kamery.....	25
2.3.6 Mobilní telefony.....	25
2.4 fotogrametrický Software.....	26
2.4.1 Offline programy.....	27
2.4.2 Online programy.....	27
3 MOŽNOSTI VYUŽITÍ A STANOVENÍ LIMITŮ PŘI ZAVÁDĚNÍ DIGITÁLNÍ FOTOGRAMETRIE V SOUDNĚ-INŽENÝRSKÉ PRAXI.....	28
4 DIGITÁLNÍ FOTOGRAMMETRIE.....	29
4.1 Kalibrace digitální komory.....	29
4.2 Pořízení dat.....	31
4.3 Zpracování dat a tvorba modelu.....	34
4.3.1 Postup kalibrace v programu Agisoft a PHOTOMODELER.....	34
4.3.2 Vytvoření mračna bodů a síťového modelu.....	37
5 POUŽITÍ PŘI ANALÝZE DOPRAVNÍCH NEHOD.....	40
6 TECHNICKÉ A PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ.....	41
6.1.1 Technika pro tvorbu modelu.....	41
6.1.2 Snímání fotografií pro tvorbu mračen bodů a síťových modelů.....	44

6.1.3	<i>Programové vybavení a zpracování modelů</i> .....	44
7	TVORBA MRAČNA BODŮ A SÍŤOVÉHO MODELU VYBRANÝCH KŘIŽOVATEK .....	46
7.1	Modelované křižovatky .....	46
7.1.1	<i>MK Na Spravedlnosti x MK Na Výšině</i> .....	47
7.1.2	<i>MK Hudcova x MK Palackého třída</i> .....	48
7.1.3	<i>MK Bulharská x MK Berkova</i> .....	49
7.1.4	<i>MK Svatopluka Čecha x MK Vodova</i> .....	50
7.1.5	<i>MK Pražská x MK Na Spravedlnosti</i> .....	51
7.1.6	<i>MK Dolní Papšíkov x sjezd areálové komunikace letiště</i> .....	52
7.1.7	<i>II/602 Jihlavská x sjezd areálové komunikace Gremis</i> .....	53
7.1.8	<i>MK Dolní Papšíkov x sjezd areálové komunikace letiště 2</i> .....	54
7.2	Rozhledy v křižovatce .....	55
7.3	Rozhledová pole a rozhledové trojúhelníky .....	58
7.4	Mračna bodů a síťové modely vybraných křižovatek.....	66
7.4.1	<i>Zakreslení rozhledových trojúhelníků do mračen bodů</i> .....	69
7.4.2	<i>MK Na Spravedlnosti x MK Na Výšině</i> .....	69
7.4.3	<i>MK Hudcova x MK Palackého třída</i> .....	70
7.4.4	<i>MK Bulharská x MK Berkova</i> .....	70
7.4.5	<i>MK Svatopluka Čecha x MK Vodova</i> .....	71
7.4.6	<i>MK Pražská x MK Na Spravedlnosti</i> .....	72
7.4.7	<i>MK Dolní Papšíkov x sjezd areálové kom. letiště 1 a 2</i> .....	72
7.4.8	<i>II/602 Jihlavská x sjezd areálové komunikace Gremis</i> .....	73
8	VYHODNOCENÍ A POROVNÁNÍ VYBRANÝCH PROGRAMŮ PRO DIGITÁLNÍ FOTOGRAFIÍ .....	75
8.1	Způsob tvorby modelu a vliv použité technika na výslednou kvalitu .....	75
8.1.1	<i>Klimatické podmínky</i> .....	75
8.1.2	<i>Trasa snímkování objektu</i> .....	76
8.1.1	<i>Užití kódové detekce při tvorbě modelu</i> .....	77
8.1.2	<i>Fotografická technika</i> .....	78
8.2	Porovnání Agisoft Photoscan, 3df Zephyr Aerial a Autodesk ReMake Photo .....	80
8.3	časová priorita programů .....	80
8.3.1	<i>3df Zephyr Aerial</i> .....	80
8.3.2	<i>Agisoft Photoscan Pro</i> .....	81
8.4	Pozemní fotogrammetrie K1 - MK Na Výšině x MK Na Spravedlnosti .....	81
8.5	Letecká fotogrammetrie K6 – II/602 x sjezdu účelové komunikace Gremis .....	82
8.6	formáty výstupu z programů.....	83

8.7	Možné způsoby dalšího využití mračen bodů a síťových modelů .....	84
9	ZÁVĚR.....	86

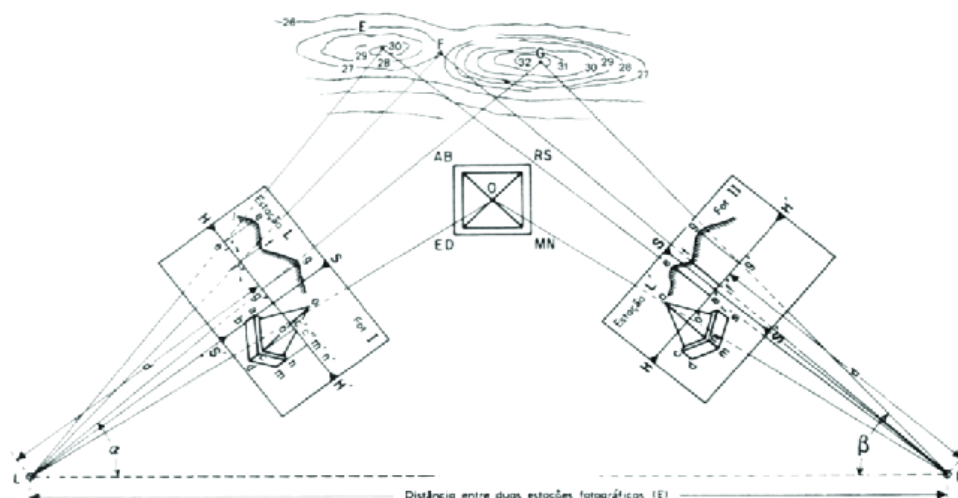
# 1 ÚVOD

Zaměření této závěrečné práce vychází z podmětů současného stavu dokumentování dopravních nehod, kdy klasické ohledání místa dopravní nehody a zdokumentování jednotlivých stop přináší vyšší časovou náročnost. To se projevuje dále při vzniku kongescí, modelovým příkladem je vznik dopravní nehody na dopravní tepně České republiky, a to dálnici D1. Přerušování dopravního toku na této silnici pak přináší velké komplikace řidičům, a to jak osobních, tak i nákladních vozů. Doba a přesnost dokumentace vychází ze zvolené metody záznamu stop. Nejčastěji se však v České republice setkáme s dokumentací jednotlivých stop a to ať se jedná o brzdné stopy, konečné polohy vozidel či další důkazy, s metodou pravoúhlého měření. Přesnost a časová náročnost je pak do jisté míry dána zručností a zkušenostmi daného policisty. Dále pak s obrazovým záznamem pomocí fotoaparátu a výpovědi účastníků dopravní nehody a svědků. Časově nejnáročnější složkou z pohledu dokumentace a zprůjezdění daného úseku se stává samotné měření jednotlivých poloh se zvoleným bodem měření. Možností, jak zrychlit a zefektivnit práci při dokumentaci dopravní nehody je vícero. Cílem této práce však bude zabývat se nízkonákladovým řešením s pomocí fotogrammetrie a jejího užití při analýze dopravních nehod a dokumentaci místa dopravní nehody. Myšlenka užití fotoaparátu a zpětné rekonstrukce místa dopravní nehody s danými účastníky není nová. Což prokazuje její užití policejními a hasičskými sbory v Austrálii, Evropě a Severní Americe. V první části této práce se budeme zabývat teoretickými základy fotogrammetrie s představením jednotlivých programů pro zpracování modelu dopravní nehody. V druhé části přejdeme k vytvoření jednotlivých modelů míst s omezeným výhledem, kde je předpoklad, že by mohlo dojít ke vzniku dopravní nehody. Na základě fotografií pořízených mobilním telefonem, digitální zrcadlovkou, 4k kamerou a dronem. Třetí část bude věnována analýze jednotlivých modelů a zpracování jednotlivých modelů se zakreslením rozhledových trojúhelníků. Závěrečná část bude zaměřena na využití v soudně-inženýrské praxi. Především pak možnost dalšího užití v simulačních programech.

## 2 REŠERŠE FOTOGRAMMETRIE

Fotogrammetrie je vědní obor, který se zabývá získáváním informací z obrazových záznamů. Počátky fotogrammetrie sahají daleko před vynález fotografie. Pojem fotogrammetrie vychází z řeckých slov fotos, gramma a métrisi (světlo, písmo a měření). Prvním, kdo uvedl do praxe centrální promítání, které je základní zobrazovací metodou ve fotogrammetrii, byl Leonardo Da Vinci (1452 - 1519). Ten popsal a sestrojil dírkovou komoru, která umožňovala překreslování pozorovaného předmětu pomocí centrální projekce. Tuto komoru opatřil spojnou čočkou Jan Kepler a byla nazvána camera clara. Vynález fotografie, který reprezentoval Niepce A. Daguerre, dále zdokonalil H. F. Talbot, který jako první zavedl do technologie zpracování proces negativ - pozitiv a uskutečnil tak poprvé zhotovení většího počtu stejných fotografií z jednoho negativu. Do té doby byla každá fotografie neopakovatelným originálem.

Za zakladatele fotogrammetrie se pokládá Aimé Laussedat, který krátce po vynálezu fotografie začal fotografické snímky využívat pro měřičské účely. Výrazným propagátorem oboru byl Albrecht Maydenbauer (1834-1921), který se byl průkopníkem fotogrammetrické dokumentace historických stavebních objektů.<sup>1,2</sup>



Obrázek 1 Příklad stereofotogrammetrie A. Laussedat<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zdroj: PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie 1*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04249-6.

<sup>2</sup> Zdroj: BÖHM, Josef. *FOTOGAMMETRIE* učební texty Ostrava: Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava, Ostrava, 2002. 16 str.

## 2.1 VÝZNAM A VYUŽITÍ FOTOGRAMMETRIE

Fotogrammetrie se zabývá informačními technologiemi pro odvození geometrických, radiometrických a sémantických informací o objektu trojrozměrného světa odvozených z dvourozměrných většinou již digitálních snímků. Digitální snímek je získán digitalizací analogového snímku nebo přímo digitální kamerou. Výsledkem zpracování dat jsou tzv. primární produkty (parametry orientace snímků, prostorové souřadnice bodů, digitální model terénu, vektorové informace, ortofoto snímky). Dalším zpracováním mohou být získány sekundární produkty (ortofoto mapy, digitální vektorové mapy, perspektivní pohledy, data pro GIS). Výhodou fotogrammetrie je, že se jedná o bezkontaktní metodu měření, není nutné být v mapovaném území nebo být v kontaktu s měřeným objektem. Zpracování snímků probíhá v příznivých podmínkách laboratoří, nejsme omezení délkou dne. Podle polohy stanoviště rozlišujeme pozemní, leteckou a družicovou fotogrammetrii.<sup>34</sup>

To, že k realizaci měření nedochází na předmětu, ale na jeho obraze (snímku), má určité výhody:

měření se provádí bez přímého dotyku s předmětem

informace na snímku zachycují stav předmětu v určitém časovém okamžiku – má dokumentační hodnotu pro studium dynamiky jevů

vlastní mapování se děje mimo prostor předmětu, lze ho snadno opakovat

postup zpracování umožňuje vysoký stupeň automatizace.

### 2.1.1 Pozemní fotogrammetrie

Vzhledem k tomu, že pozemní fotogrammetrie je nejvhodnější pro použití ve výškově členitém terénu, její pole působnosti je při mapovacích pracích značně omezené. Ze začátku byla uplatňována především při mapování ve vysokohorském terénu. Mnohem větší významu bylo dosaženo při určování kubatur těžby v povrchových dolech, měření pohybů mostů a těles hrází a ve velké míře ve stavebnictví při dokumentování fasád, kleneb, a to historických, nebo jinak důležitých budov.<sup>4</sup> Dále se využívá v kriminalistice při dokumentování místa trestného činu nebo dopravních nehod, kde je známá pod

---

<sup>3</sup> Zdroj: Kapitoly z fotogrammetrie. *SPŠ zeměměřičská Praha* [online]. Praha: SPŠ zeměměřičská Praha, 2015 [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <http://spszem.cz/pro-studenty/studijni-materialy/grantove-projekty/kapitoly-z-fotogrammetrie>

<sup>4</sup> Zdroj: BÖHM, Josef. *FOTOGARAMMETRIE* učební texty Ostrava: Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava, Ostrava, 2002. 16 str.

pojmem blízká fotogrammetrie (v anglických publikacích jako Close Range Photogrammetry, dále jen CRP).

### 2.1.2 Letecká fotogrammetrie

Při letecké fotogrammetrii jsou snímky většinou pořizovány z palub letadel. Metodami letecké fotogrammetrie však lze zpracovávat i družicové obrazové záznamy. Největší využití má letecká fotogrammetrie v mapové tvorbě (geodézii a kartografii) – v tvorbě topografických map a map tematických, potřebných v nejrůznějších oborech lidské činnosti (lesnictví, zemědělství, pozemkové úpravy, geologie, archeologie, vojenství, plánování atd.). V poslední době se jí využívá hojně také ke konstrukci tzv. ortofoto map. Přednosti využití metod fotogrammetrie v geografii a kartografii se počítají především v tom, že mapované území nemusí být bezprostředně přístupné. Informaci o mapovaném území lze získat poměrně levně a především velmi rychle.<sup>5 6</sup>

### 2.1.3 Rozdělení fotogrammetrie

#### **Podle polohy stanoviště**

- pozemní (architektura, stavebnictví, kriminalistika, lékařství)
- leteckou (topografické mapování, archeologie, pozemkové úpravy, ...)<sup>6</sup>

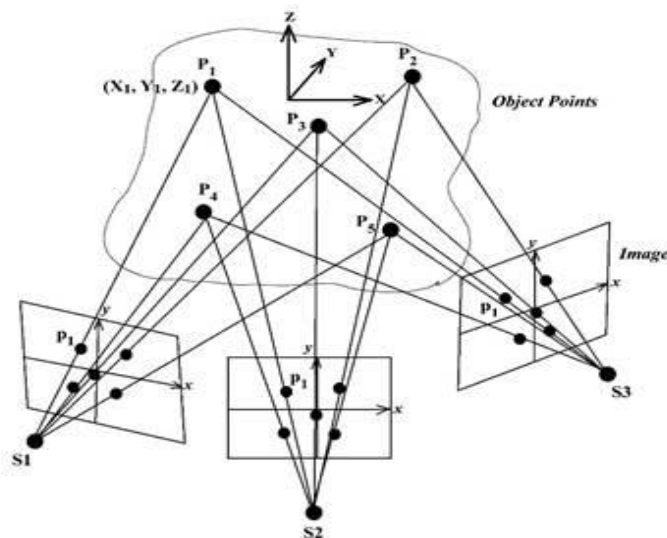
#### **Podle počtu snímků**

- **jednosnímková** – Umožňuje vyhodnotit předměty (území) jen ve dvou rozměrech – půdorys
- **dvousnímková** – Umožňuje vyhodnotit předměty ve třech rozměrech (X, Y, Z). Stereofotogrammetrie vyhodnocuje oblast překrytu snímkové dvojice za pomoci umělého stetoskopického vjemu 3D.
- **vícenímková** – Jedná se o průřezovou fotogrammetrie. Prostorovým promítáním na dvou a více snímcích je provedeno bodové vyhodnocení, bez možnosti využití stereoskopického vjemu. Umožňuje vyhodnotit předměty ve třech rozměrech (X, Y, Z).

---

<sup>5</sup> Zdroj: Kapitoly z fotogrammetrie. *SPŠ zeměměřičská Praha* [online]. Praha: SPŠ zeměměřičská Praha, 2015 [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <http://spszem.cz/pro-studenty/studijni-materialy/grantove-projekty/kapitoly-z-fotogrammetrie>

<sup>6</sup> Zdroj: PAVELKA, Karel. *Fotogrammetrie 2*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04719-4.



Obrázek 2 Průseková fotogrammetrie – určení společných bodů na snímcích<sup>7</sup>

### Podle způsobu zpracování

- **grafické metody** – Převod souřadnic bodu na snímku a ve skutečnosti je proveden pomocí zásad deskriptivní geometrie. Není tak nutné početních výkonů. Grafické metody vyhodnocení jsou relativně rychlé. Při mapovém vyhodnocování tak přímo vzniká originál polohopisné, případně i výškopisné složky mapy. Nevýhodou je, že tento výstup nelze dále přímo zpracovávat výpočetní technikou a jeho reprodukce a editace je taktéž nekvalitní.
- **analogová** – Se zabývá vytvořením analogického modelu, rekonstruujícího polohu bodů v prostoru. Rekonstrukce je provedena prostřednictvím opticko-mechanických přístrojů, tzv. analogových strojů. Přístroje jsou velmi složité a k vyhodnocování na nich je potřebný dlouhodobý zácvik speciální vyškolených pracovníků, aby vyhodnocení bylo dostatečně přesné.
- **analytická** – Měří se snímkové souřadnice. Souřadnice měřené na snímcích jsou transformovány do geodetického systému za pomoci analytických strojů nebo počítačů.
- **digitální** – Využívá se snímku v digitální podobě a následného převedení jednotlivých souřadnic bodu do geodetického systému. Dochází zde k využití principu analytických metod.

V rámci této závěrečné práce bude užitá pozemní a letecká (dronová), více snímkovou fotogrammetrie zpracované digitální metodou. Kdy na základě dat Policie České republiky a znalostí místních poměrů bude vytipováno několik nehodových lokalit, na kterých bude provedena pomocí fotogrammetrie

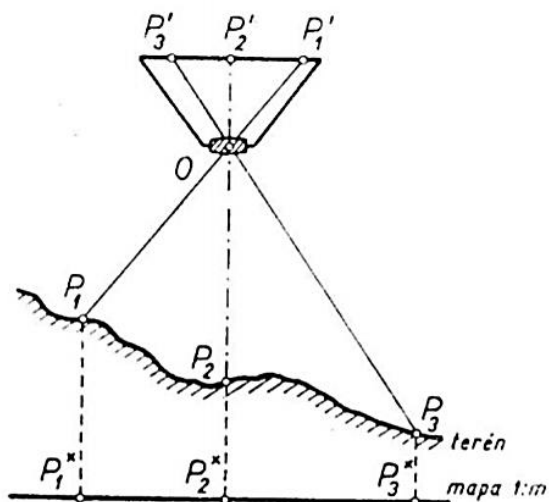
<sup>7</sup> MENŠÍK, Miroslav. *Geometrické základy fotogrammetrie*. Vydání 1. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p, 1966, č. publikace 55-2-06.

rekonstrukce nehodového místa a vytvořena mračna bodů (v anglické literatuře uváděno jako point cloud).

## 2.2 ZÁKLADNÍ POJMY A VZTAHY VE FOTOGRAMMETRII

### 2.2.1 Centrální projekce

Fotografický snímek předmětu je jeho centrální projekcí, přičemž středem promítání je střed objektivu a obrazovou rovinou je citlivá vrstva filmu/desky, dnes především digitálního CCD nebo CMOS čipu. Všechny paprsky od předmětových bodů  $P_1, P_2 \dots P_x$  prochází fotografickým objektivem (který považujeme za střed promítání) a pokračují přímočaře dále a tvoří na fotografické vrstvě perspektivní obraz  $P'_1, P'_2 \dots P'_x$ . Souhrn těchto paprsků označujeme jako fotogrammetrický svazek paprsků. Aby bylo možné převést centrální projekci na paralelní (ortogonální) rovinu, musíme znát prvky centrální projekce, tzv. projekční centrum. Projekční centrum je definováno prvky vnitřní a vnější orientace.<sup>8</sup>



Obrázek 3 Projekce mapy a snímku<sup>9</sup>

<sup>8</sup> ING. ARCH. JAKUB VIKTORA. *VYUŽITÍ FOTOGRAMMETRIE PRO REALITNÍ PRAXI* [online]. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ [cit. 2019-05-20].

Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=86148](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=86148)

<sup>9</sup> Ing. Josef Böhm, *FOTOGRAMMETRIE učební texty* Ostrava: Vysoká škola báňská – technická univerzita Ostrava, Ostrava, 2002. 16 str

## 2.2.2 Prvky vnitřní orientace

Prvky vnitřní orientace popisují komoru uvnitř. Tvar fotogrammetrického svazku paprsků definuje vnitřní orientace snímky, kterou se vyjadřuje vztah projekčního centra (střed objektivu fotokomory) k obrazové rovině. Prvky vnitřní orientace jsou obrazová vzdálenost, tj. délka kolmice spuštěné z projekčního centra na obrazovou rovinu a poloha paty této kolmice na obrazové rovině, tj. hlavní **bod  $H'$** . Hlavní bod je matematicko-fyzikálním počátkem systému souřadnic. **Konstanta komory  $f$**  je vzdálenost od hlavního snímkového bodu  $H'$  ke středu promítání v obrazovém prostoru. Možné značení je  $f$  nebo  $c$ . Z důvodu těžko definovatelné polohy hlavního snímkového bodu se zavádí tzv. **rámové značky  $M'$** , jejichž průsečík udává střed snímku  $M$ , od kterého se určují snímkové souřadnice. Poloha hlavního snímkového bodu  $H'$ , měřená od středu snímku  $M'$ , se udává v souřadnicích  $[x'_0, y'_0]$ , popřípadě jako  $[d_x', d_y']$ . Snímky, u kterých jsou známy prvky vnitřní orientace, jsou označeny jako měřitelné.<sup>10</sup>

## 2.2.3 Prvky vnější orientace

Prvky vnější orientace určují vztah projekčního centra k vnějším souřadnicím a orientaci osy záběru vůči souřadnicovým osám. Dnes se k jejich zjištění používá v letadlech nejčastěji GPS/IMU (globálního polohového systému/inerciální měřící jednotky). Polohu fotogrammetrického svazku paprsků v prostoru určuje šest prvků vnitřní orientace.<sup>10</sup>

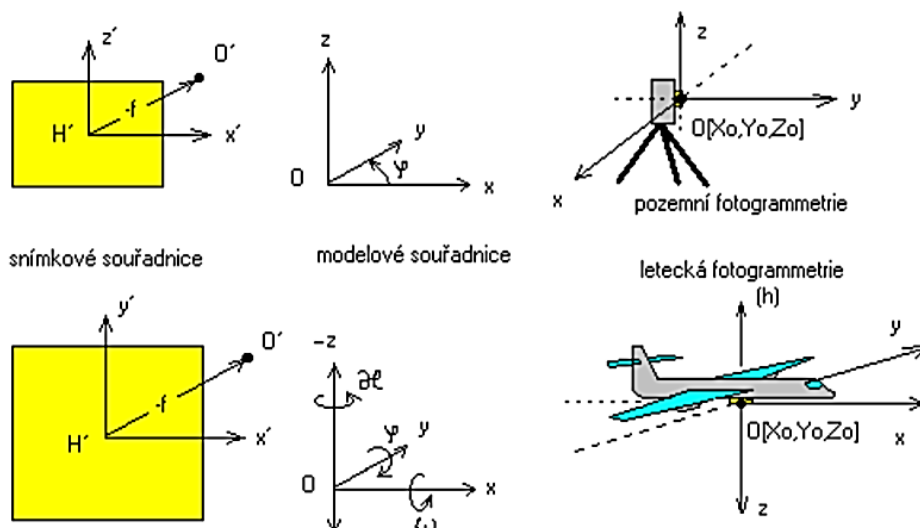
Jsou to:

- prostorové souřadnice  $x_0, y_0, z_0$  stanoviště, tzn. středu optického systému,
- směr osy záběru, resp. rotace, tzn. vodorovný úhel, který svírá průmět osy záběru s určeným stanoveným směrem, označován  $\omega$ ,
- sklon osy záběru, měřený ve svislé rovině od horizontály, nebo jeho doplněk měřený od vertikály, označován  $\varphi$ ,
- pootočení, tj. úhel, který vyjadřuje otočení snímku ve vlastní rovině kolem osy záběru, označován  $\kappa$ .<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> ING. ARCH. Jakub Viktora. VYUŽITÍ FOTOGRAMMETRIE PRO REALITNÍ PRAXI [online]. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ [cit. 2019-05-20]

[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=86148](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=86148)



Obrázek 4 Snímkové a modelové souřadnice; pozemní a letecká fotogrammetrie <sup>11</sup>

## 2.3 DRUHY POUŽÍVANÝCH NEMĚŘICKÝCH KOMOR

Pro zachycení snímku a následného zpracování dat se užívá několika typů měřičských komor. Nejčastějším typem jsou v dnešní digitální zrcadlovky s výměnným objektivem (s pevným objektivem), kompaktní fotoaparáty s výměnným objektivem, kompaktní fotoaparáty s proměnlivou ohniskovou vzdáleností, 4K kamery a mobilní telefony.

### 2.3.1 Základní pojmy

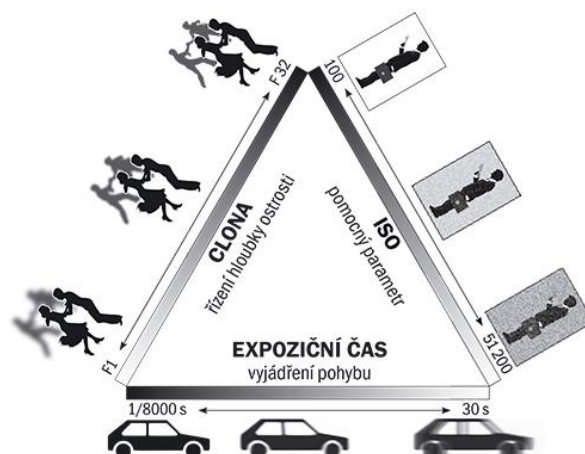
Před samotným představením jednotlivých fotogrammetrických komor je nutné zavést a objasnit některé fotografické pojmy.

#### **Rozlišení fotografie** <sup>12</sup>

Rozlišení fotografie je základním parametrem při určení kvality výsledné fotografie. Rozlišení nám určuje počet pixelů snímku na palec a dále udává počet pixelů na šířku a výšku obrázku. Nejčastějším tiskovým rozlišením je pro inkoustové tiskárny 300 DPI (Dots per inch – počet pixelů na palec), pro webové rozhraní je pak nejčastějším formátem 72 DPI.

<sup>11</sup> *The LPS Project Manager User's Guide: December 2010* [online]. Copyright © 2010 ERDAS, Inc. Printed in the United States of America. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: [http://geography.middlebury.edu/data/gg1002/Handouts/LPS\\_PM.pdf](http://geography.middlebury.edu/data/gg1002/Handouts/LPS_PM.pdf)

<sup>12</sup> *LŠF Liberec, s. r. o.: články, Velikost obrázku a jeho rozlišení* [online]. Publikováno: říjen 2016 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://lsfliberec.cz/blog/rozliseni>



Obrázek 5 Expoziční trojúhelník<sup>13</sup>

### Expozice<sup>14</sup>

Správná expozice zajistí, aby snímek nebyl příliš podexponovaný (tmavý) anebo naopak přeexponovaný (světlý). Je udávána v expozičním čísle, měříme tak světlo odražené od předmětu. Ve fotografii se setkáme s třemi způsoby měření expozice a to celoplošným, se zdůrazněným středem a bodovým měřením. Správná expozice je kombinací expozičního času, clony a citlivosti ISO.

### Ohnisková vzdálenost<sup>15</sup>

Jedná se o vzdálenost mezi středem čočky a rovinou, na kterou jsou zaostřeny objektivem soustředěné paprsky. Poměr velikosti snímače a ohniskové vzdálenosti zorný úhel zachycené scény.

### Clona<sup>16</sup>

Clona omezuje množství světla dopadajícího na snímač. V kombinaci s rychlostí závěrky umožňuje nastavit množství světla pro správnou expozici. Clona je jedním ze základních parametrů

<sup>13</sup> Expoziční trojúhelník: ZONER. In: . © 2019 ZONER software, Dostupné také z: <https://www.milujemefotografii.cz/proniknete-do-taju-expozice-expozicni-trojuhelnik>

<sup>14</sup> LŠF Liberec, s. r. o.: články, Správně měřená expozice – základ dobrého snímku. : Šimon Pikous, 2015 [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://lsfliberec.cz/blog/expozice>

<sup>15</sup> MEGAPIXEL Show, don't tell: Ohnisková vzdálenost © 2001–2018 MEGAPIXEL s.r.o. [online]. Martin Lukeš, [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/ohniskova-vzdalenost>

<sup>16</sup> © 2001–2018 MEGAPIXEL s.r.o. Clona © 2001–2018 MEGAPIXEL s.r.o. [online]. Luděk Bouška, [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/clona>

udávaných u každého objektivu. Velikost clony je dána velikostí clonového čísla. Výpočet clonového čísla je dán následujícím vztahem.

$$F = \text{ohnisková vzdálenost objektivu} / \text{průměr otvoru clony}$$

Tedy čím větší otvor, tím menší clonové číslo. Napodobuje princip fungování zorničky v lidském oku.

### **Čas expozice**<sup>17</sup>

Je doba, po kterou je závěrka fotoaparátu otevřena umožňuje tak světlu dopadat na senzor. Délka expozice ovlivňuje ostrost objektů na fotografii. Při rychlém pohybu objektu je nutné zkrátit expoziční časy.

### **Citlivost ISO**<sup>18</sup>

Citlivost ISO nám udává citlivost obrazového senzoru. Je dána fotografickým materiálem, nebo vlastnostmi daného snímače. Nejvyšší hodnoty ISO mohou u moderních profesionálních zrcadlovek dosáhnout hodnot až ISO 3 276 800 pro Nikon D5<sup>19</sup>

### **Ekvivalentní ohnisková vzdálenost**<sup>20</sup>

Umožňuje porovnání ohniskové vzdálenosti pro různé velikosti obrazového snímače. Udává kolikrát je daný senzor menší, než kinofilm nebo full frame senzor. Tento parametr je zaváděn u kompaktního fotoaparátu, mobilů a jednookých digitálních zrcadlovek.

## **2.3.2 Digitální zrcadlovky**

Digitální zrcadlovky fungují na principu zachycení procházejícího světla přes objektiv na senzoru a odrazu procházejících paprsků od sklopeného zrcátka (skloněno pod úhlem 45°), odtud jsou paprsky odraženy na hranol, který převrátí zobrazení a my tak můžeme pozorovat v hledáčku situaci, tak jak bychom jí viděli pouhým okem. Obraz vytvořený objektivem je převrácený o 180°, proto je nutné užití hranolu v hledáčku. V hledáčku je dále umístěn expoziční senzor.

---

<sup>17</sup> LŠF Liberec, s. r. o.: články, Správně měřená expozice – základ dobrého snímku. : Šimon Pikous, 2015 [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://lsfliberec.cz/blog/expozice>

<sup>18</sup> MEGAPIXEL Show, don't tell: Citlivost © 2001–2018 MEGAPIXEL s.r.o. [online]. Luděk Bouška [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/citlivost>

<sup>19</sup> PetaPixel: This is Nikon D5 Image Quality at ISO 3,280,000 [online]. Copyright © 2018 PetaPixel [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://petapixel.com/2016/01/12/this-is-nikon-d5-image-quality-at-iso-3280000/>

<sup>20</sup> MEGAPIXEL Show, don't tell: Ekvivalentní ohnisková vzdálenost. © 2001–2018 MEGAPIXEL s.r.o. [online]. Martin Lukeš [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/ekvivalentni-ohniskova-vzdalenost>

Základním rozlišením digitálních zrcadlovek je velikost snímače. Na tomto základě tak můžeme zrcadlovky rozdělit na crop (APS-C) a full-frame. Toto rozlišení se projevuje v ceně a zaměření jednotlivých zrcadlovek. Jednooké crop zrcadlovky jsou určeny pro amatérské, poloprofesionální užití, cena těchto přístrojů začíná okolo 10 000 Kč. Plně profesionální zrcadlovky s full-frame čipem jsou pak prodávány v řádu desítek tisíc.<sup>21</sup>

Pro fotogrammetrické účely je plně dostačující jednooká digitální zrcadlovka. Dále pak z pohledu fotogrammetrie je důležitý použitý objektiv a jemu příslušná ohnisková vzdálenost. Tedy zdali budeme užívat objektiv s pevnou ohniskovou vzdáleností, nebo s proměnnou ohniskovou vzdáleností typu zoom. Obecně by se dalo říci, že proměnná ohnisková vzdálenost objektivu je vykoupena horší světelností fotoaparátu. Naopak výhodou z pohledu fotogrammetrie je pevné ohnisko, kdy vlivem pořizování snímku nemůže dojít nešťastným způsobem ke změně ohniskové vzdálenosti a tím k narušení zpracování dat ve fotogrammetrických programech. Dále pak pevné ohnisko objektivu poskytuje povětšinou lepší podmínky pro kalibraci objektivu ve fotogrammetrických programech. Z pohledu ohniskové vzdálenosti, světelnosti a následné kalibrace se v praxi osvědčily objektivy s pevným ohniskem 20 mm a manuálním ostřením.<sup>22</sup>

Výhodou digitálních zrcadlovek je vysoká kvalita obrazu, snazší kalibrace objektivu a rychlost snímání a ukládání dat na paměťové medium. Dále pak fotografování i při zhoršených světelných podmínkách.

Nevýhodou je jedno účelnost zařízení, pořizovací cena a rozměry a s nimi spojená i hmotnost přístroje.

### **2.3.3 Kompaktní fotoaparáty**

Jsou dnes po mobilních telefonech nejrozšířenějším způsobem záznamu obrazu po mobilních telefonech. Vyznačují se především malými rozměry, nízkou cenou a vysokou kvalitou obrazu, která se v mnoha ohledech může rovnat i digitálním zrcadlovkám. Nevýhodou u těchto fotoaparátů je možná změna ohniskové vzdálenosti v průběhu dokumentace stop.<sup>23</sup>

---

<sup>21</sup> Alza.cz a.s.: Digitální zrcadlovky. : © 1994 - 2018 Alza.cz a.s. [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/digitalni-zrcadlovky/18843300.htm>

<sup>22</sup> Lightpoint Scientific, LLC: Best Lens for Photogrammetry. Louis R. Peck: © Copyright 2015 Lightpoint Scientific, LLC Privacy Policy [online]. February 05, 2016 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://lightpointdata.com/articles/2016/2/5/best-lenses-for-photogrammetry>

<sup>23</sup> MEGAPIXEL: Digitální kompakty. © 2001-2018 MEGAPIXEL s.r.o. [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/digitalni-kompakty>

### 2.3.4 Kompaktní fotoaparáty s proměnlivou ohniskovou vzdáleností

Stejně jako v případě kompaktních fotoaparátů s proměnlivou ohniskovou vzdáleností poskytují se svou nízkou hmotností, kompaktními rozměry a vysokou kvalitou obrazu alternativu k digitálním zrcadlovkám. Díky pevnému ohnisku pak odstraňují nevýhody spojené s možností změny ohniskové vzdálenosti jako je tomu u objektivů s proměnlivou ohniskovou vzdáleností. Ceny za takovéto fotoaparáty jsou srovnatelné s amatérskými digitálními zrcadlovkami.<sup>24</sup>

### 2.3.5 4K kamery

Jedná se o přístroje pracující s ultra HD rozlišením tedy s rozlišením 4krát větším nežli je Full HD (1920x1080). 4K kamery se staly pomocníky při různých příležitostech, kromě akademického užití, je nejčastějším užitím sportovní záznam v podobě akčních kamer. Průkopníkem na tomto trhu se stala společnost GoPro. Široké využití nabízejí tyto kamery i při záznamu jízdy vozidla, jako důkazní materiál pro pojišťovací domy a orgány činné při správním jednání (prokazování při dopravních nehodách).

Výhodou jsou malé rozměry a nízká hmotnost. Cena těchto kamer je srovnatelná s vyšší střední třídou kompaktních fotoaparátů. Nevýhodou je výrazné zkreslení obrazu, které je dáno širokoúhlým objektivem.<sup>25</sup>

### 2.3.6 Mobilní telefony

Jedná se o nejrozšířenější měřičskou komoru. Díky svým kompaktním rozměrům, nízké hmotnosti, nízké pořizovací ceně a více účelnosti zařízení s možností záznamu polohy GPS a přímým propojením s některými fotografickými programy se jedná o zajímavou alternativu k digitálním zrcadlovkám a kompaktním fotoaparátům. K datu 18. 4. 2018 je za nejlepší fotomobil považován Huawei P20 Pro s rozlišením fotoaparátu 40 MPx (f/1.8) + 20 MPx (f/2.4) + 8 MPx (f/1.6) s cenou 20 847 Kč. Za obdobnou

---

24 MEGAPIXEL: Kompakty s výměnným objektivem. © 2001–2018 MEGAPIXEL s.r.o. [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/kompakty-s-vymennym-objektivem>

25 Techfan.cz: Co je to 4K (Ultra HD) rozlišení?: *Text: Ondřej Kaňa* [online]. 21. 03. 2017 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.techfan.cz/l/co-je-to-4k-ultra-hd-rozlisi/>

částku by pak bylo možné pořídit Nikon D5600 nebo Canon EOS 77D. Nevýhodou může být změna ohniskové vzdálenosti a nízký obrazový výkon<sup>26 / 27 /28 /29</sup>

## 2.4 FOTOGRAMETRICKÝ SOFTWARE

V současné době se objevuje na trhu velké množství programů, které jsou schopny vytvořit mračno bodů z fotografií. Základním dělením těchto programů je, zdali je výpočetní výkon užíván v počítači, nebo na vzdáleném serveru.

Zástupci offline programů jsou například Agisoft Photoscan Professional (licencovaný program, cena \$3 499 USD nebo VisualSFM (volná licence programu), námi testovaným online programem je Autodesk ReCap (licencovaný program, cena 10 210 Kč za rok). Dalším zástupcem je program Meshlab (volná licence programu), PhotoModeler a iWitness. Program PhotoModeler je možné pořídit na neomezenou dobu za \$3 995 USD. Program iWitness je nejvíce užívaným programem v dokumentaci dopravních nehod v USA, pořizovací cena tohoto programu je \$2 395 USD. V rámci zpracování této práce bylo požádáno studentské licence, popřípadě o možné zapůjčení časově omezeného licenčního klíče, se kterým by umožněna plnohodnotná práce s programem. Ovšem ani ke konci zpracování této práce nebyl tento program poskytnut a tak bylo nutno přejít na program 3df Zephyr Aerial a Lite, které jsou dodávány s časově omezenou studentskou licencí na 14 nebo 30 dní a pak za cenu 149€ + 21% DPH. V rámci studentské licence a smluvních podmínek daných společností Autodesk je možné neomezené užívání produktů po dobu tří let se zaregistrováním se do registrů společnosti Autodesk prostřednictvím studentského mailu vedeného Vysokým učením technickým v Brně. V případě užití softwaru společnosti Autodesk Remake si nárokuje společnost Autodesk práva na zacházení s modelem vytvořeným v tomto programu. Společnost Agisoft poskytuje 30 denní licenční klíč, který umožňuje plnohodnotné pracování

---

<sup>26</sup> Techmaster: Mobily s nejlepším fotoaparátem [online]. 18. 4. 2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.techmaster.cz/clanky/mobily-s-nejlepsim-fotoaparatem-2018#nejlepsi-fotomobil-soucasnosti>

<sup>27</sup> Heureka: Mobilní telefony [online]. Copyright 2000-2018 Heureka Shopping [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://mobilni-telefony.heureka.cz/huawei-p20-pro-6gb-128gb-dual-sim/>

<sup>28</sup> Heureka: Digitální fotoaparáty [online]. Copyright 2000-2018 Heureka Shopping [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [\\*https://digitalni-fotoaparaty.heureka.cz/nikon-d5600/](https://digitalni-fotoaparaty.heureka.cz/nikon-d5600/)

<sup>29</sup> Heureka: Digitální fotoaparáty [online]. Copyright 2000-2018 Heureka Shopping [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://digitalni-fotoaparaty.heureka.cz/canon-eos-77d>

s programem. Časově omezený klíč je možné získat po zaregistrování fakultního mailu na webových stránkách společnosti Agisoft. Programy VisualSFM a Meshlab jsou volně ke stažení a užívání.<sup>30</sup> /<sup>31</sup> /<sup>32</sup> /<sup>33</sup>

### 2.4.1 Offline programy

Programy, které modely vytvářejí přímo na počítači samotného uživatele (například Photomodeler, Agisoft Photoscan, 3DF Zephyr Aerial/Lite iWitness).

Výhodou těchto programů je možnost uživatele přímo ovlivnit tvorbu modelu. Navíc může při pozdější úpravě modelu vybírat ze širší škály editačních možností.

Nevýhodou je pak velká náročnost na hardwarovou výbavu počítače a s tím i spojená časová náročnost.<sup>34</sup>

### 2.4.2 Online programy

Programy na bázi cloud - computing (Autodesk ReCap, dříve 123D Catch, Pix4D). Fotografie jsou odeslány na vzdálený server a zde dochází k samotné kalkulaci modelu, bez možnosti zásahu do tvorby.

Výhodou je nenáročnost na hardwarovou výbavu a rychlost. Některé programy již umožňují nahrávání dat skrze své mobilní aplikace, takto je možno rychle a snadno se dostat k požadovanému modelu.

Nevýhodou je nemožnost jakkoliv ovlivnit tvorbu modelu. Později lze model pouze v malé míře editovat. Jedná se o black box, kdy můžeme jenom předpokládat, že program zvolil správné kalibrační parametry fotoaparátu. Další nevýhodou je pak problém s autorskými právy u některých programů.

---

<sup>30</sup> Agisoft: Buy Online Store [online]. © 2018 Agisoft All rights reserve [cit. 2018-05-20].

<sup>31</sup> AUTODESK: ReCap Pro [online]. © 2018 Autodesk [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/products/recap/subscribe?referrer=%2Fproducts%2Frecap%2Fsubscribe&plc=RECAP&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>

<sup>32</sup> PHOTOMODELER: The PhotoModeler for your needs [online]. © 2017 PhotoModeler Technologies [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://www.photomodeler.com/products/default.html>

<sup>33</sup> 3Dflow: Full 3DF Zephyr features comparison [online]. [cit. 2019-05-20].

Dostupné z: <https://www.3dflow.net/3df-zephyr-feature-comparison/>

<sup>34</sup> iWitnessphoto [online]. © 2016 DeChant Consulting Services [cit. 2018-05-20].

Dostupné z: <http://www.iwitnessphoto.com/products/index.html>

### **3 MOŽNOSTI VYUŽITÍ A STANOVENÍ LIMITŮ PŘI ZAVÁDĚNÍ DIGITÁLNÍ FOTOGRAMETRIE V SOUDNĚ-INŽENÝRSKÉ PRAXI**

Na Základě analýzy současného stavu fotogrammetrie, prozkoumání a prostudování jednotlivých současných trendů v této oblasti a právních předpisů umožňujících snímání dat, především pak pro leteckou pro fotogrammetrii, je přistoupeno k definování cílů této závěrečné práce. Jedním z cílů této práce bude stanovit limitující podmínky užití techniky pro pořizování snímků pro digitální fotogrammetrii. Posouzení, která ze skupin online, či offline programů je vhodnější pro uživatele. Ověření, zadli obecné principy fotogrammetrie, především pak snímkování jsou vhodné k záznamu místa dopravní nehody. Popřípadě navrhnout možné řešení zjištěných nedostatků. Dále pak bude posouzeno využití výsledných mračen bodů, potažmo síťových modelů k řešení omezených rozhledů na křižovatkách a v neposlední řadě pak možnost využití v soudně-inženýrské praxi, především pak v simulačních programech pro řešení dopravních nehod.

## 4 DIGITÁLNÍ FOTOGRAMMETRIE

Zdokumentované objekty či situace jsou nasnímány měřičskou komorou z různých pozic v prostoru. Potom v prostředí programu je spuštěn speciální algoritmus, který funguje na bázi triangulace, kdy se naleznou na jednotlivých fotografiích společné body (vlíčovací body) a pomocí průmětu se vypočtou jednotlivé pozice fotoaparátů/snímků okolo dokumentovaného objektu. Následně je za pomoci triangulace vypočítán tzv. point cloud, tedy mračno bodů (každý bod má v prostoru své X, Y, Z souřadnice). Z mračna bodů je vypočtena polygonální síť, která reprezentuje základní geometrii a povrch dokumentovaného objektu. Poté je vypočtena textura modelu. Jednotlivé kroky budou dále rozvedeny v textu. Výstupem digitální fotogrammetrie je pak tzv. point cloud, neboli mračno bodů. Toto mračno bodů obsahuje souřadnice X, Y, Z a dále informace o barvě bodu. Druhým výstupem je pak samostatný síťový model tzv. mesh, který může být v závislosti na schopnosti programu i texturován.

### 4.1 KALIBRACE DIGITÁLNÍ KOMORY

Z důvodů neznalosti prvků vnitřní orientace u neměřické komory je nutné provést kalibraci. U měřických komor jsou tyto hodnoty dány výrobcem příslušné komory. Prvky vnitřní orientace jsou u měřických komor známé a neměnné. Prvky vnější orientace jsou určeny na základě orientační soustavy, kterou je měřičská soustava vybavena.<sup>35</sup>

*Relativní přesnost měřických komor je v určování prostorové souřadnice 0,5 ‰ až 0,05 ‰ (tj. 1:2000 až 1:20000 neboli 1 mm / 2 až 20 m).*

*Objektivy mají zkreslení (radiální distorzi) menší než 10 μm. Čidla v senzoru splňují podmínku přesnosti geometrického uspořádání 1-2 μm. Použití pro práce vyšší přesnosti a na větší vzdálenosti (dosah 300 až 500 m) – především pro dvou snímkovou metodu*

Zkreslení objektivu u neměřických komor dosahuje až 1 mm na okrajích snímku. Využívá se proto pro měření na kratší vzdálenost, nežli měřičské komory.

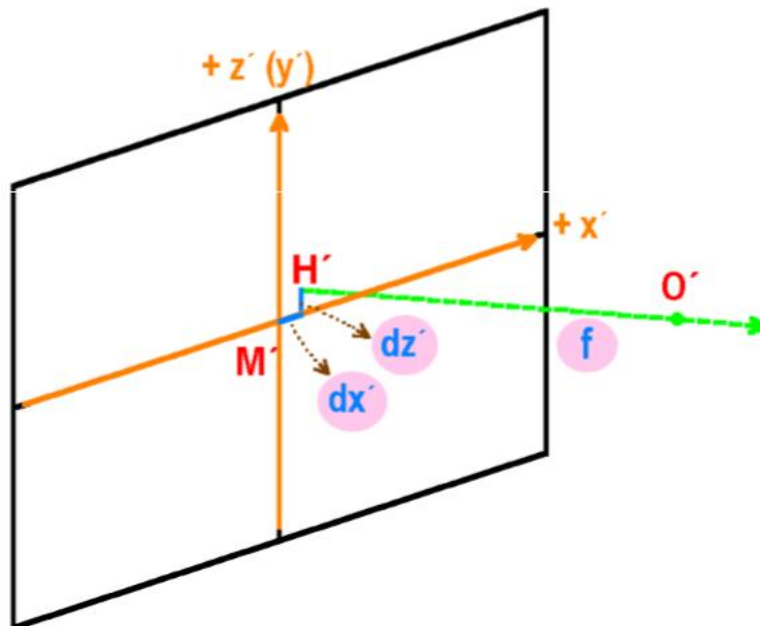
**Prvky vnitřní orientace u fotoaparátu jsou určeny těmito parametry:**

- konstanta komory (f)

---

<sup>35</sup> DOCPLAYER: Digitální komory pro pozemní fotogrammetrii měřické komory zeměměřické komory neměřické komory fotoaparáty speciální komory [online]. 2018 © DocPlayer.cz [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/13082080-Digitalni-komory-pro-pozemni-fotogrammetrii-mericke-komory-semimericke-komory-nemericke-komory-fotoaparaty-specialni-komory.html>

- poloha hlavního snímkového bodu ( $M' = H'$ )
- průběh distorze objektivu (radiální zkreslení)



Obrázek 6 Prvky vnitřní orientace<sup>36</sup>

### **Ohnisková vzdálenost a hlavní bod<sup>37</sup>**

Ohnisková vzdálenost je vzdálenost mezi středem čočky a rovinou, na kterou jsou zaostřeny objektivem soustředěné paprsky.

### **Radiální zkreslení**

Distorze radiálních čoček objektivu fotoaparátu jsou popsány třemi parametry **K1**, **K2** a **K3**. Jedná se o zkreslení objektivu způsobené souhrnem geometrických nepřesností. Toto zkreslení musí být opraveno při tvorbě modelu. Radiální zkreslení se také mění s ohniskovou vzdáleností, což je další důvod, proč neměnit ohniskovou vzdálenost během focení. Úhel vystupujícího paprsku není totožný, jako úhel vstupujícího paprsku a poloha zobrazeného bodu se tak nepatrně liší od skutečné polohy. *Velikost*

<sup>36</sup> *Matematické základy fotogrammetrie, souřadnicové soustavy, transformace: Masaryk University* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/podzim2014/Z8101/um/50635271/prednaska4.pdf>

<sup>37</sup> *Ohnisková vzdálenost a hlavní bod: Mendelova univerzita v Brně* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=18713](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=18713)

odchylky se mění s radiální vzdáleností od středu objektivu. Posuny bodů o radiální vzdálenosti  $r'$  na snímku o hodnotu  $\Delta r'$  označujeme jako radiální distorzi (zkreslení).<sup>38</sup>

### **Decentrální zkreslení**

Obecně malý zdroj chyby, označujeme ho parametry P1 a P2. Vyjadřuje hodnotu decentralizace čoček uvnitř objektivu.

### **Lineární zkreslení**

Vyjadřeno parametry B1 a B2. Povětšinou jsou nastaveny na hodnotu 0 a ignorovány.<sup>39</sup>

## **4.2 POŘÍZENÍ DAT**

Při pořizování dat pro zachycení místa dopravní nehody, okolí, či předmětu platí obecné pravidla fotogrammetrie. Jednotlivé snímky jsou pořizovány tak, že úhel mezi paprsky jednotlivých snímků směřujících z místa pořízení do středu je větší než 10°. Druhým nutným pravidlem je, že minimální počet rozeznatelných bodů na dvou po sobě snímaných snímcích musí být minimálně pět. Pokud tyto podmínky nejsou splněny, nemůže být zaručena úspěšná tvorba modelu. Dle příruček jednotlivých programů a především programu IWitness používaný v USA byla stanovena další pravidla pro úspěšné zachycení místa dopravní nehody.

Čím větší je úhel průsečíku dvou nebo více paprsků, tím přesněji budou souřadnice XYZ. I když bylo řečeno, že minimální počet rozeznatelných bodů mezi dvěma má být pět, je obecně doporučeno, aby těchto bodů bylo více. Šest pro účely spolehlivosti a pokud možno tak více než dvanáct, pro kvalitní model. Dalším pravidlem je, že kvalita modelu a dense cloud je obecně závislý i na počtu nasnímaných snímků.<sup>40</sup>

V závislosti na požadované kvalitě tak rozlišujeme tyto tři stupně:

- malá kvalita > 50 fotografií
- střední kvalita 50 až 150 fotografií
- velká kvalita 150 > fotografií

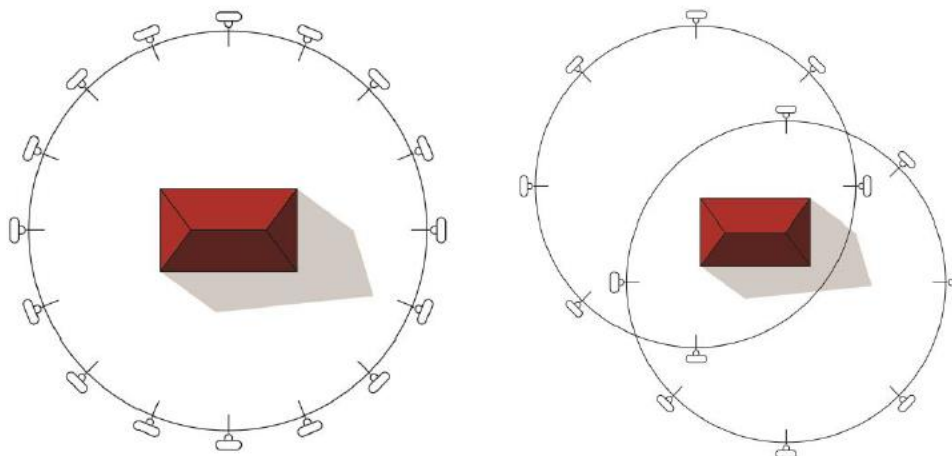
---

<sup>38</sup> Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i.: Radiální distorze [online]. VÚGTK © 2005 - 2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://www.vugtk.cz/slovník/6390\\_radialni-distorze](https://www.vugtk.cz/slovník/6390_radialni-distorze)

<sup>39</sup> HAMZAH, Nurkhaliesa Balqis. RECONSTRUCTION OF TRAFFIC ACCIDENT SCENE USING CLOSE-RANGE PHOTOGRAMMETRY TECHNIQUE[online]. Malaysia, 2010 [cit. 2018-02-08].

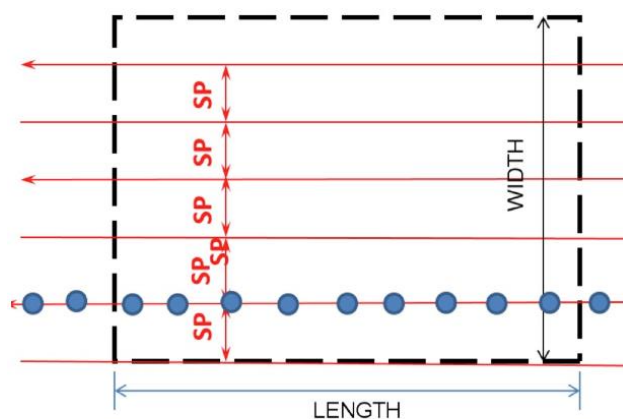
<sup>40</sup> IWitness: Photometrix [online]. © Photometrix Pty Ltd, Australia [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <http://photometrix.com.au/downloads/iWitness/iWitness%20Basics.pdf>

Objekt se snažíme fotit z několika výškových úrovní s aspoň 60% překrytím. Fotky se pořizují za konstantního světla a za dobrých světelných podmínek (bez blesku). Větší objekty je snahou dokumentovat v období vegetačního klidu. Zlatým pravidlem fotografování je, že co nebude na fotkách vidět, nebude i na výsledném modelu.



Obrázek 7 Metoda kruhu (vlevo) a metoda více kruhů (vpravo)<sup>41</sup>

Při pořizování jednotlivých snímků dronem z několika výškových úrovní je nutné stanovit letový plán. V závislosti na velikosti oblasti je nutné stanovit počet letových čar a jednotlivé rozestupy mezi nimi, dále pak rychlost letu.



Obrázek 8 Stanovení počtu průletů dronu, jednotlivých směrů a počtu snímků<sup>42</sup>

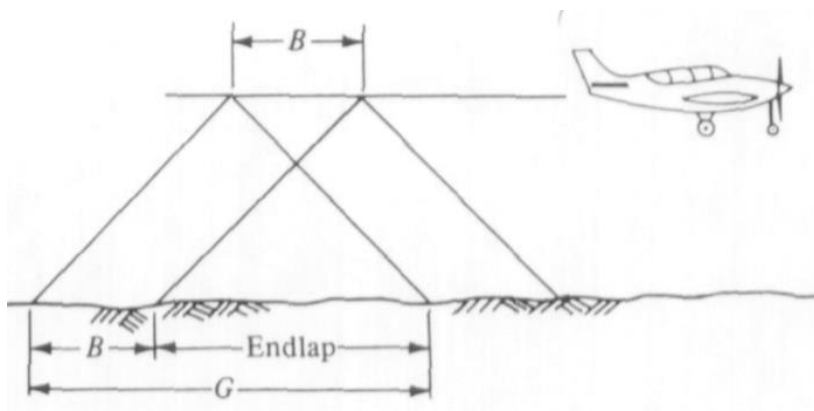
<sup>41</sup> VIKTORA, J. Využití fotogrammetrie pro realitní praxi. Brno 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství. Vedoucí Pavel Klika.

<sup>42</sup> DroneMapper: Drone Mapper UAS Systems and Photogrammetric Image Processing [online]. DroneMapper © 2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://dronemapper.com/uas\\_photogrammetry\\_processing/](https://dronemapper.com/uas_photogrammetry_processing/)

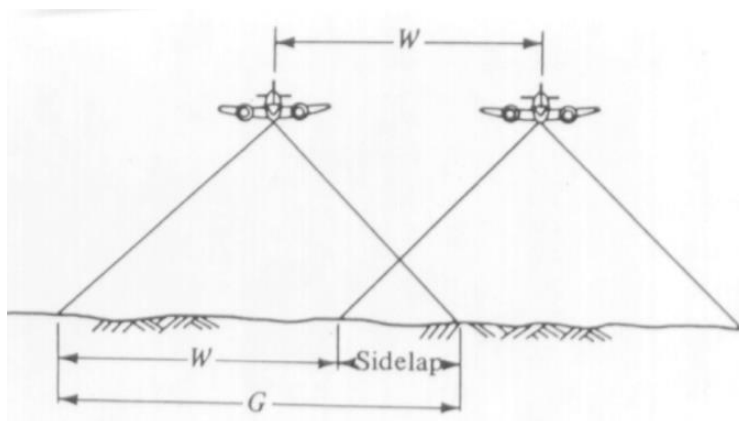
**Popis obrázku č. 6:**

černě je vyznačena oblast fotogrammetrie, červeně jednotlivé letové dráhy, modře jednotlivé snímky

Pro stanovení počtu snímků je nutné znát jednotlivé letové hladiny, z kterých se budou snímky pořizovat, dále pak velikost snímače fotoaparátu. Celkový postup při snímání pomocí dronu je následující. Nutná znalost ohniskové vzdálenosti fotoaparátu, kamery umístěné na dronu, dále pak velikosti pixelů, velikosti snímače (velikost v pixelech), velikost a tvar snímané oblasti, rychlost letu dronu a dále pak rozměr mapy, do které je letový plán zanášen.



Obrázek 9 Parametry snímkování při letecké/ dronové fotogrammetrii A<sup>43</sup>



Obrázek 10 Parametry snímkování při letecké/ dronové fotogrammetrii B<sup>43</sup>

Velikost pokrytí pak vypočte jako:

---

<sup>43</sup> DroneMapper: Drone Mapper UAS Systems and Photogrammetric Image Processing [online]. DroneMapper © 2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://dronemapper.com/uas\\_photogrammetry\\_processing/](https://dronemapper.com/uas_photogrammetry_processing/)

Pokrytí snímku ( $W'$ ) = (velikost pixelu \* letová hladina)/ohnisková vzdálenost

Vzdálenost mezi jednotlivými drahami je pak dána jako:

Vzdálenost mezi drahami ( $W$ ) = pokrytí snímku ( $W'$ )\*[100 - počet překrytí snímků (side lap)]

Počet letů (NFL) je roven šířce snímané oblasti/vzdáleností mezi drahami +1.

Při mapování se doporučuje začínat na západní nebo východním okraji oblasti.

Vzdálenost mezi dvěma po sobě jdoucími snímky v jedné letové hladině je vyjádřena v následujícím vztahu

Vzdálenost mezi dvěma po sobě jdoucími snímky:

( $B$ ) = pokrytí snímku ( $W'$ ) \* [100 – počet překrytí snímků (end lap)] /100

Počet snímků v jedné letové hladině (NIM) se rovná délce snímané oblasti (Lenght) / $B$  + 1.

Celkový počet snímků za let je součinem počtu letových drah (NFL) a počtu snímků v jedné hladině (NIM).<sup>44</sup>

### 4.3 ZPRACOVÁNÍ DAT A TVORBA MODELU

Samostatný pracovní postup při tvoření 3D modelu je ve většině používaných programů této závěrečné práce automatický s větším či menším zásahem zpracovatele modelu.

Prvotním krokem je zpracování naměřených dat. Tedy v prvním kroku se ověřuje dostatečná kvalita jednotlivých fotografií, popřípadě dochází k prvotní postprodukci naměřených snímků. Některé z používaných programů v této práci umožňují automatickou detekci kvality.

Druhým krokem je pak nahrání informací o kalibraci objektivu.

#### 4.3.1 Postup kalibrace v programu Agisoft a PHOTOMODELER

Pro názornost je popsána kalibrace objektivu v programovém prostředí programu Agisoft Photoscan Professional. Při tvorbě modelu pomocí programu od Agisoftu je doporučeno vypočítat kalibrační parametry zvoleného objektivu pro odpovídající ohnisko, na které byly jednotlivé snímky snímány. Ukázkovým příkladem bude kalibrace jednooké digitální zrcadlovky Nikon D5000 s objektivem s proměnným ohniskem Nikon NIKKOR 18-105MM F3.5-5.6G AF-S DX VR ED

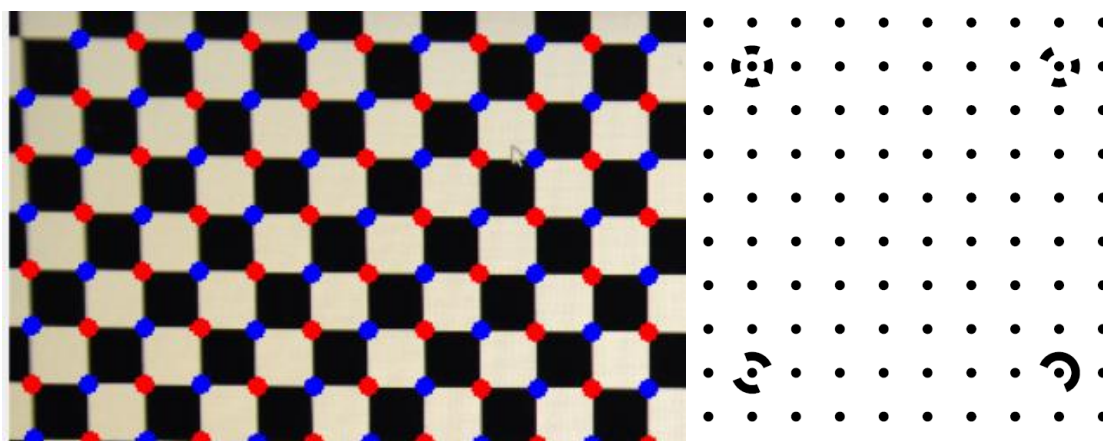
---

<sup>44</sup> DroneMapper: Drone Mapper UAS Systems and Photogrammetric Image Processing [online]. DroneMapper © 2018 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: [https://dronemapper.com/uas\\_photogrammetry\\_processing/](https://dronemapper.com/uas_photogrammetry_processing/)

s fixací ohniskové vzdálenosti na 38 mm. Při zpracování byl použit objektiv s proměnným ohniskem, muselo být zafixováno zvolené ohnisko na objektivu pomocí gumového kroužku upevněného na těle objektivu. V případě tvorby modelu z fotek, o nestejném ohnisku dochází k tvorbě souběžných modelů totožného vozidla v jedné pracovní ploše, což je nežádoucí.

Kalibrace fotoaparátu pomocí Agisoft Lens probíhá prostřednictvím nafocení šachovnicové plochy, která představuje testovací pole na zvolené ohnisko z obrazovky počítače (popřípadě v tištěné podobě) ze tří různých úhlů. Následně jsou určeny radiální a tangenciální úchyly. Příklad kalibrace je patrný z následujícího snímku.

V případě programu PhotoModeler je kalibrace prováděna pomocí testovacího pole s kontrolními body. Počet snímků tohoto pole je oproti Agisoftu Lens 4x vyšší. Princip snímání je však stejný. Obecně vzato platí pravidlo o snímání testovacího pole z různých pozic. V případě online programů nemá uživatel žádné možnosti, jak by změnil případně špatnou kalibraci objektivu.



Obrázek 11 Ukázka testovací šachovnice a testovacího pole

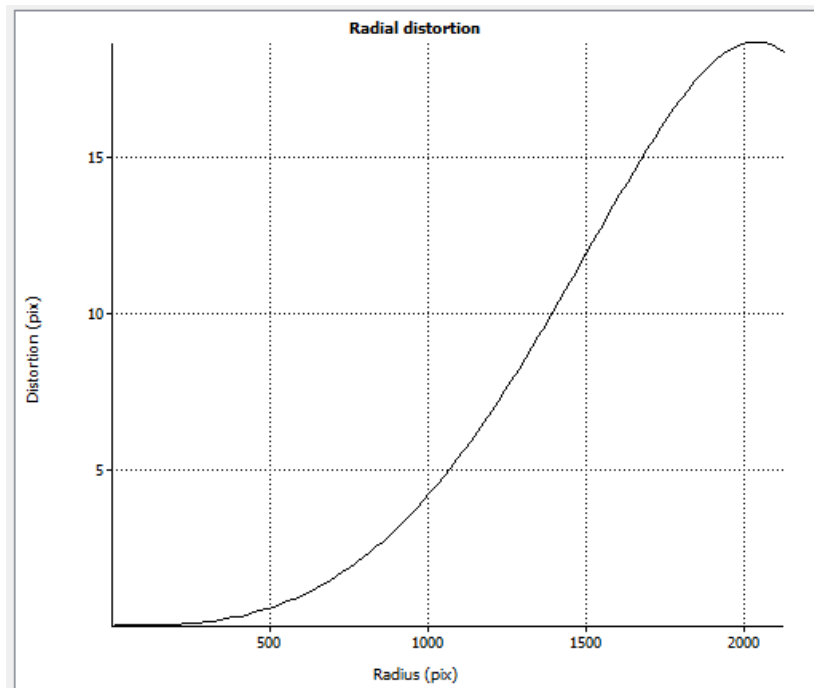
Obrázek č.11 Ukázka testovací šachovnice Agisoft Lens (vlevo) a testovacího pole s kontrolními body PhotoModeler (vpravo) <sup>45</sup>

Nutno zmínit, že kalibrace pomocí šachovnicového pole z obrazovky počítače, případě z tištěného media představuje možné riziko chybovosti při fotogrammetrie objektů, které jsou snímány s ostřením na nekonečno. Výše popsaná metoda je ostřena na výrazně nižší hodnoty, nežli je nekonečno. Níže je

---

<sup>45</sup> zdroj Agisoft, PhotoModeler manuál \*Eos Systems Inc., PhotoMODELER uživatelská příručka, 5. vydání, 2011 Copyright 2003

radiální zkreslení objektivu kalibrovaného v programu Agisoft Lens. Jednotlivé hodnoty jsou pak uvedeny v následující tabulce.



Obrázek 12 Radiální zkreslení objektivu NIKKOR 18-105MM F3.5-5.6G, ohnisková vzdálenost 25 mm;  
vlastní zpracování

Tabulka 1 Parametry kalibrace objektivu NIKKOR 18-105MM F3.5-5, ohnisková vzdálenost 25 mm

Parameter	Value	Std Error
Image width	4288	
Image height	2848	
Focal length (x)	4342.89	2.95811
Focal length (y)	4340.32	2.72294
Principal point (x)	2145.8	1.57485
Principal point (y)	1404.56	1.23744
Skew	-1.50886	0.2512
Radial K1	-0.0856609	0.00805632
Radial K2	0.116866	0.0957953
Radial K3	0.378711	0.450265
Radial K4	-0.644405	0.526648
Tangential P1	-0.00130297	8.60875e-05
Tangential P2	0.000226685	0.000126217

Zdroj: vlastní zpracování

Nutnost provedení kalibrace objektivu je nevyhnutelná, aby vytvořený model odpovídal skutečnému stavu a odchylky od tohoto stavu byly minimální. Online programy typu Autodesk ReMake Photo nebo 3df Zephyr (Aerial, Lite) používají jako kalibrační údaje svojí vlastní databázi objektivů.

### 4.3.2 Vytvoření mračna bodů a síťového modelu

Po nahrání kalibrace a prvotním pročištění snímků přichází detekce značek v jednotlivých fotografiích, popřípadě jsou tyto body určeny ručně. Při manuálním označení bodů, označíme body na více fotografiích. Druhým způsobem pro určení klíčových bodů (tzv. tie points) je pomocí nástroje pro detekci klíčových bodů pomocí bodových značek (coded targets). Například program od Agisoftu nabízí v základní nabídce i tisknutelné klíčové body, které je pak možné rozmístit v terénu a usnadnit tak výpočet a přiřazení jednotlivých snímků do prostoru.<sup>46</sup>



Obrázek 13 Užití kódové detekce<sup>47</sup>

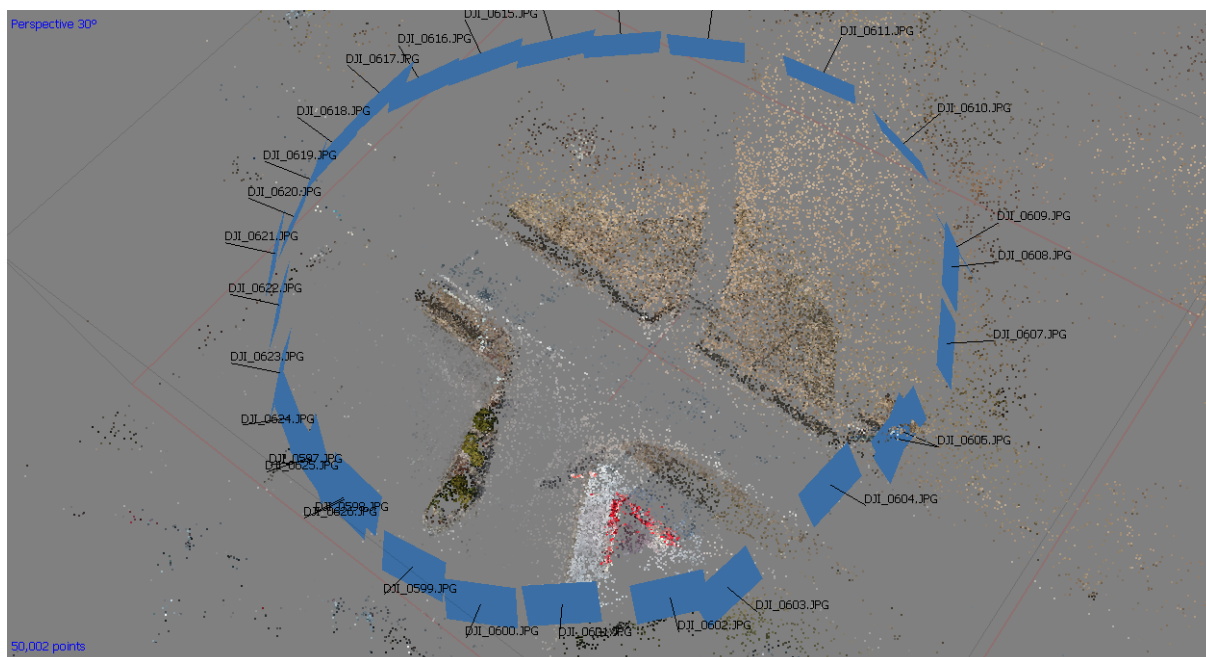
Pokud nejsou na fotkách kódové značky, nebo nebyly z nějakého důvodu rozeznány programem, přistupují programy k metodě smart match and density surface. Dalším krokem je tak užití principu smart match a density surface modelingu (dále jen DSM), volně přeloženo jako rozeznání stejných bodů na jednotlivých snímcích a vytvoření hustého povrchu z bodů. Tyto body se používají k automatickému zjišťování a shodě společných rysů na více překrývajících se fotografiích. Výsledkem je oblak hustého bodu, který může být případně trojúhelníkový nebo povrchový, aby tak vytvořil tvar. Projekty postavené pomocí nástrojů DSM mohou být doplněny tradičními funkcemi modelování, jako jsou body a čáry. Na tomto principu fungují všechny dnešní fotogrammetrické programy.<sup>48</sup>

---

<sup>46</sup> *Understanding tie points* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [http://www.pcigeomatics.com/geomatica-help/concepts/orthoengine\\_c/Chapter\\_5\\_understandTP.html](http://www.pcigeomatics.com/geomatica-help/concepts/orthoengine_c/Chapter_5_understandTP.html)

<sup>47</sup> *EE Publishers (Pty) Ltd: Automating photogrammetry with coded targets* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.ee.co.za/article/automating-photogrammetry-with-coded-targets.html>

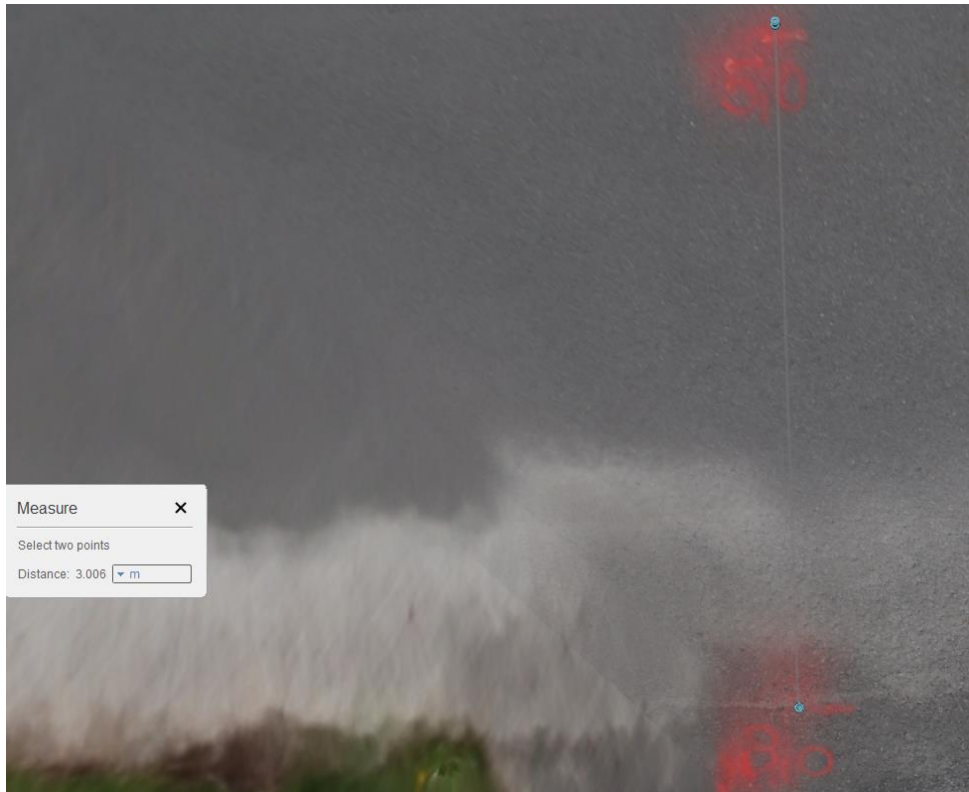
<sup>48</sup> Agisoft, PhotoModeler manuál \*Eos Systems Inc., PhotoMODELER uživatelská příručka, 5. vydání, 2011 Copyright 2003



Obrázek 14 Mračno bodů v programu Agisoft Photoscan; vlastní zpracování

Po vytvoření klíčových bodů (tie points) následuje vytvoření mračna bodů a následně síťového modelu (tzv. mesh). Kdy jsou mezi jednotlivými body, které tvoří vrcholy nataženy hrany a jsou utvořené na základě triangulační metody jednotlivé plochy (tzv. faces). Samostatná kalibrace a úprava modelu pak dochází na základě známých hodnot z daného místa. Jako vhodným se pak jeví změření obecně známého rozměru např. délka rozvoru automobilu, šířka přechodu pro chodce, či jiného dopravního značení. Jak je patrné z obrázku níže, tak bylo užito pomocných značek vytvořených na krytu komunikace, aby bylo možné model později kalibrovat.<sup>49</sup>

<sup>49</sup> Agisoft, PhotoModeler manuál \*Eos Systems Inc., PhotoMODELER uživatelská příručka, 5. vydání, 2011 Copyright 2003



Obrázek 15 Kalibrace modelu křižovatky v Autodesk ReMake pomocí známých délek a značek vytvořených na krytu silnice; vlastní zpracování

Další možností je pak kalibrace pomocí zaměření známých souřadnic a srovnáním modelu pomocí těchto souřadnic. V případě, že by některé ze snímků obsahovaly GPS polohu, tak dochází v případě programu Autodesk ReMake k nemožnosti kalibrace daného programu a model je přímo kalibrován na základě geopozice dopočítané s pomocí známých souřadnic GPS ze snímků.<sup>50</sup>

Po vytvoření síťového modelu je možno ve většině programů pokračovat k předposlednímu kroku a to k tvorbě textury daného modelu. Posledním krokem pak již zůstává výsledný export jednotlivých bodů a síťového modelu. Nejčastějším typem při exportu mračna bodů jsou soubory ve formátu s příponou txt, xyz nebo pts. V případě síťového modelu se pak dostáváme k formátu 3ds, obj, fbx, dxf nebo pty.<sup>51</sup>

---

<sup>50</sup> Agisoft, PhotoModeler manuál \*Eos Systems Inc., PhotoMODELER uživatelská příručka, 5. vydání, 2011 Copyright 2003

<sup>51</sup> ReCap: Autodesk Knowledge Network [online]. [cit. 2019-05-20].

Dostupné z: <https://knowledge.autodesk.com/support/recap/learn>

## 5 POUŽITÍ PŘI ANALÝZE DOPRAVNÍCH NEHOD

Samotná fotogrammetrie se stala jednou z možných metod při řešení dopravních nehod. Její význam spočívá především v možnosti rychlého, bezkontaktního sběru dat a možnosti pozdějšího zpracování. Které v případě dopravní nehody umožňuje rychlé zpřístupnění místa dopravní nehody normálnímu provozu. Dle předpisu č. 160/2009 v aktuálním znění ze dne 4. prosince 2009 je vyšetřující policista povinen obnovit bezpečnost a plynulost silničního provozu a v případě potřeby i odklonit silniční provoz. Možností užití fotogrammetrie při analýze dopravních nehod se zabývá Znalecký standart č. II, který zavádí grafické metody fotogrammetrie. Z tohoto pohledu je tak velmi důležitým aspektem čas znovu zpřístupnění místa dopravní nehody a kvalitní zaznamenání stop na místě dopravní nehody.

### **Dokumentace a rekonstrukce místa dopravní nehody za pomoci fotogrammetrie**

Dokumentace dopravní nehody je důležitým aspektem při vyšetřování průběhu dopravní nehody. Jednotlivé stopy jsou prostředkem ke zjištění všech skutečností předstřetového, střetového a postřetového děje. Většina policejních sborů používá při vyšetřování dopravních nehod klasické metody záznamu stop, mezi které patří například měřicí kolečko, pásma, totální stanice, obrazový záznam pomocí fotoaparátu. Tento tradiční způsob záznamu stop znamená delší dobu, po kterou je místo dopravní nehody uzavřeno. Z tohoto důvodu tak přešly některé policejní sbory k jiným metodám záznamu stop. Jednou z nejvíce prosazovaných metod je záznam stop pomocí digitální fotogrammetrie, která umožňuje rychlé zajištění stop na místě nehody a následného zpracování dat v laboratoři, kanceláři příslušného policejního sboru. Dalším z možných užití při rekonstrukci místa dopravní nehody je kromě užití pro řešení předstřetového a střetového pohybu v daném místě, i možnost užití pro řešení viditelnosti jednotlivých účastníků dopravní nehody. Zejména k získání digitálních dat, která mohou sloužit jako podklad pro dopravního inženýra k navržení opatření na křižovatkách s omezeným výhledem.

## 6 TECHNICKÉ A PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

Ke zpracování této závěrečné práce bylo využito fyzického technického vybavení (snímací technika, měřidla, výpočetní technika, totální stanice apod.) a programového vybavení (grafické programy, CAD programy, tabulkové editory apod). Jednotlivé vybavení bylo zapůjčeno nebo zajištěno vlastními zdroji. V určitých směrech bylo pro tuto práci limitující programové omezení, které bylo implementováno jednotlivými výrobci programů do svých softwarů. Především pak omezení vycházející ze studentských, akademických verzí programů a zkušebních verzí s časově omezenou platností programu. V případě techniky pak bylo především limitující nákladnost u výpočetní techniky, co se operačního výkonu týče. V neposlední řadě pak byly i ostatní okolnosti, které omezovaly některé z měření (např. mapování křižovatek pomocí dronu a omezené letecké zóny).

### 6.1.1 Technika pro tvorbu modelu

Jednotlivými fázemi tvorby programu byly vygenerovány rozdílné požadavky na přístroje, které pak byly použity. V první fázi byla využita snímací technika k pořízení fotografií, které dále slouží jako podklad pro zpracování pomocí výpočetní techniky. Ke kalibraci je využito známých délek, které odměřují na místě, které se modeluje. Popřípadě se využívají zeměměřičské přístroje pro zaznamenání jednotlivých souřadnic.

#### ***Snímací technika***

Pro snímání jednotlivých křižovatek byly vybrány následující přístroje:

- Nikon D5000 + AF-S DX NIKKOR 18-105 mm VR
- 4k kamera GoPro Hero 5
- Xiaomi Redmi Note 3 16GB
- DJI Mavic Pro Fly More Combo s 4k kamerou

V následující tabulce je porovnání základních parametrů fotoaparátů/objektivů snímací techniky.

Tabulka 2 Porovnání vybraných snímacích komor

	Nikon D5000 + Nikkor 18-105 mm VR	GoPro Hero 5 Black	Xiaomi Redmi Note 3	DJI Mavic Pro
Obrazový snímač	CMOS	CMOS	X	CMOS
Formát snímače:	APS-C	X	X	X
Rozišení:	12,3 Mpx	12 Mpx	16 Mpx	12 Mpx
Max rozišení fotografií:	4288x2848	3840x2160		4000x3000
Světelnost pevného objektivu:	f/3,5-f/5,6	f/2,8	f/2	f/2,2
Typ paměťového media:	SD card	Micro SD	vnitřní paměť	Micro SD
Formáty souborů	JPEG, RAW	JPEG, MOV, RAW	JPEG, M-PEG	JPEG, MOV, RAW
Rozišení videa:	VGA (640x480)	4K (3840x2160)	HD (1080x720)	4K (3840x2160)
Integrovaný GPS:	X	Ano	X	Ano
Video formát:	AVI	MPEG-4, AVC/H.264	MPEG-4	MPEG-4, AVC/H.264

Zdroj: vlastní zpracování, Nikon <sup>52</sup> ; GoPro<sup>53</sup> ; Xiaomi <sup>54</sup> ; Dron <sup>55</sup>

Ke snímání bylo užito i dronu DJI Mavic Pro, pro který bylo krom výdrže baterie, která byla 2x 15min i omezení v letu, kdy je Úřadem pro civilní letectví striktně vymezená plocha kde, je možné létat. Z tohoto pohledu nebylo možné využití dronu ke snímání všech křižovatek. Což se projevilo především v Brně, kde se nachází mezinárodní letiště Tuřany a pak v Havlíčkově Brodě, kde se nachází jediné mezinárodní letiště v kraji Vysočina. Limitujícím faktorem pro použití dronu jsou pak krom jiného i klimatické podmínky, kdy dron při dešti, či foukajícím větru nemůže vzlétnout.

Dle zákona č. 49/1997 Sb. Zákon o civilním letectví platí ochranné pásma okolo letišť, dále pak platí několik pravidel:

- a) Osoba ovládající bezpilotní letoun by měla na něj dobře vidět, tak aby se dokázala s bezpilotním letounem vyhnout případným překážkám.
- b) Bepilotní letoun by neměl létat nad lidmi a hustě obydlenými místy.
- c) Nesmí překročit výšku 300m.

<sup>52</sup> Digitální zrcadlovka Nikon D5000 + 18-105 mm VR: NIKON [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/nikon-d5000-18-105-vr-kit#product-sec-param>

<sup>53</sup> GoPro HERO5 Black: GoPro [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/gopro-hero5-black/recenze>

<sup>54</sup> Xiaomi Redmi Note 3: XIAOMI [online]. [cit. 2019-05-20].

Dostupné z: [https://www.gsmarena.com/xiaomi\\_redmi\\_note\\_3-7863.php](https://www.gsmarena.com/xiaomi_redmi_note_3-7863.php)

<sup>55</sup> DJI kvadrokoptéra Mavic Pro Platinum: MEGAPIXEL s. r. o. [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.megapixel.cz/dji-kvadrokoptera-mavic-pro-platinum>

d) Nesmí se dostat do vzdálenosti bližší než 5,5km o letiště. V případě, že bezpilotní letoun má hmotnost menší nežli 0,91kg, mohou i blíže, nesmí však vzlétnout výše, než je výška okolní zástavby, stromů či překážek.

Provoz bezpilotního letounu bez řádného povolení Úřadu pro civilní letectví může být předmětem sankčního řízení, kdy je maximální výše pokuty až 5 000 000Kč.<sup>56</sup>

Tabulka 3 Přehledová tabulka užití dronů<sup>57</sup>

ř.	maximální vzletová hmotnost	≤ 0,91 kg		> 0,91 kg a < 7 kg		7 – 20 kg		> 20 kg		bepilotní letadlo provozované mimo dohled pilota
		rekre- ačně spor- tovní	výdělečné, experimen- tální, výzkumné	rekre- ačně spor- tovní	výdělečné, experimen- tální, výzkumné	rekre- ačně spor- tovní	výdělečné, experimen- tální, výzkumné	rekre- ačně spor- tovní	výdělečné, experimen- tální, výzkumné	
1	evidence letadla	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
2	evidence pilota	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
3	praktický a teoretický test pilota	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
4	povolení k létání	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano
5	povolení k provádění LP a LCPVP	nelze	ano	nelze	ano	nelze	ano	nelze	ano	nelze
6	označení UA: ID štítek / ID štítek + pozn. značka	ne / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ne	ano / ano	ano / ano
7	min. ve vzdálenosti (m): vzlet, přistání / osoby, stavby / osídlený prostor	bezpečná	bezpečná	bezpečná	bezpečná	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150	bezpečná, ale minimálně 50/100/150
8	pojištění: běžný provoz / LVV (mil. Kč)	ne / 0,25	dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>	ne / 1	dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>	ne / 3	dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>	dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>	dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>	dle nař. č. 785/2004 <sup>1</sup>
9	dozor	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	ano	ne
10	„failsafe“ systém	ne	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ano
11	provozní příručka UAS	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ne
12	hlášení událostí	ne	ano	ne	ano	ne	ano	ano	ano	ano

Naposledy změněno: 26. prosinec 2017 16:39

<sup>56</sup> Úřad pro civilní letectví: Informace související s provozem bezpilotních letadel a modelů letadel [online]. © 2011 Úřad pro civilní letectví [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <http://www.caa.cz/letadla-bez-pilota-na-palube/informace-souvisejici-s-provozem-bezpilotnich-letadel-a-1>

<sup>57</sup> Předpisy pro létání s drony v ČR. Droneweb [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.droneweb.cz/legislativa-provozu-dronu/item/37-predpisy-pro-letani-s-drony-v-cr>

### 6.1.2 Snímání fotografií pro tvorbu mračen bodů a síťových modelů

Samostatné snímání pomocí výše uvedených kamer bylo prováděno v období od října 2018 do května 2019. Při snímání, natáčení bylo užito obecných pokynů pro fotogrammetrické měření dle kapitoly 7.2 Pořízení dat.

Kromě snímacích kamer bylo užito i GNSS přijímače polohy zapůjčeného z Ústavu soudního znalectví Vysokého učení technického vedoucím této diplomové práce. Pomocí snímače GNSS byly zaměřeny křižovatky Hudcova x Palackého třída, Berkova x Bulharská a Vodova x Svatopluka Čecha. Výstupem byl soubor bodu S-JTSK pro jednotlivé křižovatky. Body byly dále využity při kalibraci jednotlivých modelů a budou uvedeny v grafických přílohách č. 2, č. 3 a č. 4.

### 6.1.3 Programové vybavení a zpracování modelů

K porovnání v rámci kvality mračna bodů a síťového modelu bylo užito programů Agisoft Photoscan Pro, 3df Zephyr Aerial/Lite a Autodesk ReMake Photo. Pro zpracování jednotlivých rozhledových poměrů a prezentaci síťových modelů bylo využito programu Autodesk ReMake, Autodesk Civil 3d a Meshlab. Výsledné porovnání jednotlivých programů bude rozvinuto v dalších kapitolách.

Z hlediska místa výpočtu jednotlivých bodů a modelů můžeme rozlišovat programy, které pracují s operačním výkonem Vašeho počítače a programy využívající k výpočtu výkonu na serverech (v cloudu). Agisoft Photoscan Pro a 3df Zephyr Aerial jsou offline programy využívající k tvorbě výpočetní výkon Vaší pracovní stanice. Program od Autodesku využívá k výpočtu serverů, výpočetního výkonu na síti, jedná se o online program. Vyžaduje tak připojení k síti internet. Pro větší přehlednost a ujasnění základních parametrů byla zpracována následující **tabulka č. 5**.

Tabulka 4 Porovnání vybraných fotogrammetrických programů

	<b>Autodesk ReMake Photo</b>	<b>Agisoft PhotoScan/Pro</b>	<b>3df Zephyr Lite/Aerial</b>
<b>Operační systém</b>	Windows	Windows, Mac, Linux	Windows
<b>Typ programu</b>	online	offline	offline
	x	(CUDA/OpenGL)	GPU (CUDA/DirectX)
<b>Počet zpracovaných fotek</b>	100	500	50/500
<b>Cena programu</b>	10 474 Kč	4 126Kč/80 645Kč	4 650Kč/100 590Kč
<b>Licence na dobu</b>	1 rok	neomezeně	neomezeně

Jednotlivé programy byly opatřeny v časově omezených verzích nebo se studentskou licencí v případě programu Autodesk ReMake Photo. Porovnání těchto programů bude dále rozebráno na modelovém příkladu.<sup>58 ; 59; 60</sup>

<sup>58</sup> Agisoft: Agisoft Metashape Professional Edition [online]. Agisoft Metashape licenses are compatible with earlier Agisoft PhotoScan versions. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.agisoft.com/buy/online-store/>

<sup>59</sup> G4D s.r.o.: Agisoft Metashape [online]. 2018 © Agisoft [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: [https://www.agisoft.com/pdf/metashape\\_presentation.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape_presentation.pdf)

<sup>60</sup> 3Dflow: 3DF ZEPHYR [online]. 2018 © Agisoft [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.3dflow.net/3df-zephyr-pro-3d-models-from-photos/>

## 7 TVORBA MRAČNA BODŮ A SÍŤOVÉHO MODELU VYBRANÝCH KŘIŽOVATEK

V rámci zpracování této závěrečné práce bylo vytipováno celkem osm křižovatek pozemních komunikací, kde je překážka v rozhledu mezi jednotlivými účastníky provozu, popřípadě kde bylo možnost ověřit jednotlivé funkce fotogrammetrických programů. Z tohoto důvodu tak byla v průběhu půl roku od října 2018 do května 2019 prováděna jednotlivá měření vytipovaných křižovatek. Samotný sběr dat byl prováděn za plného provozu na daných křižovatkách. Jednotlivé informace o místních komunikacích, uspořádání, katastrálním území/parcelách byly převzaty od správců jednotlivých komunikací, popřípadě z vlastních měření a zhotovených modelů.

Ke sběru dat bylo užito fotografického náčiní v podobě mobilního telefonu, jednoboké digitální zrcadlovky, 4K kamery, dronu s 4K kamerou a totální stanice GNSS. Jednotlivá technika pro sběr dat a další zpracování bude dále rozvedena.

K vytvoření jednotlivých modelů bylo užito fotogrammetrických programů Agisoft Photomodeler Pro, Autodesk ReMake Photo, 3df Zephyr Aerial a Lite.

### 7.1 MODELOVANÉ KŘIŽOVATKY

Jednotlivé zpracovávané křižovatky se nacházejí ve třech městech České republiky, a to v Brně, v Havlíčkově Brodě a ve Velkém Meziříčí. Celkově bylo zmapováno osm křižovatek, z toho bylo tři stykové křižovatky, dvě průsečné a dvě připojení účelové komunikace. Jednotlivé křižovatky s typovým označením, které bude dále užíváno v této práci, je uvedeno viz následující tabulka.

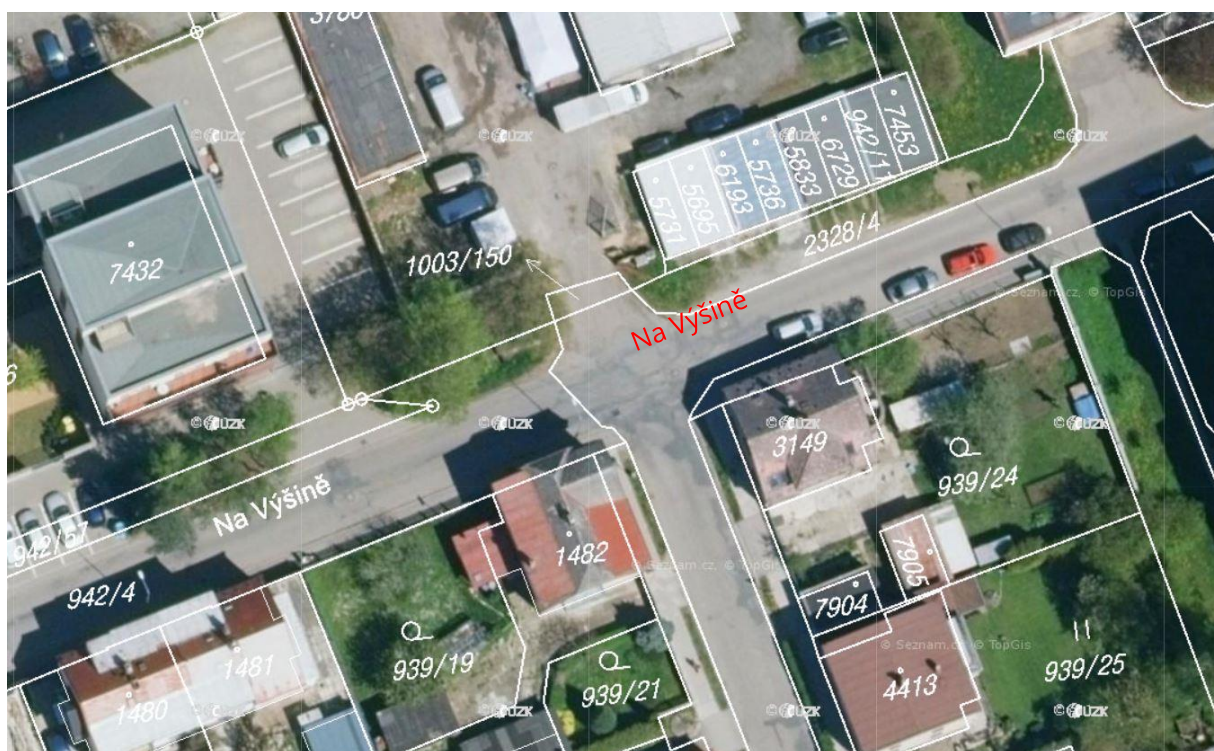
Tabulka 5 Přehled řešených křižovatek

<b>Označení</b>	<b>Křižovatka</b>	<b>Typ</b>	<b>Město</b>
K1	MK Na Spravedlnosti x MK Na Výšině	styková	Havlíčkův Brod
K2	MK Hudcova x MK Palackého třída	styková	Brno
K3	MK Bulharská x MK Berkova	průsečná	Brno
K4	MK Svatopluka Čecha x MK Vodova	průsečná	Brno
K5	MK Pražská x MK Na Spravedlnosti	styková	Havlíčkův Brod
K6	MK Dolní Papšíkov x sjezd areálové komunikace letiště	styková	Havlíčkův Brod
K7	II/602 Jihlavská x sjezd areálové komunikace Gremis	styková	Velké Meziříčí
K8	MK Dolní Papšíkov x sjezd areálové komunikace letiště 2	styková	Havlíčkův Brod

Zdroj: vlastní zpracování

### 7.1.1 MK Na Spravedlnosti x MK Na Výšině

Styková křižovatka dvou místních obslužných komunikací v katastrálním území Havlíčkova Brodu s připojením sousední nemovitosti v severní části. Uliční uspořádání na ulici Na Spravedlnosti je s chodníky a pásem zeleně po obou stranách MK Na Spravedlnosti. Šířka hlavního dopravního prostoru je 12m, šířka MK je 5,75m, šířka zeleného pásu je 1m, šířka chodníků 2,15m. Na rameni Na Výšině západní a východní je chodníková plocha při jižní části směrem k MK Na Spravedlnosti. Celková šířka hlavního dopravního prostoru je 7,75, šířka chodníku je 1,75m. Při rameni Na Výšině východ je zřízeno parkovací stání šířky 2,0m. Kryt komunikace je tvořen živičnou vrstvou vykazující značnou míru únavy. Velmi často se stává, že řidiči parkují blíže stykové křižovatce, než povoluje zákon č. 361/2000 Sb. - Zákon o provozu na pozemních komunikacích.<sup>61</sup>



Obrázek 16 Křižovatka MK Na Spravedlnosti x MK Na Výšině<sup>62</sup>

Tato křižovatka byla vybrána z důvodu překážky v rozhledu mezi vozidlem jedoucím po hlavní komunikaci Na Výšině a vozidlem odbočujícím vlevo na hlavní pozemní komunikaci z MK Na

<sup>61</sup> Zákon č. 361/2000 Sb.: Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů. In: *Zákony pro lidi*. Praha: © AION CS, s.r.o. 2010-2019 | Pracuje na systému AToM3, 2000, 98/2000. Dostupné také z: <https://zakonprolidi.cz/cs/2000-361>

<sup>62</sup> Katastrální mapa: Katastr nemovitostí. In: . Praha: © Mapy.cz, © ČÚZK. Dostupné také z: <https://www.ikatastr.cz/#kde=49.60626,15.58007,14&info=49.41141,15.72038&mapa=letecka&vrstvy=p arcelybudovy>

Spravedlnosti. Dle jednotné dopravní vektorové mapy zde byla Policií České republiky šetřena pouze jedna dopravní nehoda, důvodem byla nedostatečná pozornost řidiče.<sup>63</sup> Ze znalostí místních poměrů je zřejmé, že nehod na křižovatkách bývá více, ale řidiči po sepsání Záznamu o dopravní nehodě, a pokud nebyla způsobena škoda třetí osobě, již Policii České republiky nevolají z důvodu vyhnutí se případným sankcím vyplývajících ze zákona č. 411/2005 Sb. Kde byl zákonodárci s účinností od 1. 7. 2006 nastolen nový systém trestání přestupků proti bezpečnosti a plynulosti provozu na pozemních komunikacích podle § 22 zákona ČNR č. 200/1990 Sb., o přestupcích, ve znění pozdějších předpisů.<sup>64</sup> Pokud tedy při nehodě nedojde k poškození zdraví nebo usmrcení osob, mohou být při šetření Policií České republiky místě uděleny pokuty do 2 000 Kč, ve správním řízení od 1 500 do 2 500 Kč, což jsou sankce relativně nízké. Přísnější sankce mohou přicházet v úvahu kvůli příčině nehody, a to např. nedání přednosti v jízdě je totiž na místě do 2 500 Kč a ve správním řízení od 2 500 do 5 000 Kč.<sup>65</sup>

### 7.1.2 MK Hudcova x MK Palackého třída

Styková křižovatka dvou místních komunikací ve městě Brně. S provozem šaliny na ulici Palackého třída a zároveň silným dopravním zatížením na této komunikaci. Přednost v jízdě je dána dopravní značkou P4 Dej přednost v jízdě, která je umístěná na MK Hudcova. Hlavní dopravní prostor na ulici Hudcova je šířky 14,75m, je tvořen MK Hudcova šířky 10,75m a přilehlými chodníky šířky 2,0m. Na rameni MK Palackého třída sever je při průběžném jízdním pruhu směrem na centrum města zastávka šaliny Hudcova. Hlavní dopravní prostor má šířku 25m, je tvořen chodníkem šířky 2,25m při jízdním pruhu ve směru na centrum, jízdním pruhem šířky 3,5m zastávkovým nástupním ostrůvkem šířky 2,5m, tramvajovým pásem šířky 6,5m a jízdním pruhem šířky 3,5m.<sup>66</sup>

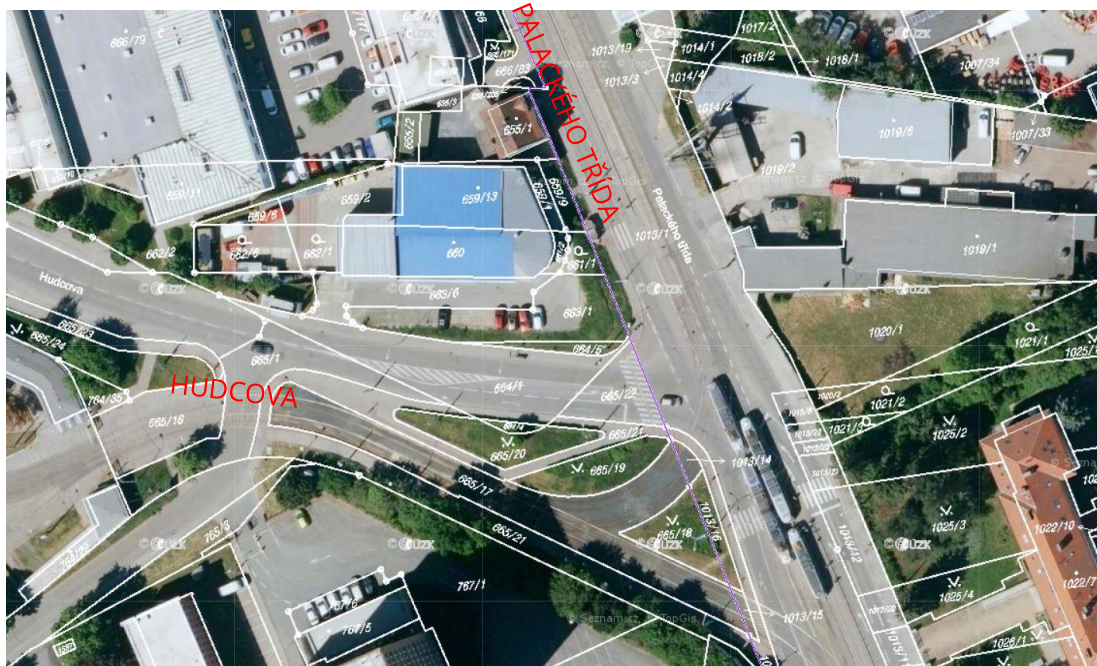
---

<sup>63</sup> *Statistika nehod v mapě: Statistické vyhodnocení nehodovosti v silničním provozu ve vybraném správním území v časové řadě v mapě.* In: . Centrum dopravního výzkumu, v.v.i. Dostupné také z: <http://www.jdvm.cz/cz/s477/Rozcestnik/Statistika-nehod-v-mape/c7355-Statisticke-vyhodnoceni-nehodovosti-v-silnicnim-provozu-ve-vybranem-spravnim-uzemi-v-casove-rade-v-mape>

<sup>64</sup> Zákon č. 411/2005: Novela zákona o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů, In: 2005. částka 142. Dostupné také z: <https://www.zakony.cz/zakon-SB2005411>

<sup>65</sup> Bodový systém - tabulka pokut 2019. *12bodů.cz* [online]. Copyright © 2011-2019 ::12bodů.cz:: vše o bodovém systému nejen pro vybodované řidiče [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.12bodů.cz/bodove-prestupky.php>

<sup>66</sup> *Statistika nehod v mapě: Statistické vyhodnocení nehodovosti v silničním provozu ve vybraném správním území v časové řadě v mapě.* In: . Centrum dopravního výzkumu, v.v.i. Dostupné také z: <http://www.jdvm.cz/cz/s477/Rozcestnik/Statistika-nehod-v-mape/c7355-Statisticke-vyhodnoceni-nehodovosti-v-silnicnim-provozu-ve-vybranem-spravnim-uzemi-v-casove-rade-v-mape>



Obrázek 17 Křižovatka MK Hudcova x MK Palackého třída<sup>67</sup>

Dle jednotné vektorové dopravní mapy celkově došlo na zadané křižovatce k 18 dopravním nehodám, z toho tři byly při odbočování vlevo a jedno proti příkazu dopravní značky P4 Dej přednost v jízdě. Tato křižovatka byla zvolena z důvodu překážky v rozhledu, kdy vozidlo odbočující vlevo na hlavní pozemní komunikaci nemá dostatečný rozhled na vozidlo přijíždějící po hlavní pozemní komunikaci přes svah při pozemku č. 663/1.

### 7.1.3 MK Bulharská x MK Berkova

Zvolená křižovatka se nachází v městské části Brno-Králově Poli. Jedná se o stykovou křižovatku dvou místních komunikací a to MK Berkova a MK Bulharská. Hlavní dopravní prostor na ulici Berkova je proměnné šířky od 14,5 – 21,5m. Komunikace MK Berkova je proměnné šířky 6,5-7,25m, při MK se nacházejí chodníky proměnné šířky 1,75-2,25m a pásy zeleně šířky 1m. Hlavní dopravní prostor ulice Bulharská je proměnné šířky 7 – 9,5m. Při obou stranách této komunikace, která je v jednosměrném režimu jsou zřízena parkovací místa celkové šířky 2x2m.

<sup>67</sup> Katastrální mapa: Katastr nemovitostí. In: . Praha: © Mapy.cz, © ČÚZK. Dostupné také z: <https://www.ikatastr.cz/#kde=49.21294,16.60265,14&info=49.41141,15.72038&mapa=letecka&vrstvy=p-arcelbydovy>



Obrázek 18 Křižovatka MK Bulharská x MK Berkova <sup>68</sup>

Dle jednotné vektorové dopravní mapy se zde stalo celkem 15 dopravních nehod, z toho 13 bylo z důvodu srážky s vozidlem zaparkovaným nebo odstaveným a 2 nehody z důvodu srážky s jedoucím nekolejovým vozidlem. Křižovatka byla vybrána z důvodu překážky v rozhledu mezi vozidlem jedoucím po komunikaci s předností v jízdě (ulice Bulharská, směrem z centra) a vozidlem jedoucím po komunikaci dávající přednost vozidlu přijíždějícímu zprava (ulice Berkova, směr nádraží Královo Pole).<sup>69</sup>

#### 7.1.4 MK Svatopluka Čecha x MK Vodova

Průsečná křižovatka MK Vodova a MK Svatopluka Čecha se nachází v městské části Brno-Královo Pole. Z dopravního hlediska je zde provoz upraven předností vozidla přijíždějícího zprava. Tři ze čtyř ramen této křižovatky jsou v jednosměrném režimu. Hlavní dopravní prostor na ulici Svatopluka Čecha je šířky 20m a je tvořen chodníkovými plochami šířky 1,5-2m po obou stranách doplněnými o pásy zeleně šířky 1m. V rámci pozemní komunikace je vedena jednosměrná cyklostezka ve směru Slovanské náměstí. Hlavní dopravní prostor na ulici Svatopluka Čecha je v proměnné šířce 20-22,5m. Hlavní dopravní prostor

<sup>68</sup> Katastrální mapa: Katastr nemovitostí. In: . Praha: © Mapy.cz, © ČÚZK. Dostupné také z: <https://www.ikatastr.cz/#kde=49.21294,16.60265,14&info=49.41141,15.72038&mapa=letecka&vrstvy=parcelybudovy>

<sup>69</sup> *Statistika nehod v mapě: Statistické vyhodnocení nehodovosti v silničním provozu ve vybraném správním území v časové řadě v mapě.* In: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i. Dostupné také z: <http://www.jdvm.cz/cz/s477/Rozcestnik/Statistika-nehod-v-mape/c7355-Statisticke-vyhodnoceni-nehodovosti-v-silnicnim-provozu-ve-vybranem-spravnim-uzemi-v-casove-rade-v-mape>

se skládá na severní větví z MK šířky 6m, přilehlého podélného a kolmého parkovacího stání a chodníkovými plochami při přilehlých budovách.



Obrázek 19 Křižovatka MK Svatopluka Čecha x MK Vodova <sup>70</sup>

Dle jednotné vektorové dopravní mapy zde byla pouze jedna dopravní nehoda, příčinou bylo nesprávné otáčení nebo couvání. Tato křižovatka byla vybrána z důvodu překážky v rozhledu mezi vozidlem přijíždějícím po komunikaci s právem v přednosti v jízdě na ulici Svatopluka Čecha, které dále pokračuje po této komunikaci směrem k MK Purkyňova a vozidlem projíždějícím křižovatku po ulici Vodova, které dále pokračuje po ulici Vodova směrem k MK Skácelova.

### 7.1.5 MK Pražská x MK Na Spravedlnosti

Jedná se o stykovou křižovatku sběrné MK Pražská a obslužné MK Na Spravedlnosti. Z dopravního hlediska je přednost vozidel dána SDZ P4 Dej přednost v jízdě umístěným na MK Na Spravedlnosti a SDZ P2 Hlavní pozemní komunikace na MK Pražská. Hlavní dopravní prostor na ulici Pražská je celkové šířky 14m, šířka komunikace je 7m, ke komunikaci přiléhají při pravém pruhu ve směru na Kolín parkovací pás

<sup>70</sup> Katastrální mapa: Katastr nemovitostí. In: . Praha: © Mapy.cz, © ČÚZK. Dostupné také z: <https://www.ikatastr.cz/#kde=49.21294,16.60265,14&info=49.41141,15.72038&mapa=letecka&vrstvy=p-arcelybudovy>

šířky 2m, pruh zeleně šířky 1,25m a chodníkové plochy. Hlavní dopravní prostor na ulici Na Spravedlnosti je celkové šířky 12,5m a je tvořen komunikací šířky 6m a přilehlými chodníkovými plochami šířky 1,75m.



Obrázek 20 Křižovatka MK Pražská x MK Na Spravedlnosti <sup>71</sup>

Tato křižovatka byla zvolena vzhledem k překážce v rozhledovém poli vozidla odbočujícího z MK Na Spravedlnosti na MK Pražská. V rozhledovém poli se nachází opěrná zídka přilehlého pozemku a dále pak odstavená vozidla na parkovacích stáních. Z tohoto důvodu zde bylo umístěno odrazné zrcadlo v souladu s TP 119 – Odrazová zrcadla (schváleno MD OPK č.j. 536/2013-120-STSP/1 ze dne 31.7.2013 s účinností od 1.8.2013. Současně se ruší a nahrazují v celém rozsahu TP 119, schválené MD-OPK č.j. 930/2007-120-STSP/1 /ze dne 17.12.2007). <sup>72</sup>

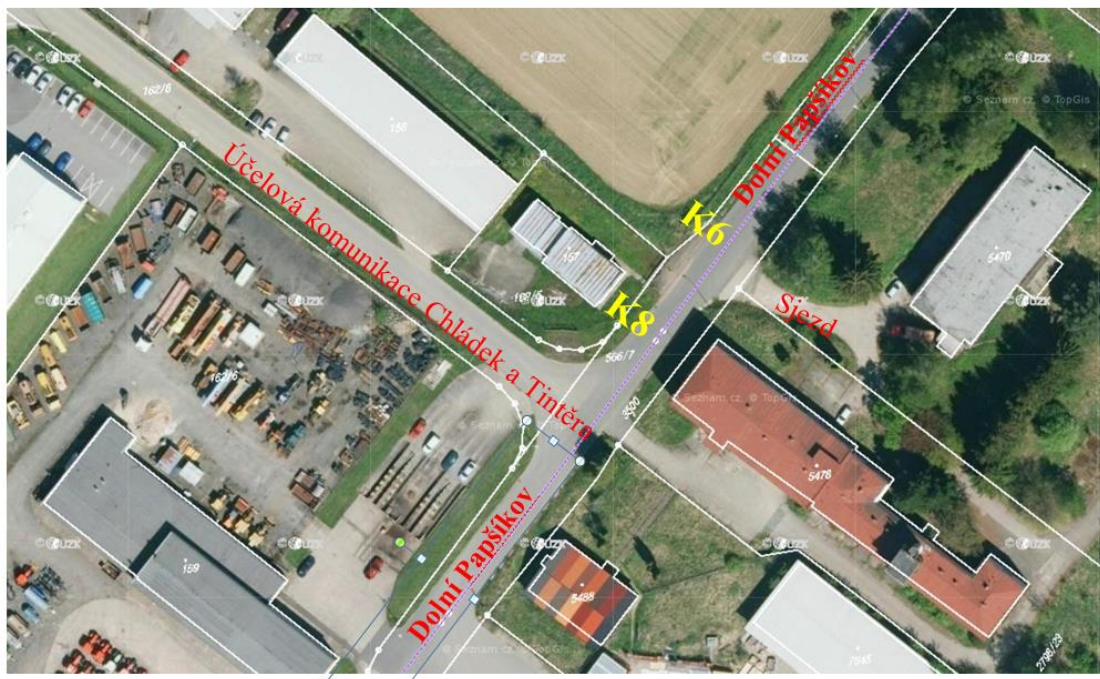
### 7.1.6 MK Dolní Papšíkov x sjezd areálové komunikace letiště

Jedná se o areálovou křižovatku Letiště Havlíčkův Brod, která byla zvolena s ohledem na možnost volného měření a pokusů, které dále pomohly při tvorbě a realizaci ostatních modelů v této závěrečné práci. Z hlediska stavebního uspořádání se jedná o dvoupruhovou směrově nerozdělnou komunikaci

<sup>71</sup> Katastrální mapa: Katastr nemovitostí. In: . Praha: © Mapy.cz, © ČÚZK. Dostupné také z: <https://www.ikatastr.cz/#kde=49.21294,16.60265,14&info=49.41141,15.72038&mapa=letecka&vrstvy=parcelybudovy>

<sup>72</sup> TP 119 ODRAZOVÁ ZRCADLA: TECHNICKÉ PODMÍNKY [online]. Ministerstvo dopravy, Odbor pozemních komunikací: Tisk a distribuce: Pouze v elektronické podobě, Počet stran: 14 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [http://www.pjpk.cz/data/USR\\_001\\_2\\_8\\_TP/TP119.pd](http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP119.pd)

kategorie S7,5 se střešovitým sklonem 2,0%, která je provedena s nezpevněnou krajnicí šířky 0,5 ze živičného krytu vozovky, na kterou se v levé části napojuje sjezd přílehlé nemovitosti, který je tvořen betonovými panely. Z hlediska jednotné vektorové dopravní mapy zde nebyla nikdy dopravní nehoda, ale ze znalosti místních poměrů i na této křižovatce bývá nehod (viz kapitola 10. 1. 1 MK Na Spravedlnosti x MK Na Výšině).



Obrázek 21 Křižovatky MK Dolní Papšíkov x sjezd areálové komunikace letiště 1 a 2 73

Kromě výše uvedených důvodů byl tento sjezd zvolen i s ohledem na možnou překážku ve výhledu v rámci vozidla jedoucím po areálové komunikaci Dolní Papšíkov ve směru do centra a vozidla odbočujícího vlevo na areálovou komunikaci Dolní Papšíkov.<sup>74</sup>

### 7.1.7 II/602 Jihlavská x sjezd areálové komunikace Gremis

Sjezd k areálu Gremis se nachází na u Exit 141 Velké Meziříčí na silnici II/602 kategorie šířky S7,5/50. Tato styková křižovatka byla zvolena s ohledem na možnost užití dronu v této lokalitě. Na silnici II/602 je ve směru na Měřín v těsné blízkosti mostního objektu č. II/602-029 situován vjezd k areálu firmy

<sup>73</sup> Katastrální mapa: Katastr nemovitostí. In: . Praha: © Mapy.cz, © ČÚZK. Dostupné také z: <https://www.ikatastr.cz/#kde=49.21294,16.60265,14&info=49.41141,15.72038&mapa=letecka&vrstvy=parcelybudovy>

<sup>74</sup> Statistika nehod v mapě: Statistické vyhodnocení nehodovosti v silničním provozu ve vybraném správním území v časové řadě v mapě. In: Centrum dopravního výzkumu, v.v.i. Dostupné také z: <http://www.jdvm.cz/cz/s477/Rozcestnik/Statistika-nehod-v-mape/c7355-Statisticke-vyhodnoceni-nehodovosti-v-silnicnim-provozu-ve-vybranem-spravnim-uzemi-v-casove-rade-v-mape>

Gremis a.s.. Sjezd je využívám především zásobování přilehlých stavebnin s velmi velkým provozem nákladní dopravy. Dle jednotné vektorové dopravní mapy zde došlo k dvěma dopravním nehodám, ale případů nehod bez šetření Policie České republiky je více a i zde postupují řidiči, jak bylo popsáno v kapitole 10. 1. 1 MK Na Spravedlnosti x MK Na Výšině.



Obrázek 22 Křižovatka II/602 Jihlavská x sjezd areálové komunikace Gremis a.s.<sup>75</sup>

### 7.1.8 MK Dolní Papšíkov x sjezd areálové komunikace letiště 2

Jedná se o druhou areálovou křižovatku Letiště Havlíčkův Brod, která byla stejně jako K6 zvolena s ohledem na možnost volného měření a pokusů, které byly dále užity při tvorbě a realizaci ostatních modelů v této závěrečné práci. Z hlediska stavebního uspořádání na větví účelové komunikace Chládek a Tintěra, se jedná o dvoupruhovou směrově nerozdělnou komunikaci kategorie S7,5 se střechovitým sklonem 2,0%, která je částečně provedena v silničních obrubách a částečně s nezpevněnou krajnicí šířky

---

<sup>75</sup> Katastrální mapa: Katastr nemovitostí. In: . Praha: © Mapy.cz, © ČÚZK. Dostupné také z: <https://www.ikatastr.cz/#kde=49.36333,15.98855,19&info=49.37298,15.97137&mapa=letecka&vrstvy=parcelybudovy>

0,5m. Na větvi účelové komunikace Dolní Papšíkov se jedná o dvoupruhovou směrově nerozdělnou komunikaci kategorie S7,5 se střežovitým sklonem 2,0%, která je provedena s nezpevněnou krajnicí šířky 0,5 ze živičného krytu vozovky. Situace křižovatky K8 je patrná z ortofoto mapy u křižovatky K6.

## 7.2 ROZHLEDY V KŘÍŽOVATCE

Na zkoumaných křižovatkách byly vypočteny jednotlivé rozhledové trojúhelníky. Zajištění rozhledů na křižovatkách, sjezdech či samostatných sjezdech, v obytných zónách, na přechodech a místech pro přecházení a autobusových zastávkách je upraveno v jednotlivých technických normách je jedním ze základních prvků bezpečnosti při provozu vozidel na pozemních komunikacích. Proto byl určena jednotlivá rozhledová pole, která byl dále zakreslena v grafických přílohách, kde je patrný i zákres do mračen bodů/síťových modelů a využití tak fotogrammetrie k praktickým úkolům dopravního potažmo soudního inženýrství.

Rozhledové pole umožňující rozhled v křižovatkách jsou definovány dle normy ČSN 73 6102<sup>76</sup>, která je závazná pro projektování staveb či následných změn staveb křižovatek na dálnicích, silnicích, místních komunikacích a veřejně přístupných účelových komunikacích a křížení pozemních komunikací. ČSN 73 6102 platí spolu s technickou normou ČSN 73 6101<sup>77</sup> pro silnice a dálnice a dále s další technickou normou ČSN 73 6110<sup>78</sup> pro místní komunikace. Poslední normou je norma ČSN 73 6201<sup>79</sup> pro křížení pozemních komunikací, která má platnost pro projektování křižovatek na pozemních komunikacích.

Vedlejších komunikace musí být osazeny v dostatečné vzdálenosti svíslou dopravní značkou, která upravuje přednost v jízdě na hlavní komunikaci a umožňuje dostatečný rozhled v křižovatce, kdy délku rozhledu upravují výše zmíněné technické normy ČSN 73 6101 nebo ČSN 73 6110.

---

<sup>76</sup> ČSN 73 6102: *Projektování křižovatek na pozemních*. © Český normalizační institut. ICS 93.080.10, 2007.

<sup>77</sup> ČSN 73 6101: *Projektování silnic a dálnic*. © Český normalizační institut. ICS 93.080.10, 2018.

<sup>78</sup> ČSN 73 6110: *Projektování místních komunikací*. © Český normalizační institut. ICS 93.080.10, 2006.

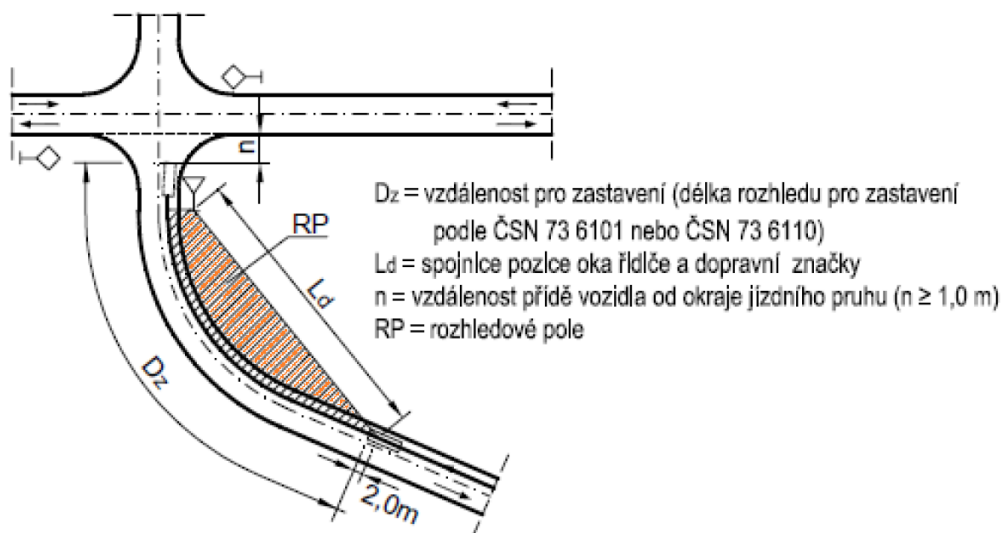
<sup>79</sup> ČSN 73 6201: *PROJEKTOVÁNÍ MOSTNÍCH OBJEKTŮ*. © Český normalizační institut. MDT 624.21.001.1, 1995.

Tabulka 6 Rozhledy na pozemních komunikacích dle technických platných technických norem

Rozhledy na pozemních komunikacích dle technických platných technických norem	
ČSN 73 6102	Křižovatky
ČSN 73 6102	Sjezdy (připojení účelových komunikací) - Extravilán
ČSN 73 6110	Sjezdy (připojení účelových komunikací) - Intravilán
ČSN 73 6101	Sjezdy dopravně méně významných veřejně užívaných účelových komunikací upravuje rozhled pro zastavení na silnicích
ČSN 73 6110	Sjezdy na místních komunikacích
ČSN 73 6102	Sjezdy dopravně významných veřejně užívaných účelových komunikací
ČSN 73 6101	Samostatné sjezdy (připojení sousední nemovitosti) rozhled na Dz - Extravilán
ČSN 73 6110	Samostatné sjezdy (připojení sousední nemovitosti) rozhled na Dz - Intravilán
ČSN 73 6109	Polní cesty (rozhled na Dz)
ČSN 73 6101	Lesní cesty

Zdroj: vlastní zpracování

Řidiči všech vozidel silniční dopravy přijíždějící po vedlejší komunikaci musí mít rozhled, který jim umožní včas rozpoznat uspořádání přednosti v jízdě v křižovatce. „Rozhledové pole“ vysvětluje následující **obrázek č. 23** (Rozhledové pole).



Obrázek 23 Rozhledové pole umožňující rozhled na svislé dopravní značení a SSZ<sup>80</sup>

Délky stran trojúhelníku jsou především závislé na:

- nejvyšší dovolené rychlosti. Na křižovatkách mimo obec lze rychlost snížit, dopravně technický stav vyžaduje, na rychlost směrodatnou. Pokud je v blízkosti dané křižovatky např. směrový oblouk, který donutí řidiče snížit rychlost, lze vycházet z rychlosti dosažitelné.
- způsobu úpravy přednosti jízdy
- příčném uspořádání hlavní komunikace
- skladbě dopravního proudu

Rozhledové trojúhelníky jsou tvořeny prostorovými křivkami – rozhledovými paprsky, což jsou spojnice rozhledového bodu vozidla na vedlejší komunikaci reprezentující oči řidiče (bod v ose vozidla vzdálený 2,0 m od předě vozidla ve výšce 1,0 m nad vozovkou) a rozhledového bodu vozidla na komunikaci hlavní (bod v ose předě vozidla ve výšce 1,0 m nad vozovkou).

V rozhledovém trojúhelníku se nesmí nacházet **překážky** bránící rozhledu. Mezi typické překážky v rozhledu lze považovat zeleň, kdy v **intravilánu** je upravena normou ČSN 73 110, která udává, aby při výsadbě i následné údržbě bylo zajištěno, že stromy a keře nebudou zasahovat větvemi do dopravního prostoru, čím by bránily v rozhledech a nezakrývaly nebo nezastiňovaly dopravní značky.

V **extravilánu** se postupuje dle normy ČSN 73 6101, a to že keře a stromy se nesmí vysazovat v rozhledových polích a rozhledových trojúhelnících křižovatek pozemních komunikací, sjezdů a u

<sup>80</sup> ČSN 73 6102: *Projektování křižovatek na pozemních*. © Český normalizační institut. ICS 93.080.10, 2007.

úrovňových křížení s drahou a v úsecích, kde by snižovaly viditelnost svislých dopravních značek a signalizačních zařízení.

Za překážku rozhledu se považují předměty v rozhledovém trojúhelníku vyšší jak 0,25 m a širší než 0,15 m

### **7.3 ROZHLEDOVÁ POLE A ROZHLEDOVÉ TROJÚHELNÍKY**

Rozhledová pole mezi paprsky křižovatky a příslušnými jízdniemi pruhy určuje technická norma ČSN 736102. Vzdálenost pro zastavení Dz - vzdálenost pro zastavení, délka rozjezdu se rovná délce rozhledu pro zastavení na silnicích dle ČSN 73 6101 a na místních komunikacích dle ČSN 73 6110.

Pro určení rozhledových trojúhelníků se uplatní podmínky:<sup>81</sup>

- 1) určení přednosti na komunikacích
- 2) skladba dopravního proudu na vedlejší komunikaci
- 3) požadavek na zajištění rozhledu pro určitou skupinu vozidel
- 4) čtyři typická příčná uspořádání komunikace s předností v jízdě
- 5) rychlostní charakteristiky

---

<sup>81</sup> Modernizace výuky na Fakultě stavební VUT v Brně v rámci bakalářských a magisterských studijních programů CZ.04.1.03/3.2.15.2/0292; Název kurzu: Městské komunikace; PŘEDNÁŠKA ČÍSLO 2 Šířkové uspořádání městských komunikací. *VUT v Brně* [online]. [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/PKO/novak.m/bm03/prednasky/02.pdf>

### Ad.1) určení přednosti na komunikacích

- Uspořádání A - křižovatka na hlavní komunikaci s dopravním značením P02 dopravní značka upravující přednost - Hlavní pozemní komunikace a na vedlejší komunikaci s dopravním značením P06 dopravní značka upravující přednost - Stůj, dej přednost v jízdě.
- Uspořádání B - křižovatka na hlavní komunikaci s dopravním značením P02 dopravní značka upravující přednost - „Hlavní pozemní komunikace“ a na vedlejší komunikaci s dopravním značením P04 dopravní značka upravující přednost - Dej přednost v jízdě.
- Uspořádání C – křižovatka s předností v jízdě zprava

### Ad. 2) skladba dopravního proudu na vedlejší komunikaci

Tabulka 7 Skladba dopravního proudu

Skupina	Vozidla zastupující skupinu	Délka vozidla v m	Rovnoměrné zrychlení v m/s <sup>2</sup>
1	osobní a dodávkový automobil	6,00	2,2
2	vozidlo pro odvoz odpadu nákladní automobil, autobus	10,00	1,7
3	kloubový autobus jízdni souprava	18,00	1,3
4	nejdelší vozidlo podle zvláštního předpisu <sup>1)</sup>	22,00	1,2

### Ad. 3) požadavek na zajištění rozhledu pro určitou skupinu vozidel

Tabulka 8 Požadavky na zajištění rozhledu pro určitou skupinu vozidel

Komunikace		Hlavní komunikace				
		Účelová komunikace	Místní komunikace funkční skupiny			Silnice
			D1	C	B	
Vedlejší komunikace	Účelová komunikace	1 <sup>b</sup> , 2	1 <sup>b</sup> , 2	1 <sup>b</sup> , 2, 3 <sup>e</sup> , 4 <sup>d</sup>	1 <sup>b</sup> , 2	1 <sup>b</sup> , 2, 3 <sup>e</sup> , 4 <sup>d</sup>
	D1		1 <sup>b</sup> , 2	2	2, 3 <sup>a</sup>	2
	C			2, 3 <sup>a</sup>	2, 3 <sup>a</sup>	2, 3 <sup>a</sup>
	B				2, 3 <sup>a</sup> , 4 <sup>d</sup>	2, 3 <sup>a</sup> , 4 <sup>d</sup>
	Silnice				-	2 <sup>c</sup> , 3, 4 <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Komunikace s autobusovou dopravou.  
<sup>b</sup> Připojení vedlejších komunikací a dopravních ploch vyhrazených pro osobní a dodávkové automobily.  
<sup>c</sup> Křižovatky silnice III. třídy se silnicí III. třídy nebo silnice II. třídy se silnicí III. třídy (silnice kategorijních typů S 4,0; S 6,5 a S 7,5).  
<sup>d</sup> Sjezdy nových lesních cest a křižovatky s možným výskytem vozidel délky 22,00 m.  
<sup>e</sup> Sjezdy nových polních cest.

Zdrojem tabulek **tab. č. 8**, **tab. č. 9** a **tab. č. 10** je technická norma ČSN 73 6102: *Projektování křižovatek na pozemních*

Ad. 4) **čtyři typická příčná uspořádání komunikace s předností v jízdě s geometrií podle přílohy E normy ČSN 73 6102 (šířky jízdních pruhů 3,50m):**

dvoupruhová komunikace

třípruhová komunikace (dvoupruhová komunikace s přidaným jízdním pruhem pro odbočení vlevo)

čtyřpruhová komunikace se středním dělicím pásem celkové šířky 4,0 m

čtyřpruhová komunikace se středním tramvajovým pásem šířky 7,0 m

Tabulka 9 Požadavky na zajištění rozhledu pro určitou skupinu vozidel

Komunikace		Hlavní komunikace				
		Účelová komunikace	Místní komunikace funkční skupiny			Silnice
			D1	C	B	
Vedlejší komunikace	Účelová komunikace	1 <sup>b</sup> , 2	1 <sup>b</sup> , 2	1 <sup>b</sup> , 2, 3 <sup>c</sup> , 4 <sup>d</sup>	1 <sup>b</sup> , 2	1 <sup>b</sup> , 2, 3 <sup>c</sup> , 4 <sup>d</sup>
	D1		1 <sup>b</sup> , 2	2	2, 3 <sup>a</sup>	2
	C			2, 3 <sup>a</sup>	2, 3 <sup>a</sup>	2, 3 <sup>a</sup>
	B				2, 3 <sup>a</sup> , 4 <sup>d</sup>	2, 3 <sup>a</sup> , 4 <sup>d</sup>
	Silnice				-	2 <sup>c</sup> , 3, 4 <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Komunikace s autobusovou dopravou.  
<sup>b</sup> Připojení vedlejších komunikací a dopravních ploch vyhrazených pro osobní a dodávkové automobily.  
<sup>c</sup> Křižovatky silnice III. třídy se silnicí III. třídy nebo silnice II. třídy se silnicí III. třídy (silnice kategorijských typů S 4,0; S 6,5 a S 7,5).  
<sup>d</sup> Sjezdy nových lesních cest a křižovatky s možným výskytem vozidel délky 22,00 m.  
<sup>e</sup> Sjezdy nových polních cest.

Zdroj: ČSN 73 6102: Projektování křižovatek na pozemních. © Český normalizační institut. ICS 93.080.10, 2007.

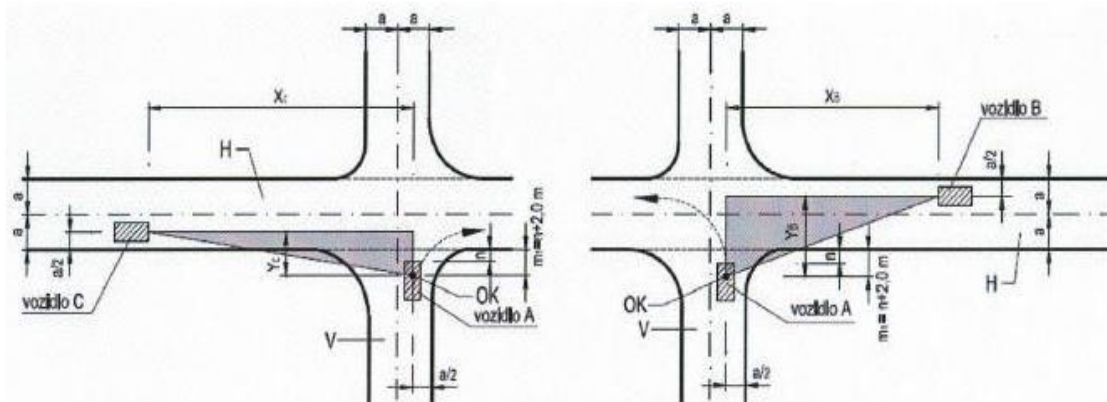
Ad. 5) rychlostní charakteristiky dle ČSN 73 6102

- rovnoměrné zrychlení vozidel podle tabulky skladba dopravního proudu na vedlejší komunikaci
- zpomalení vozidla 2,0 m/s<sup>2</sup>
- reakční doba pro vozidlo na komunikaci s předností v jízdě 2,5 s
- přípustné omezení směrodatné nebo nejvyšší dovolené rychlosti vozidel na hlavní komunikaci vyvolané silničním provozem na 75 %

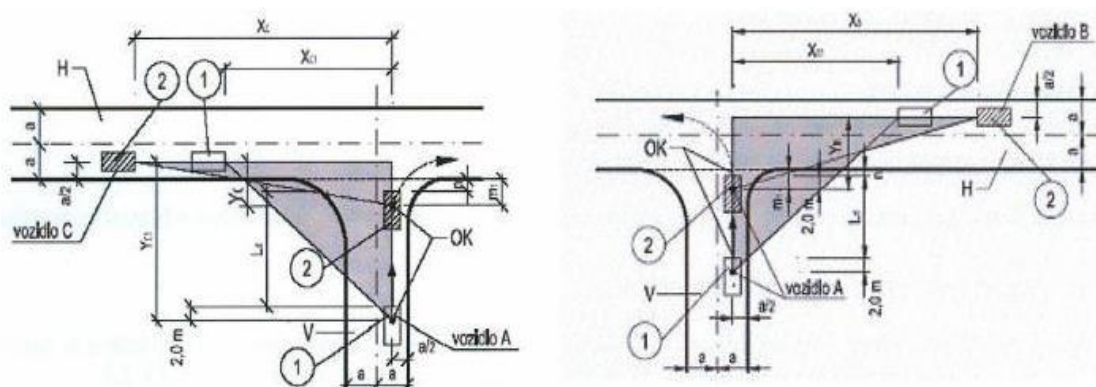
Pro určení rozhledu na úrovnových křižovatkách jsou rozhodující křižovatkové pohyby s největšími rozhledovými trojúhelníky. Jedná se o odbočení vlevo z vedlejší komunikace vzhledem k vozidlu přijíždějícímu ke křižovatce po hlavní komunikaci zprava a o odbočení vpravo z vedlejší komunikace vzhledem k vozidlu přijíždějícímu ke křižovatce po hlavní komunikaci zleva.

Schéma A pro křižovatku se značkou upravující přednost na vedlejší komunikaci P6 - Stůj, dej přednost v jízdě“ je na obrázku (Obrázek 3). Vozidlo B přijíždí ke křižovatce zprava po hlavní komunikaci a je

porovnáván rozhled pro vozidlo A, které odbočuje z vedlejší komunikace vlevo. Dále je určován rozhled pro vozidlo A odbočující z vedlejší komunikace vpravo vůči vozidlu C přijíždějícímu po hlavní komunikaci zleva.

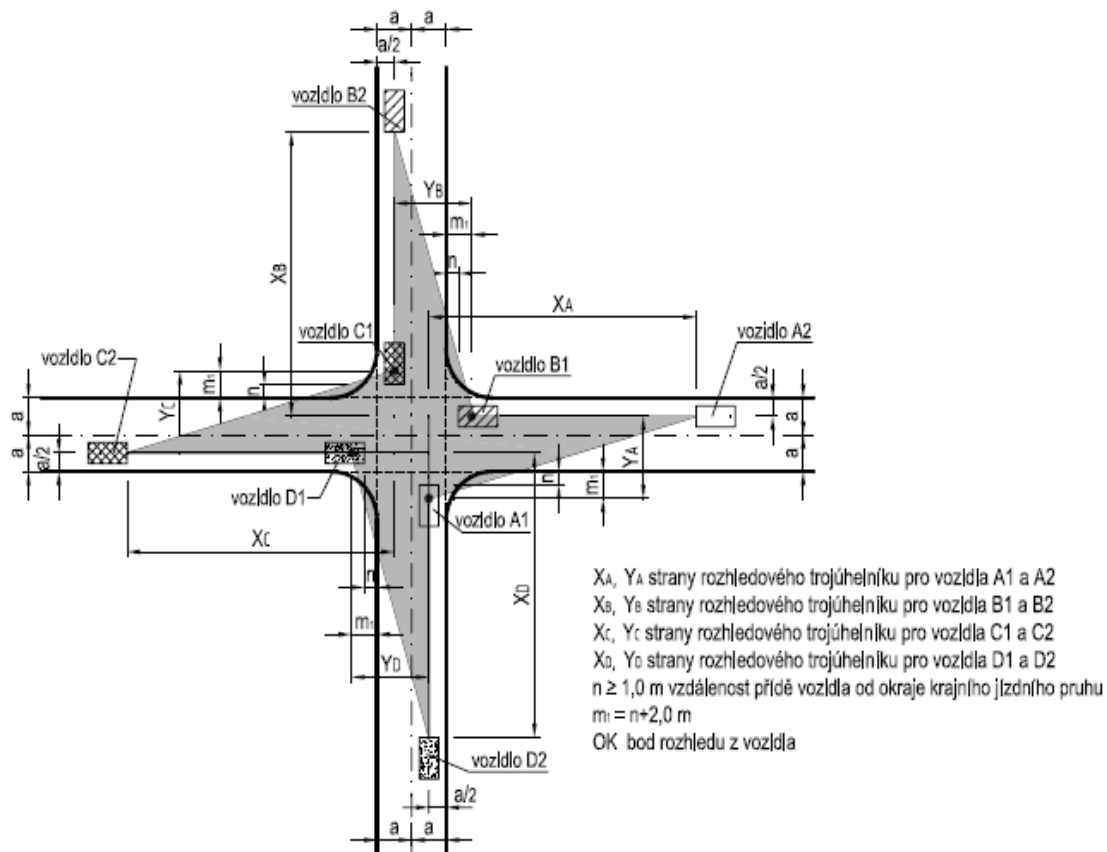


Obrázek 24 Rozhledové trojúhelníky s P6 – uspořádání A se zamezením předjíždění na hlavní komunikaci  
 Obdobné určení je i pro křižovatku s určením přednosti v jízdě na vedlejší komunikaci dopravní značkou P4 „Dej přednost v jízdě“ (Obrázek 4) a pro křižovatku s předností zprava



Obrázek 25 Rozhledové trojúhelníky s P4 – uspořádání B se zamezením předjíždění na hlavní komunikaci

Zdrojem pro obrázky **obr. č 24** a **obr. č. 25** je technická norma ČSN 73 6102: *Projektování křižovatek na pozemních*. © Český normalizační institut. ICS 93.080.10, 2007.



Obrázek 26 Rozhledové trojúhelníky pro uspořádání C

Zdroj: ČSN 73 6102: *Projektování křižovatek na pozemních*. © Český normalizační institut. ICS 93.080.10, 2007.

$X_B, Y_B, X_C$  a  $Y_C$  strany rozhledového trojúhelníku

$n$  vzdálenost od přídě vozidla od okraje krajního jízdního pruhu

$m_1$  vzdálenost rozhledového bodu od okraje krajního jízdního pruhu

Délky stran trojúhelníků se určují dle tabulek (**tab. č. 10** Délky stran rozhledových trojúhelníků v m s předností v jízdě podle uspořádání A, typická příčná uspořádání komunikace (a) až (d) a skupiny vozidel 1 až 4, **tab. č. 11** Délky stran rozhledových trojúhelníků v m na hlavní komunikaci s předností v jízdě podle uspořádání B, typická příčná uspořádání komunikace (a) až (d) a skupiny vozidel 1 až 4 a **tab. č. 12** Uspořádání B – délky stran trojúhelníku na vedlejší komunikaci), které jsou součástí technické normy ČSN 73 6102: *Projektování křižovatek na pozemních*.

Tabulka 10 Délky stran rozhledových trojúhelníků v m s předností v jízdě podle uspořádání A, typická příčná uspořádání komunikace (a) až (d) a skupiny vozidel 1 až 4

Strany rozhledového trojúhelníku v m								
Rychlost [km/h] <sup>a)</sup>	Vozidla skupiny 1		Vozidla skupiny 2		Vozidla skupiny 3		Vozidla skupiny 4	
	X <sub>B</sub>	X <sub>C</sub>	X <sub>B</sub>	X <sub>C</sub>	X <sub>B</sub>	X <sub>C</sub>	X <sub>B</sub>	X <sub>C</sub>
20	30	25	35	25	45	40	50	40
30	40	35	45	35	55	45	60	50
40	55	50	60	50	75	65	80	70
50	70	65	80	65	100	85	110	95
60	90	80	100	85	125	110	140	125
70	110	100	125	105	160	140	170	155
80	135	120	150	130	195	170	210	190
90	160	145	180	160	230	210	250	230

<sup>a)</sup> Dovolená rychlost na hlavní komunikaci.

Vrchol rozhledového trojúhelníku na vedlejší pozemní komunikaci je umístěn do osy přední části vozidla ve vzdálenosti 3 m od vnějšího okraje vozítkového proužku (vnějšího okraje zpevnění, pokud není vozítkový proužek na pozemní komunikaci vyznačen). Pro šířku jízdních i přídatných pruhů a příčná uspořádání platí: uspořádání (a) - Y<sub>B</sub> = 8,5 m, uspořádání (b) - Y<sub>B</sub> = 12,0 m, uspořádání (c) - Y<sub>B</sub> = 16,0 m a uspořádání (d) - Y<sub>B</sub> = 19,0 m; pro všechna uspořádání Y<sub>C</sub> = 5,0 m.

Tabulka 11 Délky stran rozhledových trojúhelníků v m na hlavní komunikaci s předností v jízdě podle uspořádání B, typická příčná uspořádání komunikace (a) až (d) a skupiny vozidel 1 až 4

Strany rozhledového trojúhelníku na hlavní komunikaci v m						
Rychlost [km/h] <sup>a)</sup>	Území nezastavěné			Území zastavěné		
	X <sub>B1</sub>		X <sub>C1</sub>	X <sub>B1</sub>		X <sub>C1</sub>
	a, b <sup>b)</sup>	c, d	a, b, c, d	a, b <sup>b)</sup>	c, d	a, b, c, d
20	20	30	20	15	20	15
30	40	50	40	30	40	30
40	55	70	55	45	55	45
50	70	85	70	55	70	55
60	85	105	85	70	85	70
70	100	125	100	80	100	80
80	115	145	115	-	-	-
90	130	160	130	-	-	-

<sup>a)</sup> Dovolená rychlost na hlavní komunikaci.

<sup>b)</sup> Příčná uspořádání komunikace s předností v jízdě.

Schéma rozhledových trojúhelníků dle obrázku 5.20 a 5.21 – uspořádání B

Tabulka 12 Uspořádání B – délky stran trojúhelníku na vedlejší komunikaci

Strany rozhledového trojúhelníku na hlavní komunikaci v m								
Příčné uspořádání hlavní komunikace	Území nezastavěné				Území zastavěné a zastavitelné			
	Vozidla skupiny				Vozidla skupiny			
	1		2,3,4		1		2,3,4	
	Y <sub>B1</sub>	Y <sub>C1</sub>	Y <sub>B1</sub>	Y <sub>C1</sub>	Y <sub>B1</sub>	Y <sub>C1</sub>	Y <sub>B1</sub>	Y <sub>C1</sub>
a	30	20	35	35	20	15	25	25
b	40		40		30		30	
c	55		55		40		40	
d	65		70		50		50	
<sup>a)</sup> Skupina vozidel dle tabulky 5.2 <sup>b)</sup> Příčná uspořádání hlavní komunikace Schéma rozhledových trojúhelníků dle obrázku 5.20 a 5.21 – uspořádání B								

### Určení rozhledu na křižovatce dle Přílohy E ČSN 73 6120

Pro jednotlivé křižovatky byly určeny rozhledové poměry pomocí tabulkového kalkulátoru. Pro názornost si ukážeme výpočet rozhledového trojúhelníku pro vozidlo odbočující vlevo na hlavní pozemní komunikaci z vedlejší komunikace, kde přednost v jízdě je upravena dopravním značením P4 Dej přednost v jízdě. Jedná se o křižovatku K5 – MK Pražská x MK Na Spravedlnosti.

### Vozidlo A – vozidlo odbočující vlevo na hlavní komunikaci

Vozidlo začíná z nulové rychlosti  $v_0$  a v čase  $t_0$  rovnoměrným zrychlením do rychlosti  $v_1'$ , která je omezena velikostí poloměru  $R_L$ . Po dosažení  $v_1'$  v čase  $t_1'$  a ujetím dráhy  $L_z'$  pokračuje rychlostí  $v_1'$  v délce  $L_0'$  na konec odbočovací oblouku. V tomto místě je vozidlo A v čase  $t_1'$  zařazeno do průběžného jízdního pruhu. Z tohoto místa rovnoměrně zrychluje  $a_{voz}$  až dosáhne rychlosti  $v_2'$  v čase  $t_3'$  s ujetím dráhy  $L_a'$

$$L_v' = (\pi \cdot R_L) / 180^\circ \cdot \alpha + L_{voz}$$

$L_v'$  je celková délka levého odbočení,  $L_{voz}$  je délka vozidla 6m

$$L_v' = (\pi \cdot 12) / 180^\circ \cdot 62^\circ + 6 = 18,985 \approx 18,96\text{m}$$

Celková délka levého otáčení

$$v_1' = \sqrt{9,81 \cdot R_L} \quad f_0' = \sqrt{9,81 \cdot 12} \cdot 0,4 = 4,34\text{m/s}$$

$v_1'$  je dosahovaná rychlost na oblouku v m/s

$f_0'$  je koeficient příčného tření; 0,5 pro rychlost do 20 km/h a 0,4 km/h pro rychlost přes 20 km/h

$$t_1' = v_1' / a_{voz} = 4,34 / 2,2 = 1,9727272 \approx 1,97\text{ s}$$

Zrychlení vozidla A je  $a_{voz} = 2,2 \text{ ms}^{-2}$ ,  $t_1'$  je čas pro zrychlení z  $v_0'$  na  $v_1'$

$$L_z' = v_1'^2 / 2 a_{voz} = 4,34^2 / (2 \cdot 2,2) = 4,280818 \approx 4,28 \text{ m}$$

$L_z'$  je délka dráhy pro zrychlení  $v_0'$  na  $v_1'$

$$L_0' = L_v' - L_z' = 18,96 - 4,28 = 14,68 \text{ m}$$

$L_0'$  je délka dráhy se stálou rychlostí  $v_1'$

$$Tr_0' = L_0' / v_1' = 14,68 / 4,34 = 3,38 \text{ s}$$

$Tr_0'$  je čas projetí dráhu  $L_0'$

$$t_2' = tr_0' + t_1' = 1,97 + 3,38 = 5,3524 \approx 5,35 \text{ s}$$

$t_2'$  je čas pro dosažení konečné polohy vozidla A na konci odbočovacího oblouku

$$L_a' = (v_2'^2 - v_1'^2) / 2 a_{voz} = 10,42^2 - 4,34^2 / 2 \cdot 2,2 = 20,3956 \approx 20,4 \text{ m}$$

$L_a'$  je dráha, na které vozidlo zrychlí na  $v_1'$

$v_2'$  je rychlost, kterou projíždí vozidlo B křižovatkou a  $v_1'$  je rychlost vozidla A na konci směrového oblouku.

$$v_2' = v_2 \cdot v_b = 0,75 \cdot 50 / 3,6 = 10,41666 \approx 10,42 \text{ m/s}$$

$$v_2' = v_2$$

$$t_a' = (v_2' - v_1') / a_{voz} = (10,42 - 4,34) / 2,2 = 2,76 \text{ s}$$

$t_a'$  je čas nutný na zrychlení z  $v_1'$  na  $v_2'$

$$t_3' = t_2' + t_a' = 5,35 + 2,76 = 8,11 \text{ s}$$

$t_3'$  je čas nutný pro dosažení konečné polohy vozidla A

### **Vozidlo B – vozidlo jedoucí zprava po hlavní komunikaci**

Řidič vozidla B jede zprava po hlavní pozemní komunikaci nejvyšší dovolenou rychlostí a zareaguje v čase  $t_0 = t_0'$  na vozidlo A vjíždějící na hlavní pozemní komunikaci a po reakční době 2,5 s, ve které je ujetá vzdálenost  $L_r$ , začne zpomalovat v čase  $t_1'$  rovnoměrným zpomalením  $2,0 \text{ ms}^{-2}$  a po ujetí dráhy  $L_b$  sníží původní rychlost na 75%, tj. na  $v_2$  v čase  $t_2$ . Vozidlo B pak pokračuje rychlostí  $v_2$  až do vzdálenosti 10 m od zádě vozidla A, které dosáhne v čase  $t_3 = t_3'$ .

$t_r$  je doba reakce 2,5 s,  $a_b$  je brzdné zpomalení  $2,0 \text{ ms}^{-2}$

$$v_1 = 50 \text{ km/h} = 13,89 \text{ ms}^{-1}$$

$$L_b = (v_1^2 - v_2^2) / 2 a_b = (13,89^2 - 10,42^2) / 2 \cdot 2 = 21,0889 = 21,09 \text{ m}$$

$L_b$  je brzdná dráha z  $v_1$  na  $0,75 \cdot v_1$  ( $v_2$ )

$$t_b = (v_1 - v_2) / a_b = (13,89 - 10,42) / 2 = 1,735 \text{ s}$$

$$L_p = (t_3' - t_4' - t_b) \cdot v_2 = (8,11 - 2,5 - 1,735) \cdot 10,42 = 40,3775 \approx 40,38 \text{ s}$$

$L_p$  je délka přejezdu křižovatky rychlostí  $v_2$

### **Výpočet rozhledového trojúhelníku $X_b$ a $Y_b$**

$X_b$  je strana rozhledového trojúhelníku, která začíná v rozhledovém bodu vozidla A a končí na ose dráhy vozidla B ve vzdálenosti, kdy může vozidlo A spatřit vozidlo B.

$$X_b = L_r + L_b + L_p + L_{bv} + L_{voz} - (l_a' + L_{voz} + R_L)$$

$$x_b = 34,72 + 24,08 + 10 + 40,38 + 6 - (20,4 + 6 + 12) = 73,78 \text{ m}$$

$L_{bv}$  je bezpečná vzdálenost za odbočujícím vozidlem.

$$y_b = e_{LJ} + n + 2$$

$$y_b = 4,5 + 1,25 + 2 = 7,75 \text{ m}$$

$e_{LJ}$  je vzdálenost od osy vozidla na hlavní pozemní komunikaci, na kterou se napojuje vozidlo A od hrany křižovatky

$y_b$  je strana rozhledového trojúhelníku, 2,0 m je vzdálenost očí řidiče od předku vozidla

Vzhledem k počtu výpočtů jednotlivých rozhledových trojúhelníku, přikročil k výpočtu pomocí tabulkového kalkulátoru Excel.

## **7.4 MRAČNA BODŮ A SÍŤOVÉ MODELY VYBRANÝCH KŘIŽOVATEK**

V období od října 2018 do května 2019 bylo postupně nasnímáno celkem osm křižovatek. Každá oblast byla snímána pomocí mobilního telefonu, jednobarevné digitální zrcadlovky, 4K kamery. Pořízení snímků dronem bylo možno použít pouze jednu křižovatku, a to křižovatku K6 II/602 x účelová komunikace areálu Gremis. Důvodem bylo především nemožnost letu z důvodů uvedených v kapitole 9 Technické a programové vybavení v podkapitole 9.1.1 Technika pro tvorbu modelu. Bylo pořízeno v rozmezí 45 150 snímků, které vychází z požadavku na rychlost snímání oblasti a dále pak na požadovanou kvalitu a přesnost výsledného modelu. Limitujícím faktorem pak byla i dolní hranice snímků, kdy

minimální počet snímků pro digitální fotogrammetrii je 20 snímků dle Autodesku ReMake Photo. V případě programu 3df Zephyr Lite a Autodesk ReMake Photo byla stanovena i horní hranice v podobě 50, 100 snímků na model. Toto omezení vychází z licencí jednotlivých programů a jejich rozdílných práv užívání. Pro dostatečnost a možnost porovnání jednotlivých modelů jsme užívali set 100 fotografií pro pozemní digitální fotogrammetrii a 25 fotogrammetrií pro leteckou fotogrammetrii.

Při snímání křižovatek byly odzkoušeny různé způsoby záznamové trasy, což se projevilo na výsledné kvalitě mračna bodů a síťového modelu. Obecně však prohlásit, že optimálních výsledků bylo dosaženo při kruhovém snímkování, popřípadě při překrývání metodou více kruhů. Jednotlivé komentáře a způsob snímkování budou dále rozvinuty v této kapitole.

Jedním z předpokladů bylo vytvoření mračna bodů a síťového modelu pomocí záznamu videa v 4K formátu a následné rozkouskování tohoto záznamu na jednotlivé snímky, které by byli dále užity k tvorbě mračna bodů. K rozdělení videa na jednotlivé snímky je možné použít dvou metod. První je využití vnitřní funkce programu 3df Zephyr Aerial, na který byl použit program se 30 denní zkušební verzí a umožňoval tak rozdělení na jednotlivé snímky. Nebo druhou variantou byla možnost vybrání si jednoho z programů pro stříh videa a ručně vystříhat jednotlivé snímky. Rozdělení snímků první metodou byly odhaleny jak velké nároky na výpočetní výkon tak i časová náročnost a rozkouskování videa na 100 snímků z dvouminutového videa, kdy doba trvání na HP ZBook 15 G2, 16Gb DDR3L, Intel® Core™ i7-4710MQ (2,5 GHz až 3,5 s Turbo Boost, 6 MB mezipaměti, 4 jádra, 47W) byla změřena na 15 hodin. Z těchto důvodů byly takto zpracovány jen vybrané křižovatky. V případě druhé metody se jednalo o čistě časovou náročnost, která si vyžadovala vysokou míru trpělivosti. Kromě potíží při zpracování videa se narazilo i na omezení jednotlivých fotogrammetrických programů při tvorbě mračna bodů ze snímků pořízených mobilním fotoaparátem. Výsledkem většinou bylo velmi abstraktní umění s částečným náznakem řešené oblasti. Jednou z možných příčin byla vysoká míra šumu na fotografiích, která tam byla vnesena v rámci zvýšení citlivosti ISO jednotlivých snímků fotoaparátem mobilního telefonu. Výsledkem pak byla nemožnost užití metody DSM (density smart matches), v rámci které nemohly být rozpoznány jednotlivé klíčové body. Pro ostatní snímanou techniku nebyl problém se snímáním fotografií. V případě leteckého snímkování bylo užito dronu k pořízení fotografií modelované oblasti.

Z hlediska užití kamer se záznamem polohy GPS, tak bylo užito pouze v případě dronu DJI Mavic Pro a 4k kamery GoPro Hero 5. Použitý mobilní telefon, ani jednobáňová digitální zrcadlovka neobsahovala modem pro příjem GPS signálu. Pro pozdější kalibraci bylo užito přijímače GNSS, s kterým byly zaměřeny jednotlivé body na křižovatkách, souřadnicový systém byl užít S-JTSK. Jednotlivé body jsou součástí grafické části a to Přílohy č.2 - Rozhledové poměry na stykové křižovatce Hudcova x Palackého třída

(52 bodů), Přílohy č.3 - Rozhledové poměry na průsečné křižovatce Berkova x Bulharská (41 bodů) a Přílohy č.4 - Rozhledové poměry na průsečné křižovatce Berkova x Bulharská (34 bodů).

Z časového pohledu bylo nutno v rámci této práce zabývat se nad náročností na zpracování jednotlivých snímků. Proto při snímání jednotlivých křižovatek byla měřena časová náročnost pro jednotlivé křižovatky. Pro přehlednost byla zpracována následující tabulka.

Tabulka 13 Přehled křižovatek

Označení	Křižovatka	DSLR (zrcadlovka)	4K kamera	GNSS
K1	MK Na Spravedlnosti x MK Na Výšině	7 min	5 min	X
K2	MK Hudcova x MK Palackého třída	14 min	11 min	17 min
K3	MK Bulharská x MK Berkova	16 min	6 min	15 min
K4	MK Svatopluka Čecha x MK Vodova	14 min	8 min	14 min
K5	MK Pražská x MK Na Spravedlnosti	12 min	7 min	X
K6	MK Dolní Papšíkov x sjezd areálové komunikace letiště	7 min	3 min	X
K7	II/602 Jihlavská x sjezd areálové komunikace Gremis	X	X	X
K8	MK Dolní Papšíkov x sjezd areálové komunikace letiště 2	10 min	6 min	X

Výsledné časy jsou ovlivněny několika faktory. Prvním a tím největším byl provoz, většina snímání musela proběhnout v plném provozu, a proto pro snímání bylo pro bezpečnost užito reflexní vesty. S omezením v rámci provozu se pak pojí především snímání na přechodech pro chodce a dále pak mimo ně v rámci vozovky. V rámci toho pak se vynořily i obtíže s snímky, na kterých byly zaznamenány projíždějící vozidla, popřípadě chodci. Rozmazané objekty na fotografiích nebyly programy schopné rozpoznat a bylo tak nutné některé z křižovatek snímkovat opakovaně. Například křižovatka K5 – MK Pražská x MK Na Spravedlnosti byla snímkována celkově třikrát v průběhu tří měsíců z důvodu silného pohybu chodců a vozidel. Obecné pravidlo o rozlehlosti křižovatky a déle trvajícím času snímání tak bylo potvrzeno. Nejrychlejší a nejspolehlivější metodou byl sběr dat pomocí dronu. Po jednom uskutečněném průletu, který nebyl časově náročný (do 5 min od startu po přistání) byla získána data,

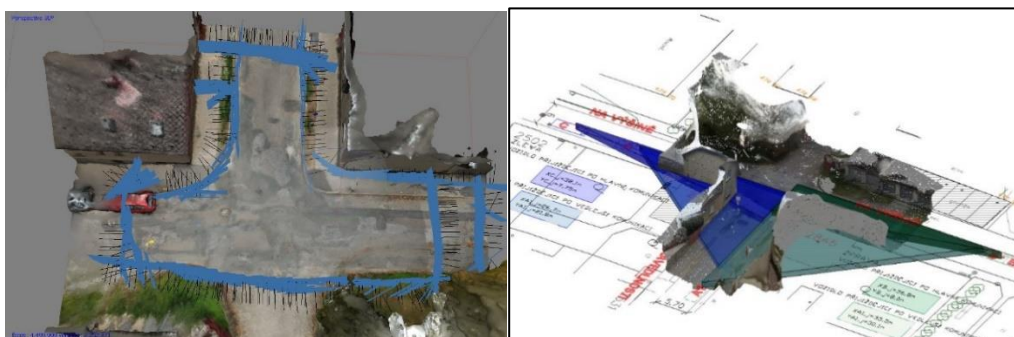
kteří posléze sloužila pro vytvoření nejkvalitnějšího modelu z výše zpracovávaných křižovatek. Metoda snímání byla prováděna s ostřením na střed křižovatky a posunování se po kruhové dráze s rozstupem do 1,5m byl pořízen vždy snímek. Snímky byly foceny s překryvem ve třech výškových úrovních, a to v úrovni očí, nad hlavou, v natažených rukou a u pasu. Pro toto focení se jako nevhodnější jevila jednoboká digitální zrcadlovka, která je opatřena výklopným displejem a je tak zaručeno, že dojde k zaměření na správné místo a nebude foceno letmo s nejistým výsledkem.

#### 7.4.1 Zakreslení rozhledových trojúhelníků do mračen bodů

Celkově bylo zpracováno 25 modelů. Pro každou křižovatku bylo vytvořeno mračno bodů a síťový model. Následně došlo k vyhodnocení, který z modelů nejvíce odpovídá realitě a byl možný k použití k dalším účelům. Po tomto vyhodnocení bylo výsledné mračno bodů vítězného modelu exportováno do Autodesk ReMake, kde bylo exportováno s příponou RCP a nahrán do Autocad Civil 3D 2018, kde již došlo k zákresu jednotlivých rozhledových trojúhelníků.

#### 7.4.2 MK Na Spravedlnosti x MK Na Výšině

Pro vytvoření mračna bodů a síťového modelu této křižovatky bylo pořízeno 150 fotografií pomocí Nikon D5000 a dále bylo užito 50 fotografií pomocí GoPro Hero 5 black. Při snímání bylo nutné se držet tvaru křižovatky s ostřením na střed křižovatky. Jednotlivé rozložení snímků je patrné z následujícího obrázku. Pro kalibraci byla změřena vzdálenost mezi silničními obrubníky, a ta byla porovnána se zaměřením, které bylo poskytnuto ke zpracování této diplomové práce od města Havlíčkův Brod. Mračno bodů a síťový model byl postupně vytvořen ve všech třech programech. V případě rozlišení detailů a odrazu reality jsou si všechny tři modely velice podobné a nedochází k výrazným odchýlkám. Zpracování snímků pořízených mobilním telefonem bohužel nebylo možné použít pro tvorbu mračna bodů z důvodů uvedených výše.



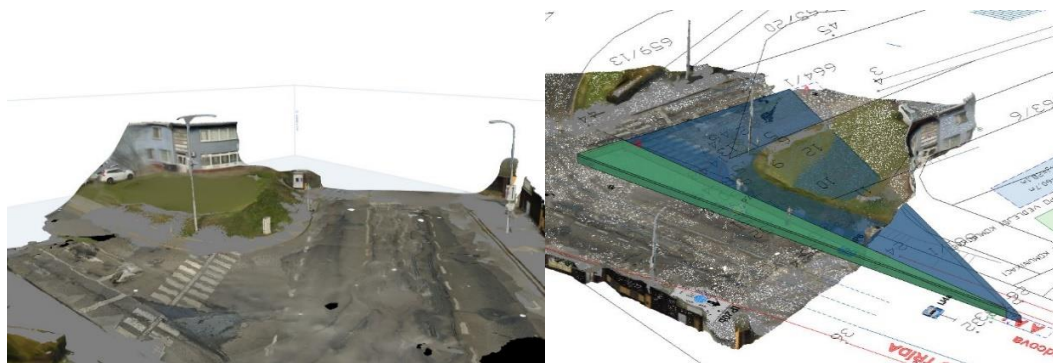
Obrázek 27 Síťový model křižovatky MK Na Spravedlnosti x MK Na Výšině, vlastní zpracování

Výslednou podobu mračna bodů a síťového modelu je možné vidět z obrázku v Příloze č. 8 - Snímky mračen bodů a síťových modelů. Z hlediska posouzení překážek v rozhledu je patrné z Přílohy č.1

- Rozhledové poměry na stykové křižovatce Na Výšině x Na Spravedlnosti. Z přílohy a 3d zpracování je patrná překážka v rozhledu pro vozidlo odbožující na hlavní pozemní komunikaci. Jedná se především o roh domu 2845 a 2555. Na základě provedeného místního šetření zde vzniká překážka v rozhledu i díky vozidlům zaparkovaným v těsné blízkosti křižovatky.

### 7.4.3 MK Hudcova x MK Palackého třída

Pro vytvoření mračna bodů a síťového modelu této křižovatky bylo pořízeno 122 fotografií pomocí Nikon D5000 a byl pořízen 4k záznam kamerou, který kvůli své časové náročnosti nebyl zpracován. Během snímání je potřeba držet se tvaru křižovatky s ostřením na střed křižovatky. Jednotlivé rozložení snímků je patrné z následujícího obrázku. Pro kalibraci bylo použito zaměření pomocí GNSS, kdy se jednotlivé body vloží do prostředí CAD a použijí se známé velikosti, které by bylo možné využít pro kalibraci v jednotlivých programech.



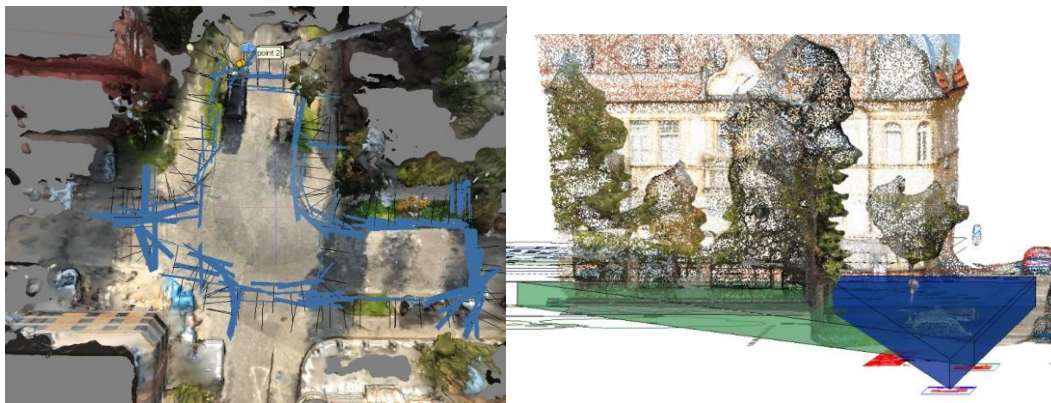
Obrázek 28 Síťový model křižovatky MK Hudcova x MK Palackého třída; vlastní zpracování

Jak je patrné z Přílohy č. 8 - Snímky mračen bodů a síťových modelů, tento model patří mezi méně vydařené a dochází zde k velkým deformacím na snímaném krytu vozovky. Výsledná kvalita odpovídá z hlediska deformací velkému dopravnímu zatížení křižovatky a z toho plynoucí časté průjezdy vozidel na snímcích. I přesto je zde možné vidět, že statické objekty jakým je například svah na parcele k.č. 663/1, který je dobře vykreslen a výsledný model z programu Autodesk ReMake Photo byl užít pro zpracování v rámci Přílohy č.2 - Rozhledové poměry na stykové křižovatce Hudcova x Palackého třída.

### 7.4.4 MK Bulharská x MK Berkova

Pro vytvoření mračna bodů a síťového modelu této křižovatky bylo pořízeno 149 fotografií pomocí Nikon D5000. Během snímání byla snaha o dodržení tvaru křižovatky s ostřením na střed křižovatky, stejně jako v případě přechozí křižovatky. Jednotlivé rozložení snímků je patrné z následujícího obrázku. Pro kalibraci bylo použito zaměření pomocí GNSS, kdy byly jednotlivé body zadány do prostředí CAD a odměřením si známé velikosti, se mohlo využít pro kalibraci v jednotlivých programech. Výsledný model je

rozpoznatelný z Přílohy č. 8 - Snímky mračen bodů a síťových modelů. Pro výsledné zpracování v rámci Přílohy č.3 - Rozhledové poměry na průsečné křižovatce Berkova x Bulharská byl užít model Agisoft PhotoScan. Při snímání fotografií na této křižovatce svítilo ostré slunce, což se projevilo i v modelu, kde místa s ostrým stínem nebyla zcela dokreslena. Výsledný model z programu Agisoft a zakreslení rozhledového trojúhelníku je patrný na následujícím obrázku.



Obrázek 29 Síťový model křižovatky MK Bulharská x MK Berkova, vlastní zpracování

#### 7.4.5 MK Svatopluka Čecha x MK Vodova

Pro vytvoření mračna bodů a síťového modelu této křižovatky bylo pořízeno 176 fotografií pomocí Nikon D5000. Během snímání byla snaha držet se tvaru křižovatky s ostřením na střed křižovatky, stejně jako v případě přechozí křižovatky. Pro kalibraci bylo použito zaměření pomocí GNSS, kdy jednotlivé body byly zadány do prostředí CAD, a odměřením si známé velikosti, které mohlo být využito pro kalibraci v jednotlivých programech. Výsledný model je pak rozpoznatelný z Přílohy č. 8 - Snímky mračen bodů a síťových modelů. Model vytvořený v programu Autodesk ReMake byl velmi deformován na rozdíl od síťových modelů z ostatních programů: Jednalo se především o kryt vozovky, dělicí ostrůvky a zeleň. Jako výsledný model byl vybrán model z programu 3df Zephyr.

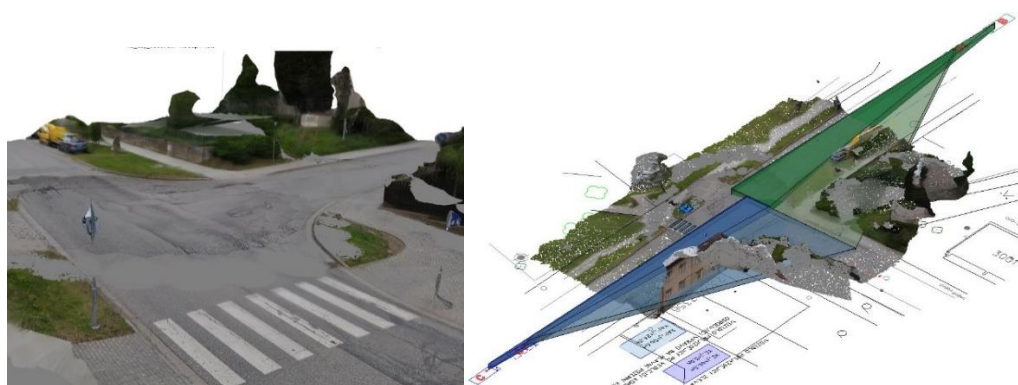


Obrázek 30 Síťový model křižovatky MK Svatopluka Čecha x MK Vodova; vlastní

Rozhledové poměry s překážkou v rozhledu jsou patrné z obrázku výše a z Přílohy č.4 - Rozhledové poměry na průsečné křižovatce Vodova x Svatopluka Čecha. Během snímání byla poměrná část křižovatky ve stínu s pár místy, kde prosvítalo ostré slunce. I přesto výsledný síťový modely z Agisoft Photoscan a 3df Zephyr jsou použitelné pro další zpracování.

#### 7.4.6 MK Pražská x MK Na Spravedlnosti

Styková křižovatka s překážkou v rozhledu vozidla odbočujícího z vedlejší komunikace na hlavní, překážky v rozhledu byly již dříve řešeny pomocí sférického odrazného zrcadla. Pro vytvoření mračna bodů a síťového modelu této křižovatky bylo pořízeno 176 fotografií pomocí Nikon D5000 a dále bylo užito 78 fotografií pomocí GoPro Hero 5 black. Způsob snímání byl oproti předchozím křižovatkám pozměněn. Bylo snímáno na kruhové trase vepsané doprostřed křižovatky. Změřený poloměr snímání z výsledného síťového modelu byl 9,8m. Tento způsob snímání, který je doporučovaný ve fotogrametrii pro tvorbu modelů přináší úskalí v podobě nepřesných tvarů za hranic snímání. Avšak na rozdíl od snímání s kopírováním obrysu křižovatky je tato metoda daleko spolehlivější, co se tvorby modelu týče a nedochází tak ke vzniku patvaru z modelované křižovatky.



Obrázek 31 Sítový model křižovatky MK Pražská x MK Na Spravedlnosti; vlastní zpracování

Na obrázku vlevo výše je patrný detailně vymodelovaný střed křižovatky a zároveň i slepá místa zobrazující polohy, odkud byly snímky pořízeny. Pro výsledné zakreslení rozhledových poměrů v rámci Přílohy č.5 - Rozhledové poměry na stykové křižovatce Pražská x Na Spravedlnosti bylo vybráno mračno bodů od Autodesk ReMake. Výsledný model je pak patrn z Přílohy č. 8 - Snímky mračen bodů a síťových modelů.

#### 7.4.7 MK Dolní Papšíkov x sjezd areálové kom. letiště 1 a 2

Modelová křižovatka pro testování jednotlivých fotogrammetrických principů. V rámci snímání zde byly pořízeny dvě sady snímků pomocí Nikon D5000 (a GoPro Hero 5 Black (87 a 82 snímků).

Na křižovatce K6 – Letištní účelová komunikace x účelová komunikace Dolní Papšíkov byl testován rozdíl mezi snímáním křižovatky s kódovaným terčem, umístěným do pomyslného středu křižovatky a se snímáním bez tohoto terče. Kódové značky byly vzaty z programu Agisoft Photoscan, vytištěny ve formátu A3 a umístěny na obdélníkovou krabici, která bylo instalována na stativ ve výšce 1,3 m. Rozdíl ve zpracování stejné křižovatky programem pro dvě stejné sady fotografií, akorát jedné doplněné o pomocný kódový terč byl patrný. Tento rozdíl bude dále rozvinut v další kapitole, kde bude popsán i možný způsob užití a instalace.



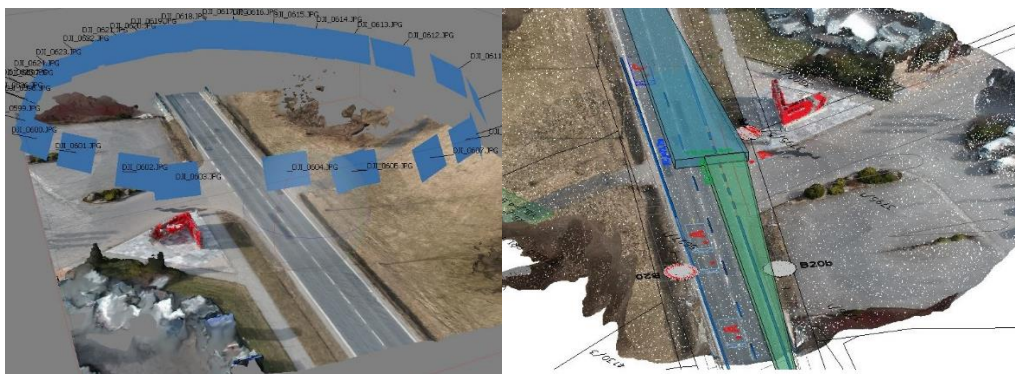
Obrázek 32 Sítový model křižovatky MK Dolní Papšíkov x sjezd areálové kom. letiště 1 a 2; vlastní zpracování

U křižovatky K8 – Letištní účelová komunikace Dolní Papšíkov x účelová komunikace Chládek a Tintera kdy byla ověřována detailnost zpracování jednotlivých síťových modelů v závislosti na poloměru snímací trasy. Za tímto účelem byly vytyčeny značky na krytu vozovky, které dále sloužily ke kalibraci daných modelů. Rozhledové trojúhelníky jsou doplněny pouze u křižovatky K6 Letištní účelová komunikace x účelová komunikace Dolní Papšíkov, jsou zakresleny v Přílohy č.6 - Rozhledové poměry na připojení účelové kom. Letištní komunikace Havlíčkův Brod propojení dvou mračen bodů. Zároveň na výsledných mračen bodů byly učiněny pokusy o propojení v rámci Autocad Civil 3d.

#### **7.4.8 II/602 Jihlavská x sjezd areálové komunikace Gremis**

Jihlavská x sjezd do areálové komunikace firmy Gremis se jediným zástupcem letecké fotogrammetrie. Celkem bylo provedeno několik průletů a testován rozsah počtu snímků k tvorbě mračen bodů a síťových modelů, tak aby byla zachována maximální požadovaná míra zkreslení modelu oproti skutečnosti a model tak zůstal relevantní. Testovací sada snímků obsahuje 30 snímků pořízených DJI Mavic Pro s dálkovým ovládáním ze země. Tato sada slouží i jako podklad pro porovnání jednotlivých fotogrammetrických programů v následující kapitole. Z hlediska rychlosti snímání a vytvořených mračen bodů je letecká fotogrammetrie optimální cestou k získání odpovídajících modelů, s kterými se dá dále

dobře pracovat. Snímání proběhlo začátkem února 2019, délka letu byla 5 minut. Poloměr kruhu trasy snímkování byl změřen ze síťového modelu na cca 30m.



Obrázek 33 Síťový model křižovatky II/602 Jihlavská x sjezd areálové komunikace Gremis

*; vlastní zpracování*

Zákres rozhledových poměrů na připojení účelové komunikace je uveden v Přílohy č.7 - Rozhledové poměry na připojení účelové kom. II/602 Jihlavská x účelová komunikace Gremis a.s. Velké Meziříčí. Výsledný modelový výstup je pak zachycen v Příloha č. 8 - Snímky mračen bodů a síťových modelů.

## **8 VYHODNOCENÍ A POROVNÁNÍ VYBRANÝCH PROGRAMŮ PRO DIGITÁLNÍ FOTOGRAMMETRII**

Tato kapitola bude rozdělena do několika celků. Ještě před samotným porovnáním bude přistoupeno k popisu jednotlivých pokusů, které byly uskutečněny v rámci snímání na účelových komunikacích. Jako vhodný prostor pro testování různých způsobů snímání, se ukázal bývalý areál vojenských kasáren v Havlíčkově Brodě. Jednotlivé křižovatky, na kterých bylo přistoupeno k měření, jsou popsány výše. Druhá část bude věnována jednomu z cílů této závěrečné práce. Tím bylo porovnat jednotlivé fotogrammetrické programy mezi sebou a zhodnotit formát výstupu, který by mohl být dále aplikován. Programy tak budou porovnány z hlediska pozemní a letecké fotogrammetrie. Závěr této kapitoly bude vyhrazen zhodnocení výsledných mračen bodů, síťových modelů a jejich využití v rámci simulačních programů.

### **8.1 ZPŮSOB TVORBY MODELU A VLIV POUŽITÉ TECHNIKA NA VÝSLEDNOU KVALITU**

V následujících odstavcích budou popsány jednotlivé metody, které byly odzkoušeny při pořizování dat, které dále sloužily jako podklad pro budoucí tvorbu mračen bodů a síťových modelů. Aspektů ovlivňujících výsledný model ve fázi snímání je velká spousta, avšak několik aspektů převládalo.

#### **8.1.1 Klimatické podmínky**

Z klimatického hlediska to byla především hra světla a stínu. Kvalita modelu je přímo úměrná kvalitě pořízených snímků. Tím je požadováno co možná nejvyváženější expozice snímků, ideálním stavem je pak snímek bez přexponovaných nebo naopak podexponovaných míst. Toho může být dosaženo při vyvážené expozici. Jako ideální podmínky se pak jeví polojasno, popřípadě zataženo, kdy mraky fungují jako difuzor a na fotografiích pak není ostrých stínů, popřípadě přexponovaných míst, která by byla způsobena ostrým sluncem. Nevhodným počasím pro snímání pak byl vytrvalý déšť, sněžení, kdy nebyly rozpoznány jednotlivé klíčové body. Snímání při mrholení a mírném dešti se ukázalo jako možné.

Vhodnou dobou pro snímání je tak období před východem a po západu slunce. Focení v přímé poledne sebou nese riziko přexponovaných ploch vlivem přímého osvětlení a velkého odrazu, lesku jednotlivých ploch. Focení za zhoršených světelných podmínek je v případě mobilních telefonů, či kompaktních vykoupeno zvýšením citlivosti snímku ISO a tím zanesení šumu do snímku, který pak

nemůže být použit při identifikování jednotlivých klíčových bodů. Tato potíž s užitím mobilních telefonů a kompaktních bude dále rozvedena v následující kapitole.

Kromě ideálního času, bylo zapotřebí v rámci digitální jednobarevné zrcadlovky najít rozmezí hodnot pro fotografii. Optimálním se ukázalo dodržování citlivosti ISO pod 640, nastavení clony na vyšší hodnoty f/8-f/13 a maximální doba expozice na 1/30. Vyšší doba expozice by mohla způsobit roztřesení snímací komory a s tím spojené rozmazání snímku.



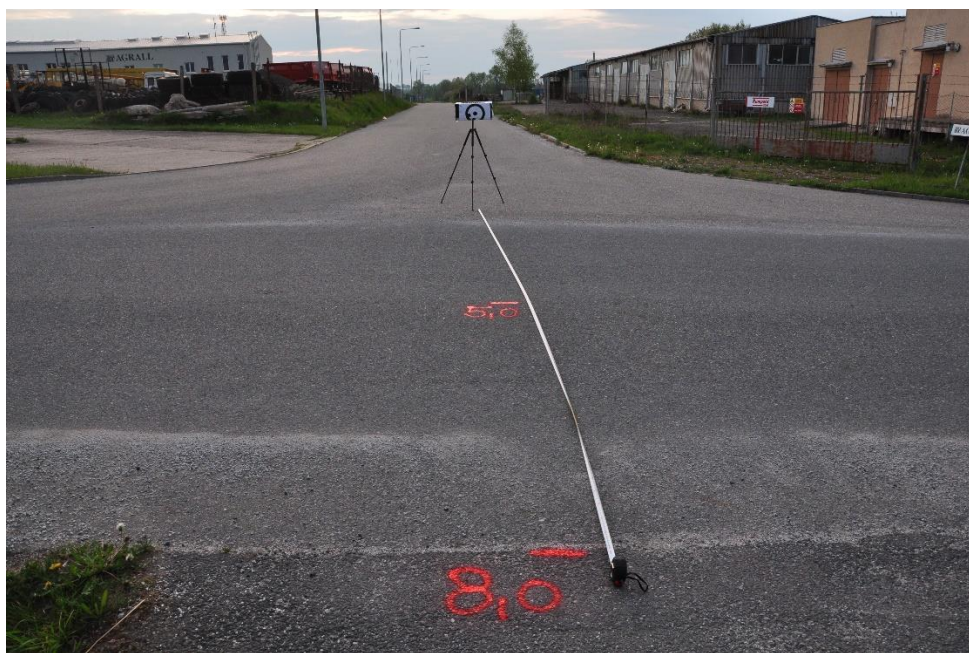
Obrázek 34 Noční model křižovatky K5 – MK Pražská x MK Na Spravedlnosti při umělém osvětlení (Zdroj: vlastní zpracování)

Z důvodu vysokého času závěrky, vysoké hodnoty ISO a značné náročnosti na provádění sběru dat bylo vyhodnoceno snímání za umělého osvětlení za málo vhodné. Což se projevilo i při tvorbě nočního modelu křižovatky K5 – MK Pražská x MK Na Spravedlnosti, kde pro osvětlení uličního prostoru je užito výbojkových lamp s výjimkou užití led lamp na přechodu pro chodce.

### 8.1.2 Trasa snímkování objektu

V rámci snímkování byly odzkoušeny tři způsoby snímkování. První bylo snímkování s ostřením na střed a dodržováním tvaru křižovatky, druhým pak kruhová trasa snímkování. Posledním byly soustředné kružnice snímkování s různými poloměry. První způsob je využitelný pouze pro malé, nerozsáhlé

křižovatky s malou členitostí okolí. To je patrné z modelu křižovatky v Příloze č. 8. Výhodou této metody je přesnost a detailnost modelu i mimo kruhovou plochu středu křižovatky. Druhý způsob snímání je vhodný pro rozsáhlé křižovatky, které jsou snímány pomocí dronu, popřípadě pro malé až střední křižovatky, délka jednoho z ramen nepřesahuje 50m. Nevýhodou této metody je malá detailnost mimo kruhovou plochu okolo středu ostření, což především pro střední křižovatky způsobuje problém při dalším užití v simulačních programech. Popřípadě viditelné polohy snímání, které se v programu Autodesk ReMake, projevilo šedými plochami. Tento nedostatek měl být odstraněn pomocí překrývajících se kruhových drah snímání, popřípadě soustřednými kružnicemi. Přesnost výsledného modelu pak byla zvýšena (detailnější střed a lépe proklesené okolí kolem poloměru snímání), ale ne tak markantně, abychom mohli mluvit o výrazném úspěchu. Limitujícím prvkem tak zůstává samotná pozemní fotogrammetrie, která i přes větší počet snímků může dosahovat o hodně horších výsledků, než model vytvořený pomocí leteckých snímků a dronové fotogrammetrie.



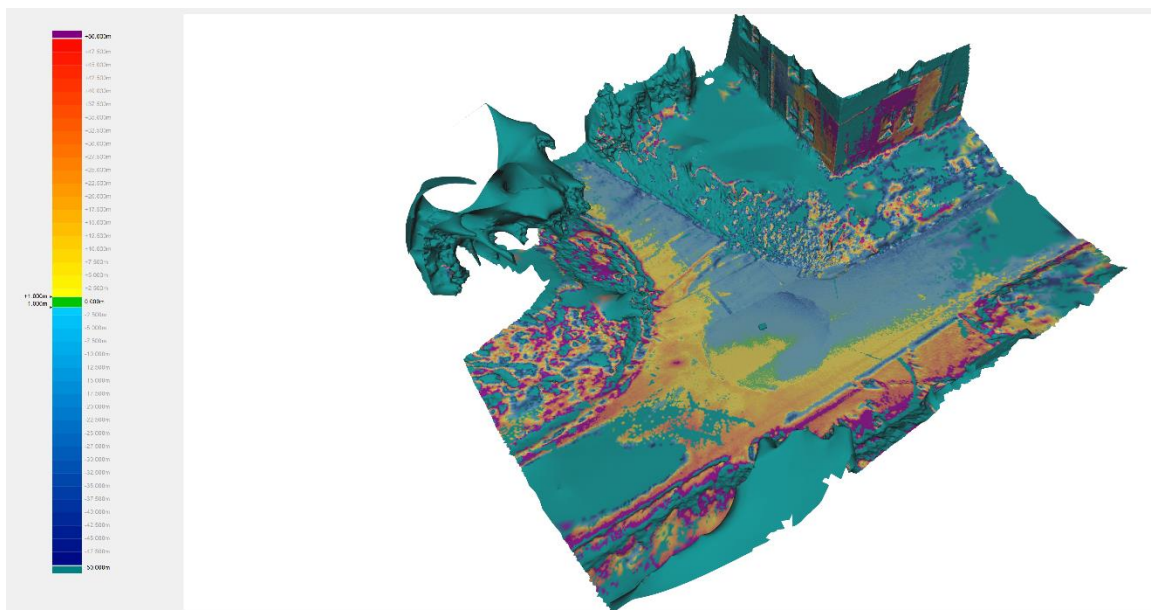
Obrázek 35 Užití kalibračních značek a kódové detekce při tvorbě modelu – křižovatka K8 MK Dolní Papšíkov x účelová komunikace letiště 2

### 8.1.1 Užití kódové detekce při tvorbě modelu

Jedním z možných způsobů, kterým je možné docílit zlepšení kvality výsledného mračna bodů/síťového modelu, je užití kódově detekovatelných značek v prostoru, který je snímán. Z tohoto pohledu byl sestaven terč s čtyřmi body umístěnými na obvodových stranách kvádru ve výšce 1,3m. Testována byla

křižovatka K6 a K8, účelové komunikace na letišti v Havlíčkově Brodě s téměř nulovým silničním provozem.

Porovnání proběhlo na snímcích pořízených jednookou digitální zrcadlovkou. Výsledné modely byly porovnány za pomoci interní funkce programu Autodesk ReMake Photo, kde je možné nastavení rozsahu difference a rozsahu tolerovaných odchylek. Pro dané modely byla nastavena tolerance +/-1cm (zelená barva) a maximální rozsah -50cm (tyrkysová) až + 50 cm (fialová). Jeden dílek škály odpovídal rozdílu 2,5cm.



Obrázek 36 Porovnání modelu vytvořeného ze snímku s terčem kódovaných značek a bez – Nikon (Zdroj: vlastní zpracování)

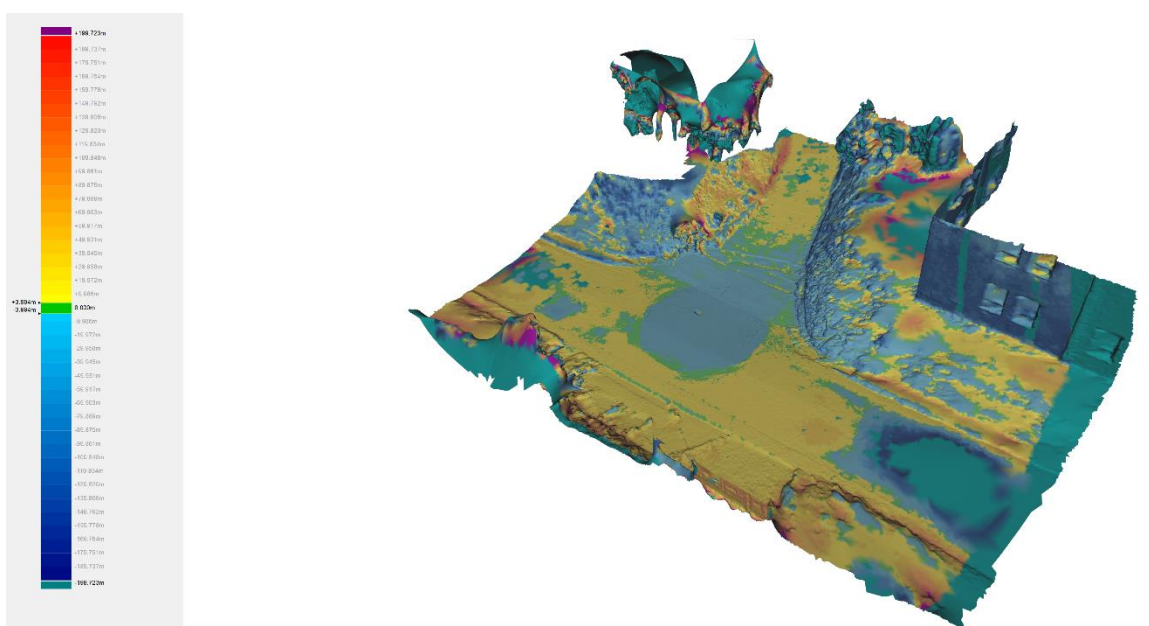
Pomocí kódovaných značek je možné dosáhnout daleko přesnějšího modelu a to především díky snazšímu překryvu snímku mířícími na střed, s tím je spojeno daleko větší množství klíčových bodů než v případě modelu/mračna bodů, vytvořeného ze snímků bez kódové detekce. V případě „slepého“ snímání s ostřením na střed křižovatky může dojít a občas i dochází k nesprávnému překrytí jednotlivých fotek.

### 8.1.2 Fotografická technika

Snímací komory a především velikost a typ čipu společně s použitým objektivem mají velký vliv na výslednou kvalitu mračna bodů, potažmo síťového modelu. Jak již bylo zmiňováno výše, tak použití mobilního telefonu s nedostatečně kvalitním objektivem a čipem způsobil společně s horšími světelnými podmínkami abstrakci při tvorbě modelu. Výsledné mračna bodů/síťové modely neodpovídaly realitě. Důvodem bylo zvýšená citlivosti snímku ISO a tím zanesení šumu do snímku, který pak nemůže být použit

při identifikování jednotlivých klíčových bodů. Ani při užití kódové detekce nebylo dosaženo požadovaných výsledků. Jediné, co v tomto případě pomohlo, bylo zmenšení poloměru snímkovací trasy. Toto opatření sebou ale přineslo velmi malou detailnost programu mimo poloměr snímkování. Což ve finálním důsledku způsobilo vyřazení mobilního telefonu ze zpracování jednotlivých mračen bodů/sítových modelů. Další možnou příčinou je pak fakt, že megapixely fotoaparátu u mobilních telefonů mají ve skutečnosti menší počet megapixelů a několik megapixelů je zajištěno pouze programovým dopočtem.

V případě užití 4K kamery vyvstal menší problém s hloubkou ostrosti, která je dána především velikostí clonového čísla. Proto bylo přistoupeno k porovnání dvou sítových modelů křižovatky K1, K5 a K6. Za všechny porovnání zde byl jako reprezentativní vzorek vybráno porovnání na křižovatce K6



Obrázek 37 Porovnání modelu vytvořeného ze snímku pomocí DSLR a 4K kamerou (Zdroj: vlastní zpracování)

Porovnání proběhlo na snímcích pořízených jednookou digitální zrcadlovkou a 4k kamerou. Výsledné modely byly porovnány za pomoci interní funkce programu Autodesk ReMake Photo, kde je možné nastavení rozsahu difference a rozsahu tolerovaných odchylek. Pro dané modely byla nastavena tolerance  $+1\text{cm}$  (zelená barva) a maximální rozsah  $-50\text{cm}$  (tyrkysová) až  $+50\text{cm}$  (fialová). Jeden dílek škály odpovídal rozdílu  $2,5\text{cm}$ . Na výsledném porovnání je patrná malá odchylka v ploše ohraničené kruhovou trasou snímkování. Využití 4K kamer s ohledem na širokouhlý záběr a dostatečnou kvalitu, má své opodstatnění, které bylo prokázáno v průběhu testování výše.

## **8.2 POROVNÁNÍ AGISOFT PHOTOSCAN, 3DF ZEPHYR AERIAL A AUTODESK REMAKE PHOTO**

Jednou ze základních otázek při výběru programu pro digitální fotogrammetrii je, jaký je vhodný poměr mezi rychlostí zpracování a výslednou kvalitou mračna bodů/síťového modelu. Na tuto otázku navazuje volba mezi online programy, využívající k tvorbě výkon na síti a offline programy využívající výpočetního výkonu pracovní stanice, na které je program nainstalován. Cílem této kapitoly bude odpovědět na tuto otázku. Pro porovnání byly zvoleny tři programy a to Autodesk ReMake Photo, jako zástupce online programů, Agisoft Photoscan Pro a 3df Zephyr Aerial.

Porovnání bude rozděleno na pozemní a leteckou fotogrammetrii. Pro pozemní fotogrammetrii byla zvolena křižovatka K1 – MK Na Výšině x MK Na Spravedlnosti, sada 150 fotek pořízených Nikon D5000 s 18-105mm VR objektivem. Bylo pořízeno celkem 30 snímků pro leteckou fotogrammetrii křižovatky K6 – II/602 x sjezdu účelové komunikace Gremis pomocí dronu DJI Mavic Pro. Porovnání bude provedeno pomocí pracovní stanice HP ZBook 15 G2, 16Gb DDR3L, Intel® Core™ i7-4710MQ (2,5 GHz až 3,5 s Turbo Boost, 6 MB mezipaměti, 4 jádra, 47W).<sup>82</sup>

## **8.3 ČASOVÁ PRIORITA PROGRAMŮ**

Volba rychlosti a s tím spojené kvality výsledného modelu je dostupná pouze pro offline programy. Program od Autodesku ReMake Photo nenabízí volbu rychlosti, ani detailnosti výsledného modelu. V tomto programu je tak nastavená nejvyšší detailnost zpracování, kterou je pak možné v rámci interních funkcí programu snížit. Offline programy nabízejí různou škálu detailnosti a rychlosti zpracování

### **8.3.1 3df Zephyr Aerial**

V případě programu 3df Zephyr Aerial je před samotnou volbou detailnosti zpracování, nabídnuto uživateli možnost zvolit jeden ze tří programů nastavení, podle které se výsledná volba detailnosti bude řídit. Pro obvyčejného uživatele bude nejvhodnější volba z přednastavených úrovní, které jsou nastaveny na hodnoty rychlá (fast), střední, která je využívána nejvíce uživateli (default) a detailní (deep), která je nejčastěji užívána v případě nepřिřazení některých snímků do prostoru. Druhou uživatelskou možností je pak využití záložky pokročilá a z toho plynoucí jednotlivá nastavení spojená hustotou klíčovacích bodů, jak detailní má být algoritmus pro hledání schody apod.. Poslední je pak

---

<sup>82</sup> HP ZBook 15 G2. *HP Market* [online]. [cit. 2019-05-23].

Dostupné z: <http://www.hpmarket.cz/productOpt.asp?konfId=J8Z48EA>

záložka uživatelské přizpůsobení (custom), kde jsou již velmi pokročilá nastavení, která ani nebyla při tvorbě modelů užitá.

### 8.3.2 Agisoft Photoscan Pro

Z výše testovaných programů nabízí největší škálu volby detailnosti zpracování právě Agisoft Photoscan, který má ve své nabídce pět stupňů předvolené detailnosti a to od nejmenší (lowest), přes nízkou (low), střední (medium), vyšší (high) a nejdetailnější (highest). Pro případ, že by některé z nastavení nevyhovovalo, je možné užít uživatelské nastavení počtu klíčových bodů.

Pro možnost porovnání byly offline programy nastaveny na nejvyšší detailnost a porovnány mezi sebou. Parametrem pro porovnání kromě času a výsledné vizuální podoby byl i počet klíčových bodů. Takto byla zpracována křižovatka K1 - MK Na Výšíně x MK Na Spravedlnosti. Pro 3df Zephyr Aerial to bylo 211 072 klíčových bodů při délce výpočtu 23 min 34 s. Pro Agisoft Photoscan Pro bylo 250 686 klíčových bodů při délce výpočtu 28 min 20 s. Výsledná vizuální podoba jednotlivých síťových modelů je patrná z Přílohy č. 8 - Snímky mračen bodů a síťových modelů, obrázku č. 1,2 a 3. Co se týká časového hlediska zpracování programem Autodesk ReMake Photo, tak využití online výpočetního výkonu sebou přináší omezení v podobě času, kdy model byl zpracován do dvou hodin. Důvodem je firemní politika společnosti Autodesk. Požadovaný model je zpracován v pořadí, v kterém přišel požadavek na zpracování na server, což v případě společného výpočetního výkonu na serveru znamená, že někdy je model zpracováván déle než jednu hodinu. Proto, není možné přesný čas, či časovou náročnost na zpracování u tohoto online programu. Dalo by se říci, že možnost úprav a zásahu do procesu tvorby mračen bodů a síťového modelu je u online programů znemožněna, což se projevuje především při nastavení detailnosti modelu.

## 8.4 POZEMNÍ FOTOGRAMMETRIE K1 - MK NA VÝŠÍNĚ X MK NA SPRAVEDLNOSTI

Vytvořené modely v jednotlivých programech jsou patrné z Přílohy č. 8 - Snímky mračen bodů a síťových modelů, obrázku č. 1,2 a 3. Pro větší přehlednost byla vytvořena následující tabulka **tab. č. 14** základních parametrů pro porovnání. Pro zachování porovnatelnosti nebylo přistoupeno k žádné decimace povrchu.

Tabulka 14 Porovnání základních parametrů mračen bodů a síťových modelů ve zvolených programech – letecká fotogrammetrie

	<b>Autodesk ReMake Photo</b>	<b>Agisoft Photoscan</b>	<b>3df Zephyr Aerial</b>
<b>Počet snímků</b>	150	150	150
<b>Počet klíčových bodů</b>	X	250686	211 072
<b>čas výpočtu</b>	X	28 min 20 s	23 min 34 s
<b>Počet bodů</b>	1 144 089	2 983 653	323 654
<b>čas výpočtu</b>	X	4 hod 45 min	32 min 45 s
<b>Počet vrcholů</b>	774 273	2 252 871	2 315 283
<b>Počet hran</b>	1 144 089	4 499 999	4 624 913
<b>čas výpočtu</b>	X	7 min 6 s	1 hod 46 min 48 s
<b>Celkový čas tvorby modelu</b>	X	5 hod 20 min 26 s	2 hod 43 min 7 s

Zdroj: vlastní zpracování

U Autodesku ReMake Photo nebyl uveden čas z důvodů popsaných výše v této kapitole. Z finálních výsledků můžeme vidět velký rozdíl mezi jednotlivými modely. Nejvíce bodů v rámci mračenja bodů měl Agisoft Photoscan s 2 983 653 body. Tento rozdíl oproti ostatním modelům byl vyvážen dlouhou dobou výpočtu modelu, celkově celý proces tvorby trval 5 hod 20 min 26 s. Model z Autodesku ReMake měl nejméně bodů a dále pak jeho síť byla tvořena nejméně vrcholy a hranami mezi nimi. Avšak co se vizuálního pohledu týče, jsou jen minimální rozdíly mezi jednotlivými síťovými modely.

## 8.5 LETECKÁ FOTOGRAMMETRIE K6 – II/602 X SJEZDU ÚČELOVÉ KOMUNIKACE GREMIS

Vytvořené modely v jednotlivých programech jsou patrné z Přílohy č. 8 - Snímky mračenja bodů a síťových modelů, obrázku č. 23, 24 a 25. Pro zachování porovnatelnosti nebylo přistoupeno k žádné decimace povrchu. Pro větší přehlednost byla vytvořena následující tabulka **tab. č. 15** základních parametrů pro porovnání.

Tabulka 15 Porovnání základních parametrů mračen bodů a síťových modelů ve zvolených programech – letecká fotogrammetrie

	<b>Autodesk ReMake Photo</b>	<b>Agisoft Photoscan</b>	<b>3df Zephyr Aerial</b>
<b>Počet snímků</b>	30	30	30
<b>Počet klíčových bodů</b>	X	50 002	7 318
<b>čas výpočtu</b>	X	3 min	2 min 1 s
<b>Počet bodů</b>	1 144 089	9 304 252	989 406
<b>čas výpočtu</b>	X	10 min	1 min 51 s
<b>Počet vrcholů</b>	105 606	1 754 203	369 659
<b>Počet hran</b>	178 706	3 500 000	737 119
<b>čas výpočtu</b>	X	9 min 9 s	33 min 41 s
<b>Celkový čas tvorby modelu</b>	X	22 min 9 s	37 min 33 s

Zdroj: vlastní zpracování

Jak je patrné z výše uvedené tabulky, tak i přes nízký počet snímků užitých k vytvoření modelu a mračna bodů, je možné vytvořit kvalitativně a detailně odpovídající síťový model. Z hlediska počtu bodů a vrcholů k celkové detailnosti síťového modelu by se dalo říci, že letecká fotogrammetrie poskytuje daleko lepší výsledky. V případě programu Autodesk ReMake byl výsledný model umístěn na geopozici skutečného provedení křižovatky díky GPS pozici jednotlivých snímků. Nevýhodou se pak jeví, že s tímto modelem již není možné dále pracovat, což se měřítko týče a případný uživatel programu se tak vystavuje riziku, že zpracovaný model nemusí být ve správném měřítku. Po vizuálním porovnání a délkovém, je možné říci, že modely se od sebe liší jen v malých detailech.

## 8.6 FORMÁTY VÝSTUPU Z PROGRAMŮ

Dalším z možných parametrů při volbě programu může být formát výstupu z programů. Cílem této závěrečné práce bylo zpracování mračna bodů a síťového modelu. Pro výstupy těchto objektů nabízejí srovnávané programy poměrně širokou paletu typů výstupu. Pro větší přehlednost jsou uvedeny do tabulky **tab. č. 17**.

Tabulka 16 Formáty výstupů mračna bodů a síťového modelu z posuzovaných modelů

	<b>Autodesk ReMake Photo</b>	<b>Agisoft Photoscan</b>	<b>3df Zephyr Aerial</b>
Mračno bodů			
<b>TXT</b>		X	X
<b>PTS</b>	X	X	
<b>XYZ</b>			X
Síťový model			
<b>OBJ</b>	X	X	X
<b>FBX</b>	X	X	X
<b>STL</b>	X	X	X
<b>PLY</b>	X	X	X
<b>U3D</b>		X	
<b>KMZ</b>		X	
<b>3ds</b>		X	
<b>FBX</b>	X	X	X

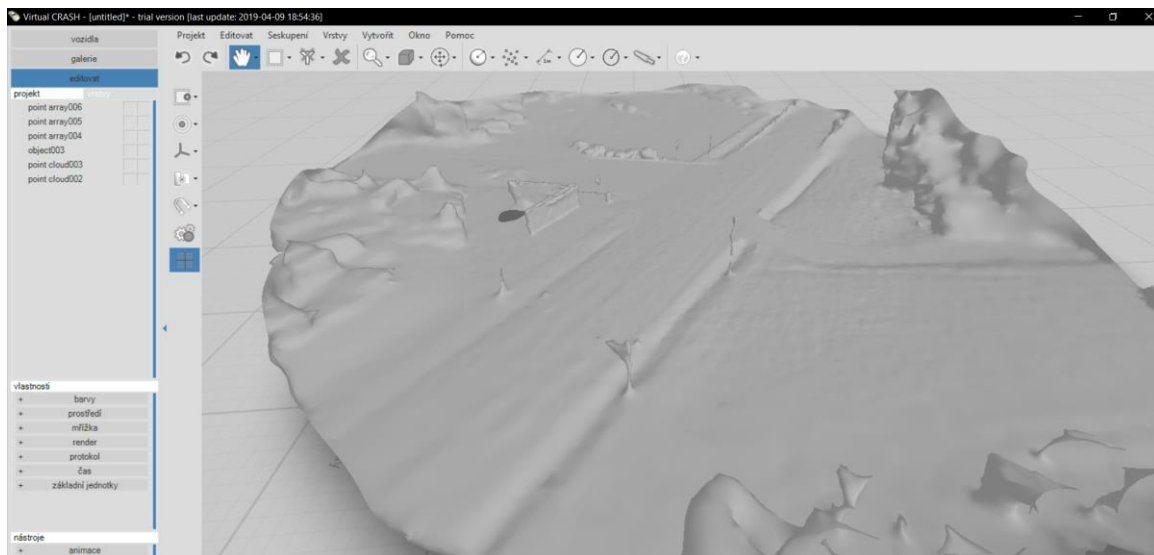
Zdroj: vlastní zpracování

Jak je patrné z tabulky výše, tak ne všechny programy disponují všechny formáty výstupu. V případě 3df Zephyr možno exportovat mračno bodů jen ve verzi Aerial a nikoliv ve verzi Lite. Formát výstupu je důležitým parametrem pro možnost dalšího užití v rámci simulačních programů.

## 8.7 MOŽNÉ ZPŮSOBY DALŠÍHO VYUŽITÍ MRAČEN BODŮ A SÍŤOVÝCH MODELŮ

Jak bylo uvedeno v předchozí podkapitole, tak možnost využití v rámci dalšího zpracování simulačními programy se odvíjí od schopnosti. Z hlediska užití v soudně-inženýrské praxi se jako možné užití jeví propojení se simulačními programy pro analýzu dopravních nehod, jako jsou PC Crash, Virtual Crash. Z hlediska dopravního inženýrství je pak možné užití v programech Autodesk Civil 3d a Autodesk InfraWorks. V rámci zpracování této práce bylo použito program pro zpracování rozhledových poměrů.

Užití v programu Virtual Crash je na následujícím obrázku, kde můžeme vidět netexturovaný síťový model, který je možný využít k simulaci dopravní nehody, popřípadě k posouzení rozhledů.



Obrázek 38 Implementace síťového modelu křižovatky K6 do Virtual CRASH 4.0

## 9 ZÁVĚR

Zaměření závěrečné práce bylo zvoleno s ohledem na problematiku sběru dat na místě dopravní nehody. Jedním z problémů, který při zaznamenávání stop dopravní nehody může vzniknout je, že se některá ze stop vůbec nezaznamená. Především pak některé ze vzdáleností, ač se jedná o brzdné stopy nebo polohu některého z vozidel, či jiného důkazního materiálu. Takováto nepříjemnost pak vede k možným dohadům o původní poloze daného důkazu. Možným řešením by tak mohlo být užití některé z metod, která by převedla místo dopravní nehody do digitálního modelu, z kterého by pak mohlo být dále odměřováno, jakákoliv poloha důkazu. Jednou z možných metod by pak mohla být digitální fotogrammetrie. Tento vědní obor zabývající se sběrem informací z obrazových záznamů, zaznamenal v poslední velký rozkvět s rozvíjející se fotografickou a počítačovou technikou. Kromě rozvoje fotografické techniky, pomohlo k rozvoji fotogrammetrie i bezpilotní letouny typu dron, které se stali velmi oblíbené pro zaznamenávání krátkých audiovizuálních záznamů a fotografií.

Rozvoj digitální fotogrammetrie je hnán i užitím v praxi při mapování terénů a detailnější zaměření než, kterého by bylo dosaženo s klasickou geodetickou výbavou. Proto zaznamenává velký rozvoj ve stavebnictví, ale i v soudně-inženýrské praxi. Příkladem užití pro soudně-inženýrskou praxi je pak využití digitální fotogrammetrie policejními sbory v USA nebo Švédsku. Není divu, že se tato metoda rozšířila velmi rychle a to především díky jednoduchosti, s kterou jsou pořizována data pro budoucí model. Jako základní vybavení může sloužit digitální fotoaparát, mobilní telefon nebo 4k kamera. Velkou podporu získává i od tvůrců softwaru.

Závěrečná práce byla koncipována do několika částí. První část je věnována fotogrammetrii jako takové, jsou zde vysvětleny základní pojmy, pravidla, typy snímacích komor a současné programy pro digitální fotogrammetrii. V druhé části bylo přistoupeno k popsání metodiky tvorby modelu. Prvním bodem druhé části tak bylo určení fotografické techniky. Bylo užito mobilního telefonu, jednoboké digitální zrcadlovky a 4k kamery a 4k kamery umístěné na dronu. Byly navrženy způsoby snímání. Bylo navrženo po kruhové trase, popřípadě po soustředných, či překrytých kruhových trasách. V rámci snímání byla navržena i trasa se snímáním kopírující tvar křižovatky. Pro zlepšení výsledné kvality bylo testováno umístění terče s kódovými značkami do středu křižovatky. Ke zpracování byl navržen program společnosti Autodesk ReMake Photo, Agisoft Photoscan Pro a 3df Zephyr Aerial. Plánovaným výstupem byl navržen síťový model a mračno bodů, do kterého by byl za pomoci programu Autodesk Civil 3d zabudován rozhledové pole dle ČSN 73 6102 Projektování křižovatek na silničních komunikacích.

Třetí část je věnována sběru dat a zpracování jednotlivých mračen bodů a síťových modelů na vybraných

křižovatkách. Na silniční síti v Brně, Havlíčkově Brodě a Velkém Meziříčí byly vytipovány problémové křižovatky s omezeným výhledem, kde v rozhledovém poli řidiče na podraženém dopravním proudu byla překážka v rozhledu. U jednotlivých křižovatek bylo určeno stavební uspořádání, dále bylo prověřeno, zdali se na vybrané lokalitě nestala dopravní nehoda s příčinou, která by pramenila z překážky v rozhledu. Vybrané křižovatky byly zvoleny s ohledem na znalost místních podmínek. Proto byly vybrány i křižovatky, na kterých dle jednotné vektorové dopravní mapy Policie České republiky nebyly žádné nehody. Avšak každodenním provozem zde vznikají krizové situace a skoronehody.

Snímkování probíhalo v průběhu šesti měsíců od října 2019 do května 2019. Snímky byly pořizovány i průběžně s ohledem na klimatický vliv. Klimatické podmínky výrazně ovlivňovali podobu výsledných mračen bodů a to především při ovlivňování světelnosti, vhodným počasím pro snímkování se ukázalo být polojasno, zataženo. Při vytváření jednotlivých mračen bodů a z nich pak síťových modelů byl nalezen limitující prvek u snímků pořízených pomocí mobilního telefonu. Důvodem bylo užití mobilního telefonu s nedostatečně kvalitním objektivem a čipem. Z důvodu horších světelnými podmínkami byla zvýšena citlivost snímku ISO a tím zanesen šum do snímku, který pak nemohl být použit při identifikování jednotlivých klíčových bodů. Výsledné mračno bodů pak neodpovídalo realitě, popřípadě snímky nebyly vůbec přiřazeny do prostoru. Zpracování záznamu z 4K kamery bylo časově a výkonově za možnostmi užití pracovní stanice. Dvouminutový byl rozdělován na jednotlivé snímky 15 hodin, což je při zpracování více modelů nereálné pro realizaci. Při snímkování byly testovány různé trasy snímkování a terč s kódovou detekcí. Ze získaných dat byly v jednotlivých programech vytvořeny mračna bodů a následně i síťové modely. Výsledné modely byly porovnány a byl zvolen nejlépe zpracovaný model vždy za danou křižovatkou. Při zpracování křižovatek ze snímkových tras kopírující tvar křižovaty, jmenovitě pak křižovatka MK Pražská x MK Na Spravedlnosti, byla zjištěna nevhodnost této metody pro rozsáhlejší křižovatky. Implementace terče s kódovou technikou výrazně přispělo k lepšímu zpracování jednotlivých modelů, nezávisle na velikosti křižovaty.

Během zpracování byla vyřčena odpověď na otázku, zdali online nebo offline program. Ačkoliv jednotlivé programy byly velmi uživatelsky přívětivé, tak i přesto zde bylo možné najít případné nedostatky, což se projevilo v případě Autodesk ReMake Photo v podobě nemožnosti změny měřítka u modelů, které byly tvořeny z fotografií s GPS polohou. Dále pak u tohoto online programu nebylo možné ovlivnit výstup v podobě, zdali se má vytvořit pouze mračno bodů nebo síťový model a zároveň nebylo možné ani změnit detailnost modelu. U offline programů zase vyvstával problém s výkonovou náročností, která při určitých krocích znemožňovala užívat pracovní stanici. I přes tyto nedostatky se offline programy jeví jako lepší volba a to především z důvodu možnosti práce na fotogrammetrickém modelu v průběhu celé tvorby.

Jednotlivá mračna bodů křižovatek byly importována do programu Autodesk Civil 3d, kde do nich byly následně zakresleny rozhledové poměry. Z příložených grafických příloh jsou tak patrné jednotlivé překážky v rozhledu. Výsledné zpracování může být uvažováno jako jedna z možných aplikací v dopravně inženýrské, popřípadě soudně inženýrské praxi. Poslední část je pak zaměřena na zhodnocení a posouzení fotogrammetrických programů. Poslední kapitola je pak věnována užití v simulačních programech pro řešení dopravních nehod, kde by výstupy z digitální fotogrammetrie měli najít své uplatnění.

Věřím, že poznatky získané při tvorbě této závěrečné práce využiju a prohloubím v pracovním životě.

**Seznam příloh:**

Přílohy č. 1 - Rozhledové poměry na stykové křižovatce Na Výšině x Na Spravedlnosti

Přílohy č. 2 - Rozhledové poměry na stykové křižovatce Hudcova x Palackého třída

Přílohy č. 3 - Rozhledové poměry na průsečné křižovatce Berkova x Bulharská

Přílohy č. 4 - Rozhledové poměry na průsečné křižovatce Vodova x Svatopluka Čecha

Přílohy č. 5 - Rozhledové poměry na stykové křižovatce Pražská x Na Spravedlnosti

Přílohy č. 6 - Rozhledové poměry na připojení účelové kom. Letištní komunikace Havlíčkův Brod propojení dvou mračen bodů

Přílohy č. 7 - Rozhledové poměry na připojení účelové kom. II/602 Jihlavská x účelová komunikace Gremis a.s. Velké Meziříčí

Příloha č. 8 – Snímky mračen bodů a síťových modelů

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1 Parametry kalibrace objektivu NIKKOR 18-105MM F3.5-5, ohnisková vzdálenost 25 mm	36
Tabulka 2 Porovnání vybraných snímacích komor.....	42
Tabulka 3 Přehledová tabulka užití dronů.....	43
<i>Tabulka 4</i> Porovnání vybraných fotogrammetrických programů.....	45
Tabulka 5 Přehled řešených křižovatek.....	46
Tabulka 6 Rozhledy na pozemních komunikacích dle technických platných technických norem .	56
Tabulka 7 Skladba dopravního proudu.....	59
Tabulka 8 Požadavky na zajištění rozhledu pro určitou skupinu vozidel.....	59
<i>Tabulka 9</i> Požadavky na zajištění rozhledu pro určitou skupinu vozidel.....	60
Tabulka 10 Délky stran rozhledových trojúhelníků v m s předností v jízdě podle uspořádání A, typická příčná uspořádání komunikace (a) až (d) a skupiny vozidel 1 až 4.....	63
Tabulka 11 Délky stran rozhledových trojúhelníků v m na hlavní komunikaci s předností v jízdě podle uspořádání B, typická příčná uspořádání komunikace (a) až (d) a skupiny vozidel 1 až 4.....	63
Tabulka 12 Uspořádání B – délky stran trojúhelníku na vedlejší komunikaci.....	64
<i>Tabulka 13</i> Přehled křižovatek.....	68
Tabulka 14 Porovnání základních parametrů mračen bodů a síťových modelů ve zvolených programech – letecká fotogrammetrie.....	82
Tabulka 15 Porovnání základních parametrů mračen bodů a síťových modelů ve zvolených programech – letecká fotogrammetrie.....	83
Tabulka 16 Formáty výstupů mračen bodů a síťového modelu z posuzovaných modelů.....	84

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Příklad stereofotogrammetrie A. Laussedat <sup>2</sup> .....	15
• <i>Obrázek 2 Průseková fotogrammetrie – určení společných bodů na snímcích</i> .....	18
Obrázek 3 Projekce mapy a snímku .....	19
Obrázek 4 Snímkové a modelové souřadnice; pozemní a letecká fotogrammetrie .....	21
Obrázek 5 Expoziční trojúhelník.....	22
Obrázek 6 Prvky vnitřní orientace.....	30
Obrázek 7 Metoda kruhu (vlevo) a metoda více kruhů (vpravo) .....	32
Obrázek 8 Stanovení počtu průletů dronu, jednotlivých směrů a počtu snímků.....	32
Obrázek 9 Parametry snímkování při letecké/ dronové fotogrammetrii A.....	33
Obrázek 10 Parametry snímkování při letecké/ dronové fotogrammetrii B <sup>43</sup> .....	33
Obrázek 11 Ukázka testovací šachovnice a testovacího pole.....	35
Obrázek 12 Radiální zkreslení objektivu NIKKOR 18-105MM F3.5-5.6G, ohnisková vzdálenost 25 mm; vlastní zpracování.....	36
Obrázek 13 Užití kódové detekce.....	37
Obrázek 14 Mračno bodů v programu Agisoft Photoscan; vlastní zpracování.....	38
Obrázek 15 Kalibrace modelu křižovatky v Autodesk ReMakce pomocí známých délek a značek vytvořených na krytu silnice; vlastní zpracování.....	39
Obrázek 16 Křižovatka MK Na Spravedlnosti x MK Na Výšině .....	47
Obrázek 17 Křižovatka MK Hudcova x MK Palackého třída.....	49
Obrázek 18 Křižovatka MK Bulharská x MK Berkova .....	50
Obrázek 19 Křižovatka MK Svatopluka Čecha x MK Vodova .....	51
Obrázek 20 Křižovatka MK Pražská x MK Na Spravedlnosti .....	52
Obrázek 21 Křižovatky MK Dolní Papšíkov x sjezd areálové komunikace letiště 1 a 2 .....	53
Obrázek 22 Křižovatka II/602 Jihlavská x sjezd areálové komunikace Gremis a.s. ....	54
Obrázek 23 Rozhledové pole umožňující rozhled na svislé dopravní značení a SSZ .....	57
Obrázek 24 Rozhledové trojúhelníky s P6 – uspořádání A se zamezením předjíždění na hlavní komunikaci .....	61
Obrázek 25 Rozhledové trojúhelníky s P4 – uspořádání B se zamezením předjíždění na hlavní komunikaci .....	61
Obrázek 26 Rozhledové trojúhelníky pro uspořádání C .....	62
Obrázek 27 Síťový model křižovatky MK Na Spravedlnosti x MK Na Výšině, vlastní zpracování ...	69
Obrázek 28 Síťový model křižovatky MK Hudcova x MK Palackého třída; vlastní zpracování .....	70
Obrázek 29 Síťový model křižovatky MK Bulharská x MK Berkova, vlastní zpracování.....	71
Obrázek 30 Síťový model křižovatky MK Svatopluka Čecha x MK Vodova; vlastní.....	71
Obrázek 31 Síťový model křižovatky MK Pražská x MK Na Spravedlnosti; vlastní zpracování .....	72

Obrázek 32 Síťový model křižovatky MK Dolní Papšíkov x sjezd areálové kom. letiště 1 a 2; vlastní zpracování.....	73
Obrázek 33 Síťový model křižovatky II/602 Jihlavská x sjezd areálové komunikace Gremis .....	74
Obrázek 34 <i>Noční model křižovatky K5 – MK Pražská x MK Na Spravedlnosti při umělém osvětlení (Zdroj: vlastní zpracování)</i> .....	76
Obrázek 35 <i>Užití kalibračních značek a kódové detekce při tvorbě modelu – křižovatka K8 MK Dolní Papšíkov x účelová komunikace letiště 2</i> .....	77
Obrázek 36 <i>Porovnání modelu vytvořeného ze snímku s terčem kódovaných značek a bez – Nikon (Zdroj: vlastní zpracování)</i> .....	78
Obrázek 37 <i>Porovnání modelu vytvořeného ze snímku pomocí DSLR a 4K kamerou (Zdroj: vlastní zpracování)</i> .....	79
Obrázek 38 Implementace síťového modelu křižovatky K6 do Virtual CRASH 4.0.....	85